MAX JUNGINGER

**REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS:
INFLUÊNCIA DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO
NA ESTABILIDADE DE PAINÉIS**

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

São Paulo

2003

MAX JUNGINGER

**REJUNTAMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS:
INFLUÊNCIA DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO
NA ESTABILIDADE DE PAINÉIS**

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

Área de concentração:
Engenharia Civil

Orientador:
Prof Dr. Jonas Silvestre Medeiros

São Paulo
2003

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 18 de agosto de 2003.

Assinatura do autor:

Max Junginger

Assinatura do orientador:

Jonas Silvestre Medeiros

FICHA CATALOGRÁFICA

Junginger, Max

**Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis / Max Junginger. -- São Paulo, 2003. Edição Revisada.
141 p.**

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

1.Rejunte 2.Revestimento cerâmico 3.Juntas de assentamento 4.Placa cerâmica 5.Patologia das construções 6.Eflorescência I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

AGRADECIMENTOS

Dizem que especialista é aquele que sabe quase tudo sobre quase nada e que super-especialista é aquele que sabe absolutamente tudo sobre absolutamente nada. Agradeço por esse tempo de convívio aqui no mestrado, que me ensinou que é possível contrariar essa afirmação e desenvolver maior conhecimento sem chegar a uma visão obtusa da vida.

Agradeço

à Néia, minha maior incentivadora ao longo desses três anos de estudos;
ao prof Dr. Jonas Silvestre Medeiros, orientador deste trabalho, pelas suas críticas pertinentes e pela indicação do rumo a seguir no trabalho experimental;
ao prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini que, tanto na vida acadêmica quanto profissional, contribuiu para meu aprimoramento como pesquisador.
Ademais, pelas suas críticas e pela sua dedicação na leitura deste trabalho durante seu desenvolvimento;
aos demais professores que de alguma forma colaboraram com meu trabalho, em particular à prof. Dra. Mércia, prof. Dr. Sílvio Melhado, prof. Dr. Antônio Figueiredo e prof. Dr. Vahan Agopyan;
aos colegas da pós graduação, pelas inúmeras conversas e sugestões, em especial à Luciana Oliveira, Flávio Maranhão, Érika Holanda, Cláudia Nascimento, Clarice Degani, Maurício Marques Resende e Amaury Antunes de Siqueira Jr.;
aos funcionários do laboratório, Reginaldo, Adilson, Dorval, Renata e seu João, por se mostrarem sempre solícitos e sem os quais meu trabalho teria sido muito mais difícil;
à Fátima, secretária da pós, às bibliotecárias e em especial à Engrácia pela sua ajuda constante e incansável;
à FAPESP, pelo imprescindível apoio financeiro no auxílio à pesquisa e
à CAPES, pela tão necessária bolsa de mestrado;
enfim, a todos os que não participaram diretamente do trabalho, mas foram ouvintes perspicazes em horas de necessidade.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica a respeito dos rejuntas para revestimento cerâmico. A nomenclatura internacional é explorada e os tipos de rejunte e seus empregos são enumerados. Para embasar o leitor sobre o revestimento cerâmico, os principais conceitos a ele relacionados são exibidos de forma sucinta.

Uma vez que o rejunte é um componente importante do revestimento cerâmico, suas funções dentro desse subsistema são abordadas em detalhes. O aspecto de alívio de tensões é amplamente comentado, uma vez que essa é uma função essencial do rejunte, particularmente no caso de fachadas.

Ao final, são abordados os aspectos de preparo e aplicação dos rejuntas, particularmente os produtos cimentícios. O rejuntamento de locais específicos, como encontros com selantes e interfaces com aparelhos sanitários são detalhados com vistas à diminuição da ocorrência de manifestações patológicas futuras.

No trabalho experimental, painéis em forma de laje revestidos com placas cerâmicas são submetidos à flexão até a ocorrência de deslocamento, objetivando detectar qual a influência da largura da junta e do tipo de argamassa adesiva na ruptura do corpo-de-prova. Os resultados indicam que a largura das juntas de assentamento assumem importância apenas quando a argamassa adesiva apresenta alta resistência de aderência.

ABSTRACT

This study presents a bibliographical revision regarding the ceramic tile grouts. Here, the international nomenclature is explored and the types of grouts as well as its employments are enumerated. To base the reader on the ceramic tile cladding, its main concepts are shown succinctly.

Being the grout an important component of the ceramic tile cladding, its functions in this subsystem are broached in details. The aspect of stress relief is widely mentioned, for this is an essential function of grout, particularly in the case of façades.

In the end, the aspects of the preparation and the application of grouts are broached, particularly the cementitious products. The grouting of specific places such as meetings of sealants and interfaces with sanitary devices is detailed viewing the decrease of the occurrence of future problems.

In the experimental study, panels in flagstone form tiled with ceramic plates are submitted to flexion until the occurrence of rupture of these panels, aiming to detect the influence of the joint thickness and of the type of the adhesive mortar in the rupture of the sample. The results indicate that the nesting joint thickness only assumes importance when the adhesive mortar presents high resistance of adherence.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
I. INTRODUÇÃO.....	1
I.1. Justificativa do trabalho.....	2
I.2. Objetivos e estrutura do trabalho	5
II. REJUNTE E REVESTIMENTO CERÂMICO	7
II.1. Introdução ao revestimento cerâmico aderido.....	9
II.1.1. Camada de regularização	11
II.1.2. Camada de fixação.....	11
II.1.2.1. Argamassas dosadas em obra.....	12
II.1.2.2. Argamassas adesivas industrializadas	12
II.1.2.3. Pastas de resinas e resinas de reação	13
II.1.3. Camada de acabamento.....	13
II.2. Rejuntas para revestimento cerâmico.....	17
II.3. Requisitos comuns aos diferentes tipos de rejunte	18
II.4. Tipos de rejunte	21
II.4.1. Rejuntas à base de cimento	22
II.4.1.1. Rejuntas dosados em obra.....	23
II.4.1.2. Rejuntas industrializados	24
II.4.2. Rejuntas de base orgânica	28
II.4.2.1. Rejunte epóxi.....	28
II.4.2.2. Rejuntas especiais	31
II.4.2.3. Selantes à base de silicone e à base de uretanos	33
II.5. Guia para seleção de rejuntas	33
III. FUNÇÕES DO REJUNTE DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	35
III.1. Auxiliar no desempenho estético do revestimento	37
III.2. Estabelecer regularidade superficial.....	38

III.3.	Compensar variação de bitola e facilitar assentamento das placas.....	39
III.4.	Vedar o revestimento cerâmico.....	40
III.5.	Permitir difusão de vapor de água.....	44
III.6.	Proporcionar alívio de tensões	45
III.6.1.	Revestimento cerâmico sujeito à tração	46
III.6.2.	Revestimento cerâmico sujeito à compressão	46
III.6.2.1.	Revestimentos horizontais sujeitos à compressão	51
III.6.2.2.	Revestimentos verticais sujeitos à compressão.....	53
III.6.3.	Interdependência entre camadas	60
III.7.	Otimizar a aderência das placas.....	62
IV.	TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO REJUNTE	64
IV.1.	Preparo das juntas de assentamento	65
IV.2.	Preparo do rejunte	66
IV.3.	Aplicação do rejunte	68
IV.4.	Detalhes de aplicação do rejunte	71
IV.4.1.	Encontro com juntas de dilatação.....	72
IV.4.2.	Interfaces entre planos e materiais distintos	74
IV.4.3.	Escadas	78
IV.4.4.	Janelas.....	79
IV.4.5.	Piscinas.....	83
V.	PROGRAMA EXPERIMENTAL	87
V.1.	Caracterização dos rejuntas.....	88
V.1.1.	Retração linear	90
V.1.2.	Flexibilidade (deformação transversal)	92
V.1.3.	Manchamento.....	94
V.1.4.	Resistência de aderência.....	95
V.1.5.	Compressão e módulo de deformação estático	98
V.1.6.	Retenção de água	100
V.2.	Ensaio de flexão de painéis.....	101
VI.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
VI.1.	Capítulo 2: rejunte e revestimento cerâmico	112
VI.2.	Capítulo 3: funções do rejunte.....	113

VI.3.	Capítulo 4: Técnica de aplicação.....	114
VI.4.	Capítulo 5: Programa Experimental	116
VI.5.	Considerações gerais e sugestão para novos trabalhos.....	117
VII.	<i>ANEXO A: O FENÔMENO DA EFLORESCÊNCIA</i>	120
	<i>LISTA DE REFERÊNCIAS</i>	134
	<i>ÍNDICE ALFABÉTICO E REMISSIVO</i>	140

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1. Esboço dos ensaios a serem realizados no programa experimental.....	5
Figura II.1. Falhas no revestimento cerâmico.....	9
Figura II.2. Partes constituintes do revestimento cerâmico aderido.....	10
Figura III.1. Acabamento plano e nivelado das juntas.....	37
Figura III.2. Influência da largura das juntas na estética do revestimento.....	38
Figura III.3. Acabamento frisado em placas chanfradas.....	39
Figura III.4. Condições para rejuntamento conforme largura da junta.....	42
Figura III.5. Dilatação térmica de uma placa cerâmica assentada.....	47
Figura III.6. Dilatação térmica de várias placas cerâmicas assentadas.....	48
Figura III.7. Força que impede flambagem do revestimento (adaptado do BRE, 1979).....	48
Figura III.8. Assentamento das placas com o auxílio de espaçadores plásticos.....	50
Figura III.9. Momento fletor sobre uma laje plana.....	52
Figura III.10. Flambagem do revestimento cerâmico sujeito à compressão.....	52
Figura III.11. Parede sujeita à compressão.....	53
Figura III.12. Detalhe do revestimento.....	53
Figura III.13. Alguns fatores que influenciam na largura das juntas de assentamento.....	60
Figura III.14. Tempos mínimos de cura recomendados para execução do revestimento.....	61
Figura III.15. Esboço da ancoragem mecânica da argamassa ao substrato.....	63
Figura IV.1. Juntas de assentamento limpas com escova de cerdas plásticas.....	65
Figura IV.2. Aplicação do rejunte.....	70
Figura IV.3. Rejunte aplicado.....	70
Figura IV.4. Limpeza inicial das placas.....	70
Figura IV.5. Aparência após limpeza.....	70
Figura IV.6. Acabamento do rejunte nas juntas de dilatação.....	73
Figura IV.7. Disposições do selante na junta de dilatação (adaptado da ASTM C 1193, 1995).....	73
Figura IV.8. Detalhe do encontro piso/parede.....	74
Figura IV.9. Detalhe do encontro com pilares.....	75
Figura IV.10. Detalhe do encontro de tubos passantes (ralos).....	76
Figura IV.11. Detalhe do encontro com aparelhos sanitários.....	77
Figura IV.12. Detalhe do rejuntamento de escada.....	78
Figura IV.13. Detalhe de escada com degraus em cerâmica.....	79
Figura IV.14. Eflorescência em escada causada pela infiltração de água.....	79
Figura IV.15. Detalhe de um peitoril de janela.....	81
Figura IV.16. Vistas em planta de uma lateral de janela.....	82
Figura IV.17. Detalhe de janela.....	82
Figura IV.18. Detalhe de janela.....	82
Figura IV.19. Detalhe dos tipos de encontro do topo da janela com a fachada.....	83
Figura V.1. Esboço do CP utilizado no ensaio de retração.....	90

Figura V.2. Gráfico da retração de um mesmo rejunte sob duas condições: puro e aditivado	91
Figura V.3. Esboço do ensaio de flexibilidade (deformação transversal)	92
Figura V.4. Fôrmas confeccionadas em PVC	93
Figura V.5. Ensaio de flexibilidade	93
Figura V.6. Ensaio de manchamento	95
Figura V.7. Rejunte manchado após limpeza	95
Figura V.8. Aderência sobre substrato padrão	96
Figura V.9. Aderência sobre placa cerâmica	96
Figura V.10. Ruptura do substrato padrão	98
Figura V.11. Quebra do substrato por flexão	98
Figura V.12. Esboço do ensaio de compressão	99
Figura V.13. Fôrma do ensaio de retenção	100
Figura V.14. Ensaio de retenção de água	100
Figura V.15. Ensaio de retenção adaptado	101
Figura V.16. Ensaio com papéis diferentes	101
Figura V.17. Fissura em rejunte bicomponente	101
Figura V.18. Fissura em rejunte bicomponente	101
Figura V.19. Esboço do corpo de prova ensaiado numa prensa hidráulica	102
Figura V.20. Detalhes da estrutura do corpo-de-prova	103
Figura V.21. Detalhamento da aba	104
Figura V.22. Esboço das lajes revestidas	104
Figura V.23. CP com placas 20x20cm	105
Figura V.24. Posicionamento dos medidores	105
Figura V.25. Detalhe da deformação da argamassa adesiva por flexão do substrato	106
Figura V.26. Detalhe da deformação do rejunte por flexão do substrato	106
Figura V.27. Influência da largura da junta na estabilidade do revestimento	109
Figura V.28. Ruptura da aba de aplicação da carga	110
Figura VI.1. Proposta de ensaio de compressão de painéis verticais	119
Figura A.1. Eflorescência na pia batismal de uma igreja	132
Figura A.2. Eflorescência em escada externa	133
Figura A.3. Eflorescência na estação do metrô Vila Madalena em São Paulo	133
Figura A.4. Eflorescência em fachadas de edifícios	133
Figura A.5. Eflorescência em piso de ardósia	133

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1. Grupos de absorção de água segundo a NBR 13817 (ABNT, 1997)	14
Tabela II.2. Classes de resistência à abrasão segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)	15
Tabela II.3. Classes de resistência química segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)	16
Tabela II.4. Classes de resistência a manchas segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)	16
Tabela II.5. Princípios do projeto de juntas (adaptado do BRE, 1972)	18
Tabela II.6. Rejuntas dosados em obra	23
Tabela II.7. Rejuntas industrializados	25
Tabela II.8. Alguns dos rejuntas cimentícios disponíveis no mercado	28
Tabela II.9. Resistência química do rejunte epóxi (Quartzolit, 2003).....	29
Tabela II.10. Compostos especiais para rejuntamento e assentamento (FOSROC, 2002)	32
Tabela II.11. Requisitos de rejuntas orgânicos (adaptado da ASTM C658, 1998)	33
Tabela II.12. Guia para seleção de rejuntas (adaptado do TCA, 2002, p.11)	34
Tabela III.1. Largura de juntas de assentamento (adaptada do ITC, 1987)	49
Tabela III.2. Classificação da cerâmica p/ revest. – adaptada de Palmonari; Timellini (1989)	50
Tabela III.3. Causas de deformações no revestimento e prazos envolvidos	56
Tabela III.4. Fatores agravantes e atenuantes de agentes de degradação.....	58
Tabela III.5. Compressão sobre a camada de acabamento	59
Tabela V.1. Resumo dos ensaios de caracterização e respectivas normas utilizadas.....	89
Tabela V.2. Conversão do valor prático de aditivo para a relação polímero/cimento (p/c) ..	90
Tabela V.3. Retração dos rejuntas nas idades de 1, 7 e 21 dias respectivamente (mm/m)	91
Tabela V.4. Ensaios de flexibilidade do rejunte aos 28 e aos 14 dias (flechas em mm)	93
Tabela V.5. Resistência de aderência (placas de porcelanato) sobre substrato padrão (MPa)	96
Tabela V.6. Resistência de aderência (placas de semi-grés) sobre substrato padrão (MPa) ...	97
Tabela V.7. Resistência de aderência aos 14 dias sobre placa esmaltada (MPa).....	97
Tabela V.8. Resistência à compressão (MPa)	99
Tabela V.9. Módulo de deformação aos 28 dias (MPa).....	100
Tabela V.10. Especificação das lajes ensaiadas à flexão.....	104
Tabela V.11. Resultados dos ensaios de flexão de painéis (flechas em cm)	108
Tabela V.12. Análise dos ensaios de flexão de painéis.....	109
Tabela VI.1. Sugestão para novos ensaios de flexão de lajes.....	118
Tabela A.1. Sais envolvidos no fenômeno da eflorescência	124
Tabela A.2. Solubilidade em água de alguns compostos químicos (FELTRE, 1994).....	125
Tabela A.3. Sais da eflorescência com origem na argamassa (adaptada do ITC, 1994).....	126
Tabela A.4. Tipos de sais eventualmente presentes em material cerâmico (Thomaz, 1990) ...	127
Tabela A.5. Formas de manifestação da eflorescência (adaptado de Thomaz, 1990)	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ANSI	American National Standards Institute
AS nnn	Australian Standard nnn
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRE	British Research Establishment
BS nnn	British Standard nnnn
BSI	British Standards Institute
CPqDCC	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPU	Expansão Por Umidade
IRA	Initial Rate of Absorption
ITC	Instituto de Tecnologia Cerâmica
ISO	International Organization for Standardization
n.d.	não divulgado
NBR	Norma Brasileira
PEI	Porcelain Enamel Institute

LISTA DE SÍMBOLOS

α	coeficiente de dilatação térmica linear
ρ	raio de curvatura
σ	tensão normal
ε	deformação específica
ΔL	variação de comprimento
ΔT	variação de temperatura
E	módulo de deformação
F	força
I	momento de inércia
kN	1000 N
M	momento fletor
GPa	Giga Pascal (10^9 N/m ²)
MPa	Mega Pascal (10^6 N/m ²)

I.

INTRODUÇÃO

Fonte: <http://www.laticrete.com>

O TEMPO É SEMPRE ESCASSO. ASSIM, PONDERE-O SABIAMENTE
ENTRE AS TAREFAS DE MAIOR VALOR.

Provérbio chinês

I.1. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O acabamento aderido de uma parede (ou piso) pode ser dado basicamente de três maneiras distintas: argamassa decorativa¹, pintura e revestimento em placas cerâmicas ou placas de rocha. O revestimento cerâmico, por sua vez, é utilizado em vários estados brasileiros, mesmo porque as placas cerâmicas são componentes bastante resistentes às intempéries e não necessitam de adaptações relacionadas com as diferentes localizações geográficas. São altamente duráveis, de estética agradável e de fácil manutenção.

Com o progresso das tecnologias de fabricação das placas cerâmicas, o revestimento cerâmico aderido vem ganhando maior valor agregado e novos campos de aplicação, passando pelo revestimento de pequenos ambientes residenciais internos até o revestimento de pisos industriais com altas exigências de desempenho. Esse fato, além de exigir maior qualidade das placas cerâmicas como componentes do revestimento, implica em uma diversidade elevada de produtos utilizados no assentamento e rejuntamento.

Entretanto, mesmo a alta qualidade dos componentes individuais não é suficiente para garantir o desempenho do revestimento cerâmico aplicado se não existir: a) uma metodologia adequada de controle e de aplicação e b) conhecimento técnico alicerçado em firmes bases tecnológicas e experimentais que sustentem a elaboração de um projeto adequado. Assim, o sucesso de um revestimento cerâmico aderido depende em grande parte de um programa de qualidade implementado em todos os níveis de projeto e produção.

Mesmo com esses conceitos conhecidos, Medeiros (1999) salienta que o uso de revestimentos cerâmicos no estado de SP vem diminuindo principalmente por causa do crescente número de manifestações patológicas a ele associadas. No Nordeste do país, os poucos edifícios com acabamento em pintura em ambi-

¹ Entenda-se argamassa decorativa como sendo: Fulget®, massa raspada, monocapa, Travertino, Grafatto e outras combinações executadas em argamassa com acabamentos específicos.

entes de orla marítima são conhecidos pela sua baixa durabilidade frente aos que apresentam revestimento cerâmico na fachada.

Ao encontro da informação de Medeiros (1999), Campante (2001) cita que apenas 17,6% dos edifícios na grande São Paulo tiveram revestimento cerâmico nas fachadas e que essa porcentagem vem diminuindo em consequência de os problemas estarem aumentando, ou seja, a possível deficiência da tecnologia nas etapas de aplicação e acabamento pode estar contribuindo para a formação de uma imagem negativa desse tipo de revestimento.

Os inúmeros casos de manifestações patológicas, espalhados pelo Brasil e pelo mundo, muitas vezes são corrigidos sem que se estabeleçam claramente as causas do fenômeno, tornando-os crônicos. Alguns desses defeitos estão relacionados ao rejuntamento, que é relegado a um plano de menor importância do que o assentamento das placas e é executado sem preocupação com os aspectos técnicos. A habilidade do aplicador, representada muitas vezes pela experiência prática obtida sem qualquer treinamento, acaba prevalecendo sobre a técnica correta de aplicação.

Embora os problemas com o revestimento podem ser variados, desde simples eflorescências passageiras até o completo deslocamento, Bowman; Westgate (1992) enfatizam que o surgimento de manifestações patológicas não está relacionado a uma única causa, mas é uma somatória de fatores que, quando adicionados, culminam com o surgimento de manifestações patológicas. Pode-se concluir, então, que a qualidade e a durabilidade dos revestimentos cerâmicos estão fortemente ligadas ao planejamento e escolha dos materiais, à qualidade do material e da construção e à manutenção do revestimento ao longo de sua vida útil.

Uma vez que a correção de problemas nos revestimentos de fachada envolve custos elevados de manutenção, prejuízo para a imagem do empreendimento e até para a imagem da construtora, torna-se ímpar a necessidade da sistematização de fatores que minimizem a possibilidade do surgimento de manifestações patológicas desse tipo.

Esses fatores podem ser externos ou internos ao edifício, ou seja, podem ter origem no meio ambiente ou no próprio comportamento complexo da edificação e de todos os seus subsistemas. Assim, como fatores externos pode-se citar: choque térmico, chuva, vento, gases, organismos biológicos etc. e como fatores internos: deformação lenta da estrutura, deformações diferenciais entre elementos distintos,

ciclos de contração e expansão do edifício decorrentes de acomodações higro-térmicas.

Todos esses agentes agressivos acabam por ter grande impacto sobre a camada de acabamento (placas cerâmicas e rejunte), mas o rejunte cimentício, pelas suas próprias características físico-químicas, é menos resistente às agressões do que as placas cerâmicas esmaltadas. Percebe-se, então, que o rejunte precisa ser aplicado em obediência aos mínimos padrões técnicos que garantam seu desempenho, fato esse que não foi observado em várias das obras visitadas pelo autor. Isso significa que alguns dos problemas do revestimento cerâmico podem estar relacionados à aplicação deficiente do rejunte, falha que pode ser sanada por meio de controle de produção adequado e sem introdução de custos extras.

Em nenhuma das sete obras com revestimento cerâmico de fachada visitadas pelo autor o engenheiro possuía conhecimento sobre o rejunte a ser utilizado e tampouco sua especificação estava prevista em projeto. Em muitos casos, a seleção foi feita tendo como base a facilidade de entrega por parte do fornecedor e o custo do material. Esse fato se agrava quando a especificação deve ser feita para o rejuntamento de áreas especiais, como piscinas, sendo que o fabricante que oferece melhores condições mercadológicas acaba por introduzir seu produto na obra. Esses fatos ratificam a pouca importância dada ao rejunte e o quase total desconhecimento técnico das suas funções como um componente do revestimento cerâmico.

Dentre seus vários requisitos de desempenho, um aspecto crucial do rejunte é ser capaz de suportar esforços provenientes da movimentação das placas cerâmicas e da base, proporcionando um alívio para o acúmulo natural de tensões sobre o revestimento cerâmico ao longo da vida útil da edificação. Nesse caso, a rigidez e a resiliência do rejunte são fatores importantes. Outros, como flexibilidade e aderência, estão intimamente relacionados, já que o aparecimento de microfissuras por perda de aderência deixa um caminho livre para a penetração de água e outros agentes nocivos não apenas ao rejunte, mas ao revestimento cerâmico como um subsistema.

Caso o comportamento do rejunte, ou melhor, seu desempenho, seja prejudicado por falha de aplicação ou especificação, a vida útil do revestimento pode ficar comprometida. Neste ponto é que está inserido este texto, que aborda em detalhes as várias funções do rejunte, a técnica adequada de aplicação e os cuidados a serem tomados durante o rejuntamento de pontos específicos, de for-

ma a maximizar o desempenho do revestimento cerâmico ao longo de sua vida útil.

Para avaliar essa influência do rejunte na estabilidade do revestimento, a Figura I.1 mostra um esboço do ensaio a ser realizado em laboratório: uma laje revestida com placas cerâmicas é submetida à flexão, o que induz esforços de tração na argamassa adesiva e compressão no rejunte. De acordo com o tipo de rejunte e largura das juntas de assentamento, espera-se detectar quantitativamente de que forma esses dois fatores contribuem para a variação da flecha que provoca o deslocamento.

Figura I.1. Esboço dos ensaios a serem realizados no programa experimental

Paralelamente a esses ensaios de flexão, são estudadas as características e propriedades dos rejuntas existentes no mercado nacional, sendo os ensaios embasados nas informações propostas nas normas técnicas internacionais relacionadas ao assunto.

I.2. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente texto tem por objetivo estudar a influência dos rejuntas cimentícios na estabilidade do revestimento cerâmico quando submetido à compressão por flexão de painéis (Figura I.1). Como esse objetivo é bastante amplo, ele foi

subdividido em partes específicas, abordadas ao longo dos capítulos conforme mostrado a seguir:

- capítulo 2 (p. 7)
 1. situar o leitor acerca dos conceitos básicos sobre o revestimento cerâmico, em particular das placas cerâmicas, da argamassa adesiva e do rejunte;
 2. identificar e caracterizar os tipos de rejunte existentes no mercado, abordando as especificações existentes no Brasil e em outros países;
- capítulo 3 (p. 35)
 3. identificar e discutir as funções do rejunte e sua importância para o desempenho do revestimento cerâmico;
- capítulo 4 (p. 64)
 4. discutir a técnica de aplicação dos rejuntas cimentícios, abordando detalhes de rejuntamento em locais específicos;
- capítulo 5 (p. 87)
 5. determinar a influência de aditivos na flexibilidade, manchamento, aderência, compressão, absorção e retenção de água e módulo de deformação de pelo menos três rejuntas de fabricantes diferentes;
 6. comparar os rejuntas cimentícios, com e sem aditivação, quanto aos ensaios de flexibilidade segundo a norma EN 12002;
 7. comparar a aderência dos rejuntas com e sem aditivos quando aplicados em placas de diferente absorção de água;
 8. comprovar que a largura das juntas de assentamento tem grande influência na estabilidade do revestimento cerâmico horizontal submetido à flexão (lajes planas).

Ao final do trabalho, o capítulo 6 discute os resultados obtidos ao longo do trabalho experimental e o Anexo A aborda o fenômeno da eflorescência, uma manifestação patológica que também pode ocorrer em revestimentos cerâmicos.

2

II.

REJUNTE E REVESTIMENTO CERÂMICO

Fonte: ITC (1987)

Este capítulo tem por objetivo abordar os conceitos básicos dos revestimentos cerâmicos aderidos visando situar o leitor acerca do assunto; também, identificar os tipos de rejunte atualmente existentes no mercado e especificados pelas normas nacionais e internacionais, padronizar o conceito do material e itemizar seus requisitos de desempenho.

Objetivos específicos a serem atingidos

1. situar o leitor acerca dos conceitos básicos sobre o revestimento cerâmico, em particular das placas cerâmicas, da argamassa adesiva e do rejunte;
2. identificar e caracterizar os tipos de rejuntas existentes no mercado, abordando as especificações existentes no Brasil e em outros países.

**SEUS IDEAIS NUNCA SÃO MAIS IMPORTANTES DO
QUE A JORNADA PARA ATINGI-LOS.**

Provérbio chinês

Para o usuário final, o aspecto de maior importância no revestimento cerâmico é a sua estética², ou em outras palavras, a opinião do observador sobre a aparência do ambiente revestido. Uma vez que as placas cerâmicas são os componentes³ visualmente mais expressivos do revestimento cerâmico, elas trazem para si essa grande responsabilidade, qual seja, a de garantir uma estética final agradável.

Palmonari; Timellini (1989, p.9) enfocam esse aspecto quando citam que uma das funções do revestimento cerâmico está relacionada com requisitos estéticos, tornando a superfície revestida mais agradável aos olhos do observador. Embora isso seja verdadeiro, a permanência da placa no seu devido local é garantida por outros componentes que têm função tão importante para o sucesso do revestimento quanto a beleza tem importância para a placa cerâmica. Byrne (1995, p.33) bem ressalta que “enquanto a superfície das placas é a parte mais visível de qualquer instalação, o que existe de invisível por trás dela é talvez o mais importante elemento de todos.”

Levando em conta essas afirmações, é possível perceber que o desempenho do revestimento cerâmico é amplamente influenciado pelo comportamento da sua base (ou substrato), ou seja, problemas que ali ocorrem têm grande chance de manifestar-se na superfície aparente. Para exemplificar esse fato, a Figura II.1 (a, b) mostra dois casos em que o revestimento está comprometido sem que as placas tenham apresentado problemas intrínsecos.

Essa interdependência que existe entre os vários componentes do revestimento indica a necessidade de conhecê-los profunda e individualmente e, mais importante do que isso, compreender o comportamento conjunto não só do revestimento aplicado mas também dos demais elementos que com ele se relacionam. Esse enfoque leva-nos ao conceito de visão holística, ou visão sistêmica, on-

² A estética é uma forma de medir o caráter do belo de alguma produção (MICHAELIS, 2003).

³ A norma ISO 6240 (1980[E], p.1) estabelece o seguinte conceito para componente: “um produto fabricado como uma unidade distinta que serve a uma ou mais funções específicas.”

de um todo é formado por várias partes funcionais que se inter-relacionam de maneira constante e dinâmica.

Se, por um lado, essa visão constitui-se num fator necessário e fundamental para a produção de um revestimento de longa vida útil, por outro a ignorância da visão sistêmica (ou sua simples negligência) é um fator significativo no fracasso do produto final.

a) um erro de projeto levou ao assentamento das placas sobre uma junta estrutural, o que ocasionou sua quebra por falta de sustentação.

b) falha na impermeabilização levou à infiltração de água e posterior manchamento por formação de eflorescência.

Figura II.1. Falhas no revestimento cerâmico

II.1. INTRODUÇÃO AO REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO

Compilando as informações da NBR 13816 (ABNT, 1997), da NBR 13755 (ABNT, 1997), de Barros; Sabbatini; Lordsleen (1998, p.5) e de Medeiros (1999), chega-se ao seguinte conceito para revestimento cerâmico aderido: *um conjunto monolítico de camadas intimamente ligadas e aderidas à base suporte, com capa exterior constituída de placas cerâmicas assentadas e rejuntadas com argamassa ou outro material adesivo*. Esse conceito básico é válido para revestimentos aderidos externos e internos, sendo que os requisitos de desempenho podem variar em função do local de aplicação e das condições de exposição a que estão sujeitos.

A NBR 13816 (ABNT, 1997) conceitua o revestimento cerâmico de tal modo que a camada de regularização dele não faz parte. Isso pode ser entendido de

duas formas: 1º) quando as placas são assentadas diretamente sobre a base, essa camada realmente não existe e não é mencionada; 2º) quando essa camada existe, ela deve ser projetada e executada de forma a apresentar características⁴ que proporcionem condições adequadas para o assentamento das placas cerâmicas, garantindo um bom desempenho do revestimento. Então, nesse caso, a camada de regularização deve ser parte integrante do conceito de revestimento cerâmico.

Com base no citado anteriormente, pode-se ressaltar três camadas básicas do revestimento cerâmico aderido (Figura II.2): camada de regularização, camada de fixação e camada de acabamento (placas cerâmicas e juntas de assentamento). Não são abordados neste texto componentes com funções especiais como telas, membranas, selantes, espaçadores.

Figura II.2. Partes constituintes do revestimento cerâmico aderido

Como cada uma das camadas tem características próprias, uma abordagem mais específica sobre elas é realizada nos itens seguintes.

⁴ Entende-se por características do material como o conjunto de atributos próprios, como a sua natureza (composição química), estado físico (pó, pedra, peças) e aspecto (cor, odor, forma); por outro lado, propriedades são os atributos que definem um nível de qualidade para um determinado emprego (CIN-COTTO, 1995, p.1).

II.1.1. Camada de regularização

De maneira geral, essa camada é representada pelo emboço, mas pode estar ausente caso a cerâmica seja assentada diretamente sobre a alvenaria ou outras superfícies. Entretanto, quando essa camada existir, seus objetivos visam proporcionar uma superfície de características e propriedades adequadas para receber as placas cerâmicas.

Assim, pode-se dizer que a camada de regularização deve possuir:

- resistência mecânica: necessária para proporcionar capacidade de suporte para as placas;
- planeza: tem por finalidade facilitar o assentamento das placas sem a necessidade de acúmulo de argamassa adesiva em pontos localizados; saliências ou depressões podem prejudicar o acabamento final e sua influência é tanto mais perceptível quanto maior a dimensão das placas. A NBR 13755 (ABNT, 1996, p.8) sugere o limite de 3mm para saliências/depressões quando medidas com uma régua de 2m de comprimento;
- capacidade para absorver deformações: uma vez que o comportamento da camada de acabamento pode ser bastante distinto do comportamento da base, é importante que haja uma camada intermediária que distribua e “absorva” movimentações diferenciais, atenuando seu efeito sobre as placas cerâmicas. Esta é uma função importante da camada de regularização que, se não estiver presente, pode significar o surgimento de manifestações patológicas precoces e de difícil solução, podendo prejudicar seriamente o desempenho do revestimento cerâmico;
- homogeneidade e regularidade superficial: facilita o espalhamento da argamassa, induz o mesmo comportamento de todas as placas e evita o surgimento de tensões localizadas.

II.1.2. Camada de fixação

A camada de fixação é a responsável por unir as placas cerâmicas ao substrato. Para tanto, podem ser utilizadas as tradicionais argamassas de cimento e areia dosadas em obra e que promovem principalmente aderência mecânica, as argamassas adesivas industrializadas, que promovem aderência química e mecânica, e as resinas de reação, que promovem principalmente aderência química.

