

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Instituto de Ciências Humanas**  
**Programa de Pós-Graduação em Memorial Social e Patrimônio Cultural**



**TESE**

**Consolidação de revestimento de argamassa à base de cal em paredes  
escaioladas de prédios históricos de Pelotas/RS**

**Daniele Baltz da Fonseca**

Pelotas, 2016.

**Daniele Baltz da Fonseca**

**Consolidação de revestimento de argamassa à base de cal:**  
desenvolvimento de argamassa injetável adaptada às paredes escaioladas de  
prédios históricos de Pelotas/RS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural do Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Memória Social e Patrimônio Cultural.

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Regina Freitas Gonçalves

Coorientadora: Profa. Dra. Ângela Borges Masuero

Pelotas, 2016.

**Daniele Baltz da Fonseca**

**Consolidação de revestimento de argamassa à base de cal:**

desenvolvimento de argamassa injetável adaptada às paredes escaioladas de prédios históricos de Pelotas/RS

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Memória Social e Patrimônio Cultural do Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural do Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas.

Data de defesa: 25/11/2016.

**Banca examinadora:**

.....  
Profª. Dra. Margarete Regina Freitas Gonçalves – UFPel (Orientadora)  
Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

.....  
Profª. Dra. Rosana Muñoz – UFBA  
Doutora em Arquitetura com ênfase em Conservação e Restauro de Monumentos pela Universidade Federal da Bahia.

.....  
Profª. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin – UFRGS  
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo.

.....  
Profª. Dra. Ester Judite Bendjouya Gutierrez – UFPel  
Doutora em História pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

.....  
Prof. Dr. Carlos Alberto Ávila Santos – UFPel  
Doutor em Arquitetura com ênfase em Conservação e Restauro de Monumentos pela Universidade Federal da Bahia.

Dedicado à vida, à paixão, a tudo e  
todos que nos movem pra frente.

## Agradecimentos

*A gratidão é a memória do coração*  
*Antístenes*

Esta é, definitivamente, a última página que escrevo neste trabalho, e a mais difícil. Agora me vejo com este longo trabalho concluído, tentando me lembrar de todas as pessoas que merecem meu “muito obrigada!”, temendo que minha memória falhe justo nesta etapa tão importante.

Lembro de familiares, professores, colegas, alunos, amigos, desta e de outras cidades que contribuíram, fosse direta ou indiretamente, com este trabalho. Não citarei nenhum, por receio de esquecer alguém não menos importante.

Como demonstração da minha gratidão, tomo a liberdade usar esta página informal para reproduzir partes de um poema de Manuel Maria Barbosa Du Bocage, que com suas palavras descreve como ninguém esse sentimento tão nobre.

### Gratidão

A minha gratidão te dá meus versos:

Meus versos, da lisonja não tocados.

Satélites de Amor, Amor seguindo

Co'as asas que lhes pôs benigna Fama,

Os lares vão saudar, propícios lares,

Que em doce recepção me contiveram

Incertos passos da Indigência errante;

[...]

Não sei se vens de heróis, se vens de grandes;

Não sei, meu benfeitor, se teus maiores

Foram cobertos, decorados foram

De Purpúreos dosséis, de márcios loiros;  
Sei que frequentas da Amizade o templo,  
Que és grande, que és herói aos olhos dela  
E eu menos infeliz que tu piedoso.

[...]

Tu, dádiva do Eterno a meus desastres,  
Tu não careces de esplendor postiço;  
Tens os títulos teus nas acções tuas,  
Por índole a Virtude, o Bem por norma,  
A glória também de expô-lo ao mundo,  
De ornar com teu louvor a Humanidade

[...]

Bocage, em 'Ao Senhor António José Álvares (Epístola)'

## RESUMO

FONSECA Daniele Baltz da. **Consolidação de revestimento de argamassa à base de cal:** desenvolvimento de argamassa injetável adaptada às paredes escaioladas de prédios históricos de Pelotas/RS. 2016. 172f. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural/ICH/UFPel.

Esta tese apresenta o processo de desenvolvimento de argamassas injetáveis para restauração de revestimentos de argamassa à base de cal aérea com acabamento em escaiola de edificações de interesse histórico da cidade de Pelotas. A revisão traz informações gerais sobre as argamassas de cal usadas em revestimento e sobre os acabamentos em escaiola, relativamente comuns em prédios históricos peloteses. Discorre também, sobre a patologia e forma de intervir restaurativamente nesses revestimentos. Em seguida trata-se especificamente das argamassas injetáveis usadas para restabelecer o sistema de revestimento quando a aderência é perdida; dos parâmetros de desempenho para essas argamassas e de método de dosagem que pode ser utilizado para sua formulação. O processo experimental foi dividido em três fases, na primeira foram estudadas amostras originais de argamassas usadas para nivelar os revestimentos em escaiola; em seguida desenvolveu-se uma argamassa similar à original para obtenção de parâmetros de desempenho a serem alcançados pela argamassa injetável a ser desenvolvida; na segunda fase foram testadas 27 formulações de argamassa injetável compostas por cal hidráulica e areia muito fina (maior diâmetro igual a 0,3mm) com adições de sílica de casca de arroz; na terceira fase buscou-se aprimorar a argamassa selecionada na fase anterior através da utilização de aditivo superplastificante e da redução de água da mistura. Os resultados mostraram que as argamassas injetáveis desenvolvidas são parcialmente compatíveis com o substrato original apresentando altos coeficientes de capilaridade. A utilização do aditivo superplastificante até um limite de 0,9% do massa da cal hidráulica mostrou-se adequada na medida em que contribuiu para a diminuição do coeficiente de capilaridade sem alterar substancialmente as demais características da argamassa injetável.

**Palavras-chave:** argamassa de cal, conservação, restauração, revestimentos, escaiola, argamassa injetável.

## ABSTRACT

FONSECA Daniele Baltz da. **Lime-based mortar coating consolidation:** Injectable mortar development adapted to walls with finishing plaster *escaiola* of historic buildings of Pelotas / RS. 2016. 172f. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural/ICH/UFPel.

This thesis presents the development process of injecting mortar for restoration of lime mortar coatings of finishing plaster (*escaiolas*) of historical buildings of Pelotas. The review provides general information about the lime mortars used in coating and on the finishes in plaster called *escaiola*, relatively common in historical buildings of Pelotas. The review also discusses the pathology and how to restore these coatings. Then it treats specifically about the injectable mortars used to restore the coating system when the grip is lost; the performance parameters for these mortar; and the dosage method that can be used for their formulation. The experimental procedure was divided into three phases. During the first phase, original samples of mortars used for leveling coatings for plaster were studied; Then a similar to the original mortar was developed to obtain performance parameters to be achieved by the injection mortar to be developed; in the second phase 27 mortar injectable formulations consisting of hydrated lime and sand (diameter of 0.3 mm greater) with additions of rice hull silica were tested; in the third phase sought to enhance the mortar selected in the previous phase by the use of superplasticizer and reducing water. The results showed that the developed injectable mortars are partially compatible with the original substrate having high capillarity coefficients. The use of superplasticizer to a limit of 0.9% of the weight of hydrated lime was appropriate since it contributes to the reduction of capillarity coefficient without substantially altering other characteristics of the injection mortar.

**Key Words:** lime mortars, conservation, restoration, lime coatings, *escaiola*, lime based grouts.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Curvas granulométricas uniforme, contínua e descontínua. ....	38
Figura 2 – Escadaria do prédio do Paço Municipal, paredes revestidas em escaiola. Praça Coronel Pedro Osório, 101, Pelotas/RS. ....	41
Figura 3 – Mezanino do Paço Municipal, paredes revestidas em escaiola. Praça Coronel Pedro Osório, 101, Pelotas/RS. ....	42
Figura 4 – Detalhe de imitação dos veios de mármore, frisos e molduras com estêncil e sombras ( <i>trompe l'oeil</i> ). Escaiola do Instituto João Simões Lopes Neto. Rua D. Pedro II, 810, Pelotas/RS. ....	42
Figura 5 – Detalhe de imitação dos veios do mármore, e molduras de painéis com estêncil e sombras em <i>trompe l'oeil</i> . Escaiola de casa particular. Praça Piratinino de Almeida, 04, Pelotas/RS. ....	43
Figura 6 – (a) Detalhe de escaiola com pintura que simula azulejos na escadaria do hall de imóvel comercial localizado na Rua Gonçalves Chaves, 660, Pelotas/RS. (b) Detalhe de escaiola com pintura que simula painéis de madeira e mármore no imóvel pertencente à UFPel, localizado na Rua Félix da Cunha, 570, Pelotas/RS . ....	44
Figura 7 – Fotografia de um anúncio da Revista da Associação dos Proprietários de imóveis de Pelotas de outubro de 1939 (ano 1, número V).....	45
Figura 8 – Técnica da scagliola, incisão do desenho na base. ....	46
Figura 9 – Preenchimento dos vazios com massas coloridas. ....	46
Figura 10 – Polimento da superfície. ....	46
Figura 11 – Grafito sobre a imagem. ....	46
Figura 12 – Preenchimento do grafito. ....	47
Figura 13 – Polimento com cera. ....	47
Figura 14 – Descolamento com empolamento. Corredor do prédio da antiga Escola de Belas Artes, Rua Marechal Floriano, 788, Pelotas/RS. ....	54
Figura 15 – Escaiola com fissura vertical e vesículas espalhadas por toda a superfície. ....	55

Figura 16 – (a) Manchas escuras provocadas por escorrimento de matéria orgânica por vazamento no telhado. (b) Mancha clara em verga de porta provocada por lixiviação do material da superfície em razão de vazamento no telhado. ....	56
Figura 17 – (a) Eflorescência esbranquiçada na parte inferior da parede. (b) Detalhe de eflorescência esbranquiçada na parede de escadaria. ....	57
Figura 18 – (a) Corte esquemático mostrando a formação de eflorescências e criptoflorescências (subflorescências) numa parede. (b) Cortes esquemáticos mostrando a manifestação sob forma de eflorescência ou criptoflorescência de diferentes tipos de sais. ....	58
Figura 19 – Abaulamento do revestimento provocado pelo seu descolamento da alvenaria. Hall de entrada de casa localizada na rua XV de Novembro, 563, Pelotas/RS. ....	60
Figura 20 – (a) Rachadura vertical em verga de porta; (b) Rachadura vertical em alvenaria. ....	60
Figura 21 – Fissuras mapeadas na superfície do revestimento de escaiola. ....	61
Figura 22 – (a) Higienização da superfície com algodão e água destilada antes e após consolidação. Disciplina de Conservação e Restauração de estuques, 2010; (b) Linha horizontal mostrando a diferença cromática entre a área que recebeu limpeza abrasiva com pó de pedra-pomes e a parte que não recebeu limpeza... 65	65
Figura 23 – (a) Teste de limpeza com emplastro de EDTA realizada sobre lápide de mármore; (b) Resultado do teste de limpeza. ....	68
Figura 24 – (a) Aplicação das camadas de nivelamento da lacuna na escaiola; (b) Aplicação da camada nivelamento com marmorino na lacuna da escaiola. ....	70
Figura 25 – (a) Simulação da pintura de uma lacuna, treinamento e afinação das cores; (b) Resultado da simulação da pintura de uma lacuna, treinamento e afinação das cores; (c) Resultado da simulação da pintura de uma lacuna, treinamento e afinação das cores. ....	71
Figura 26 – (a) Dispersão dos pigmentos em água. Testes de cores; (b) Resultado final da reintegração cromática da lacuna. ....	72
Figura 27 – Esquema apresentando as diferenças entre a técnica de micro preenchimento e preenchimento de cavidades. ....	74
Figura 28 – Esquema mostrando as principais diferenças entre a consolidação por impregnação com materiais inorgânicos e orgânicos. ....	75
Figura 29 – Esquema apresentando a diferença entre uma consolidação por impregnação mal sucedida (formando uma crosta na superfície) e outra bem sucedida (o material consolidante penetra até o suporte). ....	75

Figura 30 – Esquema apresentando a biomineralização: (a) a bactéria é inoculada no suporte deteriorado; (b) a bactéria recebe aspersões de uma solução de cultura; (c) desenvolve-se uma colônia de bactérias; (d) as bactérias calcificam o dano. ....	76
Figura 31 – (a) e (b) Injeção de argamassa consolidante em revestimento de escaiola. Disciplina de Conservação e Restauo de estuques, 2010.....	80
Figura 32 – Fluxograma do procedimento experimental .....	91
Figura 33 – (a) Casarão localizado na Praça Coronel Pedro Osório, 08; (b) Casarão da Rua Marechal Floriano, 10; (c) Casarão da Rua Marechal Floriano, 59. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 34 – (a) Separação das camadas para análise; (b) Pesagem das porções de amostra; (c) Aspecto das amostras antes da dissolução do aglomerante. ....	95
Figura 35 – (a) Amostras em digestão com solução ácida; (b) Amostras sendo preparadas para a filtragem; (c) Detalhe da filtragem, finos retidos no filtro. ....	96
Figura 36 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,75$ ; (b) curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,80$ . ....	99
Figura 37 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,85$ ; (b) Curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,90$ .....	99
Figura 38 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,94$ ; (b) curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,96$ . ....	101
Figura 39 – Curva de distribuição granulométrica contínua para $Pr = 0,98$ .....	101
Figura 40 – Esquema de uma estrutura para hierarquia de decisões. ....	104
Figura 41 – Estrutura hierárquica para a aplicação do AHP na escolha de uma argamassa injetável. ....	105
Figura 42 – Curva granulométrica da Cal hidráulica. ....	112
Figura 43 – Curva granulométrica da Sílica de Casca de Arroz.....	114
Figura 44 – (a) Circunferência de espalhamento com borda desuniforme; (b) Circunferência de espalhamento com borda uniforme. ....	116
Figura 45 – (a) Espalhamento com baixa espessura; (b) Espalhamento com espessura alta. ....	117
Figura 46 – (a) Argamassa aditivada apresentando segregação. Percebe-se a irregularidade da borda; (b) Argamassa sem segregação, não há água livre na borda da argamassa escorrida.....	117

Figura 47 – (a) Funil de Marsh montado para ensaio; (b) Funil de Marsh sendo preenchido com argamassa fluida.....	118
Figura 48 – Ensaio para medir a exsudação.....	119
Figura 49 – (a) Placa de argamassa de cal e areia com bordas de tiras de E.V.A.; (b) Placas fixadas em parede de alvenaria de tijolos maciços; (c) Injeção da argamassa fluida no espaço entre a placa e alvenaria. ....	121
Figura 50 – (a) Corte das placas com serra - copo; (b) Colagem das pastilhas sobre os cortes nas placas.....	122
Figura 51 – (a) Ensaio sendo realizado com aderímetro fixado à pastilha; (b) Aspecto da placa que teve rotura coesiva.....	122
Figura 52 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento da amostra C8A.....	125
Figura 53 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento da amostra C8B.....	125
Figura 54 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento das amostras C8C e C8D.....	126
Figura 55 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento das amostras C10 AI, C10 AII e C10 AIII. ....	127
Figura 56 – Curva granulométrica das areias usadas nas argamassas das camadas de nivelamento das amostras de escaiola da casa localizada na Rua Marechal Floriano, 59.....	128
Figura 57– Influência das adições de SCA no espalhamento das argamassas injetáveis. ....	131
Figura 58 – Influência das adições de SCA na exsudação das argamassas injetáveis. ....	132
Figura 59 – Gráfico comparativo entre as alturas e as larguras finais dos CPs aos 28 dias.....	134
Figura 60 – Influência das adições de SCA no módulo de elasticidade das argamassas injetáveis.....	137
Figura 61 – Influência das adições de SCA na resistência à compressão das argamassas injetáveis.....	138
Figura 62 – Influência das adições de SCA na resistência à tração das argamassas injetáveis.....	139
Figura 63 – Influência das adições de SCA no coeficiente de capilaridade das argamassas injetáveis.....	140

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Requerimentos básicos para a consolidação com argamassa de injeção à base de cal.....	84
Tabela 2 – Requisitos para argamassas de revestimento de edifícios antigos – características mecânicas. ....	85
Tabela 3 – Requisitos para argamassas de revestimento de edifícios antigos - comportamento à água e ao clima. ....	86
Tabela 4 – Caracterização das amostras do casarão 8 da Praça Coronel Pedro Osório, Pelotas/RS.....	94
Tabela 5 – Caracterização das amostras dos casarões 10 e 59 da Rua Marechal Floriano, Pelotas/RS. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 6 – Porcentagem da massa de areia retida em cada peneira a ser usada na areia reconstituída.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 7 – Matriz de ensaios para o exame expedito.....	100
Tabela 8 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,94.....	102
Tabela 9 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,96.....	102
Tabela 10 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,98.....	102
Tabela 11 – Escala fundamental de números absolutos de Saaty.....	104
Tabela 12 – Matriz de comparação por pares dos critérios.....	107
Tabela 13 – Hierarquia entre os critérios estabelecida com o AHP. ....	108
Tabela 14 – Matriz com os pesos gerados para cada formulação em cada critério. ....	109
Tabela 15 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,94.....	111
Tabela 16 – Propriedades físico-químicas da cal hidráulica utilizada. ....	112
Tabela 17 – Informações sobre a Silcca Nobre de acordo com o fabricante. ....	113

Tabela 18 – Características gerais do superplastificante de acordo com a MC-Bauchemie. ....	115
Tabela 19 – Resultados do ensaio de determinação de traço para as amostras oriundas do Casarão 08 da Praça Cel. Pedro Osório (C8). ....	123
Tabela 20 – Resultados do ensaio de determinação de traço para as amostras oriundas das casas localizadas na Rua Marechal Floriano 10 (FLO 10) e Marechal Floriano 59 (FLO 59). ....	124
Tabela 21 – Resultados das retrações médias observadas na altura, largura, comprimento e volume da argamassa original reconstituída. ....	129
Tabela 22 – Resultados da resistência a compressão, resistência a tração, densidade de massa e módulo de elasticidade da argamassa original reconstituída. ....	129
Tabela 23 – Resultados da absorção e coeficiente de capilaridade da argamassa original reconstituída. ....	129
Tabela 24 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com $Pr= 0,94$ . ....	130
Tabela 25 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com $Pr= 0,96$ . ....	130
Tabela 26 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com $Pr= 0,98$ . ....	131
Tabela 27 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no espalhamento das argamassas injetáveis. ....	132
Tabela 28 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na exsudação das argamassas injetáveis. ....	132
Tabela 29 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com $Pr=0,94$ . ....	133
Tabela 30 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com $Pr=0,96$ . ....	133
Tabela 31 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com $Pr=0,98$ . ....	134
Tabela 32 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na retração linear da largura das argamassas injetáveis. ....	135
Tabela 33 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na retração linear do comprimento das argamassas injetáveis. ....	135

Tabela 34 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,94.....	136
Tabela 35 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,96.....	136
Tabela 36 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,98.....	137
Tabela 37 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no módulo de elasticidade das argamassas injetáveis.....	138
Tabela 38 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na resistência à compressão das argamassas injetáveis.....	139
Tabela 39 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na resistência à tração das argamassas injetáveis. ....	139
Tabela 40 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no coeficiente de absorção de água por capilaridade das argamassas injetáveis. ....	140
Tabela 41 - Resultado final da hierarquia das formulações de argamassa injetável. ....	141
Tabela 42 – Resultados da avaliação das propriedades do estado fresco das formulações de argamassa injetável com adições de superplastificante. ....	142
Tabela 43 – Retração na altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas aprimoradas com aditivo superplastificante, argamassa injetável sem superplastificante e argamassa similar. ....	143
Tabela 44 – Resumo da análise estatística da interferência do superplastificante na retração na altura, largura, comprimento e volume das argamassas injetáveis aditivadas. ....	144
Tabela 45 – Resultados da avaliação das propriedades do estado endurecido das formulações de argamassa injetável com adições de superplastificante, da argamassa injetável sem superplastificante e da argamassa similar à original. ....	144
Tabela 46 – Resumo da análise estatística da influência do aditivo superplastificante no módulo de elasticidade dinâmico (E), na resistência à compressão (RC), na resistência à tração (RC) e no coeficiente de capilaridade (CC) das argamassas injetáveis.....	145
Tabela 47 – resultados do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa 30 e das argamassas aprimoradas.....	147

Tabela 48 – Média das resistências de aderência por argamassa injetável. .... 148

Tabela 49 – Resistências de aderência de acordo com o tipo de ruptura observado no CP..... 149

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>20</b>
1.1 Justificativa e interesse do tema .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.2 Caracterização do problema .....	23
1.3 Objetivos .....	25
1.3.1 Objetivo geral .....	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	25
1.4 Estrutura da tese .....	25
1.5 Premissas e Hipóteses.....	26
1.6 Delimitação da Pesquisa .....	27
<b>2. Revisão da literatura.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1 Revestimentos em argamassas minerais à base de cal.....	28
2.2 Materiais componentes das argamassas .....	30
2.2.1 Aglomerantes ou ligantes .....	30
2.3 Revestir e decorar .....	39
2.4 Escaiola: um estuque lúcido com mármore fingido .....	44
2.5 Patologia dos revestimentos de alvenaria com argamassa de cal .	49
2.5.1 Degradação de revestimentos e danos encontrados nas escaiolas de Pelotas .....	51
2.6 Conservação e restauração dos revestimentos de argamassa de cal	61
2.6.1 Fase de projeto – anterior à restauração	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.6.2 Fase de execução – a intervenção propriamente dita.....	63
2.7 A consolidação de revestimentos de alvenaria de bens culturais ..	72

2.7.1	Colagem de partes descoladas:.....	72
2.7.2	Preenchimento de lacunas e buracos .....	73
2.7.3	Consolidação por impregnação.....	74
2.7.4	Consolidação por injeções .....	77
2.7.5	Argamassas de cal para consolidações de superfícies arquitetônicas.....	81
2.8	Parâmetros de dosagem para obtenção de argamassas injetáveis	86
2.8.1	Empacotamento de partículas e distribuição granulométrica ...	86
<b>3.</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>90</b>
3.1	Primeira fase – estudo do revestimento original para obtenção de parâmetros para a elaboração da argamassa de injeção.....	92
3.1.1	Estudo do revestimento original – fase retrospectiva .....	92
3.1.2	Estudo do revestimento original – fase prospectiva .....	97
3.2	Segunda fase – desenvolvimento da argamassa injetável.....	98
3.2.1	O Processo Analítico de Hierarquia (AHP) como ferramenta para escolha dos traços estudados.....	103
3.2.2	Terceira fase – ajuste da argamassa escolhida .....	110
3.3	Matérias-primas (MP's): .....	111
3.3.1	Aglomerante: A cal hidráulica.....	111
3.3.2	Agregado fino .....	113
3.3.3	Sílica de casca de arroz .....	113
3.3.4	Aditivo super plastificante.....	114
3.4	Formulação e validação das argamassas .....	115
3.4.1	Caracterização das argamassas injetáveis no estado fresco.	115
3.4.2	Caracterização das argamassas injetáveis no estado endurecido.....	119
<b>4.</b>	<b>Resultados e discussões .....</b>	<b>123</b>