Medeiros (1999) apresenta detalhes das várias argamassas utilizadas e um breve resumo a respeito do assunto é apresentado a seguir.

II.1.2.1. Argamassas dosadas em obra

Preparadas em obra geralmente a partir da mistura de cimento, cal e areia, cedem crescente lugar às argamassas adesivas industrializadas, seja pela facilidade de preparo e aplicação ou pela maior homogeneidade, o que é característica de um produto industrializado.

II.1.2.2. Argamassas adesivas industrializadas

As de base cimentícia são classificadas como AC I, AC II, AC III e AC III-E. Pelas recomendações da NBR 14081 (ABNT, 1998), as argamassas do tipo I são destinadas ao uso interno; as do tipo II são para uso externo, suportando esforços decorrentes de flutuações higrotérmicas, da chuva e do vento; as do tipo III, além dos requisitos das do tipo II, devem resistir a elevados esforços de cisalhamento.

As do tipo III-E possuem as mesmas exigências das do tipo III, mas devem apresentar um tempo em aberto⁵ maior. Embora a referida norma especifique argamassa tipo II e III para uso externo, ela não estabelece parâmetros ou limitações que embasem uma decisão técnica. Assim, pode-se pensar em uso externo como sendo as paredes de um simples sobrado ou mesmo a empena de um edifício de 25 pavimentos, sendo fácil perceber que são duas situações com características distintas e com requisitos de desempenho completamente diferenciados.

As argamassas industrializadas podem ser mono ou bicomponentes, sendo que ambas são produzidas como uma mistura seca formada, basicamente, por cimento Portland, agregados e aditivos em pó que têm o objetivo de melhorar algumas propriedades do produto final.

No caso das monocomponentes, a parte líquida é representada apenas por água limpa, adicionada imediatamente antes da aplicação. No caso das bicomponentes, a parte líquida é representada no todo ou em parte por uma emulsão polimérica que também tem a função de melhorar algumas propriedades do produto final.

⁵ O tempo em aberto é definido pela NBR 14083 (ABNT, 1998, p.2) como o intervalo máximo entre a extensão da argamassa sobre o substrato padrão e a aplicação das placas cerâmicas que resulte em aderência média de 0,5MPa.

Não há uma relação direta entre o desempenho das argamassas mono ou bicomponentes, mas de modo geral estas últimas possuem desempenho superior quanto aos requisitos de aderência e flexibilidade.

II.1.2.3. Pastas de resinas e resinas de reação

As pastas de resina são constituídas basicamente por resinas sintéticas, como as vinílicas e as acrílicas. As resinas de reação são as colas (como o epóxi) e geralmente são constituídas por dois ou mais componentes fornecidos em separado e que devem ser misturados em proporções bem determinadas no momento da aplicação.

II.1.3. Camada de acabamento

A camada de acabamento é composta pelas placas cerâmicas e pelas juntas de assentamento já preenchidas com rejunte. Alguns detalhes importantes sobre as placas são abordados na seqüência, mas não em profundidade por não ser este o objetivo do trabalho. Os rejuntas, entretanto, são abordados em detalhe após a visão básica do revestimento cerâmico.

Por serem utilizadas tanto em ambientes internos como externos para a produção de revestimentos de pisos e paredes, as placas cerâmicas estão sujeitas às mais variadas condições de exposição. Assim, além das características estéticas, as placas cerâmicas precisam apresentar propriedades que garantam desempenho adequado ao longo de sua vida útil. A NBR 13817 (ABNT, 1997), a fim de qualificar as placas cerâmicas e facilitar sua especificação, propõe as seguintes classificações:

- quanto à esmaltação: placas esmaltadas (**GL**azed) e não esmaltadas (**Un-GL**azed). É bastante comum, também, o uso do termo *vidrado* como referência às placas esmaltadas. O próprio termo *glazed* faz alusão ao vidro, mesmo porque a composição do esmalte aplicado sobre o corpo cerâmico assemelha-se à composição desse material;
- quanto ao método de fabricação: extrudadas⁶ (A), prensadas (B) e outros processos⁷ (C);

⁶ Algumas referências usam o antigo termo *marombado*. Maromba é o nome dado à máquina que força uma massa plástica através de um bocal com formato determinado, de maneira semelhante a uma extrusora.

⁷ Outro processo pode ser, por exemplo, a conformação de peças complexas por meio de moldes que absorvem a água da massa em estado de barbotina.

- quanto à absorção de água: a absorção das placas cerâmicas, classificada conforme a Tabela II.1, tem grande influência no tipo de argamassa adesiva a ser utilizada, já que as argamassas cimentícias isentas de aditivos proporcionam aderência apenas pelo efeito de ancoragem mecânica.

Assim, baixa absorção significa baixa penetração de pasta nos poros das placas e pequeno efeito de ancoragem. Um exemplo desse fato ocorre com os porcelanatos, placas de absorção quase nula, que necessitam de argamassa especial que promova aderência mesmo sob essas condições.

Além do aspecto da aderência, outro ponto importante a ser observado é que placas cerâmicas que serão utilizadas em ambientes externos devem ter absorção máxima de 6% e, nos casos de climas frios sujeitos ao congelamento, esse valor cai para 3% (GOLDBERG, 1998, p.111).

Tabela II.1. Grupos de absorção de água segundo a NBR 13817 (ABNT, 1997)

Grupo: faixa de absorção (%)	Grupo A Extrudado	Grupo B – Prensado (Exemplo)	Grupo C Outro processo
Ia: $0 \leq \text{abs} < 0,5$	A I	B Ia (Porcelanato)	C I
Ib: $0,5 \leq \text{abs} < 3$		B Ib (Grés)	
IIa: $3 \leq \text{abs} < 6$	A IIa	B IIa (Semi grés)	C IIa
IIb: $6 \leq \text{abs} < 10$	A IIb	B IIb (Semi-poroso)	C IIb
III: $\text{abs} \geq 10$	A III	B III (Poroso)	C III

- quanto à abrasão superficial: o ensaio de abrasão consiste em submeter a superfície esmaltada das placas cerâmicas ao atrito de esferas de aço de tamanhos padronizados durante um número fixo de ciclos numa câmara rotativa. Dependendo da quantidade de ciclos necessária para provocar alterações na superfície, as placas são classificadas conforme a Tabela II.2.

Quanto maior o número de ciclos necessários para provocar alterações no esmalte, maior é a classificação PEI da placa. Entretanto, uma exceção importante ocorre para o PEI V: embora algumas placas apresentem resistência à abrasão superior aos 12.000 ciclos, a NBR 13818 (ABNT, 1997, p.22) indica que, para uma placa receber a classificação PEI V, ela deve também apresentar resistência ao manchamento após a realização do ensaio de desgaste por abrasão, fator que não é exigido para níveis PEI de 0 a 4. Dessa forma, embora algumas placas resistam ao número de ciclos requeridos pelo PEI V, elas não podem ser classificadas como tal porque não resistem adequadamente ao manchamento pós-abrasão.

No caso dos porcelanatos polidos, embora no varejo seja comum seu enquadramento na classificação PEI V devido à sua grande resistência à abrasão, existe um certo equívoco a esse respeito. A ISO 10545:Part 7 (ISO, 1995) - origem da NBR 13818, anexo D - especifica o ensaio para determinação do índice PEI apenas para placas esmaltadas, o que não é o caso dos porcelanatos polidos.

Tabela II.2. Classes de resistência à abrasão segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)

Classificação quanto à resistência à abrasão			
Grupo PEI ⁸	Ciclos ⁹	Resistência	Ambientes de aplicação (não sugeridos na norma)
PEI 0	100	Muito baixa	Uso exclusivo em paredes. Não usado em pisos.
PEI I	150	Baixa	Banheiros residenciais, quartos de dormir.
PEI II	600	Média	Ambientes sem portas para o exterior, banheiros.
PEI III	750, 1.500	Média alta	Cozinhas residenciais, corredores, <i>hall</i> de residências, quintais.
PEI IV	2.100, 6.000, 12.000	Alta	Áreas comerciais, entradas de hotéis, <i>show rooms</i> , salões de vendas, lojas, bares, bancos.
PEI V	≥ 12.000	Muito alta e sem encardido	Áreas públicas: <i>shopping centers</i> , aeroportos, padarias, <i>fast-foods</i> , terminais rodoviários.

Mesmo que o índice PEI fosse aplicado a essas placas, sua classificação máxima seria PEI IV, já que elas não resistem ao manchamento mesmo antes da abrasão. Entretanto, numa visita do autor a uma grande loja de materiais de construção, dos 32 porcelanatos polidos disponíveis, 30 possuíam classificação PEI V do próprio fabricante e os outros dois estavam sem etiqueta descritiva;

- quanto ao ataque químico e ao manchamento: em ambos os casos as placas são submetidas à ação de agentes padronizados, sendo então avaliada a alteração da superfície. A Tabela II.3 mostra as classes de resistência ao ataque químico e a Tabela II.4 mostra a classificação quanto à resistência ao manchamento, ambas propostas pela NBR 13818 (ABNT, 1997).

De maneira geral, as placas esmaltadas apresentam boa resistência ao manchamento, fato esse que pode ser atribuído à absorção nula e à baixíssima rugosidade proporcionada pelo esmalte. Entretanto, no caso dos

⁸ PEI – Porcelain Enamel Institute.

⁹ Ciclos do ensaio de abrasão superficial segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997), Anexo D.

porcelanatos, que pertencem ao grupo Bla (Tabela II.1), o manchamento pode manifestar-se rapidamente nas peças polidas.

Tabela II.3. Classes de resistência química segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)

Agentes químicos		Níveis de resistência aos produtos químicos		
		A Ótima resistência	B Ligeira alteração	C Alteração bem definida
Ácidos e bases	Alta concentração (H)	H A	H B	H C
	Baixa concentração (L)	L A	L B	L C
Produtos domésticos e piscinas		A	B	C

A explicação para isso, segundo Arantes *et al* (2001), pode ser dada pelo fato de que o polimento provoca a abertura de poros anteriormente confinados numa massa monolítica, expondo-os ao meio exterior. Assim, mesmo sendo o porcelanato um material de absorção muito baixa, a quebra da matriz original provocada pelo polimento deixa a superfície com porosidade exposta, proporcionando a impregnação de vários tipos de sujidades e dando origem ao manchamento.

Tabela II.4. Classes de resistência a manchas segundo a NBR 13818 (ABNT, 1997)

Classe	Descrição da remoção das manchas
Classe 5	Máxima facilidade de remoção de manchas.
Classe 4	Mancha pode ser removida com produto de limpeza fraco.
Classe 3	Mancha pode ser removida com produto de limpeza forte.
Classe 2	Mancha pode ser removida com ácido clorídrico ou acetona.
Classe 1	Mancha não pode ser removida sem danificar a peça.

Esse tipo de manchamento pôde ser comprovado com um ensaio simples: uma pequena porção de iodo foi aplicada sobre uma placa de porcelanato, tanto na face polida como em seu tardo. Após um dia de descanso, a lavagem com água retirou facilmente a marca do produto sobre o tardo, mas a face polida apresentou alteração de cor e brilho no ponto atingido mesmo após sofrer lavagem com escova e produtos de limpeza.

Com relação à resistência química, o ITC (1994, p.27) bem relembra que o revestimento selecionado para um ambiente precisa resistir aos produtos de limpeza que ali serão aplicados. Quanto a isso, as placas cerâmi-

cas esmaltadas representam uma ótima escolha, pois são altamente resistentes aos mais variados produtos utilizados na limpeza doméstica.

O parágrafo anterior finaliza a introdução sobre as placas cerâmicas, onde foram abordados alguns conceitos importantes que serão úteis no decorrer deste trabalho. A partir deste ponto, são abordados em detalhes os rejuntas para revestimento cerâmico e, dada sua importância no escopo deste texto, é dado a eles o mesmo nível de tópico do revestimento em si, muito embora sejam apenas um componente da camada de acabamento.

II.2. REJUNTES PARA REVESTIMENTO CERÂMICO

Por meio da análise do modo como um revestimento cerâmico é executado, ou seja, com o posicionamento seqüencial de placas justapostas e sua posterior calafetação, pode-se deduzir a função básica do rejunte: preencher os espaços vazios entre as placas cerâmicas após seu assentamento. Maiores detalhes, entretanto, revelam que o rejunte possui várias funções cruciais para o sucesso do revestimento cerâmico, sendo elas abordadas em profundidade no capítulo seguinte (p. 35).

Uma vez que é comum o uso de diversos termos para designar o rejunte, como rejuntamento, massa de rejunte, argamassa de rejunte, pasta de rejunte etc. e de não existir diferenças práticas entre eles, este texto adota a denominação proposta na seqüência e, embora a consulta aos dicionários de Michaelis (1998) e Ferreira (1999) mostre que o termo “rejunte” inexistente na língua portuguesa, ele é empregado neste trabalho porque representa uma terminologia consagrada e amplamente usada em várias regiões do país.

O projeto de norma 18:406.05-001:2001 – **Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Especificação** adota o conceito seguinte:

- “A.R. - argamassa de rejuntamento: mistura industrializada de cimento Portland e outros componentes homogêneos e uniformes, para aplicação nas juntas de assentamento de placas cerâmicas, classificada segundo o ambiente de aplicação e requisitos mínimos conforme a Tabela 1 desta norma.”

Para efeito deste texto, os vocábulos *rejunte* e *rejuntamento* são utilizados como segue:

- **rejunte**: composto destinado a preencher as juntas entre as placas cerâmicas, apresentando-se trabalhável durante a etapa de aplicação e endurecendo após um certo período de tempo. Tal composto pode ser argamassa, nata de cimento, resina epóxi ou qualquer outro, todos especificados de maneira conveniente a atender funções específicas;
- **rejuntamento**: ato ou ação de preencher as juntas entre placas cerâmicas com um composto específico para tal função, ou seja, o rejunte.

II.3. REQUISITOS COMUNS AOS DIFERENTES TIPOS DE REJUNTE

Independente de qual seja a composição do rejunte especificado para uma dada situação, é importante mencionar que ele precisa atender a alguns requisitos de desempenho, pois as solicitações presentes em um ambiente dependem do uso a que ele se destina e não do tipo de rejunte utilizado.

O BRE DIGEST 137 (BRE, 1972) propõe alguns requisitos gerais que norteiam a tarefa do projeto de juntas, conforme mostrado na Tabela II.5. Nem todos os itens ali propostos são relevantes para os rejuntas e alguns deles podem ser importantes apenas para alguns casos específicos. Outros, entretanto, são importantes e intrínsecos ao próprio material, passando despercebidos em uma análise superficial.

Tabela II.5. Princípios do projeto de juntas (adaptado do BRE, 1972)

Função/propriedade	Requisitos
Controle do meio ambiente	Opor-se à passagem de: água, vapor, ar, calor, luz, som, radiação, insetos e vermes, plantas, sementes, raízes e pólen, odores.
Capacidade de carga	Resistência à compressão, à tração, à torsão, ao impacto, à flexão, ao cisalhamento.
Manutenção	Permitir completa remoção e reexecução.
Acomodação de movimentos	Das próprias peças devido ao calor e à umidade; da estrutura, por vibração e fluência.
Fixação	Suportar componentes ligados em uma ou mais direções; resistir aos movimentos diferenciais dos componentes ligados; fixar componentes à estrutura.
Durabilidade	Resistir a temperaturas extremas, aos ciclos de frio e calor, à luz e ao ar poluído; resistir à vibração do ar ou da estrutura, ondas de choque e sons de alta intensidade, radiação eletromagnética; resistir aos danos por plantas e microorganismos e à ação não autorizada do homem.
Aparência	Ter aparência aceitável, evitar proliferação de algas, plantas, mofo ou aparecimento de eflorescências e resistir ao manchamento.
Econômica	Ter reduzidos aspectos de custo inicial, manutenção e depreciação.

A Tabela II.5, entretanto, tem um caráter amplo e teórico, mesmo porque refere-se a juntas no caso geral. Uma vez que as juntas de assentamento restringem o escopo proposto pelo BRE, faz-se necessário tecer comentários relevantes para o caso específico de um revestimento cerâmico.

Assim, o ITC (1994, p.44) expõe três itens balizadores importantes para a seleção de placas cerâmicas: sua posição (vertical ou horizontal), sua situação (ambiente externo ou interno) e seu uso (comercial, residencial, industrial). Esses itens definem as ações e os agentes externos que solicitam o revestimento e, conseqüentemente, que ele deve suportar ao longo de sua vida útil.

Uma vez que o rejunte é aplicado entre as placas cerâmicas, supõe-se que os itens que norteiam a seleção das placas sejam, conceitualmente, os mesmos que norteiam a seleção do tipo de rejunte.

Migrando então do caráter geral da Tabela II.5 para itens com maior significação prática, o ITC (1987, p.325) e a BS5385: Part 1 (BSI, 1995, p.6) propõem os seguintes fatores de importância na seleção do rejunte:

- resistência mecânica; resistência à abrasão e resistência ao impacto; dureza;
- resistência química e resistência aos agentes de limpeza;
- resistência biológica (desenvolvimento de mofo e fungos);
- resistência à água, ao calor e ao congelamento: o congelamento pode não ser importante em algumas regiões de clima quente. Por outro lado, é muito importante no caso de câmaras frigoríficas;
- porosidade e resistência ao manchamento: esses parâmetros estão muito ligados à absorção de água;
- trabalhabilidade¹⁰: o rejunte precisa apresentar boa trabalhabilidade para que possa preencher facilmente 100% do volume livre das juntas;
- limpabilidade¹¹: o rejunte deve ser limpo com os mesmos produtos utilizados na limpeza das placas cerâmicas;
- capacidade de retenção de água: para que compostos baseados em cimento desenvolvam todas as demais propriedades, a presença de água é

¹⁰ O conceito de trabalhabilidade é muito subjetivo, mas adaptando aquele proposto por Sabbatini (1989), o rejunte tem boa trabalhabilidade quando: distribui-se facilmente, preenchendo todas as juntas; "agarra" à ferramenta de aplicação quando transportado mas não quando distribuído; não segrega ao ser transportado; não endurece em contato com placas de alta sucção e permanece plástico por tempo suficiente.

¹¹ Esse termo não existe nos dicionários, mas é bastante comum na literatura e se refere à capacidade que um dado material possui de retornar à aparência original após o processo de limpeza.

fundamental para o processo de cura, particularmente quando o material é aplicado sobre substratos com absorção elevada ou em locais de clima quente e seco;

- potencial de retração: a retração pode dar origem a fissuras na interface placa/rejunte ou no próprio rejunte, dando origem a caminhos para a penetração de agentes deletérios;
- aderência: o rejunte precisa estar bem aderido à lateral das placas e à camada de substrato, trabalhando em conjunto com as demais camadas do revestimento;
- resiliência e compressibilidade: ao sofrer variações dimensionais, o revestimento cerâmico impõe esforços ao rejunte, que deve suportá-los sem queda de desempenho. Findos os esforços, o rejunte deve retornar ao estado inicial;
- estabilidade de cor: sendo o aspecto estético um fator muito importante no revestimento cerâmico, o rejunte precisa manter sua coloração frente às condições do ambiente para o qual foi especificado;
- largura das juntas: uma vez especificado esse parâmetro, é feita a seleção de um rejunte conveniente. É importante ressaltar que a largura das juntas é dependente da espessura das placas cerâmicas, já que as juntas devem ter largura suficiente para permitir a fácil penetração do rejunte até o fundo, evitando a formação de bolsas de ar e pontos ocultos. Juntas muito estreitas para placas de espessura elevada dificultam e até inviabilizam a penetração do rejunte, o que pode causar futuros problemas de desagregação.

Assim como o exposto na Tabela II.5, nem todos os fatores listados acima podem ser adequados ou exigidos em todas as situações. Por exemplo, não faz sentido preocupar-se com resistência ao congelamento se o rejunte não estará sujeito a tais condições. Então, cabe ao projetista decidir quais os requisitos de desempenho mais importantes e optar pelo rejunte que melhor atenda às suas necessidades.

II.4. TIPOS DE REJUNTE

Por muito tempo, cimento Portland puro, cimento branco, cimento branco com alvaiade¹² e nata de cimento Portland foram utilizados para preencher as juntas de assentamento das placas, embora deixassem a desejar em relação a algumas características importantes para seu desempenho segundo as exigências atuais. Entretanto, isso não pode ser tomado como uma crítica, mesmo porque esses eram os materiais mais adequados para a época.

Até hoje podem ser encontrados revestimentos cerâmicos fixados com a técnica do bolão (placas assentadas com a aplicação de uma porção de argamassa no tardo) e rejuntados com cimento branco em perfeitas condições. Ao final do assentamento das placas com essa técnica, uma prática bastante comum era a aplicação (com rodo) de nata de cimento sobre o piso, efetuando-se a primeira limpeza após um pequeno período de tempo, suficiente para proporcionar a pega inicial do cimento. A limpeza final era feita com ácido clorídrico diluído (BORGES, 1974, p.180).

Com o desenvolvimento da tecnologia e o surgimento de aditivos¹³ específicos, houve sensível mudança em algumas propriedades importantes dos rejuntas, como por exemplo: estabilidade de cor, resistência a manchas, baixa retração, baixa absorção de água, alta resistência de aderência, um certo grau de flexibilidade, capacidade de aplicação em juntas estreitas e largas, superfície lisa e de fácil limpeza, dureza apropriada, resistência à abrasão etc. Entretanto, como não é possível obter o máximo desempenho em todos os requisitos, o projetista precisa decidir quais os mais importantes e selecionar o rejunte adequado às suas necessidades (ANSI A118.6, 1992, p.47).

Uma vez que os aditivos disponíveis são variados, a produção de rejuntas com propriedades otimizadas necessita de controle de produção e dosagem adequada, o que se pode conseguir com maior eficácia por meio da industrializa-

¹² Designação comum de vários pigmentos brancos venenosos que contêm chumbo. Nesse caso, é um pigmento formado por carbonato básico de chumbo ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) com alto poder de cobertura e alta resistência ao desenvolvimento biológico pelo fato de incorporar metais pesados em sua fórmula. O vocábulo alvaiade provém do árabe *al+beyde* (branquear) e o produto é também conhecido como branco-de-chumbo, branco-de-prata e cerusa (do latim *cerussa*).

Disponível em: <http://ciarte.no.sapo.pt/material/pigmento/br_pb.htm>. Data de acesso: abr.2003.

¹³ Segundo a NBR 11768 (ABNT, 1992), entende-se que aditivos são produtos adicionados em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland com o objetivo de modificar algumas de suas propriedades e melhor adaptá-las a condições específicas. A ASTM C125 (ASTM, 2002) estende um conceito semelhante também para argamassas.

ção. Hoje, os rejuntas industrializados estão disponíveis basicamente das seguintes formas:

- rejuntas cimentícios monocomponentes: apresentam-se como uma parte em pó que necessita apenas de adição de água imediatamente antes da aplicação. Como este é o tipo de rejunte mais comum, o termo monocomponente não acompanha sua especificação. Embora não recebam aditivos líquidos durante o preparo, podem incorporar aditivos em pó na sua formulação;
- rejuntas cimentícios bicomponentes: apresentam-se como duas partes distintas, com uma fração granular seca e outra na forma de emulsão aquosa (aditivo líquido), bastando efetuar a mistura na hora da aplicação;
- rejuntas de base orgânica: são materiais geralmente compostos por dois ou mais componentes pré-dosados que, quando misturados, formam uma pasta homogênea pronta para aplicação. Como exemplos mais comuns, existem os selantes elastoméricos, as resinas epóxi e as resinas furânicas.

Embora não exista uma norma brasileira que classifique os tipos de rejunte segundo sua composição, este trabalho usará uma classificação semelhante àquela adotada pela ANSI A118.5-8 (ANSI, 1999), que define requisitos para rejuntas monocomponentes, bicomponentes e para os rejuntas epóxi e furânico. Essa norma, entretanto, não menciona os termos monocomponente e bicomponente, sendo essa uma designação mais usual no Brasil.

II.4.1. Rejuntas à base de cimento

Alguns textos internacionais propõem classificações para os tipos de rejuntas existentes e, embora com nomenclatura levemente diferenciada, todos representam basicamente o mesmo composto, onde o aglomerante principal é representado pelo cimento Portland.

As referências consultadas não fazem alusão à terminologia monocomponente e bicomponente, mas descrevem apenas o material em pó e alguns aditivos líquidos que podem ser incorporados na hora da aplicação. Os termos mais comuns são *standard grout* e *polymer modified grout*, sendo que este último engloba tanto as misturas de polímeros em pó quanto as de polímeros na forma líquida.

II.4.1.1. Rejuntas dosados em obra

Os rejuntas dosados em obra podem ser a nata de cimento e as misturas de cimento e areia, sendo tratados internacionalmente conforme exposto na Tabela II.6. A nata de cimento pode ser usada para o preenchimento de juntas de pequena largura, sendo que a ANSI A118.6 (ANSI, 1999, p.83) sugere 3mm no máximo e Byrne (1995, p.44) sugere 1,6mm. Para juntas de maior largura, deve ser incorporada areia na mistura, minimizando problemas com retração acentuada. Goldberg (1998, p.141) ressalta que rejuntas tipo nata de cimento não são adequados para uso externo devido à grande variação dimensional da pasta quando exposta aos ciclos de secagem/umedecimento, o que resulta em micro fissuração.

No caso de misturas de cimento e areia, elas são representados por traços distintos dos dois componentes, sendo que a ANSI A108.10 (ANSI, 1999, p.53) e o ITC (1994, p.201) propõem (em volume):

- para juntas até 3mm: traço 1:1 (cimento:areia graduada);
- para juntas até 13mm: traço 1:2 (cimento:areia graduada);
- para juntas acima de 13mm: traço 1:3 (cimento:areia graduada).

Tabela II.6. Rejuntas dosados em obra

Autor/Entidade	Designação para o rejunte	Comentários
BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10).	Rejunte de cimento e areia (cement:sand grout).	Indicado para juntas de largura superior a 3mm.
AS 3958.2 (AS, 1992, p.18).	Rejunte de cimento e areia (sand-cement grout).	Não estabelece limites para largura de junta.
ITC (1994, p.200).	Rejunte de cimento (lechada de cemento).	Para juntas até 3mm, nata de cimento. Para juntas maiores, acrescenta-se areia.
Goldberg (1998, p.140)	Convencional (conventional cement/cement-sand grout).	Indicado para juntas até 12mm.
ANSI A118.6 (ANSI, 1999, p.83); TCA (2002, p.7).	Rejunte de cimento e areia (sand-portland cement grout).	Indicado para juntas de largura superior a 3mm.
Projeto de norma NBR ¹⁴	-	-

Para Goldberg (1998, p.141), o traço 1:2 (cimento:areia) é adequado para juntas até 13mm (½") e a AS 3958.2 (AS, 1992, p.18) especifica o traço 1:2-4 (cimento:areia fina). A BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10) bem ressalta que esses tipos de compostos necessitam de umedecimento das juntas, já que têm baixa capacidade de retenção de água; Goldberg (1998, p.141) indica uma necessária cura úmi-

¹⁴ Projeto de norma 18:406.05-001:2001: A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas e pastilhas de porcelana - Requisitos e métodos de ensaio.

da por pelo menos 72h para proporcionar a adequada hidratação do cimento, evitando perda de resistência mecânica e cor ao longo de sua vida útil. Quanto ao tipo de cimento, o ITC (1987, p.299) indica o uso do cinza ou branco, sendo o cinza indicado para locais de maior possibilidade de impregnação de sujidades.

Como uma argamassa de cimento e areia é pouco trabalhável e perde água rapidamente, pode-se adicionar cal à mistura para minimizar esses problemas. Entretanto, pelo fato de tratar-se de um composto sem controle da matéria-prima, a ANSI A118.6 (ANSI, 1999, p.83) classifica os rejuntas dosados em obra apenas como materiais aceitáveis para juntas, não apresentando métodos de ensaio ou requisitos de desempenho específicos.

De maneira geral, misturas de cimento e areia feitas em obra apresentam baixo controle de produção quando comparados aos produtos industrializados, sendo que seu uso deve ser evitado quando possível. Podem apresentar problemas de retração, possuem elevada rigidez, suas propriedades são fortemente influenciadas pelas condições de cura e apresentam aderência deficiente em placas de baixa ou alta absorção.

II.4.1.2. Rejuntas industrializados

Ao contrário dos rejuntas dosados em obra, os produtos industrializados têm a vantagem do controle de produção e a qualidade de matéria-prima, o que resulta em boa garantia de homogeneidade tanto em termos estéticos quanto em propriedades mecânicas após a aplicação. São compostos basicamente por cimento, corantes, retentores de água, agregados miúdos selecionados e polímeros em forma de pó redispersível, além de cargas minerais específicas de cada fabricante. A designação internacional para esses rejuntas está exposta na Tabela II.7.

A BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10) e a AS 3958.2(AS, 1992, p.18) citam o *proprietary grout* como uma mistura baseada em cimento e areia modificada pela inclusão de vários tipos de aditivos e pigmentos, bastando adicionar água para obter um produto de consistência adequada e de coloração uniforme. Para placas com absorção a partir de 10% (placas porosas), a AS 3958.2(AS, 1992, p.18) cita que é necessário o umedecimento das juntas antes da aplicação.

O ITC (1994, p.201) usa o termo *dry-set* (utilizado também pela ANSI até 1998 e descontinuado em 1999) para misturas pré-fabricadas à base de cimento, areia adequada, resinas, pigmentos e outros aditivos que lhes conferem alta capacidade de retenção de água, sendo indicadas para aplicação em áreas internas e

externas, inclusive piscinas. Esse instituto não recomenda molhar as placas antes do rejuntamento, a não ser em casos de condições extremas de calor, vento e baixa umidade do ar. Afora esses casos, enfatiza que a capacidade de retenção de água do rejunte proporciona uma cura mais eficiente do cimento, o que resulta em maior resistência final do rejunte.

Tabela II.7. Rejuntas industrializadas

Autor/Entidade	Designação para o rejunte	Comentários
BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10).	Rejunte industrializado (<i>proprietary grout</i>).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó. Podem receber adições poliméricas (<i>admixtures to grouts</i>).
AS 3958.2 (AS, 1992, p.18).	Rejunte industrializado (<i>proprietary portland cement grout</i>).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	Rejunte modificado (<i>modified grout</i>).	Disponíveis como: rejunte (monocomponente) industrializado (<i>proprietary product</i>); rejunte bicomponente (<i>two-part proprietary product</i>); aditivos para mistura com rejunte monocomponente.
ITC (1994, p.201).	Rejuntas tipo dry-set.	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	Rejuntas tipo cimento-látex.	Compostos por uma parte seca em pó e um aditivo líquido.
Byrne (1995, p.44)	Nata de cimento (<i>plain grout</i>).	Mistura de cimento e aditivos para juntas até 1,6mm.
	(<i>Sanded grout</i>).	Mistura de cimento, areia e aditivos para juntas maiores que 1,6mm.
Goldberg (1998, p.140).	Rejunte modif. com polímeros (<i>polymer modified cement grout</i>).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	Rejunte com látex (<i>Látex cement grout</i>).	Rejunte preparado em obra ou industrializado a ser misturado com um aditivo líquido.
ANSI A108.10 (ANSI, 1999, p.53); ANSI A118.7 (ANSI, 1999, p.87); TCA (2002, p.7).	Rejunte modif. com polímeros (<i>polymer modified tile grout</i>).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó ou na forma de emulsão aquosa.
	Rejunte comum (<i>standard cement grout</i>).	Mistura de cimento e outros produtos, pode conter areia (<i>sanded grout</i>) ou não (<i>unsanded grout</i>).
Projeto de norma NBR ¹⁴ .	Rejuntas Tipo I e II.	Uso interno e externo respectivamente. Disponíveis como junta fina e junta larga.

Por sua vez, Byrne (1995, p.44) expõe o rejunte tipo *plain grout*, para juntas até 1,6mm, como sendo essencialmente uma mistura de cimento e aditivos que lhe conferem algumas características, como por exemplo fácil espalhamento e reduzido tempo de cura. Para juntas acima de 1,6mm, esse mesmo autor cita o

rejunte tipo *sanded grout* como sendo o *plain grout* adicionado de areia de granulometria proporcional à largura da junta em que a mistura será aplicada.

Goldberg (1998, p.141) não usa o termo *dry-set* proposto pelo ITC (1994, p.201), mas cita o *rejunte de cimento modificado com polímeros*¹⁵ como uma mistura aditivada com polímeros redispersíveis em pó que compensam a reduzida trabalhabilidade e prematura perda de água das argamassas de cimento-areia, em especial quando utilizadas em fachadas.

Esse autor comenta ainda que, embora haja grande variação nas fórmulas de diferentes fabricantes, elas pouco contribuem para a flexibilidade e resistência de aderência, propriedades fundamentais para rejuntas externas. Ademais, elas precisam ser formuladas especificamente para uso externo quando esse for o destino do rejunte.

A ANSI A118.6 (ANSI, 1999, p.83) cita o *standard sanded grout* como uma mistura industrializada de cimento Portland, areia graduada e outros componentes, resultando numa mistura densa, resistente à água, de coloração uniforme e destinada a juntas de largura maior ou igual a 3mm e o rejunte tipo *standard unsanded* (sem agregado miúdo) como uma mistura industrializada de cimento e aditivos que proporcionam retenção de água e que é adequada para juntas de largura menor ou igual a 3mm.

Analisando todos os conceitos propostos pelas referências supracitadas, pode-se concluir que os rejuntas industrializados monocomponentes são compostos basicamente por cimento, agregado miúdo selecionado e aditivos em forma de pó redispersível, o que resulta num composto com desempenho otimizado tanto no estado fresco como ao longo de sua vida útil quando comparado com os rejuntas dosados em obra.