4.1	Fase 1 – Estudo do revestimento original – fase retrospectiva ....	123
4.2	Fase 1 – Estudo do revestimento similar – fase prospectiva.....	129
4.3	Fase 2 – Argamassa injetável – avaliação das características no estado fresco e influência dos componentes da mistura .....	130
4.4	Fase 2 – Argamassa injetável – Avaliação das características no estado endurecido .....	133
4.5	Fase 2 – Aplicação do AHP na escolha do traço .....	141
4.6	Fase 3 – Aprimoramento da argamassa injetável – Avaliação das características no estado fresco .....	141
4.7	Fase 3 – Aprimoramento da argamassa injetável – Avaliação das características no estado endurecido .....	142
4.8	Resistência de aderência à tração das argamassas injetáveis ....	147
<b>5.</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>150</b>
5.1	Atividades futuras.....	152
<b>6.</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>153</b>
<b>7.</b>	<b>Apêndices.....</b>	<b>161</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>164</b>

## 1. Introdução

A importância do desenvolvimento de uma argamassa injetável para consolidação de revestimentos de alvenaria do patrimônio cultural brasileiro evidencia-se através da necessidade de conservação de características específicas de um patrimônio ameaçado, frente às condutas restaurativas que favorecem a substituição dos revestimentos originais. As intervenções restaurativas em monumentos históricos demandam de um alto aporte de capital, o que, muitas vezes, só é viabilizado através de leis de incentivos fiscais. Desta forma, as restaurações em edificações, na sua maioria, são realizadas com parte de um recurso que pertence à União, o que justifica o desenvolvimento de novas metodologias de intervenção visando acessibilidade de custo com garantia de qualidade do resultado.

As práticas restaurativas são consideradas atividades interdisciplinares. Para que se garanta a qualidade do restauro, investigam-se as características do bem, seus materiais de composição, a vida, obra e técnica dos autores, os agentes e mecanismos de deterioração e – especialmente o que é buscado através desta tese – a eficácia das práticas utilizadas durante o processo de restauração.

Vários são os tipos de danos que podem ser observados nos revestimentos à base de cal das alvenarias das casas históricas, o descolamento por perda de aderência entre argamassas de regularização e substrato pode ser considerado um problema patológico de difícil solução. Geralmente está associado a diversas causas, o que acaba sugerindo a substituição do revestimento como medida mais eficiente a ser tomada. No entanto, quando o revestimento possui em sua superfície um acabamento diferenciado, seja pela técnica empregada, ou pela

presença de uma pintura decorativa ou artística, sua manutenção torna-se uma necessidade fundamentada na teoria da restauração cujo apelo repete-se em diversas cartas patrimoniais.

Apenas para citar parte do conteúdo das cartas consideradas mais importantes, em 1931, a carta de Atenas<sup>1</sup>, uma das precursoras, já se demonstrava a preocupação com a manutenção das características originais das obras; “[...] predomina uma tendência geral a abandonar as reconstituições integrais, evitando assim seus riscos, pela adoção de uma manutenção regular e permanente, apropriada para assegurar a conservação dos edifícios” (CARTA DE ATENAS, 1931, s/p).

Em 1964, a carta de Veneza<sup>2</sup> traz no artigo 8, a recomendação de que os elementos integrantes de monumentos, tais quais esculturas, pinturas e decoração, “não podem ser retirados a não ser que essa medida seja a única capaz de assegurar sua conservação” (CARTA DE VENEZA, 1964, s/p). Esta recomendação diz respeito, diretamente, às escaiolas, cuja conservação deve ser estimulada em detrimento de sua substituição por revestimentos de outra natureza. O mesmo documento recomenda que as inserções de caráter sustentante ou de conservação da estrutura interna ou do substrato ou suporte não podem causar alteração na superfície da obra.

No seu artigo 10, quando trata da restauração, a carta recomenda que a consolidação de um monumento pode ser realizada através da utilização de técnicas modernas de conservação quando as tradicionais forem inadequadas. Recomenda também, que a eficácia das novas técnicas que forem utilizadas deve ser demonstrada cientificamente e comprovada pela experiência (CARTA DE VENEZA, 1964).

Em 1972 o governo italiano publica, através do Ministério da Instrução Pública, a carta de Restauo Italiana, que, por tratar de forma mais direta sobre questões técnicas, é considerada, ainda, uma referência sobre o tema.

No inciso 4º do artigo 7º a recomendação é para que as “modificações ou inserções de caráter sustentante e de conservação da estrutura interna ou no

---

<sup>1</sup> Documento que trata das conclusões do I Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos em Monumentos, em Atenas, sobre restauração de monumentos, proposto pelo escritório internacional dos museus.

<sup>2</sup> Carta sobre conservação e restauração de monumentos e sítios – II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos.

substrato ou suporte” não provoquem alterações na aparência da obra quando vista da superfície (MINISTÉRIO DA INSTRUÇÃO PÚBLICA, 1972).

Esta carta traz três anexos, o primeiro, anexo A, trata de instruções para a salvaguarda e restauração de bens arqueológicos; o segundo, anexo B, trata de instruções para a salvaguarda e restauração de bens arquitetônicos e o último, anexo C, trata de instruções para a execução de restaurações pictóricas e escultóricas – instruções estas, pertinentes no que concerne um projeto de restauração de uma parede de escaiola, por tratar-se de um tipo de pintura mural decorativa.

As escaioles podem ser consideradas uma expressão cultural da sociedade pelotense que perdurou entre o final do século XIX e início do século XX. Trata-se de um estuque lustrado sobre o qual é aplicada uma pintura em afresco fingindo incrustações de mármore e molduras salientes em *trompe l'oeil*<sup>3</sup>. Embora o termo escaiola não seja o mais correto para definir a técnica utilizada, optou-se por mantê-lo uma vez que a bibliografia e o estudo histórico, realizado em hemerotecas, demonstram que esta era a palavra utilizada pelas pessoas que executavam este revestimento.

Apesar do centro histórico da cidade de Pelotas já estar bastante descaracterizado, ainda encontra-se uma série de exemplares arquitetônicos que possuem as escaioles adornando as paredes internas de vestíbulos, corredores e salas de jantar. Por terem sido tão utilizadas durante certo período da história da cidade e em razão da necessidade de preservação que se coloca sobre elas, a conservação e restauração de escaioles será a razão primeira do desenvolvimento da argamassa de injeção aqui proposta, embora se acredite que ela possa ser usada em revestimentos à base de cal, em geral.

Muitos são os danos que podem sofrer os revestimentos das alvenarias em edificações. Manchas de umidade, fissuras e descolamentos estão entre as manifestações patológicas mais frequentes quando se avalia apenas os danos em revestimentos.

Os descolamentos por perda de aderência podem ser tratados através de injeções de uma substância consolidante fluida. Esta argamassa preenche os

---

<sup>3</sup>Expressão francesa traduzida livremente para “engana olho”, trata-se de técnica artística que busca, através da pintura, criar efeitos de terceira dimensão em superfície plana.

vazios deixados pelo descolamento e restabelece a aderência entre o revestimento e o substrato. Há diferentes técnicas e muitos materiais que podem ser utilizados para tal finalidade, nem todos apresentam as características de compatibilidade mecânica e química em relação ao substrato original, desejadas quando se trata da consolidação de revestimentos no patrimônio cultural. Dentre os consolidantes orgânicos, podem ser utilizadas resinas de diferentes características como as de poliéster, acrílicas, vinílicas e epoxídicas. Dentre os ligantes de origem mineral, a cal, o cimento e o gesso podem ser utilizados de diversas formas. Deve-se evitar que estas técnicas, com ligantes minerais, sejam utilizadas de forma empírica e sem que se conheçam as características mecânicas das argamassas aplicadas.

### **1.1 Caracterização do problema**

A problemática da pesquisa é colocada de forma que os resultados venham a contribuir com as técnicas de conservação dos revestimentos de estuque. A bibliografia estudada apresenta diferentes técnicas de consolidação do revestimento que se apresenta destaca do suporte. Há técnicas que utilizam argamassas injetáveis elaboradas com materiais tradicionais, como a pasta de cal, aquelas que utilizam materiais sintéticos (resinas acrílicas, vinílicas, epoxídicas, de poliéster, entre outras). O estudo de Tavares, Veiga e Fragata (2010, pp. 743-752) demonstra a eficácia de argamassas injetáveis elaboradas com uma mistura de cal aérea, aditivos e cargas, e de cal hidráulica com aditivos e cargas.

Autores como Biçer-Şimşir e Rainer (2013) trazem alguns critérios que as argamassas injetáveis devem possuir para que se garanta alguma qualidade do produto que se está desenvolvendo: compatibilidade entre os materiais da mistura e os materiais do substrato; fluidez suficiente para injeção sem que haja segregação dos componentes da mistura; retração mínima durante o endurecimento; o produto deve conter um mínimo de sais solúveis; a resistência mecânica do produto endurecido, assim como sua resistência de aderência não deve ser maior que a resistência mecânica da argamassa original; a absorção de

água e a permeabilidade ao vapor de água da mistura também devem ter valores semelhantes as da argamassa de revestimento original.

Tavares (2009), citando diversos autores, construiu uma tabela de requisitos mínimos para uma argamassa de injeção para restituição da aderência entre camadas de revestimento e substrato. Nessa tabela a autora traz as mesmas características já citadas por Biçer-Şimşir e Rainer (2013), no entanto, com valores que podem ser usados como parâmetros para a determinação da qualidade do produto que está sendo desenvolvido, por exemplo: o valor do coeficiente de absorção de água por capilaridade da argamassa injetável deve ser igual ou, no máximo, 50% menor que o valor do coeficiente de absorção de água por capilaridade da argamassa de revestimento original; a resistência à compressão da argamassa injetável deve estar em torno de 60% do valor de resistência à compressão do revestimento original; o módulo de elasticidade da argamassa injetável deve estar em torno de 80% do módulo de elasticidade da argamassa do revestimento original, a resistência de aderência à tração deve ser maior ou igual a 0,1MPa e a retração na secagem deve ser menor que 4%. As características citadas por Tavares (2009) foram usadas como parâmetros a serem atendidos pela argamassa injetável desenvolvida neste trabalho. Com isto, baseados na bibliografia estudada, determinam-se os parâmetros a serem atendidos pela argamassa injetável a ser desenvolvida.

Levando-se em consideração a vasta gama de produtos consolidantes usados em restauro, considerando também que a necessidade de consolidação costuma dar-se em áreas de maiores dimensões, o que inviabiliza a utilização de materiais caros, o principal questionamento levantado para este projeto de pesquisa é: Que argamassas injetáveis podem ser utilizadas para o restabelecimento da aderência entre as camadas de revestimento de argamassa de cal e o suporte? Para responder deverão ser considerados os materiais disponíveis no mercado brasileiro, preferencialmente os da região sul do estado do Rio Grande do Sul, que atendam aos requisitos técnicos.

Na proposta os materiais regionais citados serão as cales hidráulicas fabricadas e a areia extraída no estado do Rio Grande do Sul, acrescida de sílica residual obtida da queima de casca de arroz.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver uma argamassa injetável com cales da região sul do estado do Rio Grande do Sul, areia graduada e sílica de casca de arroz, para emprego na consolidação de revestimentos com acabamento em escaiola existentes em edifícios históricos na cidade de Pelotas/RS.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo geral foram executados os seguintes objetivos específicos:

- verificar, através de levantamento em edificação histórica da cidade de Pelotas, traços e materiais constituintes das argamassas de cal utilizadas como substratos;
- estabelecer requisitos mínimos de desempenho para argamassas injetáveis;
- elaborar e caracterizar formulações de argamassas injetáveis que atinjam os requisitos de desempenho estabelecido;
- validar os resultados através da aplicação da argamassa injetável em substrato semelhante ao das edificações históricas e verificação da resistência de aderência à tração.

## **1.3 Estrutura da tese**

Este trabalho estrutura-se em cinco partes, das quais a primeira consiste nesta introdução. A segunda parte, ou capítulo, apresenta a revisão bibliográfica sobre os revestimentos de alvenaria compostos por argamassas minerais à base de cal. A revisão parte dos materiais de que são feitas as argamassas e apresenta particularidades dos acabamentos em escaiola. Em seguida discute-se a patologia desses revestimentos e as medidas de saneamento mais usuais

dentro do campo da restauração de edifícios históricos. Por fim, a revisão se foca sobre as argamassas de injeção para consolidação de revestimentos, parâmetros de desempenho e métodos de dosagem que podem ser aplicados para estas argamassas.

A terceira parte consiste na explanação sobre a metodologia e materiais utilizados na pesquisa. A metodologia divide-se em três fases distintas, necessárias à obtenção dos parâmetros de desempenho a serem alcançados na argamassa injetável. No final, ainda é feita a verificação da resistência de aderência à tração da argamassa injetável.

A quarta parte traz os resultados obtidos do processo experimental em cada fase do estudo, bem como as principais discussões e implicações acerca desses resultados.

Por fim, as conclusões sobre o desenvolvimento de uma argamassa injetável para consolidação de revestimentos a base de cal com acabamento em escaiola são apresentadas na quinta parte desta tese.

#### **1.4 Premissas e Hipóteses**

A revisão bibliográfica que deu origem à pesquisa permitiu a identificação da seguinte premissa abaixo descrita.

É mais fácil encontrar compatibilidade de propriedades entre materiais semelhantes, nesse sentido, veta-se a utilização do cimento como aglomerante por ter como resultados argamassas muito resistentes e rígidas. No entanto, supõe-se que a cal aérea, utilizada nos revestimentos originais, apresente dificuldade de carbonatação ao ser injetada no interior do revestimento, visto que há pouca circulação de ar. Desta forma, o aglomerante a ser utilizado na argamassa fica definido como a cal hidráulica, que cura, inicialmente, através da formação de silicatos de cálcio, garantindo resistência inicial apropriada antes que o longo processo de cura pela carbonatação seja exigido.

Com isto, será verificada a hipótese de que as argamassas a base de cal hidráulica apresentem a compatibilidade necessária em relação às argamassas de revestimento a base de cal para que sejam utilizadas em procedimentos de restauração através de injeções.

## 1.5 Delimitação da Pesquisa

Algumas dificuldades foram encontradas ao longo do desenvolvimento da pesquisa. No período inicial, houve dificuldade em se definir procedimentos metodológicos em razão das poucas referências encontradas sobre argamassas para consolidação de revestimentos de prédios históricos através de injeções, sobretudo no Brasil. Parte da solução veio através da pesquisa de mestrado de Azeiteiro (2011) e de doutorado de Tavares (2009), que foram importantes no processo de construção da metodologia desenvolvida nesta tese.

A metodologia proposta buscou, sempre que possível, seguir as normas brasileiras vigentes para testes em argamassas de revestimento, acreditando-se evitar problemas com a disponibilidade de equipamentos e o conhecimento dos técnicos nos laboratórios, o que de fato aconteceu. No entanto, as normas brasileiras para argamassas de assentamento e revestimento não se mostraram adequadas às argamassas fluidas para consolidação de revestimentos de prédios históricos, principalmente no que diz respeito às especificidades dos materiais empregados e à moldagem e cura dos corpos de prova.

## 2. Revestimentos em argamassas minerais à base de cal

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) considera que as argamassas inorgânicas são uma mistura homogênea de aglomerantes com agregados minerais e água que podem conter aditivos ou adições e possuem capacidade de endurecimento e aderência (NBR 7200, 1998).

Com relação ao seu uso na construção, a argamassa é geralmente utilizada para unir diversas unidades de materiais como tijolos, blocos cerâmicos ou pedras, ou ainda revestir alvenarias propiciando maior proteção a outros elementos construtivos (SANTIAGO, 2007).

De acordo com Vitruvius, (VITRUVIUS, 1960, livro II, cap. V) que nos traz relatos de como os revestimentos [os estuques] eram feitos no período romano, a técnica à base de cal se baseava na aplicação de três estratos de argamassa. O primeiro estrato, chamado de *trullisatio*, era aplicado na forma de uma única camada de argamassa composta de pasta de cal e areia grossa. Possivelmente, este estrato tinha função de aumentar a aderência entre o suporte e as camadas de revestimentos que seriam aplicadas em seguida, assim como hoje em dia seria a função de uma camada de chapisco.

Sobre o *trullisatio* seria aplicado um segundo estrato, denominado de *arenatum*, composto por três camadas sucessivas de argamassas de pasta de cal e areia sendo a areia, tal como na primeira camada, de granulometria mais grossa. Nestas argamassas poderiam ser utilizados materiais como o pó de tijolo que confere certa hidráulica à cal.

Por fim era executado um último estrato, denominado de *marmoratum*. Este estrato também era realizado em três fases e as argamassas usadas eram

compostas por pasta de cal e pó de mármore de granulometria cada vez mais fina.

Na última camada, a argamassa de pasta de cal com o pó de mármore muito fino resultaria em revestimento de cor branca, muito apropriado para receber pintura. No acabamento das paredes interiores poderiam ser aplicados ceras e óleos que dariam a proteção e o acabamento final lustrado das superfícies, similar ao mármore polido. A denominação *marmoratum*, se deve ao uso do pó de mármore na argamassa e teria originado a denominação “marmorino”. Em construções mais simples não se fazia uso de tantas camadas intermediárias e nem dos acabamentos mais elaborados com pó de mármore (AGUIAR, 2002).

Em Portugal, este acabamento final dos revestimentos das paredes recebe outras denominações como guarnecimento ou barramento (AGUIAR, 2002, p. 231). No Brasil, o termo barramento não foi encontrado em manuais ou dicionários, no entanto, o dicionário de arquitetura de Corona e Lemos (1972, p. 250) traz o verbete guarnecimento como sendo um “adorno, ornato ou camada de gesso, estuque ou cal que branqueia uma parede [...]”.

Sobre o traço das argamassas, Vitruvius coloca que as proporções ideais dependem do tipo de areia a ser utilizada na mistura. Quando se utiliza areia de pedreira, de formato anguloso, usa-se o traço 1:3 e quando se utiliza areia de rio ou do mar (lavada), usa-se o traço 1:2, ambos em volume. Vitruvius refere ainda que a cal deve ser misturada após o processo de hidratação, possivelmente na forma de pasta (VITRUVIUS, 1960, livro II, cap. V, p. 45).

Sobre a evolução tecnológica dos revestimentos em argamassa de cal, é possível afirmar que ela se manteve relativamente constante desde o período romano até o início da industrialização do cimento Portland.

Por volta da década de 40 do século XX, o acesso ao cimento, na região sul do estado do Rio Grande do Sul, foi facilitado pela expansão da indústria, o que levou ao declínio da utilização das argamassas de cal.

## **2.1 Materiais componentes das argamassas**

Santiago (2007) afirma que a denominação de argamassa como uma mistura de aglomerante com agregado miúdo e água é limitada para descrever a diversidade de materiais que podem ser empregados nesta mistura, no entanto, será dentro desta estrutura de classificação que serão apresentados, aqui, alguns dos materiais mais comuns utilizados nas argamassas até a quarta década do século XX.

### **2.1.1 Aglomerantes ou ligantes**

Lade e Winkler (1960) distinguem os principais materiais desta classe de duas formas: os que endurecem em contato com o ar; e os que endurecem através do contato com a água, mesmo debaixo dela.

Embora diversos materiais de origem mineral como a argila, ou mesmo de origem orgânica, como o betume, tenham sido usados em argamassas, em razão das especificidades dos revestimentos que se aplicam a este trabalho, serão apresentados apenas três ligantes minerais, o gesso, a cal aérea e a cal hidráulica, por serem considerados os mais utilizados nos revestimentos das construções do final do século XIX e início do século XX.

#### **2.1.1.1 Gesso**

De acordo com Lade e Winkler (1960) o gesso tem particular importância entre os aglomerantes no que tange aos trabalhos de reboco e estucaria, em razão de suas propriedades que se diferenciam da cal e do cimento. A principal diferença diz respeito ao tempo de pega que é considerado bastante curto.

O gesso possui plasticidade notável no estado fresco o que favoreceu o desenvolvimento de técnicas decorativas para paredes e tetos através da aplicação de ornamentos pré-moldados ou moldados no local (JOHN e CINCOTTO, 2007). Este material possui ainda grande adesividade e baixa condutibilidade térmica, conferindo-lhe características de bom isolante térmico.

Ao contrário da cal e do cimento, o gesso expande-se ao endurecer, em razão disto, pode ser utilizado sem adição de agregados inertes como a areia sem

que sofra com fissuras provocadas pela retração do aglomerante durante o processo de cura (LADE e WINKLER, 1960).

Aparentemente, a pedra que dá origem ao gesso é bastante parecida com a que dá origem à cal, que é composta por carbonato de cálcio. No entanto, o gesso compõe-se originalmente de um material distinto, o sulfato de cálcio. Um teste simples para identificação dos materiais pode ser feito ao adicionar-se ácido clorídrico sobre a pedra. A pedra com carbonato deverá efervescer, enquanto aquela com sulfato fica inalterada (LADE e WINKLER, 1960).

Para John e Cincotto (2007), no Brasil, o processo de produção do gesso inicia-se com a extração do minério, em seguida o material passa por um processo de britagem, moagem grossa e estocagem. As próximas etapas são a secagem, a calcinação, a moagem fina e a ensilagem.

A calcinação do gesso simples exige temperaturas relativamente baixas (a partir de 130°C). Talvez esta seja uma razão para que este material tenha sido utilizado antes mesmo da cal, que necessita temperaturas mais altas, a partir de 900°C, para seu processo de calcinação se dar de forma satisfatória. No entanto, o gesso é um material menos durável e menos resistente, o que limitou sua aplicação aos ambientes interiores, resguardados da ação das intempéries (AGUIAR, 1999).

Assim como acontece com a cal, diferentes matérias primas para o gesso formarão gessos com características diferentes. Segundo John e Cincotto (2007, p. 731) “o gesso pode ser produzido a partir da matéria prima natural – o gipso – ou de sulfatos de cálcio oriundos de resíduos industriais.” O processo de fabricação dos materiais (gesso e cal) é relativamente semelhante; inicialmente, a pedra deve ser calcinada em forno sem adição de qualquer outro produto. A temperatura do forno determina, também, as características finais do produto. O gesso para argamassa deve ser calcinado na forma de pedra entre 120 e 600°C de temperatura; o gesso para estuque, para moldagem e modelagem deve ser cozido na forma de pó a temperaturas que variam entre 120°C e 180°C, depois de esfriado, é novamente moído até a finura desejada. O gesso para imitação de mármore (gesso alúmico) é produzido a partir de pedras de alabastro<sup>4</sup> através de

---

<sup>4</sup> Segundo John e Cincotto (2007, p.737) o alabastro é outra forma macrocristalina do sulfato de cálcio dihidratado, e altera a característica do hemidrato a ser produzido.

um processo de calcinação cuidadoso com temperatura de 1300°C a 1500°C. Este tipo de gesso recebe adição de alumínio. Trata-se de gesso de cor branca, de elevada dureza, que aceita bem adição de corantes e pigmentos além da possibilidade de polimento (LADE e WINKLER, 1960).