Analisando agora os rejuntas conhecidos como bicomponentes no Brasil, eles são formados por uma parte em pó e outra na forma de uma emulsão aquosa, destinada a otimizar algumas propriedades dos rejuntas preparados apenas com água. Podem ser adicionadas emulsões poliméricas do tipo SBR (estireno butadieno), PVAc (polivinil acetato) e resinas acrílicas e estirenadas. Pelas informações da AS 3958.2 (AS, 1992, p.18) e do ITC (1994, p.201), pode-se listar algumas funções dos aditivos: proporcionar menor absorção de água; ajudar na cura do

¹⁵ Do inglês *Polymer Modified Cement Grout*.

cimento; formar juntas mais compactas; melhorar a resistência à abrasão; reduzir a permeabilidade e melhorar a compressibilidade e a flexibilidade do rejunte; aumentar a aderência à lateral das placas; eliminar a necessidade de cura úmida.

A BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10) usa o termo *Admixtures to grouts* para designar a parte líquida, ressaltando que deve ser usada estritamente de acordo com as instruções do fabricante. Já a ANSI A108.10 (ANSI, 1999, p.53) usa o termo *Polymer modified tile grout*, indicando aditivos poliméricos ou outros tipos de produtos líquidos (ou mesmo em pó) que podem ser incorporados à parte seca do rejunte.

Goldberg (1998, p.141) enfatiza que os aditivos precisam ser formulados especificamente para uso externo (caso seja essa a sua aplicação) e Byrne (1995, p.44) afirma que rejuntas aditivados mantêm por mais tempo sua cor original e são mais resistentes à penetração de água. O ITC (1994, p.124) sugere que, quando o revestimento cerâmico estiver sujeito à ação da água, o rejunte deve ser bicomponente, como resinas epóxi ou outros materiais especiais. Como esse instituto não especifica exatamente o que é estar sujeito à ação da água, cabe ao projetista decidir em quais locais sua aplicação seria recomendável, como por exemplo em piscinas, áreas de banho, cozinhas industriais etc.

O ITC (1987) sugere que o rejunte cimentício deve ser bicomponente quando for aplicado em fachadas, em placas de elevada porosidade, piscinas, terraços, pisos com juntas largas e tráfego intenso que requerem propriedades mecânicas melhoradas e boa aderência.

No mercado nacional são muito comuns os rejuntas monocomponentes, mas alguns fabricantes começam a fornecer aditivos líquidos que substituem a água (no todo ou em parte) no momento da aplicação. Além desse fato, existem alguns aditivos comercializados separadamente e que podem ser adicionados aos rejuntas para modificar suas propriedades. Nesse caso, o especificador precisa ter conhecimento do material em pó e da parte líquida, de modo a evitar incompatibilidades químicas no composto final que podem ocasionar problemas de durabilidade e desempenho.

A Tabela II.8 apresenta um resumo de alguns rejuntas fornecidos por fabricantes nacionais, sendo que os principais parâmetros utilizados na classificação são a largura da junta e seu destino (uso interno/externo).

Além disso, alguns fabricantes fornecem também rejuntas com propriedades especiais para aplicação em pedras naturais (granito, ardósia, mármore) e em

porcelanatos, minimizando problemas de manchamento e de riscamento e proporcionando aderência adequada à lateral das placas.

Tabela II.8. Alguns dos rejuntas cimentícios disponíveis no mercado

Fabricante	Junta (mm)			Indicação de uso	
	Fina	Larga	Qualquer	Apenas interno	Externo/interno
Quartzolit	2 a 3	4 a 10	2 a 10	-	√
Eliane	até 3	3 a 13	-	-	√
Rejuntabras	até 4	acima de 4	-	-	√
Portokoll	até 3	3 a 13	-	√	√
JuntaPam	-	-	2 a 15	-	√

II.4.2. Rejuntas de base orgânica

De maneira geral, esses rejuntas são utilizados em locais que exigem desempenho superior em alguns requisitos, como flexibilidade, aderência e resistência térmica. Os mais comuns são os de resina¹⁶ epoxídica¹⁷, amplamente encontrados para venda a varejo; mesmo assim, sua aplicação pelo usuário final requer um mínimo de habilidade e cuidados, sob pena de danos ao revestimento. Os rejuntas especiais necessitam de mão-de-obra altamente qualificada e os selantes são pouco usados como rejunte. Esses três compostos são abordados na seqüência.

II.4.2.1. Rejunte epóxi

A palavra epóxi tem sua origem no grego "EP" (que significa *sobre ou entre*) e do inglês "OXI" (de *oxigênio*) e o termo significa oxigênio entre carbonos. Em um sentido geral, o termo refere-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. As resinas epoxídicas podem conter vários grupos químicos diferentes e podem apresentar-se na forma líquida, semi-sólida e sólida, dependendo do tamanho da cadeia formada (SILAEX, 2002).

O rejunte epóxi endurece por reação química alcalina, o que o torna compatível com o PH elevado do cimento (MARSYLA, 1996). Em geral, é fornecido na forma de três componentes que devem ser misturados imediatamente antes do

¹⁶ Resina é a parte não volátil do composto e que serve para aglomerar os demais componentes. São obtidas na indústria química ou petroquímica por meio de reações complexas, originando polímeros com características e propriedades adequadas ao uso a que se destina (FAZENDA, 1995, p.47).

¹⁷ A escolha da nomenclatura de resina epóxi ou epoxídica não apresenta nenhum padrão e, pelas regras gramaticais, entende-se que epóxi é um substantivo (resina de base epóxi) e epoxídica é um adjetivo derivado do substantivo (resina epoxídica), de modo que ambos podem ser citados sem incorrer em erros gramaticais.

uso: resina, catalisador e agregado selecionado. Após o período de cura, resiste a ambientes com variação de temperatura de -40°C a +100°C, embora possa sofrer alteração de tonalidade nos limites das temperaturas extremas.

As principais características do rejunte epóxi são:

- apresenta boa resistência à variação de cor e tonalidade;
- não fissa, não libera poeira e apresenta textura lisa que facilita a limpeza e dificulta a impregnação de sujidades;

Tabela II.9. Resistência química do rejunte epóxi (Quartzolit, 2003)

Produto químico*	Exposição		
	Contínua	Intermitente	Respingo
Leite			
Vinho			
Etanol			
Permanganato de potássio a 10%			
Permanganato de potássio a 1%			
Ácido Tânico a 50%			
Ácido Tartárico a 50%			
Ácido Fosfórico a 80%			
Ácido sulfúrico a 20%			
Ácido Oxálico a 10%			
Ácido Lático a 5%			
Hidróxido de sódio a 50%			
Ácido Benzóico a 5%			
Água do mar			
Suco de frutas			
Metano			
Clorofórmio			
Cloreto de metileno			
Tolueno			
Xileno			

Legenda: - resiste ao produto - não resiste ao produto

* O rejunte epóxi resiste a uma série de outros produtos químicos, mas nesta tabela estão expostos os mais comuns. Para produtos específicos e explicações mais detalhadas, o fabricante deve ser consultado.

- apresenta aderência elevada às placas cerâmicas e forma uma junta totalmente impermeável à água e ao vapor. A aderência também é elevada no esmalte das placas, de modo que o material precisa ser removido antes do endurecimento;

- é ideal para rejuntamento em locais destinados ao armazenamento de produtos alimentícios e outros locais que requerem ótimas condições de higiene (laboratórios, hospitais), pois além da alta resistência química (ver Tabela II.9), apresenta boa resistência às manchas, não altera os alimentos e é de fácil limpeza e esterilização (ITC, 1994, p.242).

Após realizar estudos sobre revestimentos cerâmicos em áreas onde a higiene é um fator fundamental, Jones (1994, p.261) cita que o rejunte epóxi deve ser utilizado em todas as juntas, não devendo existir vazios que possam permitir o crescimento de microorganismos; também, seu acabamento superficial deve ser tão liso quanto possível. Apenas as resinas de reação, segundo esse autor, usualmente aquelas baseadas em epóxi, são capazes de produzir uma superfície com absorção praticamente nula;

- deve ser aplicado até 20-30min após a mistura, pois ganha consistência rapidamente, o que justifica seu preparo em pequenas quantidades. A temperatura de aplicação varia aproximadamente de 15°C a 30°C, sendo que endurece tanto mais rápido quanto maior a temperatura ambiente;
- requer habilidade para que possa ser aplicado, os produtos envolvidos são prejudiciais à saúde e a técnica de aplicação deve ser seguida corretamente. Embora o rejunte epóxi esteja disponível no varejo, sua aplicação pelo usuário final deve ser cuidadosa, pois algum erro de aplicação que resulte em restos do material sobre as placas pode danificar o revestimento de maneira irreversível;
- é de difícil aplicação em juntas estreitas, pois sua consistência dificulta a penetração. De maneira geral e com base na prática laboratorial do autor, juntas com profundidade maior do que o dobro da largura exigem esforço extra para uma aplicação adequada.

No caso de fachadas, o uso de rejuntas epóxi é desaconselhado por Goldberg (1998, p.142) por duas razões principais. A primeira é que seu uso combinado com placas de baixa absorção cria uma barreira contínua ao vapor de água que pode aprisionar umidade ou água infiltrada, dando origem a problemas de deterioração da parede ou até delaminação do revestimento, dependendo do tipo de substrato. A segunda é devida ao fato de que rejuntas epóxi são muito sensíveis a altas temperaturas ambientais durante a aplicação, ocasionando baixo tempo de vida da mistura, trabalhabilidade inferior e dificuldade de acabamento.

II.4.2.2. Rejuntas especiais

Quando se trata da aplicação de revestimentos em locais que sofrem substanciais agressões químicas, variações térmicas ou solicitações mecânicas, como em pisos industriais revestidos com cerâmica anti-ácida, o rejunte deve apresentar desempenho adequado quanto a esses quesitos. Nesses casos, tanto o rejunte quanto o assentamento podem ser executados com o mesmo produto, já que o revestimento será solicitado sob condições extremas.

Normalmente, os rejuntas especiais são compostos por dois ou três componentes (resina e catalisador; resina, catalisador e agregado) que devem ser misturados com ferramentas próprias imediatamente antes da aplicação. A ASTM C658 (ASTM, 1998) cita que as resinas líquidas utilizadas podem ser furânicas, epoxídicas, éster-vinílicas ou qualquer outra capaz de formar um composto com resistência química. Também, cita que o agregado pode ser fornecido como um componente isolado ou pré-misturado com a resina ou com o catalisador.

A Tabela II.10 apresenta alguns dados sobre uma linha de produtos disponível no mercado. Algumas das propriedades expostas podem sofrer alterações para adaptarem-se a requisitos específicos. Como exemplo, a substituição de um tipo de agregado por outro pode aumentar as resistências química e térmica do produto final. Também, é importante ressaltar que o material precisa ser curado adequadamente antes de ser exposto às solicitações máximas a que estará sujeito, evitando que seu desempenho final seja prejudicado.

Como o número de variáveis envolvidas num processo industrial é bastante elevado (temperatura, PH, tipo de agente, tempo de exposição etc.), é necessário que se tenha conhecimento específico dos materiais para que seja feita a melhor opção para cada caso, sendo inviável descrever detalhadamente a aplicação e composição de cada tipo de composto. Assim, a melhor especificação deve ser feita em conjunto com o fabricante dos produtos.

Dentre os quatro rejuntas expostos na Tabela II.10, o uso da resina furânica é bastante comum. Trata-se basicamente de um álcool especial que é catalisado por um ácido, formando um composto termofixo de excelente resistência química, física e térmica, embora essas propriedades sejam grandemente influenciadas pelo tipo de agregado adicionado à mistura. São geralmente utilizados em plantas de cervejarias, destilarias, cozinhas industriais e apresentam ótima resistência aos

Tabela II.11. Requisitos de rejuntas orgânicos (adaptado da ASTM C658, 1998)

Variável	Ensaio na temperatura de 23 ± 2°C		
	Resina furânica	Resina epóxi	Resina éster-vinílica
Tempo máximo para atingir resistência de serviço.	7 dias	7 dias	7 dias
Resistência à compressão mínima aos sete dias.	28 MPa	52 MPa	52 MPa
Resistência à tração mínima aos sete dias.	4 MPa	8 MPa	9 MPa
Máxima absorção de água.	0,5%	0,5%	0,4%
Máxima retração linear aos sete dias.	1,0%	0,4%	1,0%

II.4.2.3. Selantes à base de silicone¹⁸ e à base de uretanos

Embora esses materiais também possam ser utilizados com a função de rejunte tradicional, eles são mais aplicados em locais que exigem grandes movimentações diferenciais, alta aderência e resistências à tração e compressão. Aderem muito bem às esquadrias de alumínio e outros materiais, suportando as variações térmicas diferenciais entre superfícies distintas (GOLDBERG, 1998, p.142).

De maneira geral, não apresentam retração e possuem boa elasticidade; são aplicados diretamente da embalagem e não devem ser usados em locais destinados à alimentação, salvo se possuírem orientação expressa do fabricante (ITC, 1994, p.202).

II.5. GUIA PARA SELEÇÃO DE REJUNTES

Após a discussão dos vários termos utilizados internacionalmente na especificação dos rejuntas, faz-se necessário um resumo orientativo sobre o uso de cada um deles. Esse estudo foi desenvolvido pelo TCA (2002, p.11) e é apresentado de forma resumida na Tabela II.12; embora não tenha por objetivo dirimir todas as dúvidas que podem surgir na fase de especificação, serve de guia para nortear a decisão de escolha segundo alguns aspectos fundamentais.

¹⁸ Do Inglês *Silicone Rubber Grout*.

Tabela II.12. Guia para seleção de rejuntas (adaptado do TCA, 2002, p.11)

Pi = piso Pr = parede		Rejuntas cimentícias (com areia na composição)		Rejuntas de base orgânica		
		Dosado em obra ANSI A 118.6	Industria- lizado ^{4,9} ANSI A 118.7*	Epóxi ^{1,3,4,6} ANSI A 118.8	Furânico ^{1,3,4,6} ANSI A 118.5	Silicone ^{2,4}
Tipo de placa	Cerâmica esmalhada ⁷	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr		
	Mosaico	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr		Pr
	Porcelanato de grande dimen- são ⁸	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi	Pr
Tipo de uso	Baixa exposição à água	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr
	Áreas molhadas ¹⁰	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr
	Áreas externas ^{8,9,10}	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr	Pi/Pr ⁴	Pi/Pr
Desempenho A=melhor, E=pior	Sugestão de largura de junta (mm) ⁵	3 - 15	3 - 15	1,5 - 13	9 - 13	1,5 - 6
	Resistência ao manchamento	E	C	A	A	B
	Resistência à fissuração	E	C	B	C	C
	Cores disponíveis	D	B	B	preto	B

= não indicado.

Pi = piso, Pr = parede.

* A ANSI A118.7 trata de rejuntas modificados com polímeros, sejam em forma líquida ou pó redispersível. Os rejuntas industrializados enquadram-se nessas especificações.

1. usado principalmente onde há exigências químicas;
2. ferramentas especiais são necessárias para aplicação. Silicones não devem ser usados em área de alimentação a menos que sejam formulados especificamente para tal;
3. são necessárias ferramentas e técnicas especiais na limpeza;
4. seguir recomendações do fabricante;
5. larguras sugeridas. Consultar fabricante para maiores detalhes;
6. verificar temperatura máxima de exposição;
7. alguns tipos de cerâmicas e pedras naturais podem ser riscadas se o rejunte contiver areia. Antes de utilizar, executar um teste prévio ou consultar o fabricante;
8. alguns tipos de placas e pedras naturais podem ser manchados por rejuntas coloridos. Rejuntas brancos são os mais indicados para pedras claras;
9. rejuntas bicomponentes podem ser indicados para áreas sujeitas ao congelamento;
10. rejuntas coloridos podem escurecer quando molhados.

FUNÇÕES DO REJUNTE DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Fonte: ITC (1987)

Este capítulo tem por objetivo descrever as funções que os rejuntas exercem no revestimento cerâmico e explicitar as propriedades e características relacionadas com cada uma dessas funções. Sendo o principal capítulo desta dissertação, além de cumprir o objetivo anterior, ele visa conscientizar o leitor de que o rejunte é um componente do revestimento cerâmico tão essencial quanto qualquer outro para o desempenho do conjunto.

Objetivo específico a ser atingido

3. identificar e discutir as funções do rejunte e sua importância para o desempenho do revestimento cerâmico.

**A IGNORÂNCIA NÃO NOS EXIME
DA RESPONSABILIDADE.**

Autor desconhecido

As funções dos rejuntas estão diretamente relacionadas com as propriedades e características do composto aplicado. Ou, em outras palavras, o cumprimento de uma determinada função por parte do rejunte implica no fato de que o material deve apresentar uma ou mais propriedades bem definidas.

Quanto maiores as solicitações a que o revestimento cerâmico está exposto, maiores também são os esforços que atuam sobre o rejunte. Por exemplo, a capacidade de deformação do rejunte é muito mais importante numa fachada que recebe insolação e está sujeita a ciclos higrotérmicos do que na maioria dos revestimentos internos, que sofrem variações dimensionais menos intensas. No entanto, embora a fachada seja um ponto crítico de aplicação e desempenho do revestimento cerâmico, este capítulo aborda todas as funções dos rejuntas, independente de qual seja seu local de aplicação.

Assim, as funções mais importantes dos rejuntas podem ser enumeradas como:

- auxiliar no desempenho estético do revestimento;
- estabelecer regularidade superficial;
- compensar variação de bitola e facilitar assentamento das placas;
- vedar o revestimento cerâmico;
- permitir difusão de vapor de água;
- proporcionar alívio de tensões;
- otimizar aderência das placas.

Nos itens seguintes, cada uma dessas funções é abordada em detalhes, mas nenhuma ordem de importância será estabelecida porque uma determinada função pode ser mais importante do que outra dependendo do tipo de uso que se dá ao revestimento cerâmico.

Um ponto importante é que uma determinada função pode não ter relevância em alguns casos. Por exemplo, a difusão de vapor não pode ser uma das funções do rejunte epóxi porque sua composição química o torna impermeável ao vapor de água. Conseqüentemente, onde essa função tiver um certo grau de

importância, o rejunte epóxi não pode ser utilizado e sua especificação representaria um erro conceitual.

III.1. AUXILIAR NO DESEMPENHO ESTÉTICO DO REVESTIMENTO

Dentre as características do rejunte, a coloração, a textura e o acabamento homogêneo são fundamentais para a aparência final do revestimento. Enquanto cores de rejunte semelhantes à cor das placas tendem a deixar o pano de revestimento com aspecto contínuo, cores discrepantes ressaltam o efeito de modularidade da superfície revestida (ITC, 1987, p.296). Por exemplo, pastilhas escuras rejuntadas com materiais claros obtêm um bom contraste quando observadas a curtas distâncias, mas apresentam uma coloração uniforme quando observadas a longas distâncias.

Quanto ao acabamento final do rejunte, ele pode ser dado de forma plana e rente às placas cerâmicas (Figura III.1), eliminando as reentrâncias, ou pode ser frisado como mostra a Figura III.3. Nesse caso, vale ressaltar que quanto mais profundo for o friso, maior a possibilidade do acúmulo de sujeiras indesejáveis. De modo geral, o acabamento frisado é usado em conjunto com placas rústicas¹⁹ ou com placas de borda chanfrada. Para placas de borda reta (90°), como os porcelanatos, em geral é executado o acabamento plano das juntas.

Figura III.1. Acabamento plano e nivelado das juntas

Uma vez que as juntas fazem parte de maneira inseparável do revestimento cerâmico, sua importância não só é patente no resultado estético, mas também é determinante na hora de decidir o número de peças diferentes e sua disposição

¹⁹ O termo rústico apresenta diversos conceitos, mas talvez o que mais se adapte seja o de impolido e tosco. Neste trabalho, é usado pelo autor para identificar placas com acabamentos foscos ou com detalhes em relevo sobre as peças, com brilho não muito intenso. Alguns fabricantes apresentam linhas específicas com a designação de rústicas.

sobre a base. Então, durante o projeto do revestimento, deve ser feito um estudo da largura de junta de forma a minorar o número de recortes, proporcionando uma execução racionalizada e de melhor qualidade.

Além disso, algumas disposições de placas, como as expostas na Figura III.2, impõem uma única possibilidade de largura de junta, sendo que o fator estético pode tornar-se muito mais importante do que as considerações técnicas envolvidas (ITC, 1994, p.80).

Figura III.2. Influência da largura das juntas na estética do revestimento

III.2. ESTABELECEER REGULARIDADE SUPERFICIAL

Além do aspecto estético do acabamento frisado ou plano do rejunte, o tipo frisado pode ser inconveniente em algumas situações, como no caso de um revestimento em pisos de supermercados, onde a reentrância das juntas poderia expor as bordas das placas ao impacto danoso e tornar muito incômodo o tráfego sobre rodas. Esse aspecto, entretanto, tem importância relevante para pisos, já que nos revestimentos de paredes não há solicitação mecânica desse tipo.

No caso de placas chanfradas, o acabamento frisado é usual e até necessário, já que o chanfro impossibilita o acabamento plano do rejunte (Figura III.3). Mesmo que o rejunte fosse aplicado sobre o chanfro, ele apresentaria problemas de aderência porque essa região possui o mesmo acabamento vidrado da placa.

Nos ensaios realizados em laboratório, a aderência do rejunte sobre o vidrado foi nula com alguns produtos e baixa com outros (0,04MPa), enquanto que

sobre o tardo da placa a resistência de aderência situou-se em torno de 0,8MPa. O mecanismo de aderência do cimento explica esses valores, que serão motivo de maiores comentários no item V.1.4 (p.95).

Figura III.3. Acabamento frisado em placas chanfradas

III.3. COMPENSAR VARIAÇÃO DE BITOLA E FACILITAR ASSENTAMENTO DAS PLACAS

Os próprios textos que estabelecem a normalização das placas cerâmicas apresentam tolerâncias para suas dimensões, sejam eles nacionais ou internacionais. Essas variações de bitola são inevitáveis e decorrem de todas as etapas de fabricação por que passam as placas cerâmicas, embora possam apresentar valores praticamente desprezíveis se existir uma etapa pós queima em que as placas passam por uma etapa de retificação, o que lhes garante tamanho uniforme e altamente preciso.

Admitindo que as placas possuem variações dimensionais, sua colocação com junta seca resulta em uma malha descontínua delimitada pelo desencontro das inúmeras juntas entre as placas. Para que isso não ocorra, as juntas devem absorver de maneira imperceptível pequenas variações de tamanho das placas e proporcionar o efeito de modularidade. Como bem cita Goldberg (1998, p.140), as juntas precisam ter largura suficiente para acomodar as variações das placas sem deixá-las evidentes.

A colocação com junta seca unicamente seria aceitável se as circunstâncias de execução fossem absolutamente favoráveis, ou seja, suporte totalmente estável e sem variações dimensionais, ambientes secos e de temperatura constante, placas estáveis frente à umidade etc. Como é altamente improvável que isso

aconteça, é prudente que sejam executadas as juntas de assentamento (ITC, 1994, p.193).

Mesmo no caso de placas de rocha, gabaritadas em seu tamanho e passíveis de assentamento com junta seca, sempre existe uma junta entre as peças e o contato nunca é perfeito, o que implica na existência de caminhos livres para a entrada de água e outros agentes deletérios. É conveniente, então, a existência de juntas preenchidas com rejunte adequado.

Além de compensar essa variação dimensional, outro aspecto importante relacionado às juntas é o fato de que elas facilitam a remoção de peças individuais em caso de necessidade. Quanto maior for sua largura, com maior facilidade o rejunte poderá ser removido sem dano às placas adjacentes. Ademais, as juntas facilitam o próprio manuseio das peças na etapa de assentamento, possibilitando pequenos ajustes e o alinhamento individual. Caso não existam, um pequeno defeito localizado é transmitido a todo o conjunto e a somatória de imperfeições impossibilita o trabalho final com aspecto estético aceitável.

Na opinião deste autor, mesmo que se possa imaginar placas perfeitamente retilíneas, esquadrejadas e sem variações de bitola, seu assentamento com junta seca continua sendo impossível, pois na prática de obra não se pode assumir que as juntas estão isentas de resíduos e que proporcionam alinhamento adequado. Assim, a melhor opção é executar o revestimento com juntas de largura adequada às dimensões das placas.

III.4. VEDAR O REVESTIMENTO CERÂMICO

Uma vez que as placas cerâmicas são assentadas de maneira justaposta e com o espaço das juntas entre todas elas, o rejunte, como material de enchimento, tem por função evitar a passagem de agentes deletérios para trás do revestimento ou, em outras palavras, tem a função de vedar o revestimento cerâmico. O enfoque que aqui é dado resume-se ao fato de impedir a passagem de água líquida, que pode levar ao surgimento de manchas provenientes de lixiviação, danos por ciclos de secagem/umedecimento e outros danos expostos por Goldberg (1994, p. 233):

- eflorescência: uma explicação para esse fenômeno encontra-se no Anexo A;

- cripto-eflorescência: eflorescência que ocorre logo abaixo de uma superfície impermeável à água líquida mas que permite a passagem de vapor;
- latex leaching: manifestação de aparência semelhante à eflorescência, mas que resulta no surgimento de manchas “emborrachadas” sobre as placas cerâmicas. Tais manchas são resultantes do uso de argamassas/rejuntas modificados com polímeros não adequados para uso externo e que acabam por sofrer reemulsão quando em presença de água;
- danos por congelamento: importante para casos de peças com absorção superior a 10% em peso, a pressão dos cristais de gelo pode romper parte ou comprometer totalmente o revestimento em regiões sujeitas a temperaturas abaixo de 0°C;
- corrosão de peças metálicas;
- condensação intersticial: ocorre quando a umidade interna da parede transforma-se em água líquida pelo fato de a temperatura atingir o ponto de orvalho para uma dada situação;
- deterioração de acabamentos internos: causada pela proliferação de organismos biológicos.

Para a penetração de água nas paredes de vedação executadas em alvenaria, Agopyan (1978, p.68) cita que ela pode ocorrer através dos seguintes pontos:

- juntas não preenchidas por argamassa;
- fissuras capilares entre a argamassa e a peça de alvenaria (bloco ou tijolo);
- fissuras na argamassa;
- a própria argamassa;
- o próprio bloco ou tijolo.

Uma analogia desses casos pode ser levada aos revestimentos cerâmicos, imaginando que se entenda tijolo ou bloco como sendo uma placa cerâmica. Nesse caso, o último dos cinco itens da lista pode ser eliminado porque raramente há penetração de água através de placas cerâmicas (exceto em casos de defeitos), embora Goldberg (1994, p.232) cita o fato de penetração de umidade pelo corpo de placas porosas erroneamente especificadas para uma dada situação. Ignorando tal possibilidade, o acesso da água limita-se a quatro pontos:

- por juntas não preenchidas ou mal preenchidas: em uma fachada de um prédio de 15 pavimentos (3m entre pavimentos) com dimensões em planta de 10x10m, tem-se aproximadamente 1800m² (4 x 15 x 3 x 10) de área reves-

tida. Supondo um total de 1.000m² (descontos por conta das aberturas de janelas e sacadas) onde são aplicadas placas de tamanho 10cmx10cm, chega-se a um total de 20.000ml (metros lineares) de juntas a serem preenchidas. Assim, é razoável supor a ocorrência de alguma falha que, eventualmente, pode levar ao manchamento, à eflorescência ou à penetração de água em ambientes internos.

Pode acontecer, também, que a junta esteja preenchida apenas superficialmente, formando uma capa frágil que pode desagregar-se após alguns meses da entrega da obra. Observou-se essa ocorrência, por exemplo, em um revestimento de piso em porcelanato que apresentava juntas muito estreitas para a aplicação do rejunte epóxi. Além disso, o rejunte perdeu trabalhabilidade rapidamente devido à temperatura ambiente elevada e sua penetração nas juntas foi impossível, de modo que o aplicador apenas pôde preenchê-las superficialmente. Embora tenha sido usado um material de custo elevado e de desempenho superior quando comparado aos rejuntas cimentícios, a qualidade do serviço ficou comprometida por dificuldade de aplicação.

Analisando a relação profundidade/largura das juntas, a Figura III.4 apresenta três condições.

Figura III.4. Condições para rejuntamento conforme largura da junta

No caso da Figura III.4c, a relação profundidade/largura é muito elevada e dificulta a penetração do rejunte, deixando a junta com baixa resis-

tência e grande probabilidade de deterioração precoce, o que implica em fácil penetração de água e agentes deletérios.

Essa situação pode ser agravada, por exemplo, pela adição de água ao rejunte cimentício com o objetivo de deixá-lo mais fluído, o que pode ocasionar aumento de porosidade, queda de resistência e desagregação prematura;

- por fissuras entre o rejunte e a placa cerâmica: as fissuras podem acontecer por vários motivos, como, por exemplo, cura debilitada por condições ambientais agressivas, retração excessiva da argamassa, argamassa com retenção de água incompatível com o tipo de placa, aplicação do rejunte em juntas com restos de argamassa e/ou sujidades e poeira, utilização de rejunte para junta fina em junta larga e vice-versa, excesso de água de amassamento, movimentação excessiva do substrato, fadiga do rejunte por ciclos higrotérmicos etc.

Além desses fatores, o contato entre o rejunte e a placa cerâmica limita-se a poucos milímetros de espessura e algumas placas apresentam esmalte nas laterais devido às etapas do processo de fabricação. Desse modo, a aderência à lateral das placas fica ainda mais debilitada, o que pode vir a comprometer o desempenho do rejunte.

Grimm (1982, p.179), após uma compilação de mais de 200 artigos sobre permeabilidade à água, conclui que os locais mais susceptíveis à infiltração são as fissuras entre a alvenaria (por analogia, a placa cerâmica) e a argamassa de assentamento (por analogia, o rejunte) e entre a alvenaria e outros elementos construtivos. Imaginando que esses sejam os pontos mais frágeis e susceptíveis ao aparecimento de fissuras, Birkeland; Svendsen *apud* Grimm (1982, p.179) mostraram que a penetração de água ocorre em fissuras com abertura acima de 0,1mm e que a capilaridade toma importância a partir de aberturas menores que 0,5mm;

- por fissuras no rejunte: essas fissuras podem ocorrer pelos mesmos motivos expostos no item anterior, mas nesse caso o corpo do rejunte é atingido pelas fissuras;
- através do corpo do rejunte: aqui, o rejunte não apresenta compacidade suficiente para evitar que a água o transpasse. Goldberg (1998, p.140) cita que dificilmente um rejunte (cimentício) proporciona uma vedação 100%

confiável, pois sempre existem pontos de infiltração por efeitos de capilaridade ou chuvas de vento que penetram através de micro-fissuras.

III.5. PERMITIR DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

Uma das propriedades das vedações e seus respectivos acabamentos é serem permeáveis ao vapor da água, contribuindo para o equilíbrio higrotérmico entre dois ambientes distintos.

Quando um revestimento cerâmico é aplicado, grande parte da área revestida torna-se totalmente impermeável ao vapor e à água líquida, pelo próprio fato de que as placas o são. O único local que pode ser permeável ao vapor é o rejunte entre as placas. Como bem cita o ITC (1994, p.190), o duplo comportamento de impermeabilidade à água líquida e permeabilidade ao vapor é desejável na prática e só é conseguido com o uso de materiais que não sejam demasiadamente compactos ou duros e que não sofram fissuras de retração.

O ITC (1994, p.190) faz recomendações quanto à área mínima recomendável de juntas em relação à área revestida. Assim, para locais em que a troca de vapor é desejável (saunas, câmaras frigoríficas), esse instituto recomenda que a porcentagem de juntas deve estar entre 10% e 15% da área revestida, não sendo inferior a 5%. A Tabela III.1 (p.49) apresenta alguns exemplos dessa porcentagem de juntas em relação à área total revestida.

Goldberg (1998, p.140) cita que a difusão de vapor é uma importante função dos rejuntas e que algumas normas e códigos de obras requerem que um mínimo de 10% da superfície revestida seja permeável ao vapor de água, seja ele oriundo de infiltração ou da condensação da umidade do ar. Além disso, esse mesmo autor cita que, caso a umidade confinada pela baixa permeabilidade do revestimento sofra condensação intersticial, pode ter início uma deterioração interna da vedação (Goldberg, 1998, p.17).

Levando em conta as orientações anteriores e após análise da Tabela III.1 (p.49), pode-se perceber que placas maiores que 30cm exigem juntas com largura acima do limite especificado para os rejuntas tipo junta larga, que são adequados para juntas até aproximadamente 12mm (para 10% de área de juntas).

Mesmo no caso do limite inferior de 5% para a área líquida de juntas, grandes placas (50x50cm, 40x60cm) requerem juntas demasiadamente largas, o que torna inviável a execução do revestimento até por questões estéticas. Além disso,

o acabamento do rejunte torna-se trabalhoso para juntas muito largas e, pelos trabalhos laboratoriais realizados por este autor, uma largura superior aos 10-12mm já introduz uma certa dificuldade para manter a regularidade superficial e o bom acabamento do rejunte.

Esse impasse pode ser interpretado de duas maneiras distintas: 1ª) caso se opte por valorizar esta função do rejunte, deve ser estabelecido um tamanho máximo de placa passível de ser utilizado, abrindo mão do uso de placas de grandes dimensões. Isso pode ocorrer, por exemplo, no caso de saunas e câmaras frigoríficas; 2ª) caso se opte pelo uso de placas de grandes dimensões, deve-se relegar a segundo plano essa função do rejunte. Esse tipo de decisão deve ser tomado pelo projetista do revestimento, que precisa ponderar os fatores intervenientes no projeto e optar pelos de maior importância, seja ela técnica ou estética.

III.6. PROPORCIONAR ALÍVIO DE TENSÕES

Os edifícios precisam ser considerados como um conjunto complexo de mecanismos, não como um objeto fisicamente inerte. Sua forma e a natureza dos materiais utilizados precisam ser avaliados, mesmo porque efeitos muito significativos são originados nas interações entre eles.

Pelo fato de o revestimento cerâmico ser composto de componentes e elementos diversos (rejunte, placas cerâmicas, argamassa adesiva e substrato), é certo supor que cada um deles apresente também propriedades distintas. Dessa forma, qualquer movimentação originada em algum deles será transmitida aos demais através dos seus pontos de interligação.

No caso do revestimento cerâmico, um ponto crítico é a argamassa adesiva que, quando atinge seu limite de resistência de aderência, leva ao deslocamento local ou generalizado que pode comprometer a segurança dos usuários. Os esforços que atuam sobre a camada de fixação podem ter diversas origens, como por exemplo a retração da argamassa de regularização, a deformação lenta da estrutura, a movimentação higrotérmica da estrutura e do próprio revestimento, a reação do edifício aos esforços dinâmicos etc. Entretanto, seja qual for a origem dos esforços, eles podem levar o revestimento a dois estados, compressão e tração.

III.6.1. Revestimento cerâmico sujeito à tração

Para que o revestimento cerâmico esteja submetido à tração, sua expansão foi de menor amplitude do que aquela apresentada por sua base. Isso pode acontecer, por exemplo, nos pontos onde uma laje apresenta momento negativo ou numa fachada aquecida pelo Sol e que sofre choque térmico devido à ocorrência de chuva.

No caso das lajes, podem ocorrer fissuras no rejunte, quebra de placas por flexão ou simplesmente "descolamento" das peças. Como trata-se de revestimento horizontal, o perigo para os usuários é mínimo e os danos concentram-se no quesito estético. Quando se pensa em revestimentos verticais, particularmente os de fachada, as conseqüências de uma falha mudam de importância e podem incorrer em risco para os usuários. Entretanto, a influência de fenômenos cíclicos (choques térmicos) frente às tensões de cisalhamento decorrentes do "encurtamento" das placas pode tornar-se um assunto complexo.

Além disso, como os dois casos supracitados não levam o revestimento ao estado em que o rejunte sofre tensões de compressão, sua função de alívio de esforços carece de importância. Como isso vai de encontro ao enfoque deste texto, este item não será abordado em maiores detalhes.

III.6.2. Revestimento cerâmico sujeito à compressão

De maneira semelhante ao revestimento cerâmico sujeito à tração, a compressão resulta de uma variação de tamanho entre o revestimento e sua base. Um exemplo bastante comum desse fato se deve à dilatação térmica da camada de acabamento, que atinge maiores temperaturas antes da camada de regularização pelo fato de estar diretamente exposta às condições atmosféricas.

A dilatação térmica depende da temperatura e das características da placa em questão. Placas de diferentes composições apresentam coeficientes de dilatação diferenciados. Para uma mesma placa, entretanto, cores mais escuras indicam maior absorção de energia, maior aumento de temperatura e maior dilatação, o que resulta no surgimento de tensões mais elevadas sobre a camada de fixação. Em sua tese, Campante (2001, p.390) apresenta várias medições de temperatura em placas de cores diferentes e chega a valores de quase 70°C para placas escuras e 48°C para placas claras, ambas sob insolação e posicionadas na fachada oeste. Isso contribui para explicar os casos em que um revestimento de

fachada sofre colapso apenas nos locais onde estão assentadas placas de cores escuras.

Uma vez que o rejunte tem papel fundamental no comportamento do revestimento cerâmico comprimido, uma explicação detalhada de como isso ocorre faz-se necessária e é exibida na sequência.

A Figura III.5 ilustra uma placa assentada sobre a camada de regularização e sujeita a um aumento de temperatura. Nesse caso, o único impedimento para seu aumento de tamanho é representado pela aderência da placa ao substrato, o que se reverte numa tensão de cisalhamento na interface placa-argamassa adesiva tanto maior quanto maiores forem a variação de temperatura e o módulo de deformação das placas cerâmicas.

Figura III.5. Dilatação térmica de uma placa cerâmica assentada

Já na Figura III.6, várias placas estão submetidas ao mesmo aumento de temperatura. Se o rejunte oferecer resistência à deformação (ou se for executado assentamento com junta seca), a placa mais interna será também a de maior confinamento, pois todas as demais restringem-se à sua dilatação devido aos esforços transmitidos pelo rejunte pouco deformável. Uma vez que maior confinamento significa maiores tensões, a placa central torna-se a mais solicitada.

Extrapolando esse raciocínio para um grande pano de revestimento, as placas mais internas estão confinadas por todas as demais ao seu redor, chegando o ponto em que as tensões tornam-se demasiadamente altas, ultrapassam a resistência de aderência e rompem a argamassa adesiva, o que pode provocar flambagem da camada de acabamento conforme mostrado na Figura III.7. Por esse motivo é que devem ser previstas juntas de dilatação a intervalos regulares e utilizados rejuntas de baixo módulo de deformação, limitando as tensões a valores

não prejudiciais e evitando a formação de panos com comprimentos de flambagem elevados.

a) temperatura das placas: T_1 .

b) temperatura das placas: $T_2 > T_1$.

Figura III.6. Dilatação térmica de várias placas cerâmicas assentadas

Por outro lado, se as juntas de assentamento forem preenchidas com um elastômero, as placas dilatam-se sem que haja restrição lateral significativa, o comportamento individual é semelhante ao exposto na Figura III.5 e não há acúmulo de tensões de compressão. Assim, o uso de juntas preenchidas com material de baixo módulo e/ou o uso de um grande número de juntas (uso de placas de pequenas dimensões) proporcionam um alívio dessas tensões prejudiciais ao revestimento cerâmico, exercendo um efeito moderador sobre o conjunto.

Figura III.7. Força que impede flambagem do revestimento (adaptado do BRE, 1979)

No caso dos revestimentos executados com junta seca, eles possuem basicamente o mesmo módulo de deformação das placas cerâmicas e o efeito moderador das juntas não existe, o que faz com que haja uma maior solicitação da argamassa adesiva. Conclui-se, então, que as juntas devem existir em largura adequada e devem apresentar um bom comportamento elastoplástico, sendo que isso torna-se imprescindível particularmente quando são esperadas deformações apreciáveis do suporte (ITC, 1994, p.134 e p.189).

A largura adequada das juntas, entretanto, é um assunto complexo e carece de estudos detalhados. Alguns textos sugerem valores, mas todos precisam ser encarados apenas como orientativos. O ITC (1987, p.299) propõe larguras de juntas de assentamento de acordo com o tipo de material das placas (Tabela III.1) e, como a nomenclatura original foi mantida, a Tabela III.2 apresenta a classificação italiana proposta por Palmonari; Timellini (1989, p.17).

Tabela III.1. Largura de juntas de assentamento (adaptada do ITC, 1987)

Revestimento	Formato (cm)	Espessura (mm)	Junta (mm)	Junta/menor lado (%)	% de juntas ²⁰
Mosaico Grés, grés porcelânico, porcelana.	2 x 2	4	1 - 2	5 - 10	9,1 - 16,5
	2,5 x 2,5	4	2	8,0	13,7
	5 x 5	4	2	4,0	7,4
<i>Azulejo de mayólica, grés.</i>	10 x 10	5	2	2,0	3,8
	15 x 15	5 - 6	2 - 3	1,4 - 2	2,6 - 3,8
	20 x 20	8	3	1,5	2,9
	20 x 30	8	3 - 4	1 - 1,3	2,4 - 3,2
Revestimento em exteriores: <i>Azulejo de mayólica, grés, klinker.</i>	15 x 15	6	4 - 6	2,6 - 4	5,1 - 7,4
	20 x 20	8	6	3,0	5,7
	20 x 30	8	6	2,0	4,8
	30 x 30	8	6	2,0	3,8
	25 x 25	12	10	4,0	7,4
Pavimentos em interiores e exteriores: Grés, grés porcelânico, <i>Klinker</i> .	20 x 20	8	6	3,0	5,7
	31 x 31	8	6 - 8	2 - 2,6	3,7 - 4,9
	40 x 40	8	8 - 10	2 - 2,5	3,8 - 4,8
	10 x 20	12	10	5,0	13,0
	25 x 25	12	10 - 12	4 a 4,8	7,4 - 8,7

Por fim, um último ponto importante deve ser mencionado: o uso de espaçadores plásticos durante o assentamento. Por um lado, eles podem facilitar a etapa de execução e, por outro, podem contribuir para a deterioração precoce do revestimento por três inconvenientes principais.

O primeiro deles se resume ao fato de que prejudicam a aderência do rejunte e o preenchimento total da junta de assentamento, ficando cobertos por uma fina camada que pode destacar-se mais facilmente do que nos demais pontos (onde o rejunte está bem aplicado e tem boa espessura), particularmente

²⁰ para uma peça de lados L, C e largura de junta e, o percentual de juntas foi calculado como

$$\% = \frac{e(L+C)}{(L+e)(C+e)}$$

quando o revestimento fica sujeito a estados elevados de compressão (HARTOG, 2002). Isso pode levar o revestimento a estados patológicos já mencionados anteriormente (eflorescência, manchamento, umidade interna etc).

Tabela III.2. Classificação da cerâmica p/ revest. – adaptada de Palmonari; Timellini (1989)

	Tipo	Abs. (%)	Moldagem	Principal uso
Vitrado	<i>Mayólica</i>	15 - 25	Compressão	Paredes internas.
	<i>Cottoforte</i>	4 - 15	Compressão	Pisos internos.
	Cer. branca monoqueima	0 - 6	Compressão	Pisos.
	Cer. vermelha monoqueima	0 - 12	Compressão	Pisos.
	<i>Klinker</i>	0 - 7	Extrusão	Paredes externas, pisos.
Não vitrado	<i>Cotto</i>	3 - 15	Extrusão	Paredes internas.
	<i>Klinker</i>	0 - 7	Extrusão	Paredes externas, pisos.

O segundo inconveniente é o uso de espaçadores plásticos na etapa de assentamento, o que pode induzir o assentador a executar um serviço de baixa qualidade, conforme mostrado na Figura III.8.

O uso de espaçadores induz a um assentamento de baixa qualidade, pois o aplicador simplesmente apóia a placa na parte inferior e a empurra pelo topo, sendo pouco provável que haja esmagamento adequado dos cordões de argamassa adesiva. Pequenos impactos dados com a mão ou com martelo de borracha geralmente não são suficientes para proporcionar um bom preenchimento do tardo das placas.

Figura III.8. Assentamento das placas com o auxílio de espaçadores plásticos

O terceiro e último inconveniente é que, a menos que os espaçadores sejam tão compressíveis quanto o rejunte, eles podem prejudicar a necessária movimentação das juntas. A AS 3958.1 (AS, 1991, p.59) cita que espaçadores pouco compressíveis podem prejudicar o desempenho do revestimento cerâmico se forem deixados no local, mas esse tipo de análise se aplica quando as placas são rejuntadas com materiais de baixo módulo, como por exemplo selantes de silicone.

Durante a revisão dessa norma, Hartog (2002) esclarece que a tentativa de proibição do uso de espaçadores plásticos foi fortemente enfatizada, pelo fato de

que são uma potencial causa de problemas para o revestimento. Esse mesmo autor frisa que o uso de espaçadores cruciformes rígidos embutidos no rejunte pode ser um fator decisivo para a ocorrência de problemas. O termo usado por ele foi *sine qua non*²¹, ou seja, problemas latentes que não se manifestariam acabam por ocorrer por causa da existência de espaçadores rígidos imersos no rejunte.

É importante ressaltar que os espaçadores proporcionam o assentamento das placas com um bom alinhamento e seu uso é proveitoso em muitas situações. Dessa forma, mesmo os espaçadores cruciformes podem ser utilizados, desde que sejam removidos antes da etapa de rejuntamento; esse fato, além de não prejudicar o desempenho do rejunte, proporciona o reaproveitamento das peças. Existem também outros tipos de espaçadores, como aqueles tipo "junta certa", com peças específicas em forma de cruz e cunha que podem ser removidas e reaproveitadas.

III.6.2.1. Revestimentos horizontais sujeitos à compressão

Uma laje plana revestida com placas cerâmicas está sujeita à flexão e ao deslocamento vertical ao longo de sua vida útil, seja ele devido à deformação lenta natural do concreto ou pela ocorrência de sobrecargas localizadas. Para uma situação simples e de carga uniformemente distribuída, a Figura III.9 mostra o diagrama de momento fletor atuante e o deslocamento vertical envolvido.

Nessa situação, a laje apresenta um leve encurtamento no banzo superior, o que faz com que o revestimento cerâmico seja comprimido. Além disso, a região central está sujeita ao máximo momento fletor e apresenta o menor raio de curvatura (ρ) e a maior flecha. Para uma mesma placa cerâmica rígida, menores raios de curvatura do substrato implicam em maiores esforços de tração sobre a argamassa adesiva, ou seja, as placas centrais são as mais solicitadas. Quanto mais rígido o rejunte, mais o comportamento do revestimento se aproxima daquele de um corpo único e menores são as flechas que provocam o descolamento do conjunto. Em outras palavras, quanto mais rígido o rejunte, maior a influência negativa da flecha da laje na estabilidade do revestimento.

²¹ *sine qua non*: expressão em latim que significa "sem a qual não". Indica uma condição essencial para a realização ou ocorrência de um ato.

a) menores flechas implicam em maiores raios de curvatura e menores tensões de tração sobre a argamassa adesiva;

b) maiores flechas implicam em menores raios de curvatura e maiores tensões de tração.

Figura III.9. Momento fletor sobre uma laje plana

Quando a resistência de aderência da argamassa é vencida, o esforço de compressão sobre as placas pode atingir a carga de flambagem do conjunto placa-argamassa, fazendo com que ele sofra um abaulamento característico (Figura III.10). Como a flambagem é causada pela compressão, a presença de juntas de baixo módulo de deformação possibilita um alívio desses esforços, evitando que atinjam um valor crítico.

Figura III.10. Flambagem do revestimento cerâmico sujeito à compressão

III.6.2.2. Revestimentos verticais sujeitos à compressão

Em uma parede vertical, pode-se supor que não haverá efeito significativo de flexão como ocorre numa laje plana, de forma que o deslocamento deve ser explicado de outra forma. Alguns fatores podem interferir no surgimento desse problema, como condições climáticas durante a aplicação, deficiência do preparo da base, erro de especificação da placa e/ou argamassa, técnica de aplicação deficiente, aplicação sobre base muito jovem etc.

A Figura III.11 mostra uma parede revestida com placas cerâmicas 10x10cm com junta de assentamento de 0,5cm, ilustrando o cálculo da carga de flambagem. Nesse caso, a somatória do comprimento das placas resulta em 2,85m e do rejunte em 0,15m aproximadamente. A Figura III.12 mostra a mesma parede vista em corte longitudinal.

Figura III.11. Parede sujeita à compressão

Figura III.12. Detalhe do revestimento

Supondo que as camadas de acabamento e fixação da Figura III.11 sejam representadas por uma única peça plana homogênea com módulo de deformação $E=40\text{GPa}$ de 3m de comprimento e 1m de largura sob condições de extremidades articuladas, a carga crítica que ocasiona sua flambagem é dada por:

Quadro III.1 – Cálculo da carga crítica de flambagem

<p>Dados: Comprimento de flambagem: 3m.</p> <p>Legenda: I momento de inércia de uma placa de 1m de largura e 1cm de espessura; N_{fl} carga crítica de flambagem.</p>	$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1m * (0,01m)^3}{12} = 8,33.10^{-8} m^4$ $N_{Fl} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2} = \frac{\pi^2 * 40GPa * 8,33.10^{-8} m^4}{(3m)^2} = 3,65kN$
---	--

A carga é pequena porque representa a **flambagem somente das camadas de acabamento e fixação, o que ocorre apenas quando há perda de aderência**. Essa carga N_{fl} pode surgir de duas maneiras: dilatação do revestimento ou encurtamento das camadas abaixo do acabamento. Em ambos os casos, a compressão atuante sobre a camada de acabamento se deve aos esforços de cisalhamento transmitidos pela camada de fixação, o que resulta num conjunto de forças de tração e compressão que solicitam a argamassa e podem causar sua ruptura.

Exatamente nesse ponto é que se insere uma função importante da camada de regularização: atenuar os esforços provenientes da deformação da base. Deformações diferenciais entre estrutura e alvenaria, por exemplo, distribuem-se ao longo da espessura da camada de regularização e atingem a camada de fixação e acabamento com intensidade reduzida, diminuindo a probabilidade da ocorrência de manifestações patológicas. Quanto menor a espessura da camada de regularização e maior seu módulo E, menor sua capacidade para “absorver” deformações e aliviar os esforços sobre as camadas de acabamento e fixação, o que pode aumentar o risco de ocorrência de problemas, como por exemplo fissuras e destacamentos de placas.

Concluindo o raciocínio do Quadro III.1, os cálculos mostrados no Quadro III.2 estimam o valor da deformação necessária que, caso seja restringida, dá origem à força N_{fl} que é capaz de provocar a flambagem das camadas de acabamento e fixação.

Conforme recomendado pela NBR 13755 (ABNT, 1995), as placas podem ser assentadas a partir dos 14 dias da conclusão do emboço, prazo esse duvidoso quando se pensa em limitar a influência da retração. Fioritto (1995, p.53) propõe valores de retração livre em várias idades e Bastos (2001, p.118) aborda a retração

impedida²² em dezenas de ensaios com argamassas variadas. Com base nos dados desses autores, é razoável supor que, após o assentamento das placas, ainda resta 50% da retração da argamassa de regularização por ocorrer. Adotando um valor de retração médio de 0,6mm/m, a Tabela III.3 mostra a deformação causada por esse fenômeno e por outros que também agem sobre o revestimento.

Quadro III.2. Variação de comprimento equivalente à carga de flambagem

Legenda:	$\sigma = E \cdot \varepsilon \Rightarrow \frac{3,65kN}{1m \cdot 0,01m} = 40.10^6 kPa \cdot \varepsilon$
σ tensão normal na borda da placa;	$\Rightarrow \varepsilon = 9,1.10^{-6} = 0,00091\%$
ε deformação específica;	$\Delta L = \varepsilon \cdot L = 9,1.10^{-6} \cdot 3m = 0,03mm$
ΔL variação de comprimento na placa de 3m.	

Embora os cálculos tenham sido feitos de forma simplificada e sem considerar a interação entre a argamassa adesiva, a camada de regularização e a base, chegou-se a valores de deformação muito superiores ao exposto no Quadro III.2, o que explica a possível ruptura “explosiva” da camada de acabamento quando há perda de aderência com a camada de regularização.

Os valores das deformações causadas pela retração não reversível e pela dilatação térmica são importantes, pois ocorrem rapidamente e diminuem a possibilidade de acomodação de esforços pelos fenômenos de fluência e relaxação. Assim, eles precisam ser absorvidos por materiais resilientes, como argamassa adesiva e rejunte flexíveis. Bowman (1997, p.2) cita que falhas podem aparecer devido aos gradientes térmicos (aquecimento/resfriamento) que acontecem num mesmo dia, pois o esforço decorrente da rápida expansão térmica do revestimento não tem tempo hábil para ser dissipado.

No caso da deformação lenta da estrutura, o valor obtido para a deformação é elevado e pode ser um grande contribuinte para o surgimento de tensões muito prejudiciais ao revestimento cerâmico ao longo de sua vida útil, particularmente se não forem previstas juntas de dilatação adequadamente posicionadas. Esse fator, combinado com o uso de rejuntas demasiado rígidos, placas de grandes dimensões e fadiga dos materiais podem explicar de maneira coerente

²² Ensaio em que a retração da argamassa foi restringida devido ao posicionamento de uma grelha

algumas manifestações patológicas de revestimentos cerâmicos nos primeiros anos de entrega da obra. Um fato atenuante, entretanto, é que o revestimento cerâmico somente é executado após a conclusão das alvenarias e da própria estrutura de concreto, ou seja, boa parte da carga permanente do edifício já está atuando, as deformações instantâneas já ocorreram e uma parte da deformação lenta também já se processou. A própria NBR 13755 (ABNT, 1996, p.3) veta a execução do revestimento cerâmico externo sem que a estrutura e a alvenaria estejam concluídas.

Tabela III.3. Causas de deformações no revestimento e prazos envolvidos

Causa	Prazo envolvido	Deformação
Retração não reversível da camada de regularização	Poucos meses (não cíclico)	$\Delta L = 50\% * 0,6mm / m * 3,00m = 0,9mm$
Movimentação térmica das placas do revestimento	Horas (cíclico*)	$\Delta L = \alpha.l.\Delta T = 5.10^{-6} * 2850mm * 40^{\circ}C = 0,57mm$
EPU ²³	Anos (não cíclico)	$\Delta L = 0,2mm / m * 2,85m = 0,57mm$
Deformação lenta ²⁴	Anos (não cíclico)	$\Delta L = 0,001 * 3000 = 3,00mm$

*Fenômenos cíclicos são mais graves, pois podem implicar em fadiga dos materiais.

Como último fator, o fenômeno da EPU (expansão por umidade) tem dois componentes importantes: a parte reversível e a parte irreversível. A parte reversível é um fenômeno físico causado pela adsorção de água pelo corpo da peça, que acaba por aumentar de volume. Após sofrer secagem, entretanto, retorna ao seu volume inicial. A parte irreversível é um fenômeno químico que se processa em virtude da reação da água com alguns compostos do corpo da cerâmica, como silicoaluminatos amorfos, minerais desidratados, sílica amorfa; ao reagir quimicamente, a água não mais deixa o corpo cerâmico e a variação de volume é irreversível (ITC, 1994, p.130).

metálica no fundo da forma.

²³ EPU – expansão por umidade. Ver comentários na sequência do texto.

²⁴ O valor do coeficiente de deformação lenta foi estimado para um concreto de E=25GPa com carga à compressão de 10MPa, considerando a deformação final como 250% da inicial. Assim, chega-se a 10MPa/25GPa*2,5=1mm/m. Esse coeficiente varia conforme o ritmo da obra e o regime de descimbramento da estrutura (STUCCHI, informação verbal). Assim, considerando que 10MPa é uma carga conservadora e 25GPa é o módulo aos 28dias de um concreto de boa qualidade, esse coeficiente pode aumentar ainda mais.

3. FUNÇÕES DO REJUNTE DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Sendo a EPU um fenômeno que depende da absorção de água, ele se reveste de maior importância nas placas mais porosas, cozidas a temperaturas mais baixas. As placas de porosidade muito baixa e que foram cozidas a temperaturas elevadas apresentam pouca influência quando sob ação da água e a EPU tem relevância muito pequena (ITC, 1994, p.130).

Esse fenômeno ainda merece estudos mais detalhados e Bowman (1997, 1997a) é claro em afirmar que o método atual de determinação da EPU não é capaz de refletir a realidade ao longo da vida útil das placas cerâmicas. Endossando essa afirmação, Bauer; Rago (2000) expõem diversos resultados de EPU, que variam conforme o método de ensaio utilizado. Bowman (2002, p.11) cita que a EPU é um fenômeno complexo e a determinação do seu valor desde o instante em que as placas saíram do forno não é necessariamente uma tarefa fácil.

Segundo Bowman (2002, p.11), existem placas que não causam problemas quando em serviço mesmo tendo EPU superior a 0,6mm/m e é por esse motivo que algumas normas sugerem valores inferiores a esse e não o impõe como valor taxativo. A ISO 10545:Part 10 (ISO, 1995), embora não cite limites máximos para a EPU, enfatiza que "A maioria das placas esmaltadas e não esmaltadas tem expansão por umidade desprezível e que não contribui para problemas no revestimento quando estão corretamente fixadas. Com práticas de fixação não satisfatórias ou em certas condições climáticas, expansão por umidade em excesso ($> 0,6\text{mm/m}$) pode contribuir para problemas".

Goldberg (1998, p.178) ressalta que, embora a EPU possa realmente contribuir para o surgimento de falhas devidas à movimentação diferencial, existem outros fatores envolvidos e que têm influência muito mais acentuada. Bowman (1997, p.2) cita que, dos mais de 100 casos de deslocamento de azulejos estudados, apenas 10% deles apresentaram EPU significativa.

Por fim, Bowman; Westgate (2002) ressaltam que vários fatores podem contribuir para falhas do revestimento cerâmico e, embora a EPU seja um deles, é de difícil quantificação devido aos vários fatores envolvidos, como por exemplo: variação do tipo de placa, temperatura de queima, instante da determinação do tamanho inicial da placa, percentagem da EPU que ocorre no início do resfriamento da placa ainda dentro do forno etc.

Percebe-se que a EPU é um assunto complexo e ainda não totalmente equacionado, seja em termos de determinação do valor real seja em termos da influência desse fenômeno nos problemas do revestimento cerâmico. O que se

pode deduzir após a leitura dos vários trabalhos citados é que a EPU tem pouca influência no surgimento de manifestações patológicas e que, quando adquire importância significativa, está associada a vários outros fatores que culminam por ocasionar o surgimento de algum tipo de problema.

Cada um dos fatores expostos anteriormente (EPU, retração, deformação lenta e dilatação térmica) atua em conjunto e sua influência pode ser agravada ou atenuada por algumas condições, conforme exposto na Tabela III.4.

Alterando o enfoque dado a esse assunto, pode-se relacionar o comportamento do revestimento cerâmico como sendo semelhante ao de uma placa comprimida e vinculada lateralmente por apoios elásticos. Esses apoios são representados pela argamassa adesiva, que tem seu desempenho afetado pela mão-de-obra, pela qualidade dos materiais e pelas condições ambientais no momento da aplicação.

Tabela III.4. Fatores agravantes e atenuantes de agentes de degradação

Agravantes	Atenuantes
<ul style="list-style-type: none"> . atuação simultânea e em diferentes intensidades; . fadiga dos materiais ocasionada por agentes de caráter cíclico; . ausência de juntas de dilatação e uso de juntas de assentamento de pequena largura e/ou rejunte com alto módulo de deformação; . assentamento com argamassa adesiva rígida; . uso de placas de grandes dimensões, diminuindo a quantidade de juntas. 	<ul style="list-style-type: none"> . deformações simultâneas do substrato/base e das placas cerâmicas, o que proporciona diminuição das deformações diferenciais e alívio de tensões; . relaxação das tensões do substrato; . uso de argamassas flexíveis e de baixo módulo de deformação; . tempos de cura adequados das várias camadas; . uso de juntas de assentamento de grande largura.

Então, numa situação em que o revestimento exposto na Figura III.11 (p.53) sofre um encurtamento real de 1mm provocado por diversas deformações simultâneas, a tensão de compressão pode ser calculada por:

$$\Delta L = \sum \frac{\sigma * L_i}{E_i} \Rightarrow \Delta L = \frac{F}{1 * 0,01} * \left(\frac{L_{placas}}{E_{placas}} + \frac{L_{rej}}{E_{rej}} \right) \quad (1)$$

Para placas com E=60GPa e rejunte com E=10GPa, chega-se a:

$$0,001m = \frac{F}{1m * 0,01m} * \left(\frac{2,85m}{60.10^6 \text{ kN} / m^2} + \frac{0,15m}{10.10^6 \text{ kN} / m^2} \right) \Rightarrow F = 160kN \quad (2)$$

Para outros dados do módulo de deformação das placas e rejuntas e diferentes larguras de junta, a Tabela III.5 mostra os valores de compressão obtidos. Os valores de 19GPa e 7GPa foram encontrados nos ensaios laboratoriais e o valor de 1GPa foi adotado a título de comparação.

Após uma análise da Tabela III.5, pode-se afirmar que a junta de assentamento proporciona um importante alívio das tensões, mas sua largura não pode ultrapassar os limites mínimos e máximos delimitados por fatores estéticos. Assim, o módulo do rejunte apresenta um potencial sensivelmente maior para a obtenção desse mesmo efeito. Também, o uso de placas de grandes dimensões e de alto módulo de deformação aumenta consideravelmente as tensões sobre o revestimento.

Tabela III.5. Compressão sobre a camada de acabamento

	E_{placas} (Gpa)	E_{rejunt} (Gpa)	L_{placas}* (m)	L_{rejunt}** (m)	Junta (mm)	F (kN)
Grés 10x10	60	19	2,85	0,15	5	181
	60	19	2,70	0,30	10	167
	60	7	2,85	0,15	5	147
	60	7	2,70	0,30	10	118
	60	1	2,85	0,15	5	53
	60	1	2,70	0,30	10	31
Porcelanato 40x40	70	19	2,96	0,04	5	226
	70	19	2,93	0,07	10	219
	70	7	2,96	0,04	5	210
	70	7	2,93	0,07	10	191
	70	1	2,96	0,04	5	126
	70	1	2,93	0,07	10	87

* Somatória do comprimento de todas as placas do pano de 3m.

** Somatória da largura de todas as juntas do pano de 3m.

O valor de 1mm adotado para a execução dos cálculos é um valor real e facilmente atingido pelas causas listadas na Tabela III.3 (p.56). Assim, conclui-se que as variações dimensionais normais de um edifício podem facilmente ocasionar a flambagem do revestimento cerâmico caso não sejam tomadas providências cabíveis para amenizar sua influência sobre ele.

Outros fatores globais da obra, como a rapidez de execução, o uso de grandes vãos e a esbeltez dos elementos estruturais, contribuem para o surgimento de novos esforços de difícil mensuração e que não podem ser absorvidos por juntas de assentamento de pequena largura e elevada rigidez. O ITC (1987, p.295)

expõe um estudo da Sociedade Francesa de Cerâmica que concluiu que a estabilidade do revestimento cerâmico depende fundamentalmente da idade da base e da presença de juntas de assentamento. Essa idade da base envolve as duas camadas do revestimento, fixação e regularização, e também o próprio substrato, gerando uma interdependência entre elas que é abordada no item seguinte.

Como um resumo do assunto, a Figura III.13 ilustra algumas variáveis envolvidas na etapa de especificação da largura das juntas de assentamento e também alguns comentários a respeito de cada uma delas.

Figura III.13. Alguns fatores que influenciam na largura das juntas de assentamento

III.6.3. Interdependência entre camadas

Ao ser executada a aplicação de várias camadas sobrepostas, cada uma delas deve suportar esforços provenientes das demais, sejam eles oriundos da retração, expansão ou da diferença de comportamento mecânico e higrotérmico, características de cada camada. Embora não seja possível prever de maneira exata as tensões decorrentes de cada fenômeno, fica claro que, se existirem tempos mínimos entre a confecção de cada uma das camadas do revestimento, os esforços atuantes serão amenizados.

Esses esforços devem ser "absorvidos" pela deformação das várias camadas e ao longo do tempo são atenuados pelos efeitos de relaxação e fluência, tão

mais favoráveis ao revestimento quanto maiores as prazos de execução. Devido às imposições do cronograma da obra, entretanto, os intervalos entre a confecção das camadas expostos na Figura III.14 tendem a ser diminuídos em detrimento dos aspectos técnicos envolvidos e que deveriam ser observados.

Figura III.14. Tempos mínimos de cura recomendados para execução do revestimento

O estudo das tensões resultantes nas diversas camadas de revestimento é um assunto bastante amplo, tornando-se ainda mais denso quando são adicionados fatores de movimentação higrotérmica. Fioritto (1994) faz algumas considerações a respeito dessas tensões, adotando alguns valores para os módulos de elas-

tividade e outras grandezas envolvidas. Entretanto, os resultados encontrados nos ensaios laboratoriais que foram realizados para a elaboração deste trabalho mostraram que existe grande variação das propriedades dos rejuntas de um mesmo tipo mas de diferentes fabricantes, embora as condições de confecção dos corpos de prova tenham sido as mesmas para todos os produtos.

Bowmann; Banks (2002, p.1-9), usando o método dos elementos finitos para analisar um revestimento cerâmico, fizeram várias simplificações para permitir a entrada de dados e, ao final, indicam a necessidade de um estudo experimental real para tentar prever a falha de um revestimento cerâmico.

Fica evidente, então, que o número de variáveis fora do controle teórico é significativo, sendo atualmente inviável reproduzir matematicamente o estado de tensões a que o revestimento cerâmico está submetido. Pode-se, sim, inferir os pontos mais críticos do subsistema e então prevenir falhas localizadas durante a execução dos trabalhos.

Por fim, um estudo da Sociedade Francesa de Cerâmica, exposto no ITC (1987, p.295), conclui que a durabilidade do revestimento cerâmico apenas pode ser assegurada se o substrato for curado por um tempo mínimo antes do assentamento e se houver juntas de assentamento entre as placas cerâmicas. Embora não sejam dados maiores detalhes sobre o assunto, o autor deste texto entende que a durabilidade refere-se ao tempo em que as placas ficarão aderidas ao substrato.

III.7. OTIMIZAR A ADERÊNCIA DAS PLACAS

A aderência do rejunte às placas cerâmicas pode ser mecânica e/ou química e é influenciada pela compatibilidade dos materiais utilizados, técnica de aplicação e limpeza das juntas. A falta de aderência rejunte/placa pode abrir precedentes para a entrada de diversos agentes nocivos ao revestimento, sendo essa preocupação particularmente importante para o caso do assentamento em fachadas. Caso o comportamento cíclico de expansão e retração térmica não seja suportado pelo rejunte e cause fissuração, a penetração de água pode contribuir para o aparecimento de simples manchas até problemas mais graves como o destacamento de placas. Assim sendo, é fundamental que as juntas estejam isentas de poeira e outros contaminantes que podem prejudicar a área de contato do rejunte com as placas.

Além da aderência à lateral das placas, o rejunte deve também estar em contato com o fundo da junta, aumentando indiretamente a área de contato das placas com o substrato, o que proporciona um aumento de aderência tanto maior quanto maior a área das juntas em relação à área total (ITC, 1987, p.296). Para placas de grandes dimensões, esse aumento pode ser desprezível. Entretanto, isso não ocorre no caso de algumas pastilhas, onde o rejunte tem papel muito importante na aderência dessas placas ao substrato.

Nos rejuntas monocomponentes, o fenômeno de aderência se dá principalmente por ancoragem mecânica, ou seja, por penetração da pasta e cristalização no interior dos poros da placa cerâmica, como mostrado na Figura III.15.