A cura do gesso dá-se através do fenômeno da cristalização que ocorre em virtude da hidratação do material anidro. A água de cristalização, na pedra, é eliminada durante o cozimento. A água é adicionada novamente ao material como água de amassadura dando início ao processo de hidratação. Com isto, o gesso cristaliza-se novamente. O desenvolvimento deste processo libera calor, geralmente perceptível ao toque. O tempo de pega do gesso varia de acordo com o tipo e sua temperatura de queima. O gesso para estuque inicia sua pega em 5 minutos e está completamente endurecido ao final de 30 minutos. O tempo de pega para o gesso com alumínio pode variar de 2 horas a 6 horas (LADE e WINKLER, 1960).

A origem geológica da matéria prima, impurezas, finura dos grãos, a relação entre água e gesso, temperatura da água, e a velocidade e o tempo da mistura são fatores que interferem no processo de pega e endurecimento do gesso (KARNI, 1995, *apud* JOHN e CINCOTTO, 2007).

### **Cal aérea**

Segundo Guimarães (2002), é possível que o homem tenha tido seus primeiros contatos com este material ainda nos primórdios da Idade da Pedra. A mais antiga aplicação da cal enquanto aglomerante dataria de aproximadamente 5.600 a. C. numa laje de 25cm no pátio da Vila de Lepenke-Vir, que hoje pertence à Iugoslávia. (VENAUT *apud* GUIMARÃES, 2002). Vestígios arqueológicos da utilização da cal com objetivo de cobrir cromaticamente obras arquitetônicas foram encontrados em culturas urbanas como a de ÇatalHüyük na Anatólia (6600 – 5650 a. C.) (ROJAS, 1993<sup>5</sup> *apud* AGUIAR, 1999). Versátil, na construção civil a cal pode ser utilizada de várias maneiras, como aglutinante, plastificante e inclusive como tinta.

A cal é o principal produto derivado das rochas carbonatadas cálcio-magnesianas (calcários e dolomitos). A constituição dessas rochas, segundo

---

<sup>5</sup>ROJAS, Ignacio Gárate. Artes de La cal. Madrid: Didot, 1993.

Guimarães (2002), é de aproximadamente 50% ou mais dos seguintes minerais: calcita ( $\text{CaCO}_3$  romboédrico), aragonita ( $\text{CaCO}_3$  ortorombico) e dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  romboédrico).

O processo químico que transforma as rochas calcárias em cal é a calcinação. Através deste processo, as pedras calcárias, compostas basicamente, por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) são aquecidas à temperatura de aproximadamente  $900^\circ\text{C}$ . A esta temperatura o  $\text{CaCO}_3$  é decomposto, libera gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e transforma-se em óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). A substância resultante desta queima da pedra calcária é chamada de cal virgem (no Brasil) ou cal viva (em Portugal). O processo de calcinação para as rochas dolomíticas ou magnesianas, que contém carbonato de magnésio na sua composição, é semelhante, embora a temperatura de dissociação da dolomita esteja entre  $500^\circ\text{C}$  e  $700^\circ\text{C}$  (GUIMARÃES, 2002; TORRACA, 2009).

A seguir é transcrita a representação química da reação de calcinação do carbonato de cálcio, conforme apresenta Guimarães (2002).



A qualidade do produto da calcinação, para Guimarães (2002), depende de características e da presença de impurezas na rocha de origem e do forno e seu operador. Para Bauer (2012), o carbonato de magnésio presente nas rochas não é considerado uma impureza propriamente dita. Para que possa ser utilizada nas construções, a cal virgem precisa ser hidratada ou 'apagada'. Para isto ela deve ser combinada com água, provocando uma forte reação exotérmica que transforma o óxido de cálcio em hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , conhecido como cal apagada, hidratada ou extinta.

A reação de hidratação do óxido de cálcio pode ser exemplificada, conforme Guimarães (2002) e Torraca (2009), da seguinte forma:



A cal deveria permanecer sob a água por períodos maiores que um ano, para que garantisse a extinção perfeita, evitando fissuras nos revestimentos onde

for empregada. Isto também melhora a qualidade da cal, uma vez que provoca a mudança da forma dos cristais de hidróxido de cálcio (portlandita). Os cristais, de forma prismática hexagonal rompem-se formando placas hexagonais, vistas apenas através de microscópio eletrônico. Supõe-se que as placas deslizem umas sobre as outras quando interpostas por moléculas de água, um mecanismo semelhante ao que explica a plasticidade de argilas (TORRACA, 2009, p. 52).

Sob a forma de argamassa, a cal pode ser utilizada como aglutinante ou plastificante em argamassas para assentamento ou revestimento. Atualmente, a hidratação da cal tem sido feita por aspersão de água sobre a cal virgem, o que permite a produção de cal hidratada em pó, que pode ser comercializada em sacos (TORRACA, 2009).

Depois de a cal ser aplicada nas construções, da forma desejada, inicia-se o processo de endurecimento. Através da evaporação da água e da carbonatação do hidróxido de cálcio, ela se transformará novamente em carbonato de cálcio, porém com características diferenciadas em relação à pedra que lhe deu origem. A seguir pode-se verificar o esquema da reação de carbonatação do hidróxido de cálcio, conforme apresentam Guimarães (2002) e Torraca (2009).



Segundo Bauer (2012), a carbonatação é um processo que ocorre lentamente e do exterior para o interior, exigindo alguma porosidade do material para que o  $\text{CO}_2$  possa atingir as camadas mais profundas da argamassa.

O endurecimento da cal vem acompanhado por uma sensível redução do volume causada pela evaporação da água da mistura e daquela proveniente da reação química. É possível que esse processo provoque alguma fissuração, no entanto, quando quantidades de areia são usadas em proporções adequadas, a retração é contida a limites aceitáveis (TORRACA, 2009).

Ao realizarem-se testes de resistência à compressão em corpos de prova prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm, segundo as normas européias [ou brasileiras], as argamassas de cal costumam apresentar valores de resistência muito baixos, da ordem de 1MPa. Valores desta ordem podem ser aferidos aos 60 dias de cura, e ao testar-se a argamassa com um indicador de fenolftaleína, percebe-se que

grande parte do interior do prisma ainda não está carbonatado. Quando a argamassa é moldada em finas camadas de até 10mm e deixada em ambiente seco, valores de resistência à compressão muito mais altos podem ser verificados, no entanto não podem ser aferidos segundo as especificações das normas. As camadas mais resistentes de argamassa de cal são obtidas com areias calcárias, como aquelas do tipo marmorino, compostas por pasta de cal e pó de mármore (TORRACA, 2009).

A poluição ambiental acelera o processo de deterioração das rochas calcárias, bem como da cal. Quando exposto à poluição, o carbonato de cálcio transforma-se em gesso (sulfato de cálcio). O gesso é um material mais frágil, que se dissolve com maior facilidade quando exposto às intempéries, contribuindo para a degradação dos monumentos construídos com este tipo de material.

#### **2.1.1.2 Cal hidráulica**

Há diferentes tipos de cal em decorrência dos diferentes tipos de rocha utilizada na sua fabricação. Cal hidráulica, segundo Bauer (2012, p. 32), é um termo utilizado para uma família de aglomerantes de composição bastante variada, provenientes da calcinação de rochas calcárias que contém uma determinada quantidade de substâncias, geralmente argilas, que depois de calcinadas a temperaturas adequadas geram compostos ativos que endurecem até mesmo sob a água. Quando a rocha que dá origem à cal contém argila, sua queima produz silicato dicálcico que, quando hidratado, reage à temperatura ambiente formando o silicato de cálcio hidratado. Pode haver ainda, uma parte de cal livre, que reage como a cal aérea, endurecendo lentamente conforme se combina com o  $\text{CO}_2$  (TORRACA, 2009). Este tipo de cal não pode ser hidratado por longos períodos sob um filme d'água, uma vez que a simples hidratação do silicato provoca o endurecimento do produto.

Boynton (1980) *apud* Cincotto, Quarcioni e John (2007, p.719) classifica a cal de acordo com seu índice de hidraulicidade em: fracamente hidráulica (0,30 a 0,50); medianamente hidráulica (0,50 a 0,70); e fortemente hidráulica (0,70 a 1,10). Este índice pode ser calculado através da equação 4:

$$i = \frac{2,8.(\% \text{SiO}_2) + 1,1.(\% \text{Al}_2\text{O}_3) + 0,7.(\% \text{Fe}_2\text{O}_3)}{(\% \text{CaO}) + 1,4(\% \text{MgO})} \quad [4]$$

Através desta equação é possível perceber que a cal será mais hidráulica quanto maior for a porcentagem de elementos formadores de silicatos e aluminatos, sendo a sílica o componente de maior importância (CINCOTTO, QUARCIONI, JOHN, 2007, p.719 – 720).

A norma europeia EN 459 (2010) classifica as cales hidráulicas, fornece parâmetros e apresenta os testes a serem realizados nestes materiais. Segundo esta norma, as cales hidráulicas são classificadas da seguinte forma: NHL (cal hidráulica natural); NHL-Z (cal hidráulica natural adicionada de outros materiais hidráulicos, como cimento ou pozolanas, numa proporção de até 20%); e HL (cal hidráulica produzida). Cada categoria é subdividida de acordo com a resistência à compressão que a cal apresenta quando testada aos 28 dias, e é função da quantidade de hidróxido de cálcio livre. Quando  $\text{Ca(OH)}_2 \geq 35\%$ , a cal apresenta resistência à compressão entre 2 e 7 MPa; quando  $\text{Ca(OH)}_2 \geq 25\%$ , a cal apresenta resistência à compressão entre 3,5 e 10MPa; quando  $\text{Ca(OH)}_2 \geq 15\%$ , a cal apresenta resistência à compressão entre 5 e 15 MPa (WEBB, 2012; TORRACA, 2009).

Aguiar (2002) coloca que estas cais eram utilizadas em rodapés e outras áreas mais umedecidas das construções, e que, por possuírem coloração ligeiramente mais avermelhada ou acinzentada em relação à cal aérea (branca), este uso teria implicado, inclusive, no aspecto dos rodapés nos interiores das construções antigas.

Segundo Cincotto, Quarcioni e John (2007, p.720), a cal hidráulica é, atualmente, utilizada em argamassas com a função de melhorar o comportamento da mistura no estado fresco em razão da elevada área específica do material.

Nem todas as cales hidráulicas encontradas no mercado são adequadas para uso em conservação e restauração de construções. As mais comuns produzem sais solúveis durante o processo de cura, conseqüência da presença de componentes de metais alcalinos nas matérias-primas. A adição de gesso (sulfato de cálcio) no controle do tempo de pega também contribui para a presença desses sais (TORRACA, 2009).

### 2.1.2 Agregados miúdos

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), agregado miúdo é aquele “cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm”. Os agregados a que a norma se refere “podem ser de origem natural, já encontrados fragmentos ou resultantes da britagem de rochas.”

Sabe-se que o formato dos grãos do agregado interfere nas características da argamassa. Vitruvius já apontava a possibilidade de se usar traços mais pobres (1:3 de pasta de cal e areia em volume) em argamassas compostas com areia angulosa, proveniente da extração de rochas (de forma mais angulosa), e traços mais ricos (1:2 de pasta de cal e areia em volume) quando o agregado fosse areia de rio (de forma mais arredondada). No caso das argamassas de cal, o formato anguloso dos grãos permite maior incorporação de ar na mistura, facilitando o processo de carbonatação (AGUIAR, 1999).