Figura III.15. Esboço da ancoragem mecânica da argamassa ao substrato

Caso o rejunte seja aplicado a placas com absorção elevada e não possua adequada capacidade de retenção de água, pode haver uma descontinuidade desse fenômeno, sendo a água absorvida muito rapidamente sem arrastar consigo os componentes da pasta. Por outro lado, caso a placa tenha absorção muito baixa, a pasta não será absorvida adequadamente e serão necessários aditivos que proporcionem aderência química.

Alguns fabricantes começaram a fornecer uma linha de rejuntas bastante específica, onde existem produtos adequados para cada tipo de placa a ser rejuntada, como, por exemplo, porcelanato, mármore, granito, grés. Essa disponibilidade de produtos tem por objetivo maximizar seu desempenho de acordo com as características das placas sendo rejuntadas, otimizando a aderência e diminuindo a possibilidade de manchamento.

4

IV.

TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO REJUNTE

Fonte: ITC (1987)

Este capítulo aborda os conceitos envolvidos no preparo e aplicação dos rejuntas cimentícios. A importância da quantidade de água, as ferramentas utilizadas e o preparo das juntas a serem preenchidas são temas abordados em maiores detalhes.

Objetivo específico a ser atingido

4. discutir a técnica de aplicação dos rejuntas cimentícios, abordando detalhes de rejuntamento em locais específicos.

**OBTER CONHECIMENTO É RELATIVAMENTE FÁCIL.
SABEDORIA PARA USÁ-LO, ENTRETANTO, É MUITO MAIS DIFÍCIL E IMPORTANTE.**

Provérbio chinês

O capítulo 3 discutiu várias funções do rejunte que interferem no desempenho do revestimento cerâmico e até limitam sua vida útil. Entretanto, para que essas funções tenham influência positiva sobre o revestimento cerâmico, a qualidade de aplicação do rejunte assume um papel crucial.

Por esse motivo, os itens seguintes abordam os aspectos relativos à correta aplicação do rejunte, desde a etapa de preparo até o acabamento final. O enfoque é mantido nos rejuntas industrializados de base cimentícia, sejam eles mono ou bicomponentes.

IV.1. PREPARO DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO

Para um correto preenchimento das juntas de assentamento, elas devem estar limpas e isentas de corpos estranhos ao rejunte, como pó, óleos e graxas, entulho de obra etc. Ademais, é necessário que os excessos de argamassa adesiva tenham sido removidos durante a etapa de assentamento das placas, logo após a secagem inicial, já que uma espera prolongada pode inviabilizar ou dificultar essa tarefa demasiadamente, em particular para argamassas de uso específico como aquelas para assentamento de placas de baixa absorção. A Figura IV.1 mostra as juntas de assentamento após a limpeza com o uso de uma escova de cerdas plásticas.

Figura IV.1. Juntas de assentamento limpas com escova de cerdas plásticas

A seqüência preferencial de execução do revestimento deve indicar o assentamento das placas sobre as paredes e apenas depois sobre o piso pelo pró-

prio fato de que a movimentação de operários e materiais pode danificar as placas já assentadas sobre ele. Além disso, o assentamento das placas na horizontal como última tarefa minimiza a possibilidade de as juntas serem tomadas por sujidades que necessariamente precisam ser removidas posteriormente.

A limpeza das juntas deve ser feita o mais breve possível (num instante tal que as placas não mais percam sua posição) e pode ser feita com ajuda de qualquer ferramenta dura capaz remover os excessos da argamassa de assentamento. O ITC (1994, p.127) cita que o excesso de adesivo precisa ser retirado das juntas antes da secagem e que elas devem ser completamente tomadas pelo rejunte. Um assentador habilidoso pode perfeitamente retirar grande parte do excesso com a própria desempenadeira denteada, bastando ter cuidado para não riscar o esmalte das placas. Na maioria dos casos, entretanto, a limpeza das juntas pode ser feita com auxílio de uma escova de cerdas plásticas ou até mesmo de uma vassoura de piaçava.

É importante salientar que o assentamento das placas pode, embora não deva, ser feito sem que as juntas sejam tomadas por excessos de argamassa, situação essa que ocorre quando as placas são posicionadas no local tendo como referência uma das arestas (ver Figura III.8, p.50). Entretanto, isso é um potencial indicativo de que o assentamento foi mal executado e de que o tardo das placas dificilmente está preenchido de maneira adequada, mesmo porque se a placa for percutida com força suficiente para esmagar os cordões de argamassa, seu transbordamento pelas juntas é inevitável.

IV.2. PREPARO DO REJUNTE

Os rejuntas industrializados são preparados basicamente com a adição do pó à água em proporção bem definida e indicada na própria embalagem. Mesmos tipos de rejunte para as mesmas condições de aplicação podem exigir teores diferenciados de água dependendo de sua procedência. Existem casos, também, em que o fabricante anexa etiquetas específicas com o objetivo de explicitar essa quantidade, o que o deixa livre para utilizar a mesma embalagem para produtos que exigem teores de água diferenciados.

O rejunte deve ser preparado em um recipiente que não absorva água e que seja inerte, isto é, que não solte partículas, corantes ou outros compostos que a ele possam misturar-se. Em suma, pode ser de metal que não sofra corrosão ou

de plástico resistente; caixotes de madeira são inadequados porque podem absorver a água de amassamento.

A mistura pode ser feita manualmente ou com auxílio de misturadores de haste helicoidal a baixa rotação, evitando a incorporação de ar que torna o rejunte menos denso. Após, é importante observar o tempo de repouso proposto pelo fabricante e remisturar uma última vez. A água utilizada deve ser limpa, de modo a não contaminar o rejunte com sais solúveis que podem dar origem a eflorescências posteriores.

Como todo produto cimentício, as propriedades do rejunte também estão intimamente ligadas à relação a/c, motivo pelo qual a quantidade de água deve seguir rigorosamente as recomendações do fabricante. Embora uma maior quantidade de água facilite a aplicação por tornar o rejunte mais trabalhável, ela pode prejudicar a coloração, diminuir a aderência, aumentar a porosidade e a retração; enfim, pode prejudicar as propriedades do rejunte endurecido. Uma vez que o rejunte deve evitar a entrada de água por trás das placas e seu contato com elas limita-se apenas à pequena área das bordas, suas propriedades mecânicas não devem ser prejudicadas por excesso de água de amassamento.

A mistura deve ser executada em quantidade tal que seu uso não ultrapasse aproximadamente 1h²⁵ ou o tempo determinado pelo fabricante. Quanto maior a quantidade preparada, mais tempo o produto ficará exposto e sujeito à perda de água por evaporação, fato agravado pelas altas temperaturas e baixas umidades. Nesses casos, o recipiente deve ser coberto com um pano úmido. Independentemente disso, o rejunte deve ser protegido do Sol e do vento.

A mistura deve ser bem feita e não devem existir grumos secos imersos na massa úmida, situação bastante comum na mistura manual. Quando adicionada na proporção correta, a água transmite uma falsa impressão de que não é suficiente para todo o pó. Entretanto, basta prosseguir com a mistura para que todo o pó transforme-se numa pasta homogênea e com aspecto cremoso. De maneira geral, o pó deve ser adicionado aos poucos sobre a água e não o contrário, evitando a formação de partes secas no fundo do recipiente e facilitando a mistura. Após essa mistura inicial, podem ser adicionadas pequenas quantidades de água para ajuste da consistência final.

²⁵ Esse intervalo pode variar de acordo com as condições atmosféricas, particularmente nos casos de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar.

No caso de produtos bicomponentes, vale ressaltar que os aditivos devem ser utilizados apenas quando aprovados pelo fabricante e com rígido controle da proporção. Caso sejam utilizados dois líquidos (água e aditivo), é fundamental que sua homogeneização seja executada antes da adição do pó.

Após a atividade da mistura, é necessário um intervalo aproximado de 10 a 15 min para que possa haver a hidratação de alguns compostos que fazem parte do pó. Somente após esse período deve-se promover a remistura do rejunte e liberá-lo para aplicação.

IV.3. APLICAÇÃO DO REJUNTE

Antes de qualquer tipo de aplicação definitiva do rejunte, deve-se ter certeza de que ele não provoca manchas nas placas, em particular naquelas não esmaltadas (algumas linhas rústicas, por exemplo, ou os porcelanatos polidos). Esse teste pode ser feito por meio de uma aplicação prévia num local menos visível, analisando o resultado final da aplicação. Caso não seja tomado esse cuidado, existe a possibilidade de o rejunte manchar de maneira perceptível e irreversível as placas do revestimento, inutilizando-o ou causando sérios prejuízos.

Se a consistência do rejunte estiver correta, a própria tarefa de aplicação impõe um ritmo de trabalho, ou seja, após um período de trabalho, o operário deve começar a preocupar-se em voltar ao ponto inicial para dar acabamento à região já rejuntada. Esse período varia conforme as condições atmosféricas, mas em geral situa-se entre 30-45min para produtos monocomponentes. Se houver um grande intervalo entre a aplicação e o acabamento, a limpeza pode tornar-se muito trabalhosa e a superfície do rejunte pode ficar muito áspera e sem resistência, tornando-se friável e contribuindo para o acúmulo de sujeira.

Uma vez preparado o rejunte, ele deve ser aplicado preferencialmente com auxílio de uma desempenadeira de borracha dura. Rodos também podem ser úteis, mas em geral sua borracha é muito mole e a tendência é acrescentar mais líquido ao rejunte de modo a torná-lo mais trabalhável. Essa atitude deve ser evitada porque o acréscimo de água pode prejudicar o desempenho do rejunte.

Também, o umedecimento das juntas pode ser executado quando essa for uma recomendação do fabricante, tendo como objetivos principais:

- remover o pó da lateral das placas e evitar que sua presença prejudique a aderência do rejunte. Vale ressaltar, entretanto, que o rejuntamento deve

ser executado o mais breve possível, evitando que as juntas sejam tomadas por sujidades prejudiciais. A NBR 13755 (ABNT, 1996, p.8) recomenda o umedecimento das juntas com essa finalidade;

- evitar que placas de absorção elevada retirem água em excesso do rejunte, em particular para juntas muito estreitas, o que pode prejudicar sua cura;
- diminuir a temperatura das placas em dias muito quentes, o que diminui a trabalhabilidade do rejunte e acelera sua secagem inicial. Além de prejudicar a aplicação por causa do endurecimento precoce do rejunte, temperaturas elevadas provocam a rápida secagem da película de rejunte sobre as placas, dificultando sua limpeza.

Se, por um lado, o umedecimento das juntas pode ser conveniente em algumas situações, por outro devem ser tomadas precauções para evitar seu encharcamento. Se isso ocorrer, deve haver um tempo de secagem antes da aplicação do rejunte, de modo que ele seja aplicado apenas quando as juntas estiverem levemente úmidas, sob pena de prejuízo na aderência à lateral das placas por falta de ancoragem mecânica.

A aplicação do rejunte pode ser feita por meio de movimentos vai-vém da desempenadeira até o preenchimento completo das juntas (Figura IV.2). Nada impede, entretanto, que seja utilizada qualquer outra técnica de preenchimento, já que o aspecto em questão aqui é que as juntas sejam completamente tomadas pelo rejunte.

Normalmente, o preenchimento é a tarefa mais simples frente ao trabalho de acabamento superficial. Assim, uma aplicação cuidadosa resulta em inexistência de restos de rejunte sobre as placas, o que facilita a limpeza posterior. Cuidados especiais devem ser dados ao rejuntamento dos encontros de várias placas e também nas mudanças de direção do revestimento, como nos encontros piso/parede (maiores detalhes são expostos no item IV.4.2).

Uma vez preenchidas as juntas e retirado o excesso de rejunte sobre as placas (Figura IV.3), pode-se efetuar o acabamento após a secagem inicial. Isso pode ser feito com auxílio de um frisor e de um bloco de espuma úmida. O frisor deve ser em formato de meia-cana em material inerte, ou seja, que não deixe resíduos que possam manchar o rejunte.

O bloco de espuma deve ser passado repetidas vezes sobre as juntas, alisando o rejunte sem comprimi-lo (Figura IV.4); esse bloco deve ser lavado frequentemente e com água limpa, devendo ser trocado quando perder flexibilidade e

apresentar-se quebradiço. Após essa etapa, pode-se optar pela passagem do frisador sobre as juntas ainda úmidas, o que lhes dará um acabamento mais liso e uniforme. Da mesma forma que a espuma, o frisador deve ser passado de maneira suave, comprimindo levemente o rejunte.

Figura IV.2. Aplicação do rejunte

Figura IV.3. Rejunte aplicado

Quanto mais limpo estiver o bloco de espuma durante a execução do acabamento, mais fina será a película de rejunte que restará sobre as placas, o que facilita a limpeza final do revestimento (Figura IV.5). Quando se trata de rejuntas monocomponentes, essa limpeza deve ser feita após a secagem e apenas com o auxílio de uma flanela seca, que elimina facilmente a fina película pulverulenta sobre as placas. No caso de rejuntas bicomponentes, a limpeza completa necessariamente deve ser feita com o produto ainda úmido, de modo a evitar a secagem de aditivos que podem ser de difícil remoção.

Figura IV.4. Limpeza inicial das placas

Figura IV.5. Aparência após limpeza

O uso de produtos químicos não é necessário, mesmo porque seu efeito corrosivo acaba por atacar a superfície do rejunte ainda que em pequena quantidade. Se existem restos de argamassa sobre as placas que justificam o uso de produtos especiais, isso é uma evidência de aplicação mal executada.

No caso de placas cerâmicas rústicas ou não esmaltadas (que “seguram” o rejunte), cuidados especiais devem ser tomados para evitar que o rejunte entre em contato direto com sua superfície. Isso pode ser feito por meio da aplicação de uma camada de cera (ou outro produto indicado pelo fabricante) sobre as placas, o que facilita a etapa de limpeza e minimiza a possibilidade de mancha-mento das placas.

Ao final do acabamento, o rejunte deve ser protegido de sujidades e agressões mecânicas por pelo menos sete dias (ver item III.6.3, p. 60), prazo em que já obteve parte de sua resistência mecânica. Com relação à cura, é sempre uma atitude positiva proporcionar cura úmida aos produtos cimentícios, particularmen-te nos primeiros dias após a aplicação e quando estiverem submetidos a condi-ções atmosféricas agressivas. Esse fato tem menor relevância nos rejuntas industria-lizados, que contêm retentores de água que auxiliam o processo de hidratação do cimento. Para os rejuntas dosados em obra, entretanto, a cura úmida é um fator essencial (ver item II.4.1.1, p. 23).

IV.4. DETALHES DE APLICAÇÃO DO REJUNTE

Um revestimento cerâmico apresenta comportamento complexo e muitas vezes imprevisível, mas em algumas regiões esse comportamento potencial é bem conhecido e o desempenho de um selante elastomérico²⁶ (SEL) frente às movi-mentações diferenciais é muito superior ao de um rejunte cimentício. Assim, muito embora o rejunte possa ter apresentado desempenho adequado em alguma o-bra, esse comportamento local não pode ser generalizado, ou seja, a exceção não pode tornar-se a regra.

Os itens a seguir apresentam detalhes de rejuntamento em diversas situa-ções. Em alguns locais, um SEL necessariamente precisa ser aplicado; em outros, se

²⁶ A ASTM C717 (ASTM, 1998a) define os termos a seguir:

. *elastômero*: um material que retorna aproximadamente aos estados originais de dimensão e formato após a retirada da força que originou sua deformação;

. *selante*: um material com propriedades adesivas e coesivas capaz de formar um selo;

. *selo*: uma barreira contra a passagem de líquidos, sólidos ou gases.

o SEL for substituído pelo rejunte cimentício, haverá perda de qualidade e o desempenho será inferior em vários aspectos pelo próprio tipo de comportamento dos dois materiais. Assim, algumas ressalvas podem ser feitas caso essa substituição seja efetuada:

- SEL substituído por rejunte bicomponente: nesse caso, o rejunte apresenta boa aderência mesmo aos elementos esmaltados, tendo alguma capacidade para absorver deformações;
- SEL substituído por rejunte monocomponente: nesse caso, o rejunte apresenta capacidade desprezível (frente ao SEL) para absorver deformações, além de ter fraca aderência aos elementos esmaltados. Alguns resultados dos ensaios de aderência de rejuntas mono e bicomponentes podem ser encontrados no item V.1.4 (p. 95).

Nos locais onde a presença do SEL é obrigatória, o termo “selante” será utilizado nas legendas. Nos demais, onde o SEL puder ser substituído por rejunte levando em conta as limitações expostas, a expressão “SEL/R” (selante elastomérico/rejunte) será utilizada.

IV.4.1. Encontro com juntas de dilatação

As juntas de dilatação presentes no revestimento cerâmico de fachada têm como função principal o alívio das tensões que ocorrem num pano contínuo. Entretanto, esse alívio é proporcionado pela descontinuidade mecânica existente no revestimento e não pelo fato de existir um SEL nesse local. Sob esse ponto de vista, é indiferente se a junta estiver preenchida ou não (pelo SEL), de modo que sua função passa a ser vedar essa descontinuidade, melhorando a estética frente a uma junta vazia e impedindo a penetração de água e outros agentes nocivos ao revestimento.

O encontro do SEL com os vários pontos de rejunte do revestimento é um local crítico e que merece atenção especial tanto na etapa de controle quanto na de execução. O término do rejunte deve estar alinhado com a borda das placas cerâmicas, evitando a formação de reentrâncias e saliências que podem prejudicar a aplicação do SEL (Figura IV.6).

Isso pode ser feito pela aplicação em excesso do rejunte e seu posterior corte após uma cura inicial, deixando limpo o rebaixo que receberá o limitador de profundidade.

Figura IV.6. Acabamento do rejunte nas juntas de dilatação

Além desses cuidados, o SEL precisa apresentar boa aderência tanto às placas quanto ao rejunte para evitar a entrada de água por trás do revestimento, sendo necessário então que esses dois pontos estejam isentos de pó e outras sujidades prejudiciais. Por outro lado, é de vital importância que NÃO haja aderência entre o SEL e o fundo da junta, o que permite seu trabalho elástico de maneira eficiente pelo fato de estar aderido apenas às duas laterais da junta.

A Figura IV.7 apresenta uma breve explicação do comportamento do SEL quando aderido e não aderido ao fundo da junta.

Figura IV.7. Disposições do selante na junta de dilatação (adaptado da ASTM C 1193, 1995)

A função de evitar a aderência ao fundo da junta pode ser exercida pelo próprio limitador de profundidade, mas nesse caso ele deve ser flexível para permitir o trabalho adequado do selante. Quando o limitador for rígido e não permitir o

alongamento do selante, pode ser aplicada uma fita ou algum produto líquido sobre ele, de modo a proporcionar a formação de uma película anti-aderente. O uso de produtos líquidos é desaconselhado pelo fato de que ele pode atingir a lateral da junta e prejudicar a aderência onde ela é realmente necessária (ASTM C 1193, 1995).

IV.4.2. Interfaces entre planos e materiais distintos

Quando o revestimento cerâmico é aplicado num ambiente por inteiro, formam-se encontros a 90° (ou outro ângulo qualquer) entre duas paredes, parede/piso (Figura IV.8) e parede/teto.

Figura IV.8. Detalhe do encontro piso/parede

Embora esses encontros sejam compostos de materiais cimentícios (concreto, emboço, alvenaria de blocos de concreto) sobre os quais pode ser aplicada uma mesma argamassa de assentamento, o fato de estarem fora do mesmo plano implica em deformações diferenciais que podem danificar a aresta de encontro.

O mesmo ocorre no encontro com pilares (Figura IV.9), tubos passantes por lajes ou com quaisquer outros elementos que provocam descontinuidades num plano de revestimento (AS 3958.2, 1992, p.24). Nesses casos, é aconselhável a substituição do rejunte por SELs, o que diminui drasticamente a possibilidade de con-

centração de tensões nesses locais e isola o revestimento de outros elementos construtivos.

Nos encontros piso/parede, há a formação de uma junta em todo o perímetro e uma pequena deformação diferencial entre esses dois elementos (como deformação da laje, por exemplo) reflete-se diretamente no desempenho do rejunte que, devido à sua pequena espessura, elevada rigidez e baixa capacidade de absorver deformações, tem grande chance de apresentar fissuras que podem vir a comprometer a estanqueidade e a estética do revestimento.

Antevendo esse comportamento, a NBR 13755 (ABNT, 1996, p.5) recomenda “executar juntas de dessolidarização nos cantos verticais, nas mudanças de direção do plano do revestimento, no encontro da área revestida com pisos e forros, colunas, vigas ou com outros tipos de revestimentos, bem como onde houver mudança de materiais que compõem a estrutura suporte de concreto para alvenaria.”

Figura IV.9. Detalhe do encontro com pilares

Essas juntas perimetrais, sendo de baixo módulo, proporcionam um desconfinamento do pano revestido, diminuindo sensivelmente o acúmulo de esforços decorrente da variação dimensional das placas e da própria flecha da laje. Uma exceção pode ser feita no caso de ambientes de pequena dimensão, com pisos de área inferior a 10m², onde pode-se prescindir da junta perimetral desde que seja dada especial atenção à etapa de assentamento, de forma que exista pelo menos 3mm entre a borda das placas e o encontro com as paredes e/ou pilares (Figura IV.8c, Figura IV.9).

De qualquer forma, as juntas são necessárias em todos os casos, agora sem exceção, em que houver a possibilidade de introdução de esforços, como em

locais de rápido aumento de temperatura ocasionado por pisos aquecidos (AS 3958.2, 1992, p.24).

Esse mesmo raciocínio de desconfinamento vale para uma parede que, sujeita à compressão por encurtamento da estrutura, pode provocar compressão, destacamento e posterior flambagem do revestimento cerâmico. Com relação a esse aspecto, a NBR 13755 (ABNT, 1996) proíbe expressamente a execução do revestimento cerâmico externo antes que a estrutura suporte esteja solicitada pelo seu peso próprio e pela sobrecarga de todas as alvenarias.

Um detalhe importante deve ser observado nos encontros de planos de revestimento cerâmico, particularmente nos encontros piso/parede: o rejunte precisa entrar em contato com a borda das duas placas sendo rejuntadas para que obtenha ancoragem a ambas. Se numa das placas o rejunte ficar em contato apenas com o esmalte, pode haver perda de aderência e formação de fissuras que prejudicam a estanqueidade do revestimento, o que pode dar origem a problemas de umidade e eflorescência.

Na interface entre revestimentos distintos, como é o caso de detalhes de madeira imersos num revestimento cerâmico de piso interno, a junta entre esses dois componentes deve ser preenchida por um SEL/R, haja visto que sempre haverá deformações diferenciais entre eles que um material rígido (como o rejunte cimentício) não será capaz de absorver eficazmente. O mesmo acontece no encontro das placas cerâmicas com os ralos (Figura IV.10) e com o tubo de saída da bacia sanitária (Figura IV.11).

Figura IV.10. Detalhe do encontro de tubos passantes (ralos)

Nesses casos, o rejunte não apresenta aderência ao corpo plástico dos tubos e não é capaz de acomodar movimentações diferenciais entre esses dois materiais.

Outro ponto bastante comum que necessita de cuidados especiais é a interface do corpo do aparelho sanitário com o revestimento cerâmico, como por exemplo o encontro da bacia sanitária com o piso (Figura IV.11), o encontro do tanque de lavar roupas com a parede posterior etc.

Figura IV.11. Detalhe do encontro com aparelhos sanitários

Nesses casos, o rejunte é limitado por dois elementos esmaltados e a aderência fica seriamente comprometida. Então, deve-se optar por um SEL ou, pelo menos, por um rejunte bicomponente que apresente aderência eficaz sobre essas superfícies, evitando o surgimento de problemas futuros. Se um rejunte cimentício monocomponente for aplicado nesses locais, a probabilidade do surgimento de problemas logo após a entrega da obra é bastante elevada.

No caso específico do tanque, que é fixado à parede por meio de parafusos, o constante uso provoca uma movimentação/vibração normal do aparelho. Se for aplicado um rejunte rígido entre ele e a parede, essa movimentação pode provocar o aparecimento de trincas e a posterior fragmentação do rejunte, o que compromete a estética, permite a passagem de água e forma uma região de acúmulo de restos de água e sabão, o que pode gerar condições para o surgimento de organismos biológicos.

IV.4.3. Escadas

As escadas são também exemplos de encontro de dois planos distintos, geralmente expostos à ação das intempéries. Um caso bastante comum é o revestimento dos degraus com algum tipo de pedra com coeficiente de atrito elevado, evitando escorregamento. Também, podem ser revestidos por placas cerâmicas semelhantes às usadas nos espelhos.

A Figura IV.12 ilustra os degraus executados em pedra única (granito, por exemplo) e executados em cerâmica apenas com acabamento em granito (anti-escorregamento) e a Figura IV.13 ilustra os degraus revestidos inteiramente em cerâmica.

a) escada com degraus em granito;

b) escada com degraus em cerâmica e acabamento em granito.

Figura IV.12. Detalhe do rejuntamento de escada

Seja qual for o caso, há que se ter cuidado com o rejuntamento, minimizando a possibilidade de a água infiltrar pela calçada no nível dos degraus superiores, atravessar o substrato e aflorar pelos espelhos dos degraus inferiores, o que pode ocasionar o carreamento dos sais presentes na argamassa de assentamento ou de regularização e dar origem ao surgimento de eflorescências²⁷ extremamente danosas para a estética do revestimento (Figura IV.14). Esse tipo de problema, além de poder surgir poucos meses após a entrega da obra, pode danificar definitivamente o revestimento e exigir sua completa reaplicação.

²⁷ Uma explicação detalhada sobre o fenômeno da eflorescência pode ser encontrada no Anexo A.

Figura IV.13. Detalhe de escada com degraus em cerâmica

Figura IV.14. Eflorescência em escada causada pela infiltração de água

Como o uso das escadas implica em alta solicitação abrasiva durante sua vida útil, a aplicação de um SEL nos planos horizontais pode não ser adequada. Então, deve-se ter em mente que o rejunte utilizado deve ser de alta qualidade, com boa aderência aos componentes rejuntados e com boa capacidade de absorção de deformações, propriedades mais próximas dos rejuntas bicomponentes. Além disso, esses rejuntas apresentam menor absorção de água e são menos permeáveis, propriedades que auxiliam no controle da infiltração de água por trás do revestimento.

IV.4.4. Janelas

A janela, como elemento construtivo, tem a função de isolar o meio externo do interno, evitando a penetração de água, controlando o fluxo de calor, pro-

porcionando um certo isolamento acústico, contribuindo para a estética da fachada etc. Neste item, a função em jogo é evitar a penetração de água, que dificilmente ocorrerá pelo corpo da janela em si, mas sim pela interface entre ela e a parede suporte. É fácil perceber que a parede é um elemento muito mais rígido que o caixilho e, por consequência, o comportamento que ambos apresentam frente às diversas solicitações a que estão submetidos é completamente distinto, o que pode dar origem a movimentos diferenciais e prováveis fissuras recorrentes em ligações rígidas.

Goldberg (1998, p.80) é claro em afirmar que as juntas de movimentação precisam ser alocadas em pontos onde as placas cerâmicas, a argamassa adesiva e a argamassa de emboço encontram materiais distintos, como caixilhos de janelas ou qualquer outro tipo de acabamento. Ademais, outro ponto importante a ser levado em consideração é que os materiais cimentícios (argamassa adesiva, rejunte) são corrosivos para o alumínio (largamente presente nos caixilhos) e não devem possuir contato direto com ele. Assim, se por um lado o SEL deve ser capaz de manter-se unido mecanicamente a eles, por outro deve separá-los quimicamente.

Caso essa união mecânica apresente falhas, a penetração de água pelas janelas pode, além de provocar problemas de umidade interior, provocar manchas externas por eflorescência e transporte de soluções alcalinas prejudiciais ao esmalte das placas e aos próprios vidros das janelas (GOLDBERG, 1998, p.76).

No caso de peitoril revestido com as mesmas placas da fachada, além do necessário caimento em torno de 5 a 7% para o exterior, o encontro das placas tanto com o caixilho quanto com as placas verticais externas deve ser feito com o uso de SEL (Figura IV.15a, b). Também, as placas do peitoril devem ser assentadas sobre as placas verticais da fachada (Figura IV.15b). Caso o peitoril seja executado com uma placa monolítica, ela deve ser provida de pingadeira e seu encontro inferior com as placas da fachada deve também ser preenchido com um SEL/R.

O encontro da lateral das janelas com as placas de fachada também apresenta três soluções possíveis, mostradas em planta na Figura IV.16. A Figura IV.16a mostra a placa da fachada cobrindo a placa da lateral da janela, o que deixa sua borda exposta para dentro do ambiente e diretamente visível para quem está na janela. Já a Figura IV.16b mostra uma solução bastante comum e de estética agradável, seja ela vista do interior ou do exterior do edifício.

Figura IV.15. Detalhe de um peitoril de janela

No caso da solução mostrada pela Figura IV.16c, é necessário efetuar cortes na borda das placas com ferramentas especiais, o que resulta no chanfro mostrado. Embora isso resulte num excelente acabamento, exige ferramental adequado e mão-de-obra qualificada para execução.

No caso do topo das janelas, próximo à viga superior, a Figura IV.17 expõe os locais onde a aplicação de SEL no encontro com o caixilho é essencial, evitando a possível infiltração de água. Essa figura é complementada pela Figura IV.18, que mostra outra posição que necessita da aplicação de SEL: o encontro do contra-marco com as placas cerâmicas sob o caixilho. O acabamento desse local tem grande importância na tarefa de evitar a infiltração de água para o interior da edificação. Novamente, vale lembrar que não é função do revestimento cerâmico proporcionar estanqueidade à vedação, muito embora ele possa contribuir para essa função.

a) solução inadequada; a borda da placa da fachada fica exposta e prejudica a estética;

b) nesse caso, as duas bordas da placa ficam escondidas pelo SEL/rejunte, o que melhora a estética final;

c) essa é a melhor solução, mas é pouco comum pelo fato de necessitar de ferramenta especial para o corte do canto das placas a 45°.

Figura IV.16. Vistas em planta de uma lateral de janela

Figura IV.17. Detalhe de janela

Figura IV.18. Detalhe de janela

Ainda em relação ao topo das janelas, o encontro com as placas verticais da fachada deve ser preenchido também por um SEL/R. A Figura IV.19 (a, b) mostra que as placas da fachada devem cobrir as placas horizontais do topo da janela, permitindo que a água escoe sem encontrar qualquer junta que represente um caminho para infiltração de água.

a) caso em que as bordas das placas ficam escondidas pelo rejunte/SEL;

b) caso em que a placa da fachada auxilia na função de pingadeira, mas fica com a borda exposta, prejudicando a estética;

c) nesse caso, o pior, a placa horizontal do topo da janela esconde a borda da placa da fachada, mas o encontro das duas é um ponto vulnerável para a penetração de água.

Figura IV.19. Detalhe dos tipos de encontro do topo da janela com a fachada

IV.4.5. Piscinas

O uso das piscinas, particularmente as públicas, envolve um grande número de usuários, de forma que algum fato anormal pode ser motivo para o surgimento de rumores os mais diversos, desde o uso de produtos de baixa qualidade até riscos para a saúde dos banhistas.

Em muitos casos, a interdição de piscinas pode estar associada à baixa qualidade técnica da obra, especificação incorreta de material ou, mais frequentemente, com o mau gerenciamento da qualidade química da água. Em uma pesquisa recente em várias piscinas do Reino Unido, identificou-se que uma impor-

tante causa para tal fato foi a ocorrência de sérios problemas de erosão ou ataque químico do rejunte utilizado (WHEAT, 2000, p.67).

Assim como nos revestimentos de fachada, a qualidade final do revestimento das piscinas, onde está incluso o rejunte, está diretamente relacionada à correta execução de um projeto adequadamente detalhado que especifique claramente: tipo de placa, tipo de rejunte e argamassa adesiva, técnica de assentamento, posição das juntas de dilatação, SELs adequados, detalhes de ralos e pontos de circulação de água etc. Além das especificações técnicas, um projeto deve detalhar a seqüência de execução, as tarefas complementares e os controles a serem realizados em cada etapa (ITC, 1994, p.53).

Para a especificação do rejunte, por exemplo, duas propriedades fundamentais que devem ser observadas são a resistência às ações mecânicas e químicas da água e a própria absorção de água pelo corpo do rejunte. Além de estarem relacionadas com a deterioração do material em si, estão também relacionadas ao desenvolvimento de organismos biológicos. Isso porque um rejunte que sofre abrasão e tem alta absorção de água mantém-se quase que permanentemente úmido e sua superfície áspera contribui para o acúmulo de sujidades que podem servir de alimento.

Além das propriedades supra citadas, a capacidade de atender a várias larguras de junta, manter sua cor inalterada e proporcionar acabamento superficial adequado mostram-se como requisitos importantes.

Considerando que as placas cerâmicas esmaltadas possuem resistências mecânica e química adequadas, o ponto fraco principal resume-se às juntas de assentamento, ou seja, ao rejunte utilizado e seu contato com a borda das placas. Sua capacidade de manter-se inalterado ao longo dos ciclos de tratamento da água das piscinas é um fator crítico e sua correta seleção está vinculada a alguns fatores, como por exemplo:

- tipos de placas utilizadas: devem ter absorção máxima de 3% e um adequado coeficiente de atrito para evitar acidentes por escorregamento (WHEAT, 2000). Devido a essa absorção reduzida, rejuntas cimentícios monocomponentes apresentam baixa aderência e o uso de produtos bicomponentes (desde que formulados com aditivos adequados para uso em piscinas) é recomendável.

Além disso, rejuntas aditivadas possuem maior capacidade para absorver deformações²⁸ e potencialmente maior resistência aos produtos químicos existentes na água das piscinas, particularmente às variações de pH (LATICRETE, 2003);

- qualidade do suprimento de água: a composição da água e suas propriedades estão relacionadas com sua origem geológica. Para o caso de uso em piscinas, um fator importante é sua dureza, ou seja, teor de carbonatos de cálcio e magnésio. Quanto maior o teor, maior a probabilidade de deposição de sais; por outro lado, quanto menor o teor, maior o potencial de corrosão e erosão do rejunte, pois a água torna-se mais reativa (WHEAT, 2000);
- tipos de uso da piscina e locais específicos no entorno que receberão revestimento cerâmico: bordas parcialmente submersas estarão sujeitas a ciclos de molhagem/secagem, o que pode tornar o ambiente mais agressivo para o rejunte nesses locais específicos. Tanto as placas como o rejunte precisam apresentar facilidade de limpeza e resistência ao desenvolvimento de organismos patogênicos. Também, uma piscina usada apenas para banho tem solicitações diferenciadas de uma usada para competições, jogos, treinos de canoagem etc.

Seja qual for o rejunte especificado, ele deve sempre impedir a entrada de água por trás das placas e apresentar baixa absorção, principalmente em climas frios, pois caso haja formação de gelo, a pressão ocasionada pelo aumento de volume pode danificar o revestimento. Vale lembrar que o revestimento cerâmico de uma piscina tem várias funções, mas nenhuma delas é de torná-la estanque. A cuba da piscina deve estar isenta de vazamentos e infiltrações antes da aplicação do revestimento e este não deve ser aplicado sobre bases com infiltrações externas com o objetivo de eliminá-las. Na prática, o revestimento contribui para a estanqueidade do conjunto, mas esse fato não deve ser levado em consideração no projeto e a idéia de que vazamentos podem ocorrer tendo como causa o revestimento cerâmico é equivocada.

Uma vez que os produtos cimentícios têm suas propriedades otimizadas quando passam por cura úmida, é boa técnica proporcionar esse fato aos rejuntas

²⁸ Informação totalmente confirmada pelos trabalhos laboratoriais.

de piscinas. Outro ponto importante é que nos encontros de duas laterais ou nos encontros parede/fundo o rejunte deve ser substituído por um SEL anti-fungos, permitindo movimentações diferenciais entre planos diferentes (ITC, 1994, p.235).

Num estudo realizado em nove países da Europa, seis apresentam o rejunte epóxi ou o cimentício bicomponente como uma indicação para uso em piscinas. Os outros três comentam que seu uso é ocasional e quando a água for muito agressiva (WHEAT, 2000). Já Preixens (1992) indica o rejunte epóxi como material adequado para resistir aos produtos de tratamento da água e também para proporcionar estanqueidade ao revestimento²⁹.

Em resumo, em muitos casos os rejunte cimentícios bicomponentes atendem aos requisitos de desempenho da maioria das piscinas, mas a incerteza da qualidade da água tem imposto o uso de rejunte epóxi contra um possível tratamento inadequado (WHEAT, 2000).

²⁹ Entenda-se aqui que o conjunto das placas e rejunte deve impedir a passagem de água. Mesmo se houver uma falha quanto a esse aspecto, a responsabilidade por impedir o vazamento da piscina continua sendo da camada de impermeabilização.

Este capítulo exhibe todos os resultados dos ensaios laboratoriais executados durante a pesquisa. São mostrados e comentados os seguintes ensaios de caracterização dos rejuntas: retração linear, flexibilidade, manchamento, resistência de aderência, resistência à compressão, módulo de deformação, retenção de água. Os ensaios de flexão de painéis em escala real estão dispostos ao final e representam o ponto chave de todos os ensaios executados.

Objetivos específicos a serem atingidos

Objetivos 5, 6, 7 e 8: ver página 5.

O QUE VOCÊ SABE NÃO TEM VALOR ALGUM
O VALOR ESTÁ NO QUE VOCÊ FAZ COM O QUE SABE.

Provérbio chinês

Este capítulo está dividido em duas partes principais. A primeira delas descreve todos os ensaios de caracterização dos rejuntas executados durante o programa experimental. O enfoque é dado aos produtos cimentícios, mas alguns resultados dos rejuntas de base orgânica são comentados oportunamente. A segunda parte, que aborda os ensaios de flexão de painéis, descreve o objetivo central desta dissertação, ou seja, discutir os ensaios para avaliar a influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis submetidos à flexão. Entenda-se aqui que o termo *juntas de assentamento* refere-se ao tipo de rejunte utilizado e também à largura da junta.

V.1. CARACTERIZAÇÃO DOS REJUNTES

Os ensaios de caracterização dos rejuntas foram baseados no projeto de norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001) e, quando julgou-se necessário, outras normas foram utilizadas, seja para nortear a execução dos ensaios seja para comparar seu procedimento de execução.

Inicialmente, os ensaios foram executados com o uso de rejuntas mono-componentes e, após, alguns foram repetidos com rejuntas bicomponentes para efeitos de comparação. Nesse caso, os aditivos utilizados foram os do tipo SBR (estireno butadieno), representado pelo SBR_EP (por uma questão de espaço, identificado apenas como P em algumas tabelas) e SBR_EA, e acrílico, representado pelo ACR. O aditivo SBR_EP é indicado pelo fabricante como um dos elementos da mistura bicomponente de argamassa adesiva de alto desempenho e o SBR_EA é indicado especificamente para melhorar algumas propriedades de rejuntas cimentícios.

Conforme informações dos fabricantes, o aditivo SBR_EP apresenta teor de sólidos aproximado de 27% (7% para o SBR_EA) e o ACR de 50%, sendo esses os valores adotados para o cálculo da razão polímero/cimento (p/c). No caso dos rejuntas, o teor de cimento adotado foi de 30%, o que também representa os dados fornecidos pelos fabricantes. Em todos os ensaios foram usados rejuntas tipo junta larga específicos para uso externo (tipo II da Tabela II.7, p.25).

A Tabela V.1 apresenta um resumo dos ensaios executados, as respectivas normas que regem sua execução e a quantidade de CP's (corpos-de-prova) executados em laboratório.

Tabela V.1. Resumo dos ensaios de caracterização e respectivas normas utilizadas

Ensaio	Nº da norma	Nome da norma	
	Data da norma		
	CP's sugeridos pela norma		CP's executados no laboratório
Retração linear	18:406.05	Argamassa para rejuntamento – Determinação da retração linear - Método de ensaio (Anexo D).	
	2001		
	4 unidades		7 a 9 unidades
Deformação transversal (flexibilidade)	EN 12002	Adhesives for tiles – determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts.	
	1997		
	3 unidades		6 unidades
Manchamento	NBR 13818	Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio (Anexo G).	
	1997		
	-		-
Resistência de aderência	NBR 14084	Argamassa colante industr. para assent. de placas de cerâmica – Det. da resistência de aderência.	
	1998		
	10 unidades		10 unidades
Resistência à compressão	18:406.05	Arg. para rejuntamento - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (Anexo E).	
	2001		
	6 unidades		10 unidades
Módulo de deformação	18:406.05	Arg. para rejuntamento – Determ. do módulo de deformação estático - Método de ensaio (Anexo G).	
	2001		
	6 unidades		10 unidades
Retenção de água	18:406.05	Argamassa para rejuntamento – Determinação da retenção de água - Método de ensaio (Anexo C).	
	2001		
	1 unidade		1 unidade

Durante a execução dos ensaios em laboratório, o teor de aditivo foi relacionado com a quantidade de água de amassamento, de modo a facilitar a execução da mistura. Assim, na Tabela V.2, o valor 50%P indica 50% de aditivo S-BR_EP em relação ao total da água de amassamento, ou seja, de um total de 200ml de água, 100ml foram substituídos pelo aditivo. No caso do ACR, a relação foi única de 1:3 em relação à água (uma parte de aditivo: três partes de água). Embora esse procedimento tenha facilitado o trabalho laboratorial, o valor que realmente traduz sentido físico importante é a relação polímero/cimento (p/c). Por esse motivo, a Tabela V.2 ilustra a equivalência entre essas duas grandezas.

Tabela V.2. Conversão do valor prático de aditivo para a relação polímero/cimento (p/c)

Valores equivalentes entre relação prática usada no laboratório e teor p/c							
Relação prática	25%P	33%P	50%P	66%P	100%P	SBR_EA	ACR
Teor p/c	4,5%	5,9%	9,0%	12,0%	18,0%	4,7%	8,3%

Nos ensaios de caracterização itemizados a seguir, são apresentadas explicações básicas sobre sua execução, os valores obtidos e alguns comentários a respeito dos resultados. A procedência dos produtos é a seguinte: Eliane (R1), JuntaPam (R2), Lafarge (R3), Portokoll (R4), Quartzolit (R5) e Abcco Rejuntabrás (R6).

V.1.1. Retração linear

O ensaio de retração linear é executado por meio da moldagem de um prisma retangular semelhante ao mostrado na Figura V.1. Após um intervalo de cura inicial, o CP é desmoldado, armazenado em câmara seca e seu comprimento é medido em períodos pré-determinados. Esse ensaio é descrito pelo projeto de norma 18:406.05 (ABNT, 2001) e a moldagem dos CP's pôde ser executada de acordo com o procedimento ali descrito apenas para o caso de rejuntas mono-componentes. No caso de rejuntas bicomponentes, a compactação foi executada apenas por impacto, já que a consistência do produto impediu³⁰ a compactação por penetração de espátula como especificada pelo projeto de norma.

Figura V.1. Esboço do CP utilizado no ensaio de retração

Cada um dos produtos ensaiados apresentou um valor característico de retração, não sendo o mesmo para diferentes fabricantes. No caso de rejuntas bi-

componentes com diferentes teores de aditivo, houve uma pequena variação no valor final da retração, como pode ser visto na Tabela V.3. Entretanto, a adição do polímero influenciou sensivelmente o desvio padrão dos conjuntos de CP's, tornando a amostra mais homogênea, conforme pode ser visualizado na Figura V.2.

Tabela V.3. Retração dos rejuntas nas idades de 1, 7 e 21 dias respectivamente (mm/m)

Fabri- cante	Teor de aditivo da mistura									
	Puro	25% P p/c=4,5%	33%P p/c=5,9%	50%P p/c=9,0%	66%P p/c=12%	100%P p/c=18%	SBR_EA p/c=4,7%			
R1	7 CP's 0,39 1,51 1,65	9 CP's 0,63 1,40 1,38	-	9 CP's 0,67 1,33 1,45	-	6 CP's 0,29 1,58 1,75	9 CP's 0,52 1,18 1,24			
R4	9 CP's 0,39 1,08 1,14	-	8 CP's 0,32 1,26 1,37	-	6 CP's 0,23 1,21 1,32	9 CP's 0,10 1,12 1,30	7 CP's 0,42 1,32 1,41			
R5	9 CP's 0,27 1,48 1,64	-	-	-	-	-	-			
R6	9 CP's 0,23 1,10 1,25	-	-	-	-	-	9 CP's 0,17 1,05 1,10			

Nº de CP's

Retração a 1 dia
Retração aos 7 dias
Retração aos 21 dias

Figura V.2. Gráfico da retração de um mesmo rejunte sob duas condições: puro e aditivado

A ANSI A118.6 (ANSI, 1999) estabelece valores de retração linear máxima a 24h de 0,3mm/m e aos sete dias de 1mm/m. Entretanto, as condições de cura es-

³⁰ Os rejuntas bicomponentes apresentam-se muito "grudentos". Assim, a retirada da espátula acaba por remover o rejunte da forma ao invés de promover sua compactação, o que impede que seja feita dessa maneira.

pecificadas nessa norma exigem umidade relativa de 95% ou mais, enquanto que os ensaios descritos neste capítulo foram desenvolvidos em câmara seca após a cura inicial, conforme descrito no projeto de norma já citado.

V.1.2.Flexibilidade (deformação transversal)

O ensaio de deformação transversal (aqui tratada como flexibilidade), consiste em submeter à flexão uma placa de rejunte com dimensões de 280x45x3mm até sua ruptura, sendo a carga aplicada na parte central de um CP apoiado sobre roletes, como ilustrado na Figura V.3.

Figura V.3. Esboço do ensaio de flexibilidade (deformação transversal)

Como os CP's executados têm seu tamanho padronizado pela EN 12002 (EN, 1997), fôrmas precisaram ser confeccionadas no laboratório do CPqDCC (Figura V.4) utilizando uma placa de PVC em virtude do seu custo inferior em relação ao Teflon® (PTFE³¹), sugerido pela EN 12002. Após essa tarefa, os CP's foram moldados e ensaiados como mostrado na Figura V.5.

Os ensaios foram realizados conforme a norma EN 12002 (EN, 1997) exceto pelo fato de que a cura deu-se em laboratório com temperatura de 23±2°C e umidade relativa de 60±5%. Essa norma estabelece cura de 14 dias num invólucro de polietileno seguida de outros 14 dias nas condições de 23±2°C. Dessa forma, os resultados não podem ser adotados como valores absolutos, mas podem apenas

³¹ PTFE – sigla proveniente de **p**olitetra**f**luore**t**ileno. O nome Teflon® foi patenteado pela DuPont em 1945 e representa uma família de flúor-polímeros que engloba o PTFE, conhecido por ser um material de grande resistência química e o melhor anti-aderente já descoberto. (Informação disponível em <http://daybrasil.com.br/produtos/plasticos>. Acesso em: Mai.2003).

ser objeto de comparação entre si. Ademais, por não terem relevância para este texto, os valores das cargas de ruptura não estão apresentados nas tabelas de resultados expostas na seqüência.

Figura V.4. Fôrmas confeccionadas em PVC

Figura V.5. Ensaio de flexibilidade

A Tabela V.4 mostra o resultado dos ensaios de flexibilidade aos 28 e aos 14 dias, sendo que cada valor apresentado é uma média de pelo menos seis CP's.

Tabela V.4. Ensaio de flexibilidade do rejunte aos 28 e aos 14 dias (flechas em mm)

Idade	Fabricante	Teor de polímero adicionado					
		Puro	25%P p/c = 4,5%	50%P p/c = 9%	100%P p/c = 18%	SBR_EA p/c = 4,7%	ACR p/c = 8,3%
28 dias	R1	1,32 ± 0,04	1,80 ± 0,21	2,57 ± 0,20	5,68 ± 0,39	1,86 ± 0,15	2,95 ± 0,26
	R2	1,20 ± 0,14	-	-	8,35 ± 0,33	-	-
	R3	1,33 ± 0,12	-	-	5,28 ± 0,14	-	1,86 ± 0,23
	R4	-	-	-	8,20 ± 0,15	-	-
	R5	1,95 ± 0,15	-	-	7,06 ± 0,14	-	3,71 ± 0,49
	R6	1,38 ± 0,12	1,69 ± 0,12	2,93 ± 0,15	7,42 ± 0,52	1,69 ± 0,17	1,66 ± 0,07
14 dias	R1	1,00 ± 0,02	-	-	6,00 ± 0,43	1,61 ± 0,15	3,21 ± 0,32
	R2	1,26 ± 0,07	-	-	8,38 ± 0,74	-	-
	R3	1,15 ± 0,06	-	-	8,64 ± 0,35	-	3,75 ± 0,17
	R4	0,73 ± 0,05	-	-	6,54 ± 0,12	-	4,13 ± 0,44
	R5	2,75 ± 0,33	2,62 ± 0,10	4,91 ± 0,43	8,87 ± 0,30	4,27 ± 0,30	4,02 ± 0,26
	R6	1,50 ± 0,17	-	-	5,22 ± 0,71	1,83 ± 0,13	-

- Rejunte epóxi: 25,8mm.

- Rejunte furânico: moldagem não é possível devido à consistência do material.

O ensaio de flexibilidade pode ser correlacionado com duas propriedades importantes dos rejuntas cimentícios: módulo de deformação e capacidade de absorver deformações cíclicas. Para um produto da mesma procedência, os ensaios revelaram que quanto maior o teor de polímero maior foi a flecha para a mesma carga de ruptura, o que significa uma redução do módulo de deformação. No caso de esforços cíclicos do revestimento cerâmico, como variações dimensionais de origem térmica, o polímero proporciona a formação de uma matriz de cimento e agregados imersa num composto elasto-plástico, o que contribui para a formação de um conjunto "maleável", reduzindo a probabilidade de fissuras por fadiga e aumentando a aderência à lateral da placas. Quanto maior o teor de polímero, mais influentes são suas propriedades no composto final.

V.1.3. Manchamento

O ensaio de manchamento de rejunte não segue nenhuma norma, mas é razoável que sejam aplicados os mesmos agentes manchantes e a mesma técnica especificada na NBR 13818 (ABNT, 1997), que trata do manchamento de placas cerâmicas. Basicamente, o ensaio se resume em sujar o rejunte e limpá-lo metodicamente.

Após a remoção do excesso de agente manchante, uma parte superficial é de difícil remoção pelo fato de ficar aderida na superfície rugosa do rejunte. Além disso, uma parte do agente acaba por penetrar a estrutura do rejunte numa profundidade tal que depende tanto das características/propriedades do rejunte como do próprio agente manchante (mesmo os produtos epóxi, com absorção quase nula, apresentaram manchas após o ensaio).

Dentre essas características/propriedades, pode-se destacar: absorção, porosidade e cor do rejunte, tipo de agente manchante (vinho, óleo, catchup, mostarda, café etc.), consistência, tempo de contato, técnica de limpeza. A Figura V.6 mostra um ensaio de manchamento com catchup, mostarda e iodo e a Figura V.7 ilustra o rejunte após passar por um processo de limpeza com água corrente e escova de cerdas plásticas. Nota-se que as manchas não puderam ser removidas.

Após a tentativa de limpeza, uma camada superficial do rejunte foi removida por raspagem, fato que possibilitou perceber que o agente manchante penetrou profundamente (aproximadamente 1mm) no corpo do rejunte.

Assim, uma vez que o agente foi absorvido pelo rejunte, pode-se deduzir que a remoção da mancha é praticamente impossível, restando apenas a alter-

nativa de remoção e reaplicação do rejunte na parte afetada. Mesmo com essa atitude e sendo a reaplicação de apenas uma parte do rejunte uma tarefa simples, muitas vezes ela se torna ineficaz porque o rejunte recém aplicado destoa das partes mais antigas, o que pode resultar em qualidade de serviço inferior à que havia mesmo com a presença das manchas.

Figura V.6. Ensaio de manchamento

Figura V.7. Rejunte manchado após limpeza

Em resumo, nota-se que o manchamento é muito influenciado pela rugosidade, pela absorção de água e pela porosidade dos rejuntas. No caso dos rejuntas bicomponentes, os aditivos podem alterar a absorção de água e a porosidade, mas pouco interferem na rugosidade superficial. Isso porque ela depende do tipo de acabamento do rejunte e, pelo próprio fato de tratar-se de um material arenoso (rejuntas cimentícios), sua superfície sempre apresenta irregularidades que dificultam a limpeza e remoção das manchas.

V.1.4. Resistência de aderência

O ensaio de resistência de aderência consiste em assentar uma placa cerâmica de dimensões 5x5cm sobre um substrato padrão, arrancando-a após um período específico de cura (Figura V.8) conforme descrito na NBR 14084 (ABNT, 1998)³². Além disso, para avaliar a resistência de aderência dos rejuntas ao esmalte das placas, foram feitos ensaios onde o substrato padrão foi substituído por uma placa esmaltada e completamente lisa (Figura V.9). Esse ensaio foi executado tendo em vista que algumas placas apresentam esmalte na lateral, o que pode prejudicar a aderência do rejunte.

³² Esse ensaio foi desenvolvido para argamassas adesivas, mas nesse caso foi utilizado para avaliar a resistência de aderência do rejunte.

A aplicação sobre o substrato padrão foi executada com desempenadeira denteada (dentes 6x6mm) e também por meio da técnica do bolão³³, sendo que pouca diferença foi encontrada no resultado final da resistência de aderência. Outro fato relevante é que o posicionamento da massa de 1kg sobre as placas recém assentadas também pouco influenciou o resultado dos ensaios, provavelmente porque o rejunte apresenta-se bem mais consistente do que uma argamassa adesiva e pouco sofre a influência de uma carga estática de 1kg.

Figura V.8. Aderência sobre substrato padrão **Figura V.9. Aderência sobre placa cerâmica**

A seguir, a Tabela V.5 mostra os resultados dos ensaios de resistência de aderência aos 14 e 28 dias para placas de porcelanato e a Tabela V.6 para placas de semi-grês.

Tabela V.5. Resistência de aderência (placas de porcelanato) sobre substrato padrão (MPa)

Fabricante	14 dias			28 dias		
	Puro	50% SBR_EP p/c=9,0%	100% SBR_EP p/c=18%	Puro	50% SBR_EP p/c=9,0%	100% SBR_EP p/c=18%
R1	0,52 ± 0,17	0,83 ± 0,20	1,19 *	-	-	-
R2	-	-	-	0,58 ± 0,06	-	*
R3	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	0,25 ± 0,07	0,84 ± 0,17	1,07 ± 0,15
R5	0,79 ± 0,09	-	1,16*	-	-	1,78 ± 0,12

* Ruptura do substrato padrão (ver Figura V.10).

Salvo as rupturas do substrato, todos os demais ensaios apresentaram ruptura na interface placa/rejunte, sendo que as placas apresentaram restos significativos de rejunte no tardo apenas para teores de 100% SBR_EP.

³³ Técnica em que porções de argamassa são aplicadas sobre o tardo da placa a ser assentada, bastando pressioná-la até que o excesso de argamassa flua pelas laterais.

A NBR 14084 (ABNT, 1998) especifica placas com absorção de $4 \pm 1\%$ para o ensaio das argamassas adesivas. Entretanto, para efeito de comparação, os rejuntas foram utilizadas no assentamento de placas de porcelanato e semi-grés, resultando em dados comparativos para duas placas de uso bastante comum.

Tabela V.6. Resistência de aderência (placas de semi-grés) sobre substrato padrão (MPa)

Fabricante	14 dias			28 dias		
	Puro	50% SBR_EP p/c=9,0%	100% SBR_EP p/c=18%	Puro	50% SBR_EP p/c=9,0%	100% P p/c=18
R1	$0,47 \pm 0,18$ (a)	$1,55 \pm 0,25$ (b)	1,30*	$0,87 \pm 0,14$ (c)	1,23*	1,13*
R3	$0,24 \pm 0,04$ (a)	$0,35 \pm 0,07$ (a)	-	$0,28 \pm 0,04$ (c)	$1,15 \pm 0,12$ (b,c)	-
R5	$0,73 \pm 0,18$ (c)	1,21*	-	$1,26 \pm 0,10$ (b)	$1,55 \pm 0,13$ (b)	1,65*

* Ruptura do substrato padrão (ver Figura V.10).

(a) Rejunte solta do tardo da placa.

(b) Rejunte arranca capa superficial do substrato padrão.

(c) Ruptura do rejunte, havendo restos no tardo da placa e restos no substrato padrão.

No caso de assentamento sobre placa esmaltada (Figura V.9), fica clara pela Tabela V.7 a baixíssima aderência dos produtos puros, como deveria ser segundo a teoria que explica a aderência mecânica do cimento (item III.7, p.62), quase que exclusiva no caso dos rejuntas monocomponentes. Entretanto, analisando os resultados dos produtos bicomponentes, o efeito “cola” do aditivo manifesta-se sensivelmente nos materiais de todos os fabricantes, mesmo sendo ele mais acentuado em alguns do que em outros.

Evidentemente, esse fato depende da interação entre dois materiais, o polímero e o rejunte, sendo que o desempenho do composto final deve ser analisado não apenas a curto prazo, mas principalmente em idades maiores que representem mais adequadamente a vida útil do revestimento cerâmico.

Tabela V.7. Resistência de aderência aos 14 dias sobre placa esmaltada (MPa)

Fabricante	Teor de polímero adicionado				
	Puro	25% SBR_EP p/c=4,5%	50% SBR_EP p/c=9,0%	100% SBR_EP p/c=18%	SBR_EA p/c=4,7%
R1	$0,04 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,05$	$1,59 \pm 0,11$	$0,38 \pm 0,13$
R4	$0,00 \pm 0,00$	-	-	$0,92 \pm 0,09$	$0,26 \pm 0,05$
R5	$0,07 \pm 0,01$	-	-	$0,37 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,03$
R6	$0,00 \pm 0,00$	-	-	-	$0,78 \pm 0,06$

Todos os ensaios apresentaram ruptura na interface rejunte/superfície esmaltada.

Outro fato que pôde ser observado no caso de produtos bicomponentes é que a elevada resistência de aderência por eles proporcionada ocasionou a ruptura do substrato padrão. Isso ocorreu de duas formas: arrancamento de uma parte do substrato (Figura V.10) ou quebra do substrato por flexão (Figura V.11).

Ambas as situações mostram a necessidade de substratos de maior resistência para o teste de produtos de elevado desempenho, evitando a perda de CP's. Quanto a esse aspecto, um fato a ser observado é que os substratos padrão utilizados apresentaram duas espessuras, variando conforme o fornecedor: 15mm e 20mm. Embora a NBR 14082 (ABNT, 1998) especifique 15mm como espessura mínima para os substratos, justamente aqueles com essa dimensão é que sofreram ruptura por flexão.

Figura V.10. Ruptura do substrato padrão

Figura V.11. Quebra do substrato por flexão

Os demais, com espessura de 20mm, sofreram ruptura conforme mostra a Figura V.10 para rejuntas bicomponentes. De qualquer forma, isso não pode ser encarado como uma crítica à norma, mas sim como uma sugestão, já que ela é clara em afirmar que o assentamento das placas deve ser feito com argamassas monocomponentes.

V.1.5.Compressão e módulo de deformação estático

Os valores de compressão e módulo de deformação resultam de um mesmo ensaio básico. O procedimento consiste em comprimir um corpo-de-prova cilíndrico adequadamente curado (Figura V.12) até sua ruptura, sendo anotado o valor da tensão máxima. Quando estiver sendo executado o ensaio de módulo de deformação estático, valores de deformação longitudinal do CP são também registrados conforme a tensão de compressão aumenta, o que dá origem a um grá-

fico tensão x deformação de onde pode ser extraído o valor do módulo de deformação. O projeto de norma 18:406.05 (ABNT, 2001) descreve o carregamento para cálculo do módulo como sendo o plano da carga I (tangente inicial) da NBR 8522 (ABNT, 1984).

Para que o contato do CP com as bases de aplicação da carga seja otimizado, suas extremidades precisam ser retificadas de modo a apresentar a máxima área de contato com a carga e evitar o acúmulo de tensões que possam afetar o resultado do ensaio. Isso pode ser feito de duas maneiras: por capeamento de enxofre ou por retificação mecânica, sendo o primeiro caso o utilizado neste trabalho pela sua facilidade de execução e pela disponibilidade de material.

Figura V.12. Esboço do ensaio de compressão

A seguir, a Tabela V.8 apresenta os resultados de resistência à compressão e a Tabela V.9 os valores de módulo de deformação, ambas para rejunte puro e com 100% de aditivo SBR_EP. O módulo de deformação do rejunte tem grande potencial para proporcionar alívio de tensões, conforme foi visto no item III.6 (p.45).

Tabela V.8. Resistência à compressão (MPa)

Fabricante	Puro				100% SBR_EP (p/c=18%)			
	Idade (dias)				Idade (dias)			
	3	7	14	28	3	7	14	28
R1	-	16,8 ± 1,05	21,7 ± 1,47	19,2 ± 1,05	-	13,1 ± 1,42	11,4 ± 1,46	16,4 ± 1,03
R4	-	-	-	11,2 ± 1,15	-	-	-	13,8 ± 1,08
R5	1,27 ± 0,12	6,14 ± 0,48	12,1 ± 0,78	13,6 ± 0,67	-	8,15 ± 0,52	-	9,47 ± 2,36

Tabela V.9. Módulo de deformação aos 28 dias (MPa)

Fabricante	Puro	100% SBR_EP	Fabricante	Puro	100% SBR_EP
R1	19370 $\pm$ 61	12860 $\pm$ 1569	R5	14390 $\pm$ 251	7511 $\pm$ 408

V.1.6. Retenção de água

O ensaio de retenção de água consiste em preencher uma fôrma cilíndrica (Figura V.13) com rejunte fresco, rasar sua superfície e colocá-la em contato com um papel filtro padrão, anotando o diâmetro da mancha de água após quatro, sete e 10 minutos (Figura V.14).

Após a execução de alguns CP's, pôde-se perceber a necessidade da colocação de uma superfície macia entre o papel filtro e a base, como mostrado na Figura V.15. Sem esse artifício, o rejunte não apresenta contato adequado com o papel filtro e o ensaio não pode ser adequadamente desenvolvido. Assim, foi adotado o procedimento de comprimir o CP contra essa superfície de modo que o ensaio pudesse ser executado de maneira eficaz. No caso de rejuntas bicomponentes, não houve migração de água para o papel filtro em nenhum caso analisado, mesmo com contato adequado do rejunte.

Figura V.13. Fôrma do ensaio de retenção **Figura V.14. Ensaio de retenção de água**

Um ponto importante a ser destacado é a grande variabilidade de resultados conforme o tipo de papel filtro utilizado, sendo eles de absorção baixa, média e alta (Figura V.16).

Embora esse ensaio revele o potencial de um dado rejunte em reter sua água de amassamento e proporcionar adequada hidratação do cimento, é difícil afirmar até que ponto a mancha de água sobre o papel filtro pode indicar de maneira positiva ou negativa alguma alteração de desempenho e o quanto esse

fator é importante frente aos demais envolvidos. Assim, embora os rejuntas bicomponentes apresentaram maior capacidade de retenção de água, fato que pode revelar-se interessante nos casos de aplicação em fachadas, sua aplicação em um painel (item V.2) apresentou sérios problemas de fissuração, como mostrado na Figura V.17 e na Figura V.18.

Figura V.15. Ensaio de retenção adaptado**Figura V.16. Ensaio com papéis diferentes** **Figura V.17. Fissura em rejunte bicomponente****Figura V.18. Fissura em rejunte bicomponente**

V.2. ENSAIOS DE FLEXÃO DE PAINÉIS

Os ensaios de flexão de painéis³⁴ tiveram por objetivo avaliar a influência do rejunte na estabilidade do revestimento cerâmico aplicado sobre uma laje

³⁴ Todos as etapas dos ensaios de flexão de painéis foram executadas pelo autor deste trabalho com o objetivo de adquirir sensibilidade sobre as variáveis envolvidas no processo.

submetida à flexão. Para isso, foram moldadas placas de concreto nas dimensões³⁵ de 150x65x4,5cm e 120x35x4,5cm.

A carga foi aplicada nos CP's por meio do uso de uma prensa Shimadzu com capacidade para 200tf existente no laboratório do CPqDCC-EPUSP (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil da Escola Politécnica da USP), usando fundo de escala de 4ff. As duas vigas que serviram de suporte e a viga central para aplicação da carga foram representadas por perfis de aço suficientemente rígidos e de deformação desprezível frente à flecha das lajes.

Os CP's foram ensaiados conforme mostra a Figura V.19, impondo ao revestimento esforços de compressão decorrentes do encurtamento do banzo superior. Para permitir a livre flexão dos CP's, foram utilizados roletes em alguns pontos específicos, como mostrado na Figura V.19.

Figura V.19. Esboço do corpo de prova ensaiado numa prensa hidráulica

³⁵ A definição do tamanho dos corpos-de-prova foi balizada por dois aspectos:

1. largura: possibilitar pelo menos três fiadas de placas, de modo que a fiada central ficasse confinada por outras duas;

O traço do concreto utilizado foi 1:2:3 (cimento:areia:pedrisco) com fator a/c aproximado de 0,6³⁶ (compactado em mesa vibratória) e a armação resumiu-se a barras de aço CA50 com diâmetro 5mm. Por motivos construtivos, foram posicionadas duas barras na direção transversal do CP, proporcionando amarração para as barras longitudinais que repousam sobre o fundo da forma (Figura V.20).

Para reforço da aba onde a carga foi aplicada, foram posicionadas barras transversais ao CP, também de 5mm (Figura V.21), de forma a resistir ao momento fletor ocasionado pela compressão das abas das placas.

Após um período de cura mínimo de 28 dias, as lajes de maior dimensão foram revestidas com placas de porcelanato 20x20cm e as menores com placas semi-grés 10x10cm (Figura V.22). Um terceiro ensaio previsto inicialmente, com pastilhas de porcelana 5x5cm, não foi executado por causa dos motivos expostos na seqüência.

Figura V.20. Detalhes da estrutura do corpo-de-prova

Os primeiros CP's a serem ensaiados foram aqueles revestidos com placas de porcelanato e cada bateria de ensaios foi composta por sete amostras. Após sua realização, percebeu-se o baixo desvio padrão dos resultados e decidiu-se por diminuir a quantidade de CP's revestidos com placas 10x10cm, o que resultou num conjunto de cinco amostras.

2. comprimento: para o tamanho das abas definido, a força máxima por elas suportada deveria provocar uma flecha de 30mm.

³⁶ Não foi feito nenhum estudo de traço para o concreto e o fator a/c foi adotado após confirmação de uma boa consistência para moldagem.

Figura V.21. Detalhamento da aba

Figura V.22. Esboço das lajes revestidas

As variáveis em jogo foram o tipo de argamassa adesiva, a largura da junta e o tamanho da placa, o que resultou nos CP's descritos na Tabela V.10.

Tabela V.10. Especificação das lajes ensaiadas à flexão

Placa	Argamassa adesiva	Rejunte	Junta	Número de CP's
Porcelanato 20,0 x 20,0cm	BcFQ ³⁷	R5	1 mm	7
		R5	5 mm	7
		R5	8 mm	7
		R5	vazia ³⁸	7
Semi-grés 10,0 x10,0cm	FcLE ³⁹	R5	1 mm	5
		R5	5 mm	5
	BcFQ	R5	1 mm	5
		R5	5 mm	5

O assentamento das placas foi executado a partir do centro da laje, de modo a sempre deixar fileiras de placas geometricamente posicionadas sobre os eixos transversal e longitudinal dos CP's.