Uma das características mais estudadas nas areias utilizadas nas argamassas é a sua composição granulométrica. A granulometria de um agregado é a proporção entre os diferentes tamanhos de grãos que compõem esse material. O ensaio com os procedimentos para a determinação da granulometria de um agregado está descrito na NBR NM 248 (2003), basicamente, consiste no peneiramento de determinada massa de agregado seco através de um conjunto de peneiras de malha sucessivamente mais finas. O material retido em cada peneira é pesado e então são calculadas as porcentagens retidas em cada peneira e a porcentagem retida acumulada de cada peneira. Determina-se, então, a dimensão máxima característica<sup>6</sup> e o módulo de finura<sup>7</sup> do agregado.

Através do módulo de finura é possível classificar as areias em grossas, quando apresentam módulo de finura maior que 3; em médias, quando apresentam módulo de finura entre 2 e 3; e em finas, quando apresentam módulo de finura menor que 2.

---

<sup>6</sup> Corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (NBR NM 248, 2003).

<sup>7</sup> É a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (NBR NM 248, 2003).

Segundo Tristão (1995, p. 16), a representação gráfica para análise da granulometria do agregado é a curva granulométrica que "representa a função diâmetros de partículas e porcentagem de ocorrência". Ainda segundo este autor, a leitura das curvas granulométricas pode favorecer a constatação de materiais de granulometria uniforme (muitos grãos de diâmetros próximos), granulometria contínua (que contém quantidades bem distribuídas de partículas de diferentes tamanhos), e granulometria descontínua (a qual se percebe a falta de grãos de determinado tamanho (Figura 1). Curvas de granulometria contínua foram utilizadas para obtenção dos traços das argamassas injetáveis desta pesquisa.

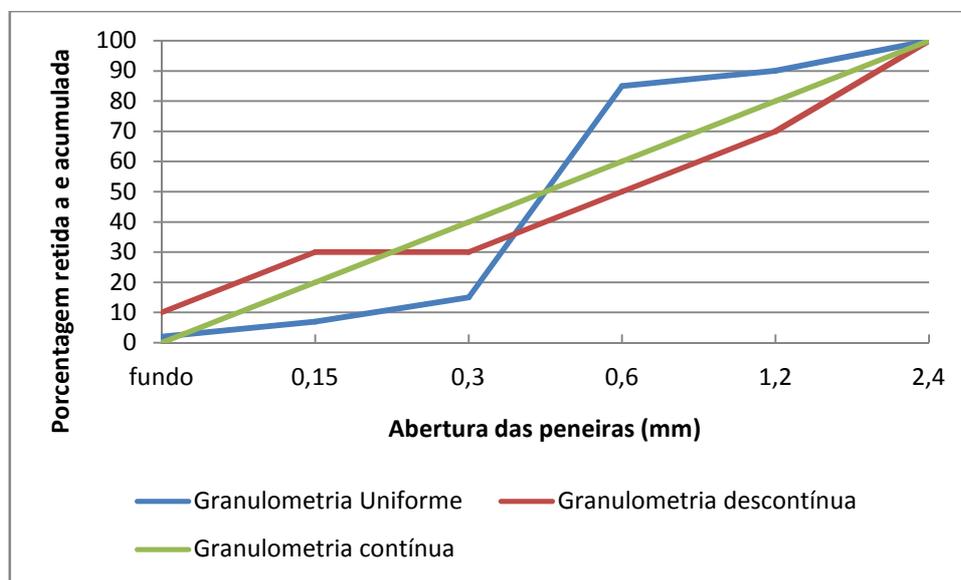


Figura 1 – Curvas granulométricas uniforme, contínua e descontínua.

Fonte: Adaptado de Tristão, 1995.

Esta avaliação gráfica é qualitativa e não diz o quanto uma distribuição granulométrica é contínua, descontínua ou uniforme. O diâmetro efetivo dos grãos e o grau de uniformidade são dois parâmetros usados para se calcular o coeficiente de uniformidade e o coeficiente de curvatura (TRISTÃO, 1995). O método de formulação usado nesta pesquisa para gerar traços de argamassa se utiliza de curvas de distribuição granulométrica contínuas.

À areia são atribuídas algumas funções dentro de uma argamassa, uma delas é a redução do custo final do produto, uma vez que seu uso diminui o consumo do aglomerante. Esta razão econômica justifica o uso da areia em uma proporção limite, que deve ser definida de acordo com as propriedades que a

argamassa deverá apresentar para que possa cumprir a função especificada com eficiência. A areia, por ser inerte, é também responsável pela diminuição do efeito de retração de secagem do aglomerante, evitando a fissuração da argamassa e, quando bem graduada, pode ser utilizada em maiores quantidades do que as areias mal graduadas (COWPER, 1956<sup>8</sup> *apud* TRISTÃO, 1995).

Carneiro e Cincotto (1999) dizem que enquanto a fração ativa da argamassa costuma ser composta por cimento, cal ou ambos, a fração inerte é geralmente composta por areia, que não sofre qualquer reação química de endurecimento. Por esta razão, a contribuição da areia para as propriedades da argamassa no seu estado fresco e endurecido é influenciada, essencialmente, pela sua distribuição granulométrica e formato dos grãos.

## 2.2 Revestir e decorar

José Aguiar (2002 p. 231) afirma que os revestimentos com ligantes minerais possuem duas funções. Enquanto protegem as alvenarias e estruturas de agressões físicas e da umidade, também participam da composição arquitetônica, cumprindo sua função estética.

Os revestimentos em argamassa de cal se valem da composição em múltiplas camadas para desempenhar de uma só vez as suas funções técnicas e estéticas, como descreveu a pesquisadora portuguesa Maria do Rosário Veiga (2003, p. 1-2):

(...) a utilização da cal como ligante quase único implicava um modelo de constituição multicamada, em que cada camada principal, obtida a partir de várias subcamadas, tinha funções específicas:

- Camadas de regularização e protecção: emboço, reboco e esboço.
- Camadas de protecção, acabamento e decoração: barramento (ou guarnecimento); pintura (em geral mineral) simples ou de ornamentação (fingidos, pintura mural).

As camadas de regularização e protecção eram constituídas por argamassas de cal e areia, eventualmente com adições minerais e aditivos orgânicos. Normalmente, as camadas internas tinham granulometria mais grosseira que as externas e a deformabilidade e a porosidade iam aumentando das camadas internas para as externas, promovendo assim um bom comportamento às deformações estruturais e à água. Aliás, esta estrutura é, ainda hoje, considerada a mais adequada para rebocos feitos em obra.

---

<sup>8</sup> COWPER, A. D. Sand for plasters, mortars and external rendering. London: Building Research Station, 1956.19p. (National Building Studies, Bulletin7).

Sobre a função estética é possível afirmar que as argamassas minerais de cal recobrem as superfícies das alvenarias ao mesmo tempo em que permitem a execução de frisos, cornijas e outros elementos tridimensionais moldados no próprio local ou moldados em fôrmas. Também permitem acabamentos superficiais diferenciados (polido, lustrado, mate), servindo de suporte às pinturas artísticas ou decorativas executadas com técnicas como o afresco ou a seco.

O conjunto das técnicas de execução desses acabamentos pode ser definido como estucaria. Não há uma definição precisa para o termo estuque, o dicionário de Arquitetura Brasileira de Corona e Lemos (1972, p. 208) traz uma das mais completas:

[...] argamassa de revestimento que depois de seca adquire grande dureza e resistência ao tempo. Existem várias modalidades de estuques, para variadas finalidades e hoje em dia o termo não designa com precisão a exata ou a correta função daquela argamassa. Assim, estuque é a massa usada para revestir paredes internas ou fôrros, e é a argamassa que serve de material de vedação, preenchendo interfícios de uma armação qualquer como tela de arame. [...] Com o estuque são feitos altos e baixos relevos, ornatos, cornijas, florões [...] são empregados vários materiais o pó de mármore, a areia, a cal, o cimento, o gesso [...] pode ser pintado ou receber pigmento [na massa]. [...] O estuque a italiana não leva gesso e é assentado em três demãos. É de cal escolhida e areia branca, no traço 1:2. A segunda e a terceira, de cal e areia branca fina, com o mesmo traço. Sobre a terceira camada aplica-se uma leve demão de cal pura. A superfície final é brunida a ferro quente e depois encerada com cera branca dissolvida em aguarrás. [...]

De acordo com José Aguiar (2002, p. 258), as principais práticas decorativas em estuque, com objetivo de fingir pedras ornamentais seriam: o *stucco-lustro*; o *stucco-marmo* e a (verdadeira) *scagliola*. Enquanto no *stucco-marmo* e na *scagliola* o fingimento dos veios do mármore é obtido através da incorporação de pigmentos à massa do acabamento, no *stucco-lustro* esta imitação é feita através de uma pintura que se utiliza de técnicas de esponjados e de pinceladas dadas através de um gestual próprio que imprime a simulação, ou o fingimento do feitio dos veios de pedras ornamentais.

Em Pelotas, a técnica de fingimento mais utilizada nos casarões ecléticos, de acordo com a definição fornecida por Aguiar, foi o *stucco-lustro*. No entanto, nesta cidade prevalece a denominação a partir da variação lexical *escariola*, ao

menos desde os anos 1930, segundo levantamentos de arquivo (SANCHES, PALLA, ALVES, 2013).

O termo escaiola, do qual se origina, já designava a técnica do *stucco-lustro* em Portugal e Espanha, promovendo importantes problemas de ordem terminológica, como reconhece Aguiar:

Em Portugal e em Espanha, perdeu-se o significado original do termo “escaiola”, que derivava da scagliola italiana e que, nos últimos dois séculos, por corruptela ou por simplificação, passou a designar, sem o ser, a técnica do *stucco-lustro* e até, por vezes, do *stucco-marmo*, situação que leva a algumas confusões terminológicas propagadas até aos nossos dias (AGUIAR, 2002, p.258).

As figuras 2 e 3 mostram como as escaiolas podem compor a decoração de um ambiente. Percebe-se a intenção em simular a incrustação de revestimentos nobres, como mármore, no entanto, trata-se de um revestimento de alvenaria composto por argamassa de pasta de cal e areia finalizado com argamassa de pasta de cal e pó de mármore, pintada em afresco, brunida e encerada.



Figura 2 – Escadaria do prédio do Paço Municipal, paredes revestidas em escaiola. Praça Coronel Pedro Osório, 101, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.



Figura 3 – Mezanino do Paço Municipal, paredes revestidas em escaiola. Praça Coronel Pedro Osório, 101, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam pormenores dos traçados dos veios que simulam os veios de mármore e como são pintadas as molduras com sombras que simulam reentrâncias e saliências.