A argamassa foi preparada com auxílio de um misturador mecânico e também manualmente para menores quantidades, seu tempo em aberto não foi atingido em qualquer caso e os dois tipos de placa foram assentados com o uso da técnica de dupla colagem⁴⁰; ademais, o preenchimento de 100% do tardo

³⁷ Resistência de aderência média: 1,18MPa; deformação transversal: 2,08mm.

³⁸ As placas foram assentadas com junta de 5mm e foram ensaiadas sem aplicação de rejunte.

³⁹ Resistência de aderência média: 0,6MPa; deformação transversal: 1,38mm.

⁴⁰ Técnica em que a argamassa é aplicada sobre o substrato e sobre o tardo

garantido pela inspeção constante e pelo posicionamento das placas levemente fora da posição original.

O rejuntamento, sempre com rejunte monocomponente tipo II (uso externo), foi executado três dias após o assentamento das placas e todos os CP's de dimensões 120x35cm foram ensaiados aos 14 dias de idade, contados a partir da data do revestimento. Isso resultou num tempo de cura do concreto de pelo menos 42 dias.

Como os ensaios dos CP's de dimensões 150x65cm foram mais lentos devido à dificuldade de manuseio causada pelo seu elevado peso e também pela logística de transporte e armazenamento, quatro CP's foram ensaiados aos 14 dias e três aos 15 dias, o que completou o conjunto de sete CP's iguais.

A Figura V.23 mostra o ensaio de um corpo de prova de dimensões 150x65cm revestido com placas de porcelanato 20x20cm. Para detectar o momento da ruptura, dois medidores foram posicionados próximo a uma das abas, sendo um deles sobre a placa cerâmica e outro ligeiramente ao lado mas sobre a base de concreto (Figura V.24). Uma diferença brusca entre os dois identificou o momento exato da ruptura da argamassa adesiva e a leitura de um terceiro medidor forneceu o valor da flecha total do CP.

Figura V.23. CP com placas 20x20cm

Figura V.24. Posicionamento dos medidores

Infelizmente, essa técnica de detecção foi eficaz apenas para placas 20x20cm e não para as placas menores de 10x10cm e, para tentar explicar o porquê desse fato, é necessário analisar os aspectos envolvidos na ruptura dos CP's.

A Figura V.25 exibe um corte transversal de um corpo-de-prova concluído e sob flexão (propositadamente exagerada).

Nesse instante, a argamassa adesiva sofre grande tensão nos pontos centrais da placa cerâmica rígida, que não acompanha a flexão da base. Fica fácil perceber que, para uma mesma flecha da laje, esse efeito é menor para placas menores, diminuindo sua importância frente a outros aspectos.

Na Figura V.26, percebe-se que a deformação do rejunte submete-o à compressão e, nesse caso, quanto mais larga for a junta, menor será a tensão que sobre ele atua, pois a deformação específica será menor para a mesma deformação absoluta, considerando uma mesma flecha do corpo-de-prova.

Figura V.25. Detalhe da deformação da argamassa adesiva por flexão do substrato

Figura V.26. Detalhe da deformação do rejunte por flexão do substrato

Imaginando o comportamento do CP ao longo da flexão, vê-se que as placas cerâmicas apenas são capazes de acompanhar a deformação do substrato se o rejunte entre cada uma delas deformar-se por compressão. Esse efeito de confinamento será tanto mais acentuado quanto mais rígido for o rejunte e

menor for a largura da junta, aproximando o comportamento de várias placas daquele de uma única peça monolítica, induzindo o CP a uma menor capacidade de deformação por flexão.

No início da flexão, para pequenas flechas, o raio de curvatura da base é elevado e o efeito da Figura V.25 tem pouca importância. Nesse ponto, a argamassa adesiva precisa manter a placa aderida ao substrato de tal forma a garantir uma tensão suficiente para deformar o rejunte por compressão. Se o rejunte for muito rígido e/ou a argamassa tiver baixa aderência, as placas se soltam no início do ensaio.

Seguindo o mesmo raciocínio, para flechas maiores o raio de curvatura diminui e o efeito da Figura V.25 ganha importância, exigindo que a argamassa adesiva deforme-se mais na parte central do que no extremo das placas. Se a argamassa apresentar alta aderência mas baixa capacidade de absorver deformações, chega um ponto em que ela se rompe brusca e fragilmente. Se apresentar, além de alta aderência, alta capacidade de absorver deformações⁴¹, ela sofrerá maiores deformações sob baixas tensões, diminuindo a possibilidade de ruptura brusca e dificultando o momento de detecção.

Como foi mencionado anteriormente, a variação brusca entre os dois medidores foi obtida apenas nos ensaios com porcelanato 20x20cm. Isso pode ter ocorrido por causa do tamanho da placa e pelo fato de a argamassa utilizada proporcionar aderência bastante elevada. Conforme o andamento do ensaio, as placas trabalharam como um “freio” à deformação do conjunto, aliviando bruscamente as tensões suportadas no momento de ruptura da argamassa adesiva, o que explica o som “oco” e o alívio de carga ocorridos, além do sensível deslocamento diferencial entre a placa e o substrato.

No caso das placas menores, elas acompanharam mais facilmente a deformação do substrato devido ao seu tamanho inferior e ao maior número de juntas, o que dificultou a detecção do momento da ruptura. Esse instante só pôde ser detectado por meio da introdução cuidadosa de uma cunha entre as placas e o substrato, forçando-as levemente para cima. Embora não tenha sido um teste tão preciso quanto o uso de relógios comparadores, sua eficácia ficou comprovada pelo baixo desvio padrão dos resultados.

⁴¹ Imagina-se produtos cimentícios bicomponentes mais deformáveis do que os monocomponentes.

Somando o efeito de uma argamassa de alto desempenho e um tamanho de placa reduzido (5x5cm), é pouco provável que haja ruptura brusca passível de identificação por meio de relógios comparadores. Assim, seria necessário averiguar a melhor forma de detectar o momento exato da ruptura, preferencialmente não manual, de forma a tornar o ensaio confiável. Por esse motivo é que os CP's com pastilhas de porcelana 5x5cm não foram executados.

A seguir, a Tabela V.11 mostra os resultados dos ensaios e a Tabela V.12 expõe comentários a respeito dos dados encontrados.

Tabela V.11. Resultados dos ensaios de flexão de painéis (flechas em cm)

Caso	Argamassa Placas	Junta 1mm	Junta 5mm	Junta 8mm	Sem rejunte*
1	BcFQ Porcelanato 20x20cm	9,4 ± 3,0	15,0 ± 1,0	15,3 ± 0,6	17,3 ± 3,2
2	FcLE Placas semi-grés 10x10cm	5,8 ± 0,5	6,5 ± 0,9	-	-
3	BcFQ Placas semi-grés 10x10cm	5,7 ± 0,6	11,9 ± 0,5	-	-

* Placas assentadas com espaçamento de 5mm, sem preenchimento das juntas.

Pela análise dos dados da Tabela V.11, aparentemente as juntas têm maior influência nas pequenas larguras, como pode ser visto nos valores da flecha de ruptura do caso 1, indicando um comportamento semelhante ao exposto na Figura V.27. Em sua região hachurada, ela delimita valores máximos e mínimos para a largura da junta: o primeiro representa o limite prático de execução e o segundo indica um valor acima do qual pouca contribuição existe para a estabilidade do revestimento. Evidentemente, devem ser consideradas também as características do rejunte em questão.

Percebe-se que o comportamento do corpo-de-prova pode tornar-se complexo e envolve vários aspectos, tanto do rejunte quanto da argamassa adesiva e da própria placa cerâmica. A importância de cada um deles frente aos demais requer um estudo de cada uma das variáveis envolvidas, isolando-as e ensaiando-as individualmente.

Tabela V.12. Análise dos ensaios de flexão de painéis

Caso	Comentários
1	Influência sensível da largura da junta de assentamento, principalmente na faixa de 1-5mm. Para maiores larguras, o rejunte passa a ter pouco efeito na estabilidade e a flecha máxima se aproxima daquela que ocorre com junta vazia.
2	Pouca influência da largura da junta, possivelmente pelo fato de que a argamassa utilizada apresenta baixa aderência e baixa capacidade de absorção de deformações. Assim que o rejunte passa a ser comprimido, a argamassa não suporta os esforços e sofre ruptura por tração.
3	Aqui, a argamassa apresenta alta aderência e boa capacidade de absorção de deformações, o que possibilita o surgimento de esforços de compressão sobre o rejunte sem que isso provoque ruptura da argamassa por tração. Para as juntas de 5mm, o rejunte sofreu esmagamento e logo após as placas se soltaram.
2 X 3	A comparação desses dois casos mostra que as propriedades de uma argamassa de maior desempenho são melhor exploradas quando a largura das juntas de assentamento é maior. Para pequenas larguras de junta, o comportamento das placas aproxima-se daquele de um corpo monolítico e a ruptura ocorre em momento semelhante à ruptura de uma argamassa de desempenho inferior.
1 X 2,3	Essa comparação não confirma a suposição feita pelo autor deste trabalho referente à Figura V.25. Teoricamente, placas maiores deveriam ocasionar ruptura do CP com flechas menores para uma mesma argamassa adesiva, fato que não foi verificado. Assim, são necessários maiores dados e medições para explicar esse comportamento de maneira coerente. Além disso, a comparação direta das flechas pode não ser coerente pelo fato de que as tensões envolvidas são diferentes e o tipo de ruptura pode não ser governado pelos mesmos efeitos nos tamanhos distintos de placa.

Figura V.27. Influência da largura da junta na estabilidade do revestimento

A confecção e o ensaio dos 48 CP's possibilitou o surgimento de algumas questões, já discutidas anteriormente. Entretanto, é importante ressaltar também os aspectos negativos que impuseram dificuldades importantes ao trabalho laboratorial. O primeiro deles, e mais crítico por comprometer o andamento dos ensaios, foi a massa elevada das lajes 150x65cm que, com mais de 100kg, exigiriam equipamentos adequados para transporte e posicionamento dentro da prensa. Como

não havia equipamento apropriado no laboratório, foi necessária a execução de algumas adaptações com guindastes manuais, o que onerou muito o tempo necessário para o ensaio de cada placa. Para um tempo efetivo de ensaio de 15min, em média outros 100min foram necessários para o posicionamento do CP na prensa e sua posterior remoção, o que não aconteceu com as lajes 120x35cm, de peso sensivelmente inferior e de fácil manuseio.

Outra dificuldade foi a identificação do momento exato de ruptura do CP, que ocorre em posições distintas e não previsíveis. A solução adotada para as placas de porcelanato 20x20cm foi a colocação de dois relógios comparadores lado a lado, um com o eixo sobre o substrato e um com o eixo sobre a placa, como mostra a Figura V.24. Entretanto, a ruptura ocorreu aleatoriamente, hora perto de uma das abas hora perto da outra, o que induziu a colocação de outros dois medidores na aba oposta. Por um lado essa atitude contribuiu para a detecção da ruptura e, por outro, introduziu a dificuldade do controle visual de outros dois medidores.

Por fim, outra dificuldade grave foi a quebra da aba de aplicação da carga (Figura V.28). Durante a execução do protótipo para teste das placas, uma carga de 600kgf proporcionou uma flecha de pouco mais de 2,5cm, sem prejuízo para as abas. Após o assentamento das placas de porcelanato, a carga sofreu um aumento em torno de 110% para uma mesma flecha, o que ocasionou a ruptura das abas inicialmente previstas e já executadas em vários CP's. Então, para que não houvesse perda de trabalho e material, um perfil de aço foi aparafusado por baixo da placa e sob as abas, evitando sua ruptura. A solução mostrou-se eficaz, mas aumentou sobremaneira o trabalho de execução dos ensaios.

Figura V.28. Ruptura da aba de aplicação da carga

6

VI.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta os comentários finais acerca dos trabalhos teórico e laboratorial e sugere novos ensaios a serem realizados para dar continuidade ao assunto desta dissertação.

*MAIS APRENDE UM SÁBIO COM UMA PERGUNTA TOLA
DO QUE UM TOLO COM UMA RESPOSTA SÁBIA.*

Bruce Lee

Uma vez que cada capítulo deste trabalho apresenta assuntos específicos, as considerações finais são apresentadas da mesma forma, ou seja, individualizadas por capítulo. Ao final, entretanto, considerações finais de caráter geral são exibidas.

VI.1. CAPÍTULO 2: REJUNTE E REVESTIMENTO CERÂMICO

O capítulo 2 deste trabalho foi dividido em duas partes principais: a primeira aborda alguns conceitos básicos sobre o revestimento cerâmico e a segunda entra em detalhes a respeito do rejunte como componente do revestimento.

Esse enfoque foi dado propositadamente, pois um melhor entendimento de detalhes fundamentais sobre as partes que integram um conjunto é fator decisivo para que seja formada uma visão sistêmica do todo. Então, a abordagem sequencial

propicia ao leitor a formação de um mínimo de conhecimento que induz à idéia de que os componentes do revestimento se relacionam de maneira dinâmica e constante, não podendo ser tratados de forma individual e estática. A própria disponibilidade de diversos tipos de placas com propriedades diferenciadas torna lógica a existência de argamassas adesivas específicas, que atendam aos requisitos de desempenho de cada situação particular.

Outro ponto importante mas que não foi frisado de maneira direta no capítulo é a existência de normas que especificam de maneira clara as características técnicas dos componentes do revestimento cerâmico (placas cerâmicas), pois só assim pode haver uma uniformização de conceitos que auxilia na execução de um projeto suficientemente detalhado e embasado em aspectos técnicos coerentes. Esse fato é um ponto necessário para o bom desempenho do revestimento cerâmico, embora não seja suficiente. Assim, torna-se equivocado o uso de com-

ponentes individuais de alta qualidade técnica se sua aplicação é feita de forma incorreta, ou seja, se não há coerência e compatibilidade de comportamento entre componentes que se inter-relacionam.

Por exemplo, uma argamassa tipo ACI pode ser de ótima qualidade, mas se for utilizada no assentamento de placas de porcelanato, produto também de alta qualidade, o resultado final pode ser desastroso pelo fato de que essa argamassa não foi desenvolvida para o uso com esses tipos de placa, embora os dois produtos atendam aos requisitos de desempenho para os quais foram desenvolvidos. Cabe ao projetista do revestimento conhecer e entender os produtos com que trabalha e especificá-los de forma correta.

Por fim, o estudo dos diversos tipos de rejunte, em particular os cimentícios, deixa claro que o desempenho dos produtos bicomponentes pode ser bem superior aos monocomponentes, desde que os aditivos utilizados sejam compatíveis com o ambiente em que serão aplicados. O uso inadequado em fachadas de aditivos com formulação não resistente às intempéries pode mostrar-se funcional nos primeiros anos de obra, mas pode levar à deterioração ao longo do tempo e reverter-se numa fonte constante de manifestações patológicas.

VI.2. CAPÍTULO 3: FUNÇÕES DO REJUNTE

O rejunte pode ser encarado como um componente do revestimento cerâmico que tem características basicamente estéticas e funcionais. Dependendo do caso de aplicação, algumas de suas funções podem sobrepujar em importância as demais, pois um dado ambiente pode requerer maior conforto estético, por exemplo, do que otimização de aderência das placas proporcionada pelo rejunte. Por outro lado, em qualquer situação o rejunte terá a função de facilitar o assentamento e disfarçar a variação de bitola das placas cerâmicas, mesmo porque essa é uma característica intrínseca do revestimento cerâmico e da sua técnica de execução. O que pode ocorrer é que essa função, por ser bastante óbvia, passe despercebida numa análise inicial, embora exista e seja importante.

Dentre todas as funções abordadas no capítulo 3, uma delas foi bastante explorada por causa da relevância que pode ter em revestimentos cerâmicos de custo expressivo como os de fachada: o alívio de tensões. Caso as juntas não exerçam adequadamente essa função onde ela se faz necessária, as consequên-

cias podem ser extremamente prejudiciais, tanto em termos econômicos como em termos de risco de morte para os usuários.

Entretanto, o conhecimento existente a respeito dessa função resume-se ao quesito qualitativo, ou seja, é sabido que ela é importante mas não quanto e sob quais condições. A abordagem teórica mostrada no capítulo 3 e as referências bibliográficas sobre o assunto indicam a necessidade de estudos detalhados sobre esse tema, estudos esses que envolvam não somente a parte teórica, mas principalmente a confecção de corpos-de-prova em escala real que possam fornecer parâmetros que subsidiem uma eventual aproximação teórico-computacional que represente o comportamento potencial do revestimento cerâmico aderido.

O autor deste texto entende que isso, apesar de importante, pode ser uma tarefa bastante complexa e sem solução definitiva por causa dos vários fatores envolvidos na vida útil do revestimento, como por exemplo: qualidade dos materiais utilizados; comportamento da estrutura suporte; ação de intempéries; homogeneidade de aplicação do revestimento; fadiga dos materiais etc. Esses fatores, associados aos seus graus de liberdade e ao seu comportamento dinâmico, exigem aproximações teóricas de fórmulas e equações, o que distancia o modelo matemático do comportamento real e dificulta uma aproximação coerente da realidade.

VI.3. CAPÍTULO 4: TÉCNICA DE APLICAÇÃO

A aplicação do rejunte não se resume apenas ao preenchimento das juntas, mas antes disso é necessário que haja uma preparação do local para que o desempenho do rejunte seja maximizado em todos os aspectos. Duas falhas importantes foram encontrados pelo autor deste texto durante a realização de visitas às obras para acompanhamento da execução do revestimento cerâmico: presença de contaminantes nas juntas e excesso de água de amassamento no preparo do rejunte.

Enquanto que os contaminantes das juntas resumem-se basicamente ao excesso de argamassa adesiva não retirado em tempo hábil, o excesso de água de amassamento foi justificado (pela MO) pela maior facilidade de aplicação do rejunte. A primeira falha de execução pode revelar-se como manchas escuras imersas no rejunte recém aplicado, que podem agravar-se com o passar do tempo caso haja migração dos compostos da argamassa adesiva para o corpo do

rejunte. Já a segunda, excesso de água de amassamento, pode prejudicar a aderência e a cura do rejunte, deixando-o mais friável e poroso e com menor resistência mecânica. Esse fato pode não revelar-se importante ou mesmo não tornar-se visível durante a tarefa de rejuntamento, mas pode significar uma reduzida capacidade de resistência ao manchamento e uma possível desagregação do rejunte pouco tempo após sua aplicação.

Quando se trata de revestimento interno, os dois aspectos comentados acima podem até significar uma perda de desempenho do rejunte que não se torna perceptível pelo próprio fato de serem poucas as exigências a que esse tipo de revestimento está sujeito. Um fato crítico ocorreu, entretanto, num revestimento de fachada de um prédio de 24 pavimentos com placas cerâmicas 10x10cm. A tarefa de rejuntamento foi executada com o uso de desempenadeira de metal, a quantidade de água do rejunte excedeu em muito o limite exposto pelo fabricante e a mistura manual precária não proporcionou a homogeneização completa da argamassa, deixando-a com vários grumos de material seco. Isso implicou em várias falhas no rejunte antes mesmo da entrega total da obra, seja na forma de pontos ocos ou na completa perda de aderência à lateral das placas. Vários pontos da fachada apresentaram infiltração de água e posterior formação de manchas por escorrimento, sendo que a inspeção da interface rejunte/placa revelou grande proporção de fissuras nas juntas de toda a fachada.

Com relação ao preparo do rejunte, todos os aplicadores entrevistados não leram as instruções da embalagem antes da mistura e a quantidade de água foi definida por aspectos subjetivos, ou seja, a água é adicionada até o ponto em que o aplicador tem sentimento pessoal de que seu trabalho é facilitado ao máximo. Todos esses fatos revelam a necessidade de conscientização e treinamento da MO, uso de ferramentas adequadas à aplicação e controle de qualidade na tarefa de rejuntamento.

Por fim, o capítulo 4 também destaca a importância da correta aplicação do rejunte em locais específicos, como nos encontros de planos e materiais distintos, na interface com juntas de dilatação em fachadas e no rejuntamento de piscinas. Todos os locais mencionados são aqueles em que o rejunte apresenta grandes solicitações, o que resulta no fato de que algumas de suas funções serão exigidas ao extremo. Nesses casos, a correta especificação do rejunte precisa estar embasada no conhecimento das propriedades do material e no comportamento potencial da região do revestimento em que o rejunte é aplicado, de modo que

seja possível optar tecnicamente pela sua substituição por um selante elastomérico ou outro composto com propriedades adequadas em caso de necessidade.

VI.4. CAPÍTULO 5: PROGRAMA EXPERIMENTAL

Da mesma forma que o capítulo 2, o capítulo 5 foi dividido em duas partes principais: caracterização dos rejuntas e ensaios de painéis em escala real. Muito mais do que a resposta numérica dos ensaios de caracterização dos rejuntas segundo diversas normas e procedimentos diferentes, a parte laboratorial desta dissertação exigiu do autor o estudo de muitos detalhes envolvidos em cada tipo de ensaio, o que permitiu a incorporação de conhecimentos específicos e o desenvolvimento de uma visão crítica acerca da utilidade de cada ensaio e da sua dificuldade de execução. Ademais, exigiu o desenvolvimento de uma cadeia de amizades que englobou desde colegas de curso, pessoal técnico de laboratório e fabricantes de rejuntas, argamassas, aditivos e ferramentas relacionadas com as técnicas de execução. Esse tipo de desenvolvimento pessoal, embora não seja útil diretamente na execução de ensaios, revela-se como um fator essencial para o sucesso de um pesquisador e para o desenvolvimento de uma metodologia científica adequada a uma dada situação.

Todos os sete ensaios realizados (retração linear, deformação transversal, manchamento, resistência de aderência, resistência à compressão, módulo de deformação e retenção de água) apresentam comentários específicos no próprio capítulo 5, juntamente com os valores numéricos encontrados, motivo por que não são recolocados aqui.

Dois deles, entretanto, merecem outros esclarecimentos: a resistência de aderência e o módulo de deformação. O capítulo 4 exibe uma série de detalhes de rejuntamento em locais críticos e onde o rejunte cimentício monocomponente pode não ser uma boa solução. Os resultados de resistência de aderência sobre placa esmaltada contemplam o comportamento potencial do rejunte cimentício aplicado no encontro de aparelhos sanitários, como o encontro do tanque de lavar roupas com o revestimento cerâmico da parede. A prática comum de rejuntar esse local com o mesmo rejunte utilizado no revestimento da parede revela-se como uma constante fonte de problemas, uma vez que o rejunte não apresenta desempenho adequado não por uma deficiência intrínseca do rejunte, mas por causa de um erro de especificação.

Por sua vez, o módulo de deformação do rejunte está intimamente relacionado com sua capacidade de proporcionar alívio de tensões ao revestimento cerâmico comprimido. Os dois rejuntas ensaiados apresentaram uma redução substancial de sua rigidez com teor p/c=20%, o que pode significar uma redução importante dos esforços prejudiciais que atuam sobre o revestimento. Por outro lado, a incorporação desse teor de aditivo aumenta muito o custo do rejunte e dificulta sua aplicação, revelando a necessidade de maiores estudos que mostrem se essa atitude é realmente compensadora para o revestimento cerâmico. Se assim for, podem ser estudadas maneiras mais econômicas de reduzir o módulo de deformação do rejunte. A exploração teórica mostrada no capítulo 3 deixa clara a necessidade de maiores estudos a respeito desse assunto, sendo que eles necessariamente precisam ser acompanhados de ensaios laboratoriais em escala real que permitam isolar e avaliar a influência de cada variável no quesito de alívio de tensões.

VI.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS E SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS

Como comentários gerais a respeito dos trabalhos de laboratório, um ponto fundamental a ser ressaltado é a importância da realização de protótipos iguais aos CP's que efetivamente serão ensaiados. Neste trabalho, o autor deduziu o comportamento do CP revestido a partir do comportamento exibido por uma laje submetida à flexão sem o revestimento cerâmico. Como já foi comentado no capítulo 5, o comportamento do CP após a aplicação do revestimento mudou sensivelmente e quase comprometeu a realização dos ensaios por causa da ruptura das abas das lajes antes do final do experimento. Embora isso não tenha ocasionado perda de material ou dos próprios CP's, a execução dos trabalhos ficou em muito dificultada e o tempo despendido em laboratório sofreu um aumento considerável.

Entretanto, embora os ensaios de flexão de painéis tenham apresentado alguns problemas, o autor deste texto sugere que novos CP's sejam executados apenas com as placas 20x20, que foram as que resultaram em respostas de maior sensibilidade e precisão. Mesmo assim, algumas sugestões podem ser feitas para que os inconvenientes identificados sejam minimizados:

- projetar reforço das abas para evitar sua quebra por tração na parte superior. Ensaiar pelo menos um CP completo antes da execução dos demais e averiguar seu comportamento;
- identificar outra técnica para detecção da ruptura ou, caso a mesma seja mantida, utilizar quatro comparadores (dois em cada aba) conectados a um equipamento de coleta de dados automática, preferencialmente com a confecção de um gráfico da flecha em tempo real;
- definir exatamente a logística de transporte, de armazenamento dos CP's e os equipamentos que serão utilizados para posicionar o CP no interior da prensa. Averiguar se, mesmo com logística adequada, é possível a execução dos ensaios por apenas uma pessoa, uma vez que o CP apresenta massa bastante elevada.

Caso se opte por executar CP's semelhantes ao exposto neste texto, a Tabela VI.1 apresenta uma sugestão dos ensaios a serem executados. Antes disso, entretanto, deve-se determinar o módulo do rejunte a ser utilizado, adotando como monocomponente o de módulo mais elevado e como bicomponente o de módulo mais baixo.

Tabela VI.1. Sugestão para novos ensaios de flexão de lajes

Placas	Argamassa adesiva	Rejunte	Junta	Nº de CP's
Porcelanato 20,0 x 20,0cm	Bicomponente de alto desempenho	Monocomponente	1 mm	5
			5 mm	5
		Bicomponente	1 mm	5
			5 mm	5
	Monocomponente própria para porcelanato	Monocomponente	1 mm	5
			5 mm	5
		Bicomponente	1 mm	5
			5 mm	5

Outro tipo de ensaio que pode simular o comportamento do revestimento cerâmico de fachada é esboçado pela Figura VI.1. Trata-se de um painel de alvenaria revestido com placas cerâmicas da mesma forma que uma parede de vedação. Uma vez que o painel tem altura aproximada de 3m, pode-se aplicar sobre ele um encurtamento semelhante ao previsto no comportamento real de uma estrutura reticulada de concreto, o que pode ser estimado com razoável aproximação. Estando sob compressão, o painel deve ser submetido a sucessivos choques térmicos.

Esse tipo de ensaio pode ter como variáveis de estudo:

- tamanho e tipo de placa;
- tipo de argamassa adesiva;
- espessura da junta de assentamento e tipo de rejunte (módulo E).

Por outro lado, alguns cuidados devem ser avaliados na fase de projeto do corpo de prova, quais sejam:

- flambagem do corpo de prova por compressão;
- limite de encurtamento que não cause ruptura da alvenaria;
- forma e velocidade de aplicação da carga;
- número de ciclos de choques térmicos e periodicidade;
- limites de temperatura dos choques térmicos;
- logística de transporte e armazenamento dos CP's.

Figura VI.1. Proposta de ensaio de compressão de painéis verticais

VII.

ANEXO A: O FENÔMENO DA EFLORESCÊNCIA

Estação Vila Madalena do metrô em SP (nov. 2002)

Este anexo tem por objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre o problema de eflorescência, identificando suas causas, mecanismos de formação e possíveis soluções. Sem ter uma relação direta com o objetivo desta dissertação, aborda uma manifestação que pode ocorrer sobre os rejuntas, embora o enfoque não se mantenha apenas nesse caso.

A.1. Introdução

Do latim *efflorescentia*, esse fenômeno se caracteriza pelo aparecimento de formações salinas sobre algumas superfícies, podendo ter caráter pulverulento ou ter a forma de crostas duras e insolúveis em água. Na grande maioria dos casos, o fenômeno é visível e de aspecto desagradável, mas em alguns casos específicos pode ocorrer no interior dos corpos, imediatamente abaixo da superfície. Uemoto (1988) afirma que a eflorescência pode ser considerada um dano, seja por modificar visualmente o local onde se deposita ou por poder provocar degradações profundas.

O fenômeno da eflorescência, bastante conhecido e pesquisado, resulta da dissolução dos sais presentes na argamassa (ou nos componentes cerâmicos, ou provenientes de contaminações externas etc.) e seu posterior transporte pela água através dos mais variados materiais porosos. Se, durante esse transporte, a concentração dos sais na solução aumentar (por perda de água ou por aumento da quantidade de sais), eles poderão entrar em processo de cristalização e dar origem ao fenômeno. Ocorrendo superficialmente, essa cristalização dá origem à eflorescência mais amplamente encontrada e visível; se ocorrer internamente ao material, dá origem à cripto-eflorescência, muitas vezes de difícil identificação.

Vale lembrar que as placas cerâmicas e a argamassa possuem vazios em seu interior, como cavidades, bolhas, poros abertos e fechados e uma enorme e complexa rede de micro canais (FIORITTO, 1994). A água, então, pode passar pelo seu interior por força da capilaridade ou mesmo por força do gradiente hidráulico.

Embora seja claro como a eflorescência ocorre, as reações químicas envolvidas podem ser bastante complexas e nem todas são conhecidas ou explicadas. De qualquer forma, o resultado final de sua ação é notório e seu aparecimento não necessariamente indica seu local de origem, pois os sais podem ser transportados pela água a partir de locais afastados do ponto de ocorrência do problema. Assim, é necessário compreender o comportamento dos sais dissolvidos, sua possível fonte e também a origem da água. A simples intervenção localizada e sintomática pode ser totalmente ineficaz e até danosa.

Para que a eflorescência se manifeste, os seguintes fatores apresentam-se como necessários e suficientes:

- água: atua como um solvente que possibilita a dissolução dos sais que dão origem ao fenômeno. Fioritto (1994) frisa esse fato ao afirmar que "não é exagero dizer que sem água não haverá eflorescência". Ela pode ter origem em vários pontos e o *Brick Institute of America* (BIA, 1997) ressaltava os seguintes:
 - . água de chuva, que pode ser acompanhada de vento ou não. A água de chuva tem grande chance de penetrar através das juntas, em particular se forem mal executadas;
 - . água de condensação: resulta das trocas de vapor de água entre o interior e o exterior através de meios porosos. Se o vapor de água atingir o ponto de orvalho (*dew point*) em algum local no interior da parede, pode ocorrer a condensação intersticial;
 - . água proveniente da etapa de construção: a água de amassamento, o uso de proteções deficientes contra a chuva ou qualquer outro fato que possibilite a concentração de umidade podem ocasionar problemas em obras recém entregues (em inglês *new building bloom*). Paredes saturadas de água podem demandar semanas ou meses para que a secagem ocorra; blocos em contato com o solo, além de absorver umidade, podem ser contaminados por sais ou elementos estranhos;
- sais, que se movimentam dissolvidos na água e efetivamente dão origem ao fenômeno;
- gradiente hidráulico, que possibilita a movimentação da água e o transporte dos sais do interior para a superfície dos corpos afetados.

Além dos três fatores essenciais expostos anteriormente, Uemoto (1988) afirma que algumas condições externas podem favorecer ainda mais o aparecimento da eflorescência, como por exemplo:

- quanto maior a quantidade de água e o tempo de contato, maior o potencial de solubilização associado;
- a elevação da temperatura, além de favorecer a solubilização dos sais, aumenta a velocidade de evaporação da água e, em consequência, de cristalização dos sais;
- a porosidade dos materiais atingidos. Em alguns casos, elementos muito porosos podem ser afetados por causa da alta concentração de sais em elementos vizinhos menos porosos.

Segundo Addleson (1972), a presença de sais em ambiente permanentemente úmido pode não causar eflorescências e, aparentemente, não revelar qualquer manifestação. Entretanto, após algum tempo podem aparecer, subitamente, efeitos deletérios resultantes de reações químicas complexas entre os sais e os componentes da estrutura/vedação. Ainda segundo esse autor, a eflorescência pode desaparecer por curtos períodos, o que provoca o aparecimento intermitente desse fenômeno em fachadas. Assim, em períodos de pouca chuva, os sais aparecem como marcas esbranquiçadas que são lavadas em épocas que combinam efeitos de vento e chuva. Também, o fenômeno pode aparecer na primavera/verão e desaparecer no inverno. Normalmente, esse ciclo se repete por alguns anos até se extinguir por completo, o que indica o esgotamento dos sais envolvidos no processo.

Addleson (1972) também esclarece que os sais da eflorescência podem cristalizar-se dentro dos poros superficiais dos materiais, mesmo daqueles com acabamentos vítreos (azulejos), ocasionando sua ruptura mecânica por tração ou por compressão. Alguns sais podem quadruplicar seu volume no processo de cristalização e as pressões podem chegar a 200MPa (ITC, 1994), conforme o tipo de sal, sua concentração e as condições ambiente. Além disso, sais geralmente são higroscópicos (como o NaCl e o CaCl₂) e as argamassas que os contêm podem reter mais água e ser mais passíveis de apresentar eflorescências (ITC, 1994).

A.II. Sais envolvidos no fenômeno da eflorescência

A eflorescência pode ter origem em diversos pontos de um edifício, o que implica na possível dissolução dos mais variados sais presentes em elementos de composição química diferente. Compilando os dados de Addleson (1972), do *Brick Institute of America* (BIA, 1997), do ITC (1994), de Thomaz (1990) e de Uemoto (1988), a Tabela A.1 apresenta uma lista de alguns dos sais envolvidos, mas não tem a pretensão de esgotar o assunto. A solubilidade desses sais depende de uma série de fatores, mas uma orientação geral a respeito do assunto é dada por Feltre (1994) na Tabela A.2.

Uma vez que as argamassas apresentam grande chance de incorporar sais solúveis em sua composição, a Tabela A.3, adaptada do ITC (1994), expõe a presença de sais potencialmente causadores de eflorescências em função do componente utilizado na produção da argamassa. Vale enfatizar, também, que a utili-

zação de água inadequada (impura) pode favorecer o aparecimento de problemas desse tipo.

Tabela A.1. Sais envolvidos no fenômeno da eflorescência

Composição Química	Fonte provável ⁴²	Solubilidade ⁴³
Sulfato de Potássio – K ₂ SO ₄	. reação entre elementos da cerâmica e do cimento; . agregados; . água de amassamento. A hidratação ocorre aproximadamente aos 32,5°C e quadruplica o volume ocupado pelo sal.	Muito solúveis
Sulfato de Sódio (sal de Glauber) - Na ₂ SO ₄		
Sulfato de Sódio deca hidratado Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O		
Exemplo do aparecimento dos sulfatos alcalinos		
<div>CaSO₄ + 2 { NaOH KOH }</div>	→ { Na ₂ SO ₄ + Ca(OH) ₂ K ₂ SO ₄ + Ca(OH) ₂	
Componente cerâmico	Hidróxidos alcalinos do cimento	Sulfatos alcalinos (eflorescência)
Carbonato de Potássio - K ₂ CO ₃	. carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis.	Muito solúveis
Carbonato de Sódio - Na ₂ CO ₃		
Bicarbonato de Sódio - NaHCO ₃		
Cloreto de Potássio - KCl	. limpeza com ácido muriático.	Muito solúvel
Cloreto de Sódio - NaCl	. contaminação com água do mar.	Muito solúvel
Nitrato de Potássio - KNO ₃	. a presença de nitratos geralmente indica contaminação com elementos de solo adubado, rico em nitrogênio.	Muito solúveis
Nitrato de Sódio - NaNO ₃		
Nitrato de Amônia - NH ₄ NO ₃		
Carbonato de Cálcio - CaCO ₃	. carbonatação de cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada. Formação semelhante às estalactites.	Pouco solúveis
Carbonato de Magnésio MgCO ₃ (magnesita)	. carbonatação de cal lixiviada de argamassas de cal não carbonatada.	
Hidróxido de Cálcio - Ca(OH) ₂ ⁴⁴	. cal liberada nas reações de hidratação do cimento.	Solúvel
Sulfato de Cálcio desidratado CaSO ₄	. componentes cerâmicos; . água de amassamento.	Parcialmente solúvel

⁴² Um enfoque mais detalhado das origens de muitos sais é dado por Addleson (1972).

⁴³ O uso do termo *insolúvel* se refere ao fato de que algumas substâncias são tão pouco solúveis em água (alguns mg por litro de água) que, em termos práticos, parecem ser insolúveis. De maneira geral, os compostos de metais alcalinos são bastante solúveis.

⁴⁴ Todo material ou componente fabricado à base de cimento Portland tem em sua constituição a cal hidratada $-Ca(OH)_2-$ resultante das reações de hidratação dos compostos principais do cimento (C_2S e C_3S) (THOMAZ, 1990).

Tabela A.1. Sais envolvidos no fenômeno da eflorescência (continuação)

Sulfato de Cálcio dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	. hidratação do sulfato de cálcio de componentes cerâmicos (reação expansiva); . água de amassamento.	Parcialmente solúvel
Sulfato de Magnésio (sal de Epsom) - MgSO_4	. tijolo, bloco; . água de amassamento.	Solúvel
Cloreto de Cálcio - CaCl_2^{45}	. limpeza com ácido muriático; . água de amassamento.	Muito solúveis
Cloreto de Magnésio - MgCl_2	. água de amassamento.	
Nitrato de Amônia - NH_4NO_3	. solo adubado ou contaminado.	
Cloreto de Alumínio - AlCl_3	. limpeza com ácido muriático.	Solúvel
Cloreto de Ferro - FeCl_3		
Fe_2O_3 ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$	. contato com materiais ferrosos.	Insolúveis
Manganês ⁴⁶ (sulfatos e cloretos)	. dissolução de compostos de manganês por ácidos fracos.	
Vanádio (VOSO_4 e VOCl_2)	. matéria prima dos produtos de argila; . limpeza com ácido.	

A infiltração de cloro pode provocar a dissolução de Vanádio, dando origem a eflorescências verdes ou amareladas. Por sua vez, tentativas de limpeza podem fazer com que elas sofram alterações, se tornem marrons e de limpeza ainda mais difícil.

Tabela A.2. Solubilidade em água de alguns compostos químicos (FELTRE, 1994)

Função química		Solubilidade	Exceção à regra
Ácidos		Em geral, solúveis	Não há.
Hidróxidos (bases)		Em geral, insolúveis	Hidróxidos alcalinos e $\text{NH}_4(\text{OH})$.
Sais	Nitratos, Cloratos Acetatos	Solúveis	Não há.
	Cloretos, Iodetos, Brometos	Solúveis	Ag^+ ; Hg^{2+} ; Pb^{2+}
	Sulfatos	Solúveis	Ra^{++} ; Ca^{2+} ; Sr^{2+} ; Ba^{2+} ; Pb^{2+}
	Sulfetos	Insolúveis	Sulfetos alcalinos e de amônio.
	Outros sais	Insolúveis	Alcalinos e de amônio.
Óxidos	Metálicos	Em geral, insolúveis	Óxidos alcalinos, alcalino-terrosos e de metais com N_{ox} elevado.
	De não-metals	Em geral, solúveis	Não há.

⁴⁵ O CaCl_2 pode ser utilizado com a função de acelerador de pega (Brick Institute of América, BIA, 1997).

⁴⁶ Segundo o Brick Institute of America (BIA, 1997), o dióxido de manganês é usado como agente de coloração em alguns blocos. Se houver limpeza com ácido muriático, por exemplo, os resíduos podem penetrar nas peças, dissolver os compostos de manganês e, quando levados à superfície, se precipitam sob a forma de Mn_2O_3 (de cor marrom) durante a evaporação da água.

Tabela A.3. Sais da eflorescência com origem na argamassa (adaptada do ITC, 1994)

Composto	Comentários
Cal	<p>Fabricação da cal: $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$</p> <p>Hidratação em obra: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$</p> <p>Carbonatação: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$</p> <p>A carbonatação só ocorre em presença de água. Locais muito secos impedem o processo. Por outro lado, locais saturados impedem a penetração de CO_2 e dificultam a ocorrência da reação.</p> <p>Ambientes com UR = 50%-60% são ideais para a ocorrência da carbonatação.</p> <p>A cal pode ser magnesiânica (dolomítica), isto é, possui Mg em sua fórmula em vez de Ca. Nesse caso, pode sofrer expansão lenta em presença de água. Por serem de origem mineral, ambas possuem componentes argilosos indesejáveis: SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3.</p>
Areia	Podem conter impurezas como argilas, carvão e linhito, água do mar, matéria orgânica em decomposição.
Água	Pode conter ácido sulfídrico (H_2S), anidrido carbônico (CO_2), amônia (NH_4), magnésio (Mg^{2+}), sulfatos (SO_4^{2-}), cloro (Cl^-) e outros contaminantes.
<p>Cimento</p> <p>Ao lado encontram-se apenas alguns compostos que podem causar eflorescência.</p> <p>Maiores detalhes sobre a química do cimento podem ser encontrados em Mehta, Monteiro (1994)</p>	<p>CaO (cal virgem)</p> <p>SiO_2 (sílica)</p> <p>Por ser um elemento sólido quase inerte, a sílica apenas reage com ácidos e bases fortes e dá origem a elementos insolúveis, raramente causadores de eflorescências. Os depósitos de silicatos não têm sua química bem definida, mas podem ser consequência de lavagens má executadas com ácido clorídrico. Uma vez que ocorram, um método prático de limpeza é disfarçá-los e deixá-los sob ação do tempo (Brick Institute of América, BIA, 1997).</p> <p>Al_2O_3 (alumina)</p> <p>Embora seja uma reação rara, os sulfatos podem reagir com o aluminato tetra-cálcico presente no cimento (reação expansiva), dando origem aos sais de Candlot e à cal (como subproduto) (THOMAZ, 1990).</p> $\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{CaO} + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 14\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O} + \text{Ca(OH)}_2$ <p>Fe_2O_3 (óxido de ferro)</p> <p>Pode causar manchas amarelo-castanhas quando em ambientes alcalinos (ação da maresia).</p> <p>MgO (óxido de magnésio) , SO_3 (anidrido sulfúrico)</p> <p>Na_2O, K_2O, TiO_2</p> <p>Os óxidos, em contato com a água, podem formar bases ou ácidos, influenciando no processo de formação e deterioração das eflorescências.</p>

A Tabela A.1 e a Tabela A.3 explicitaram a origem dos muitos sais presentes no fenômeno da eflorescência. Dando um terceiro enfoque, Thomaz (1990) itemiza

o aparecimento dos sais mais freqüentes em material cerâmico na Tabela A.4 e algumas formas de manifestação e correção das eflorescências na Tabela A.5.

Tabela A.4. Tipos de sais eventualmente presentes em material cerâmico (Thomaz, 1990)

Sal	Sobre o produto		Sobre a alvenaria	Sal	Sobre o produto		Sobre a alvenaria
	seco	queimado			seco	queimado	
Na ₂ SO ₄	•••	•••	•••	Na ₂ CO ₃	⊗	•	•
CaSO ₄	•••	•••	•••	K ₂ CO ₃	⊗	•	•
K ₂ SO ₄	••	••	••	CaCO ₃	⊗	•	•
MgSO ₄	•	••	••	Fe ₂ (SO ₄) ₃	⊗	•	•
NaCl	•	•	••	FeSO ₄	⊗	•	•
KCl	•	•	••	NaAl(SO ₄) ₂	⊗	•	⊗
NaNO ₃	•	⊗	••	KAl(SO ₄) ₂	⊗	•	⊗
KNO ₃	•	⊗	••	-	-	-	-

Legenda:

••• Quase sempre •• Comum • Raramente ⊗ Ausente

Após a apresentação dos vários sais envolvidos no fenômeno da eflorescência, é interessante abordar o aspecto de ocorrência de alguns deles. Assim, pelas informações apresentadas pelo *Masonry Institute of Washington* (MIW, 2003), os sais mais comumente encontrados são Na₂SO₄ e K₂SO₄, já que são provenientes de metais alcalinos que formam compostos bastante solúveis em água. Depois, as formas Na₂CO₃, NaHCO₃, K₂CO₃ e KHCO₃ aparecem com menor freqüência. Compostos do tipo MgCl₂, MgSO₄, CaCO₃, CaSO₄ e Fe₂(SO₄)₃ aparecem em terceiro lugar e, por último, traços de sulfatos de Vanádio e Molibdênio foram encontrados em análises químicas de amostras.

Segundo o *Brick Institute of America* (BIA, 1997), quando os carbonatos ocorrem eles geralmente possuem uma coloração mista de cinza e branco, aparecendo como crostas localizadas. Supõe-se que sua formação pode ocorrer quando um feixe constante de água atravessa, por longos períodos de tempo (devido à baixa solubilidade dos carbonatos), fendas ou furos existentes na estrutura matriz, de forma semelhante à formação de estalactites. Ao chegar à superfície, a água evapora, os sais reagem com o CO₂ e dão origem às crostas de carbonato.

Outra origem dos sais pode estar nos componentes cerâmicos produzidos com argilas ricas em pirita (FeS₂). Esse componente sofre oxidação durante o processo de queima segundo a equação abaixo:

Após a ocorrência dessa reação, o anidrido sulfúrico (SO_3) liberado juntamente com o gás sulfuroso (SO_2) durante a queima (utilizando combustível contendo enxofre) dos componentes pode reagir com os óxidos básicos da argila (Na_2O , K_2O , MgO , CaO) e formar os sulfatos respectivos. Esses sulfatos somente são eliminados em altas temperaturas de calcinação (1050°C para o CaSO_4 e 950°C para os demais) e, caso reste anidrido sulfúrico após a queima, sua reação com a água forma ácido sulfúrico ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$) que, por sua vez, pode reagir com os silicatos do corpo cerâmico e dar origem aos sulfatos de sódio e potássio (UEMOTO, 1988).

Tabela A.5. Formas de manifestação da eflorescência (adaptado de Thomaz, 1990)

Tipo	Locais de formação	Causas prováveis	Reparos ⁴⁷
Pó branco pulverulento solúvel em água.	<ul style="list-style-type: none"> . superfícies de concreto aparente; . superfícies de alvenaria revestida; . juntas de pisos cerâmicos ou azulejos; . regiões próximas a caixilhos mal vedados; . superfícies de ladrilhos não esmaltados. 	<ul style="list-style-type: none"> . sais solúveis presentes nos materiais: água de amassamento, agregados ou aglomerantes; . sais solúveis presentes nos materiais cerâmicos; . sais solúveis presentes no solo; . poluição atmosférica; . reação entre compostos do cimento e da cerâmica. 	<ul style="list-style-type: none"> . eliminação da fonte de umidade; . em superfície externa, aguardar a eliminação dos sais pela ação da chuva; . lavagem com água; . escovamento; . limpeza com ácido clorídrico a 10%.
Depósito branco com aspecto de escorrimento, muito aderente e pouco solúvel em água.	<ul style="list-style-type: none"> . juntas das alvenarias assentadas com argamassa; . superfície de concreto ou revestimento com argamassa; . superfícies de componentes próximos a elementos de alvenaria ou concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> . carbonatação da cal liberada na hidratação do cimento; . carbonatação da cal constituinte da argamassa. 	<ul style="list-style-type: none"> . eliminação da percolação de água; . lavagem com ácido clorídrico a 10%; . escovamento mecânico se necessário.
Depósito branco, solúvel em água, com efeito de expansão.	<ul style="list-style-type: none"> . em fissuras eventualmente presentes nas juntas das alvenarias; . nas juntas de argamassa das alvenarias; . em regiões da alvenaria muito expostas à ação da chuva. 	<ul style="list-style-type: none"> . expansão devido à hidratação do sulfato de cálcio existente no tijolo ou reação dos compostos do tijolo e do cimento; . formação do sal expansivo por ação do sulfato do meio. 	<ul style="list-style-type: none"> . esperar a estabilização antes de efetuar reparos; . reparar com uso de cimento isento de sulfatos.

⁴⁷ Segundo UEMOTO (1988).

Os sulfatos de Sódio (Na_2SO_4), Potássio (K_2SO_4), Magnésio (MgSO_4) e Cálcio (CaSO_4) ocorrem largamente nas argilas e nos solos e também nas placas do revestimento cerâmico. Quando em solução aquosa, eles interagem com o cimento Portland, podendo causar expansão e perda de resistência.

Uma vez que existe uma grande quantidade de sais envolvidos no fenômeno da eflorescência e seu comportamento é influenciado pela temperatura, concentração, PH, água disponível, presença de outros sais etc., torna-se praticamente impossível antever o surgimento de alguma manifestação. Entretanto, Addleson (1972) propõe alguns comentários para os sais de ocorrência mais comum, o que pode auxiliar na tomada de decisões de reparo e também na elaboração da anamnese do caso:

- sulfato de cálcio: pela sua baixa solubilidade, normalmente não contribui para o aumento da eflorescência. Caso ocorra, pode formar depósitos muito duros em áreas protegidas da ação limpante da chuva, levando à desagregação da superfície do material. Em caso de umidade permanente (ou por longos períodos), soluções desse sal podem aumentar o ataque por sulfatos. Quando em presença de sulfato de potássio, sua solubilidade aumenta e os dois dão origem a um sal duplo que pode ser muito comum nas eflorescências;
- sulfato de magnésio: mesmo presente em pequenas quantidades, pode cristalizar-se na superfície do material ou próximo dela; entretanto, sua boa solubilidade permite que seja lavado pela chuva, de modo que sua ação fica minimizada.

Sob condições específicas, o sulfato de magnésio pode reagir com a cal presente no emboço/reboco. Isso ocorre quando esses sais são dissolvidos pela água introduzida durante a construção e, ao entrarem em contato com a cal presente na interface das duas superfícies (emboço e reboco), ocorre uma reação de dupla troca como abaixo, resultando num depósito gelatinoso de hidróxido de magnésio:

A ocorrência desse fenômeno está associada com a eflorescência, mas o motivo por que a reação ocorre nessa posição é que a superfície interna de argamassa fica impregnada pela cal, formando uma membrana permeável à

água mas não aos sais. Assim, conforme a água evapora, os sais se precipitam e causam a perda de aderência da camada de argamassa do reboco;

- sulfato de sódio e sulfato de potássio: durante a cristalização, o sulfato de sódio tende a assumir a aparência de um “depósito macio”⁴⁸, enquanto que o sulfato de potássio forma uma dura camada vitrificada. As formas $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de sódio deca-hidratado) e Na_2SO_4 permutam-se na temperatura de aproximadamente 32°C. A passagem do sulfato anidro para o hidratado é acompanhada de aumento de volume de 300% (o volume quadruplica), gerando pressões destrutivas sobre a estrutura do material em que ocorrem.

A.III. Sugestões para minimizar o surgimento da eflorescência

O surgimento da eflorescência está relacionado com uma série de fatores, como origem dos sais, presença de água, condições ambiente, contaminações, uso do local etc. Assim, é inviável a apresentação de uma regra geral para a solução dos problemas ocasionados por ele. Alguns autores, entretanto, apresentam as seguintes orientações:

- as manchas de aspecto escorrido e de cor esbranquiçada formadas pelo carbonato de cálcio podem ser eliminadas, mas será um processo trabalhoso e de resultado não garantido. Como os sais não são solúveis em água, será necessário o uso de escovas, ácidos (solução de ácido muriático ou acético (diluídos em 1:10)) e até abrasivos. **Essa técnica, mesmo que aplicada após molhagem abundante (para evitar penetração profunda dos produtos químicos), pode deixar resíduos prejudiciais de cloro no local e, algumas vezes, pode danificar a superfície atingida (ITC, 1994).** No caso de limpeza com ácido muriático, as seguintes reações se desenvolvem:

48 Do inglês *fluffy deposit*.

O cloreto de cálcio é solúvel em água e o ácido carbônico se desintegra em água e gás carbônico e é esse gás que provoca o aparecimento das bolhas de “ar” durante o desenvolvimento da reação.

- eflorescências de cor marrom, amarela e preta são, no geral, provenientes de oxidação e devem levar a um estudo sério das causas e integridade do local atingido. A limpeza com ácido muriático (sais básicos⁴⁹) e soda cáustica (sais ácidos) pode ser utilizada de acordo com o tipo de sal envolvido;
- manchas de cor castanha, ferruginosas, são raras nas alvenarias e mais comuns no concreto armado, provenientes da corrosão da armadura. Caso a argamassa esteja contaminada por pedaços de ferro (pregos, arames), caso a areia contenha minério de ferro ou caso a argila dos materiais cerâmicos contenha pirita (FeS_2), essas manchas podem ocorrer também na alvenaria (VERÇOSA, 1991);
- eflorescências pulverulentas (brancas) e solúveis em água podem ser eliminadas com lavagem e escovação com escovas de cerdas duras (piaçava ou aço), conforme mostrar-se necessário. No geral, a própria chuva é suficiente para sua remoção (THOMAZ, 1990) e o uso de sabões deve ser cuidadoso, já que alguns produtos à base de estearatos e oleatos de sódio podem até aumentar o teor de sais (UEMOTO, 1988). O ácido muriático dissolvido em 1:10 com água limpa é uma solução arriscada, como já foi ressaltado anteriormente;
- eflorescências de cor que não seja branca geralmente têm origem menos comum e devem ser analisadas antes que qualquer atitude seja tomada. Comentários detalhados sobre esse assunto podem ser analisados nos boletins técnicos 23 e 23A do *Brick Institute of America* (BIA, 1997);
- a impermeabilização da superfície para evitar a entrada de água pode não ser uma solução para a eflorescência. No caso de a origem da água estar no interior da parede (vazamentos, infiltração pelo topo), a aplicação de uma película de tinta impedirá a saída da água líquida. No entanto, próximo da superfície a água se transformará em vapor e atravessará a película de tinta (acrílica ou PVA), provocando a cristalização dos sais imediata-

⁴⁹ O conceito de sal ácido ou básico se refere ao fato de que, quando o sal sofre hidrólise (reage com a água e forma o ácido e a base correspondentes), a solução final pode ser ácida ou básica. Geralmente, se o sal for proveniente de ácido forte, a solução será ácida; se for proveniente de base forte, a solução será básica.

mente abaixo da superfície. Caracteriza-se então a cripto-eflorescência, que pode ocasionar a destruição da base pelo efeito expansivo da cristalização dos sais;

Além dos comentários específicos propostos anteriormente, alguns cuidados gerais podem ser tomados para minimizar a ocorrência do fenômeno da eflorescência (UEMOTO, 1988):

- não utilizar materiais e/ou componentes com alto teor de sais solúveis;
- evitar tijolos com altos teores de sulfatos;
- usar pinturas impermeáveis resistentes a soluções salinas no caso de alvenarias aparentes;
- molhar os componentes cerâmicos demasiadamente secos, minimizando a absorção da água de amassamento e a reação com o cimento;
- sempre proteger da chuva a alvenaria recém acabada;
- evitar entrada de umidade com a ajuda de boa impermeabilização e vedação;
- usar argamassa mista (cimento:cal:areia) para minimizar a reação com os componentes cerâmicos;
- usar cimento pozolânico ou de alto-forno, que liberam menor teor de cal na hidratação.

A seguir, as figuras ilustram alguns tipos de eflorescências que foram encontradas na cidade de São Paulo.

Figura A.1. Eflorescência na pia batismal de uma igreja

Figura A.2. Eflorescência em escada externa

Figura A.3. Eflorescência na estação do metrô Vila Madalena em São Paulo

Figura A.4. Eflorescência em fachadas de edifícios

Figura A.5. Eflorescência em piso de ardósia

LISTA DE REFERÊNCIAS

ADDLESON, L. **Materials for Buildings: Water and its effects.** London: [s.n.], 1972. v.3.

AGOPYAN, V. **Elementos de vedação vertical:** observações sobre características que afetam o desempenho. 1978. 123p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1978.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI). **American national standard specifications for chemical resistant furan mortars and grouts for tile installation – ANSI A118.5.** New Jersey, 1999.

____. **Specifications for ceramic tile grouts – ANSI A118.6.** New Jersey, 1992.

____. **American national standard specifications for polymer modified cement grouts for tile installation – ANSI A118.7.** New Jersey, 1999.

____. **American national standard specifications for modified epoxy emulsion mortar/grout – ANSI A118.8.** New Jersey, 1999.

____. **Installation of grout in tilework – ANSI A108.10.** New Jersey, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates – ASTM C 125.** Philadelphia, 1992.

____. **Standard specification for chemical resistant resin grouts for brick or tile – ASTM C 658.** Philadelphia, 1998.

____. **Standard terminology of building seals and sealants – ASTM C 717.** Philadelphia, 1998a.

____. **Standard guide for use of joint sealants – ASTM C 1193.** Philadelphia, 1995.

ARANTES, F. et al. **O manchamento e a porosidade fechada do grés porcelanato.** Cerâmica Industrial, São Paulo, v.6, p.18-25, mai/jun 2001. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br>>. Acesso em: Dez.2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento - NBR 7200.** Rio de Janeiro, 1998.

____. **Concreto – determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação - NBR 8522.** Rio de Janeiro, 1984.

____. **Aditivos para concreto de cimento Portland - NBR 11768.** Rio de Janeiro, 1992.

____. **Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - procedimento - NBR 13753.** Rio de Janeiro, 1996.

____. **Revestimento de paredes internas com placas e com utilização de argamassa colante - procedimento - NBR 13754.** Rio de Janeiro, 1996.

____. **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - procedimento - NBR 13755.** Rio de Janeiro, 1996.

____. **Placas cerâmicas para revestimento – terminologia - NBR 13816.** Rio de Janeiro, 1997.

____. **Placas cerâmicas para revestimento – classificação - NBR 13817.** Rio de Janeiro, 1997.

____. **Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio - NBR 13818.** Rio de Janeiro, 1997.

____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - especificação - NBR 14081.** Rio de Janeiro, 1998.

____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios – NBR 14082.** Rio de Janeiro, 1998.

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

____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação da resistência de aderência – NBR 14084.** Rio de Janeiro, 1998.

____. **Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas e pastilhas de porcelana – requisitos e métodos de ensaio – Projeto de norma 18:406.05-001.** São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Guia de assentamento de revestimento cerâmico:** assentador. São Paulo, 1998. 2.ed, 48p.

____. **Guia de assentamento de revestimento cerâmico:** especificador. São Paulo, 1998. 2.ed., 28p.

AUSTRALIAN STANDARDS (AS). **Ceramic tiles – guide to the installation of ceramic tiles – AS 3958.1**. Australia, 1991.

____. **Ceramic tiles – guide to the selection of a ceramic tiling system – AS 3958.2**. Australia, 1992.

____. **Adhesives for fixing ceramic tiles – AS 2358**. Australia, 1990.

BARROS, M.M.S.B.; SABBATINI, F.H.; LORDSLEEN JUNIOR, A.C. **Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. Projeto EPUSP/SENAI. São Paulo, 1998. 40p.

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

BAUER, R.J.F.; RAGO, F. **Expansão por umidade de placas cerâmicas para revestimento**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.5, n.3, p.41-45, maio/junho 2000. Disponível em: < <http://www.ceramicaindustrial.org.br>>. Acesso em: Dez.2001.

BORGES, A. **Prática das pequenas construções**. 6.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 297p.

BOWMAN, R. **The need for stablishing a moisture expansion convention for the analysis of tiling system failures**. Australia: CSIRO Division of Building, Construction and Engineering, 1997. Disponível em <<http://www.dbce.csiro.au>>. Acesso em: Jan.2002.

____. **The importance of kinetics of moisture expansion**. Australia, CSIRO Division of Building, Construction and Engineering, 1997a. Disponível em <<http://www.dbce.csiro.au>>. Acesso em: Jan.2002.

BOWMAN, R.; BANKS, P. J. **Theoretical modelling of external wall tiling systems**. Austrália. Disponível em <<http://www.infotile.com>>. Acesso em: Jul.2002.

BOWMAN, R.; WESTGATE, P. **Moisture expansion kinetics as a function of conditoning**. Austrália. Disponível em <<http://www.infotile.com>>. Acesso em: Jul.2002.

BRASIL. ABCCO-REJUNTABRÁS. **Manual de revestimento cerâmico**. São Paulo, 1998. 31p.

BRASIL. SAINT GOBAIN QUARTZOLIT LTDA. **O guia Weber**. São Paulo, Melhoramentos, 2003. 235p.

BRASIL. CERÂMICA ELIANE. **Planejamento, assentamento e manutenção de revestimentos cerâmicos**. São Paulo, 2000. 7p.

BRASIL. CERÂMICA PORTOBELLO. **Assentamento de revestimentos cerâmicos**. São Paulo, 1998. 24p.

BRASIL. FOSROC REAX. **Guia eletrônico de produtos**. Disponível em <<http://www.fosrocreax.com.br>>. Acesso em: Abr.2002.

BRICK INSTITUTE OF AMERICA (BIA). **Efflorescence** – causes and mechanisms. **Parts I, II**. Disponível em <<http://www.bia.org>>. Acesso em: Abr.2002.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **Wall and floor tiling: part 2. code of practice for the design and installation of external ceramic wall tiling and mosaics (including terra cotta and faience tiles) – BS 5385 Part 2**. London, 1991.

_____. **Wall and floor tiling: part 1. code of practice for the design and installation of internal ceramic and natural stone wall tiling and mosaics in normal conditions – BS 5385: Part 1**. London, 1995.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Estimation of thermal and moisture movements and stresses, Parts 1, 2 and 3. BRE Digest 227, 228 and 229**. Garston: Her Majesty's Stationery Office, 1979.

BYRNE, M. **Setting Tile**. USA: The Taunton Press, 1995. 229p.

CAMPANTE, E.F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. 2001. 407p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

CINCOTTO, M.A. (coord.); SILVA, M.A.C.; CASCUDO, H.C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995. Boletim 68, IPT, 118p.

EUROPEAN STANDARD. **Adhesives for tiles – determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts – EN 12002**. Brussels, 1997.

FAZENDA, J. M. (coord). **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. 2.ed. São Paulo: ABRAFATI, 1995. vol 1.

FELTRE, R. **Fundamentos da química**. São Paulo: Moderna, 1994.

FERREIRA, A.B.H. **Novo Aurélio século XXI**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1994. 221p.

FOSROC. **Guia de produtos**. Disponível em <<http://www.fosrocreax.com.br>>. Acesso em: out.2002

GOLDBERG, R.P. The effects and control of moisture in ceramic tile facades. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY. Castellón, 1994. **Qualicer 1994**. Castellón, 1994. p.231-248.

GOLDBERG, R.P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades**. Technical Design Manual. USA:Laticrete International, 1998. 200p.

GRIMM, C. T. Water permeance of masonry walls: a review on the literature. In: BORCHELT, J. G. **Masonry: materials, properties and performance**. Orlando, Fla, 1982. p.178-199.

HARTOG, PETER. **Why get cross about spacers?** Disponível em <<http://www.infotile.com.au/tiletoday/issues>>. Acesso em: jan.2003.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERAMICA (ITC). **Colocacion de pavimentos y re-vestimientos ceramicos**. Asociacion de investigacion de las industrias ceramicas. España: Ministerio de Industria y Energia. Direccion General de Minas y de la Construcción, 1994.

_____. La puesta en obra. In: **Manual - Guía técnica de los revestimientos y pavimentos cerámicos**. España: Instituto de Tecnología Cerámica, 1987. 1.ed, cap 4, p.234-366.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION (ISO). **Performance standards in building – contents and presentation – ISO 6240**, 1980.

_____. **Ceramic tiles: determination of resistance to surface abrasion for glazed tiles – ISO 10545:Part 7**. Switzerland, 1995.

_____. **Ceramic Tiles: determination of moisture expansion – ISO 10545:Part 10**. Switzerland, 1995.

JONES, P.J. Ceramic tiling as a hygienic surface in food preparation areas. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY. Castellón, 1994. **Qualicer 1994**. Castellón, 1994. p.259-268.

LATICRETE. **The Laticrete system. Pools and spas**. Disponível em <<http://www.laticrete.com>>. Acesso em: jan.2003.

MASONRY INSTITUTE OF WASHINGTON (MIW). **Rain resistant masonry construction – the efflorescence phenomenon**. The northwest masonry guide. Disponível em <www.masonryinstitute.com>. Acesso em: mar.2003.

MARSYLA, D. **Furan grouting systems vs. epoxy grouting systems**. CTIOA field report #96-7-1. Disponível em <www.thetiledoctor.com>. Acesso em: jan.2003. 5p.

MEDEIROS, J.S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 457p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. Disponível em <<http://www.uol.com.br/michaelis>>. Acesso em: mai.2003.

PALMONARI, C.; TIMELLINI, G. **Ceramic floor and wall tile: performance and controversies**. Bologna: Italian Ceramic Center, 1989. 153p.

PREIXENS, J.B. Tile installation key points in facades, pavements of heavy traffic, exterior pavements and pools. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY. **Qualicer 1992**. Castellón, 1992. p.435-443.

SABBATINI, F.H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: ABCP, 1989. (Estudo técnico).

SILAEX. Disponível em <<http://www.silaex.com.br>>. Acesso em out.2002.

STUCCHI, F.R. São Paulo. Universidade de São Paulo, 28.Abr.2003. /comunicação pessoal durante a disciplina de Pontes II/.

TILE COUNCIL OF AMERICA (TCA). **Handbook for ceramic tile installation**. Anderson: TCA, 2002.

UEMOTO, K.L. Patologia. Danos causados por eflorescência. In: **Tecnologia de edificações**. São Paulo, PINI/IPT, 1988. p.561-564.

VERÇOSA, ÊNIO JOSÉ. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991. 172p.

ÍNDICE ALFABÉTICO E REMISSIVO

Argamassas adesivas

dosadas em obra.....	12
industrializadas.....	12
mono e bicomponentes.....	12
pastas de resina	13
resinas de reação	13

Cura

relaxação, fluência	61
tempos de.....	60

Eflorescência

introdução.....	121
saís envolvidos	123
sugestões para minimização	130

EPU 56

Juntas

largura.....	43
penetração de água.....	41
preenchimento.....	43
seca.....	39

PEI..... 14

Placas cerâmicas

abrasão superficial	14
absorção de água	14
classificação	13
classificação italiana.....	50
manchamento	15
porcelanato	
manchamento.....	16
PEI 15	
resistência química	15

Rejuntamento

detalhes.....	71
escadas.....	78
interfaces distintas	74
janelas	79
juntas de dilatação.....	72
piscinas.....	83
espaçadores.....	49
execução.....	68
preparo das juntas.....	65
preparo do rejunte	66

Rejunte

aditivos	26
alvaíade	21
ancoragem mecânica.....	63
bicomponente	22
cimentfício	22
conceituação	17
dosado em obra.....	23
especificação internacional.....	23
dry-set	26
ensaios	
compressão e módulo	98
flexibilidade	92
manchamento	94
resistência de aderência.....	95
retração linear	90
epóxi	28
características	29
resistência química.....	29
especiais	31
funções	
ajuste das placas	39
alívio de tensões.....	45
difusão de vapor.....	44
estética	37
facilitar assentamento.....	39
otimizar aderência.....	62
regularização superficial.....	38
vedação.....	40
furânico	31
guia para seleção	34
industrializado.....	24
especificação internacional.....	25
monocomponente.....	22
parâmetros de seleção	19
requisitos.....	18
tipos.....	21

Revestimento cerâmico

camada de acabamento.....	13
camada de fixação	11
camada de regularização	11
choque térmico	47

componentes	10	origem dos esforços	56
compressão	51, 53	prazos de execução.....	62
conceituação	9	tração.....	46
dilatação térmica.....	48	Selantes	
flambagem	51, 53	silicones e uretanos	33