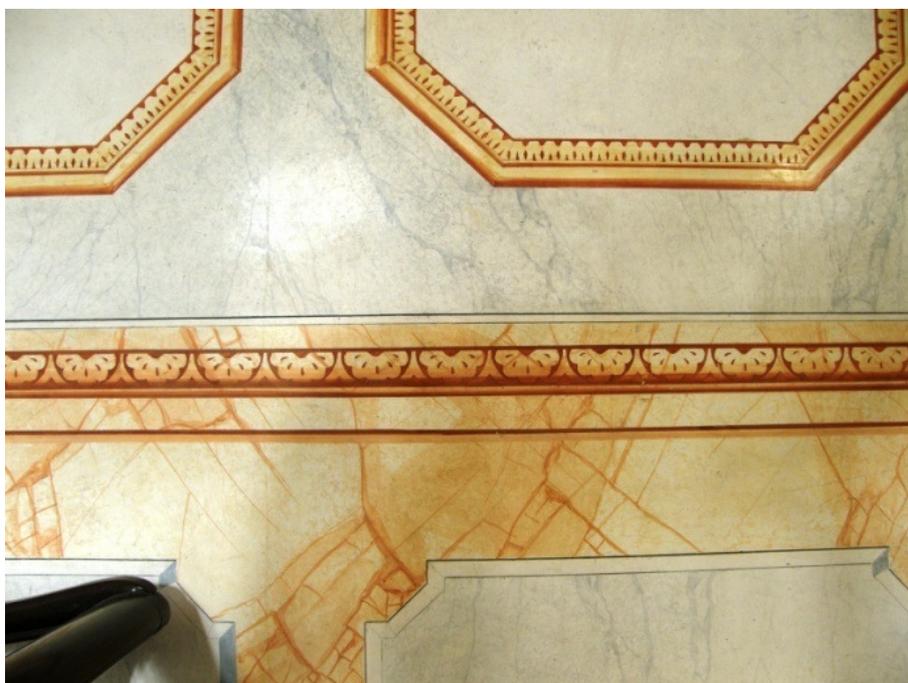


Figura 4 – Detalhe de imitação dos veios de mármore, frisos e molduras com estêncil e sombras (*trompe l'oeil*). Escaiola do Instituto João Simões Lopes Neto. Rua D. Pedro II, 810, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.



Figura 5 – Detalhe de imitação dos veios do mármore, e molduras de painéis com estêncil e sombras em *trompe l'oeil*. Escaiola de casa particular. Praça Piratinino de Almeida, 04, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

Além da decoração que busca imitar pedras ornamentais, encontram-se, também, motivos que visam simular azulejos, pranchas e tramas de madeira, conforme mostra a Figura 6 (a e b).



Figura 6 – (a) Detalhe de escaiola com pintura que simula azulejos na escadaria do hall de imóvel comercial localizado na Rua Gonçalves Chaves, 660, Pelotas/RS. (b) Detalhe de escaiola com pintura que simula painéis de madeira e mármore no imóvel pertencente à UFPel, localizado na Rua Félix da Cunha, 570, Pelotas/RS .

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

### 2.3 Escaiola: um estuque lúcido com mármore fingido

Não consta entre os objetivos deste trabalho, a solução das dificuldades terminológicas inerentes ao trabalho com a estucaria. No entanto, neste subitem, espera-se elucidar algumas das questões concernentes à adoção do termo “escaiola” para designar o revestimento apresentado no item anterior.

Primeiramente, é necessário esclarecer que o termo usado em Pelotas, durante o final do século XIX e início do século XX era escariola, e não escaiola. Tal informação é comprovada através de registros encontrados nos jornais e revistas da época que fazem referência a este tipo de revestimento ou às pessoas que os executavam.

Em 22 de janeiro de 1932 o jornal Diário Popular traz um anúncio com o conteúdo apresentado a seguir, destacou-se a palavra “escariolar”:

### ATENÇÃO

No antigo deposito de Cal, à rua Manduca Rodrigues nº 107, vende-se esse artigo de primeira qualidade aos seguintes preços:

Cal Virgem para caiar e **escariolar**

15 kilos 3\$500

Tonelada, 1000 kilos 130\$000 e 135\$000

Saco 40kls. 4\$500 e 5\$000

Telephone M. R. 1696.

Pelotas.

184

(DIÁRIO POPULAR, 22 DE JANEIRO DE 1932).

A imagem da Figura 7 apresenta um anúncio dos pintores Aldeia e Barrocas de 1939. Entre os serviços oferecidos, destacou-se “estuques e escariolas, etc”.

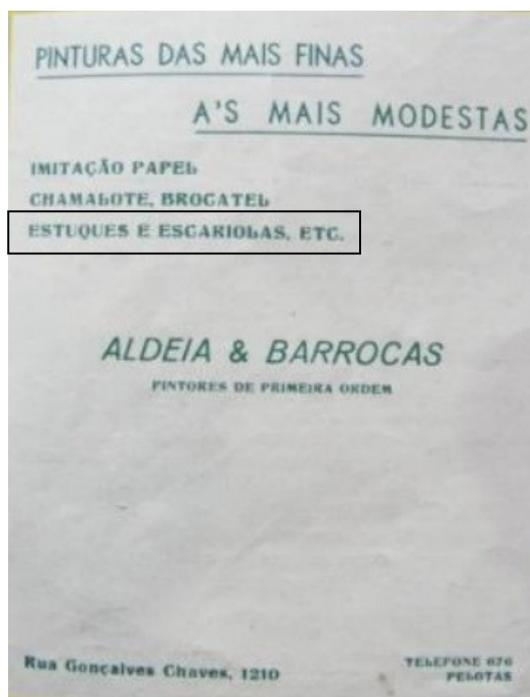


Figura 7 – Fotografia de um anúncio da Revista da Associação dos Proprietários de imóveis de Pelotas de outubro de 1939 (ano 1, número V).

Fonte: SANCHES; PALLA; ALVES. 2013. Fotografia de Fábio G.Alves, 2011.

Este termo “escaiola” ou ainda o termo “escariola” derivam da palavra italiana *scagliola*. Segundo Natali (2011), o termo *scagliola* refere-se a um tipo de gesso encontrado na natureza sob forma de lascas (*scaglie*). Mais tarde, *scagliola* passou a designar uma técnica especial de incrustação que utiliza o gesso misturado às colas e pigmentos. No século XVI, a *scagliola* era usada

principalmente para recriar o grão e a aparência de mármore. Mais tarde, em virtude da sua plasticidade, os artistas adaptaram a técnica e passaram a usá-la para simular as incrustações. No século XVII, a *scagliola* não era mais uma simples imitação de incrustações de pedras, tornou-se uma expressão artística autônoma com a vantagem adicional de ser capaz de representar uma maior variedade de cores; o que permitiu, e ainda permite, produzir objetos de grande impacto visual (NATALI, 2011).

A sequência da Figura 8 à Figura 13 apresenta, esquematicamente, a execução de uma *scagliola*.



Figura 8 – Técnica da scagliola, incisão do desenho na base.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.



Figura 9 – Preenchimento dos vazios com massas coloridas.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.



Figura 10 – Polimento da superfície.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.



Figura 11 – Grafite sobre a imagem.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.



Figura 12 – Preenchimento do grafito.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.



Figura 13 – Polimento com cera.

Fonte: NATALI, 2011, s/p.

Sobre o uso da palavra escariola em Pelotas, Sanches, Palla e Alves (2013) esclarecem:

O termo “escariola” é a variante lexical local [Pelotas] para designar um tipo de pintura a fresco aplicada sobre massa lisa, fina e lustrosa de estuque, produzida com grande apuro técnico e artístico em dimensões generosas, típicas do sistema construtivo à base de cal (SANCHES, PALLA e ALVES, S/P, 2013).

Para estes mesmos autores, a mudança lexical segue uma escala progressiva que se inicia na fala informal de grupos socioeconômicos intermediários passando para a fala de grupos socioeconômicos mais altos para, então, ser incorporada em situações formais de fala e logo em escrita. É importante salientar que o termo “escariola” aparece escrito em anúncios de prestação de serviços de decoração de interiores e em entrevistas com pessoas que executavam esses estuques.

Com o avanço do século XX, principalmente a partir da quarta e quinta décadas, quando há a expansão da indústria do cimento Portland e das cerâmicas, juntamente com a afirmação do movimento moderno no Brasil, o uso das escaiolas entra em decadência.

A possibilidade de substituição da cal pelo cimento branco alterou as técnicas de execução desses revestimentos, cada vez mais relegados às cozinhas e banheiros quando não havia condição para o uso do azulejo.

Alguns manuais de construção, já do final do século XX, trazem as novas fórmulas e técnicas desses revestimentos. Para Azeredo (1987, p.75), o estuque

lúcido (conforme ele chama, provavelmente traduzindo a definição *stucco-lustro*) é “um revestimento de acabamento ou reboco especial”. Por ser impermeável, era usado, sobretudo, em cozinhas e banheiros como uma forma econômica de substituir os azulejos. O revestimento também é contínuo o que não permite reparos e emendas.

Para a execução deste revestimento, o autor refere que a alvenaria deve receber uma demão de chapisco feita com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 em volume, em seguida deve receber uma camada de emboço com argamassa mista de cimento cal e areia (traço 1:4/12 em volume). Para melhorar o aspecto da superfície, pode aplicar-se um reboco com argamassa mista de cimento, cal e areia (traço 1:4/8 em volume) e só depois que a camada estiver completamente seca deve-se aplicar a camada final composta por: 3 partes de nata de cal peneirada; 3 partes de pó de mármore; 2 partes de cimento branco e corante a gosto pra o fundo (AZEREDO, 1987, p. 75).

A aplicação desta argamassa final dava-se com desempenadeira de aço ou de madeira. A superfície devia ficar uniforme, com aproximadamente 2mm de espessura. Para dar o acabamento liso era esborrifada uma solução de sabão de coco que era alisada com a desempenadeira. Em seguida realizava-se a pintura imitando os veios de mármore, utilizando-se esponjas de borracha ou penas das asas ou cauda de galinha como se fosse um pincel. Após a pintura, a superfície era novamente esborrifada com a solução de sabão de coco e alisada com desempenadeira. O lustro era dado com ferro quente, que, segundo o autor, assemelha-se a um ferro de passar roupas que se esquentava sobre a chapa de ferro. Obtinha-se o acabamento final passando-se óleo de linhaça e depois cera de carnaúba (AZEREDO, 1987, p. 75). O autor tece um comentário sobre a alta durabilidade do acabamento e informa que há dificuldade de encontrar-se artífice que execute o serviço com qualidade.

Borges (2009, p.205) traz outra técnica para de execução desse tipo de acabamento, que ele define como “estruque-lustre”. Segundo este autor, a argamassa para este acabamento seria composta de 45% de cimento branco, 45% de pó de mármore e 10% de gesso. Adiciona-se, ainda, o corante que se pretende usar.

Durante toda a segunda metade do século XX e início do século XXI o reparo das escaiolas, na cidade de Pelotas, era feito por mestres pedreiros que aprenderam o ofício antes ou durante o período de decadência do uso desses revestimentos. Com o passar dos anos, o número de pessoas conhecedoras da técnica e que poderiam reparar as escaiolas foi diminuindo. Sem mão de obra qualificada, muitas escaiolas danificadas foram cobertas por pinturas, massas acrílicas e até azulejos, fator que contribuiu, juntamente com a demolição de edifícios inteiros, para a perda de muitos exemplares.

A restauração do patrimônio edificado na cidade de Pelotas sofreu um ponto de inflexão através da instauração do programa Monumenta na primeira década do século XXI. Tal programa oportunizou a intervenção em diversos edifícios históricos da cidade, bem como a formação de mão de obra para atuação nestas intervenções, conforme se vê através do texto de Zambrano e Caetano (2012):

O curso de qualificação para os Ofícios do Restauo e da Conservação do Patrimônio Histórico de Pelotas foi realizado em 2007 através da parceria entre a Secretaria Municipal de Cultura, o Centro Federal de Educação Tecnológica e o Sindicato da Construção e do Mobiliário de Pelotas. Um dos objetivos do curso foi recuperar as técnicas específicas da época da construção dos prédios e proporcionar aos alunos conhecimentos prático com fundamento teórico. Desenvolvido em um módulo básico, o curso contou com aulas sobre argamassa, ornato, marcenaria e carpintaria, pintura, ferraria e cantaria, ministradas para 138 estudantes. Também participaram do curso professores italianos que ministraram aulas relativas ao restauro de elementos decorativos do patrimônio arquitetônico (ZAMBRANO e CAETANO, 2012, p. 79).

## **2.4 Patologia dos revestimentos de alvenaria com argamassa de cal**

A patologia e a terapia das construções consistem em métodos que se ocupam em prevenir e solucionar os problemas das obras construídas. Enquanto em patologia das construções estudam-se as origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações dos danos e suas conseqüências para as construções; em terapia estudam-se as formas de se corrigir os problemas patológicos (PERES, 2001).

Para Lichtestein (1986), a patologia das construções deve ser estudada segundo um método. De acordo com sua proposta, este método divide-se em três

partes, ou fases distintas. A primeira delas diz respeito ao levantamento de subsídios que consiste na acumulação e na organização das informações relevantes para a compreensão dos fenômenos patológicos. Estas informações poderiam vir de uma vistoria no local; através de anamnese do caso, ou seja, o levantamento da história do problema e do edifício; e dos resultados de análises em laboratório.

A segunda parte consiste no diagnóstico, ou seja, no “entendimento dos fenômenos em termos da identificação das múltiplas relações de causa e efeito que normalmente caracterizam um problema patológico” (LICHTESTEIN, 1986, p.05). Trata-se, portanto, de descobrir as razões que levam ao surgimento dos danos.

A definição da conduta (ou ainda terapia das construções) seria a terceira e última parte apresentada por este autor como método em patologia. Inicialmente devem ser levantadas hipóteses de evolução dos problemas. Um conjunto dessas hipóteses pode ser chamado de prognóstico. Em seguida faz-se um levantamento das possibilidades de intervenção que visam sanar os danos levantados durante o diagnóstico. A prescrição da conduta exige profundo conhecimento técnico e deve ser feita de acordo com os seguintes parâmetros:

- grau de incerteza sobre os efeitos;
- relação custo/benefício;
- disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços.

O método proposto por Lichtestein (1986) precisa ser amparado por um vasto conhecimento sobre os materiais de construção e os fatores que podem levar uma edificação à ruína. Os fatores ou causas de degradação ativam mecanismos de degradação que terão como consequência a manifestação de danos nas edificações que podem agravar-se caso as medidas terapêuticas não sejam tomadas.

### 2.4.1 Degradação de revestimentos e danos encontrados nas escaiolas de Pelotas

Lerch (2003)<sup>9</sup> estudou os principais fatores e mecanismos de degradação que atingem as construções históricas, apresentando uma nova visão sistêmica para sua classificação. A autora afirma que há características da própria edificação que podem contribuir para um maior ou menor grau de degradação. Estas características estariam relacionadas: à implantação da construção no terreno; aos materiais utilizados; e às técnicas construtivas empregadas na obra.

Segundo Bertolini (2010), a água atua como o principal agente causador dos fenômenos físico-químicos que provocam a degradação da alvenaria e do revestimento. Segundo este autor, classifica-se a umidade nas paredes de acordo com sua origem em:

- umidade de construção – resultado da água usada para aplicação e cura dos materiais utilizados na construção. O teor de água inicial de uma obra é bastante alto e tende a secar lentamente, podendo permanecer por anos na construção. Aplicar revestimentos impermeáveis precocemente pode dificultar a evaporação da água e causar danos como descolamentos nos revestimentos;
- umidade descendente – geralmente causada pela infiltração de água da chuva ou de vazamentos através de fissurações no reboco ou de defeitos ou problemas de projeto na cobertura;
- umidade por vapor – causada pela condensação de água nas superfícies da construção, quando a superfície está fria e em contato com um ambiente úmido pode gerar este tipo de umidade que acaba penetrando no interior do revestimento por capilaridade;
- umidade por elevação – causada pelo contato direto da alvenaria com umidade que se eleva por força capilar. É um tipo de umidade comum em edificações antigas em função de suas fundações serem enterradas sem a aplicação de barreiras contra a umidade ascendente. Este tipo de umidade é difícil de resolver.

Bertolini (2010) também cita os principais mecanismos de degradação desencadeados pela presença da água nas alvenarias e nos revestimentos:

---

<sup>9</sup> O trabalho se utilizou de estudo de caso múltiplo em edificações históricas de Porto Alegre – RS.

### 2.4.1.1 Ações químicas

A água presente no interior da estrutura porosa pode contribuir com o desenvolvimento de reações químicas e a formação de novos compostos com alteração dos constituintes dos materiais que compõem a alvenaria e seu revestimento. Esta água também pode provocar a dissolução de compostos, culminando na erosão (argamassas de cal e gesso são mais sucessíveis). Um exemplo de alteração da estrutura dos compostos é o ataque por sulfatos. A combinação do íon sulfuroso com água e com o carbonato de cálcio presente no aglomerante do revestimento gera o sulfato de cálcio, que se solubiliza mais facilmente, acelerando o processo de degradação.



A origem dos sulfatos pode estar relacionada com umidade ascendente de solos contaminados, com a utilização do gesso nos revestimentos em ambientes sujeitos à umidade ou com a incidência de chuvas ácidas, cujas águas foram contaminadas com poluentes presentes na atmosfera.

Uma pedra de origem calcária, atacada por sulfatos forma sulfato de cálcio na sua superfície. Quando esta pedra está exposta, por exemplo, na forma de uma escultura, o gesso combina-se com partículas de natureza carbônica, produzidas por processos de combustão, geralmente de cor escura, formando as crostas negras. Quando a obra é atingida pela chuva, essas pátinas são removidas, mostrando o contraste entre a área dissolvida e a pátina escura (BERTOLINI, 2010).

Outra alteração química que contribui com a degradação está associada ao ciclo da cal e se manifesta de forma bastante evidente nos revestimentos onde este material foi usado como único aglomerante.

Quando a etapa de hidratação da cal, colocada no item 2.1.1, não é realizada de forma a provocar ao máximo a combinação com água e a extinção completa do óxido de cálcio e do óxido de magnésio tem-se um material que ainda contém, no seu interior, partículas destes óxidos. Este material acaba por

se hidratar numa etapa posterior, quando é combinado com a água de amassamento da argamassa.

Esta hidratação pode provocar um tipo de descolamento do revestimento (descolamento com empolamento), em razão do aumento do volume que a hidratação do óxido produz, resultando na expulsão de material na forma de bolhas. Em argamassas mistas o fenômeno provoca a desagregação da argamassa em virtude da maior rigidez que o cimento Portland dá à argamassa CINCOTTO (1988)<sup>10</sup>; BAUER (1999)<sup>11</sup> *apud* LERSCH (2003).

Este tipo de manifestação patológica foi observado na escaiola da antiga Escola de Belas Artes, na Rua Marechal Floriano, 177 (Figura 14). Aparentemente, parece ter havido vazamento de água da cobertura sobre esta parede, isto pode ter provocado a hidratação retardada de partes da cal que não estavam hidratadas, provocando a expansão e expulsão do material. A parte que sofre com tal dano constitui-se numa intervenção posterior à execução da escaiola, é possível identificar emendas.

---

<sup>10</sup> CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini, 1988. pp. 549-554.

<sup>11</sup> BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5.ed. RJ: LTC, 1999. 951 p.

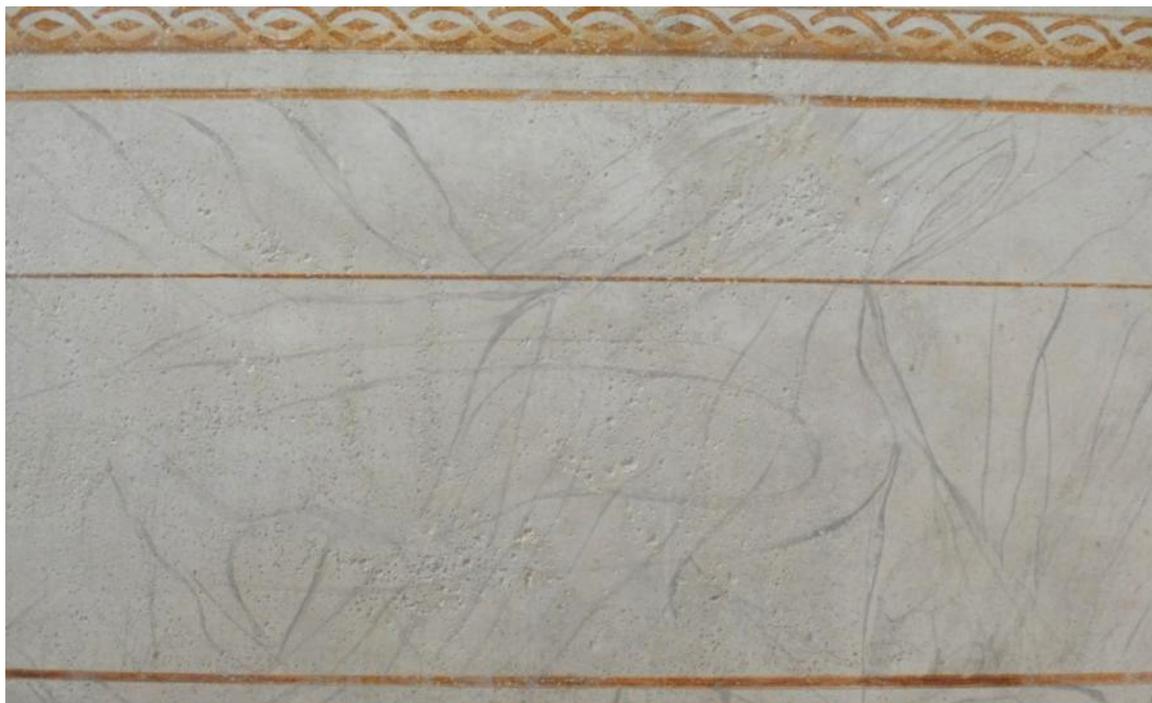


Figura 14 – Descolamento com empolamento. Corredor do prédio da antiga Escola de Belas Artes, Rua Marechal Floriano, 788, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2012.

Outro dano causado por este mecanismo de degradação são as vesículas. Trata-se de pequenas reentrâncias na superfície do revestimento formadas a partir da expulsão de material. No caso das escaiolas, observam-se as vesículas na forma de pequenos furos, sem manchas, disseminados por toda a superfície do revestimento. A causa também é a má hidratação do óxido de cálcio ou de magnésio, que, em pequenos grumos acabam por hidratarem-se depois da aplicação da massa do estuque na superfície. A hidratação retardada provoca o aumento de volume e a conseqüente expulsão do material. Neste caso, o dano não é progressivo, restando apenas o aspecto de apicoado por toda a superfície, conforme se percebe na Figura 15.



Figura 15 – Escaiola com fissura horizontal e vesículas espalhadas por toda a superfície.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

As manchas são geralmente causadas pela presença da umidade que pode provocar a dissolução de oxidações metálicas ou simplesmente o transporte de particulados que por venturam esteja em contato com o revestimento. As manchas podem ainda ser causadas em razão da presença de microorganismos, ou ainda por dissolução do material da superfície.

Na Figura 16 (a) percebem-se manchas escurecidas, de tonalidade marrom, que se formaram a partir do escoamento de água oriunda de problemas na cobertura. Estas manchas formam-se a partir da sujeira levada pela água que seca sobre a superfície e se infiltra na parede.

A Figura 16 (b) mostra manchas esbranquiçadas, também provocadas por água de vazamento da cobertura, no entanto, estas manchas não são depósitos de sujeira, mas sim, resultado do processo de lixiviação do revestimento.

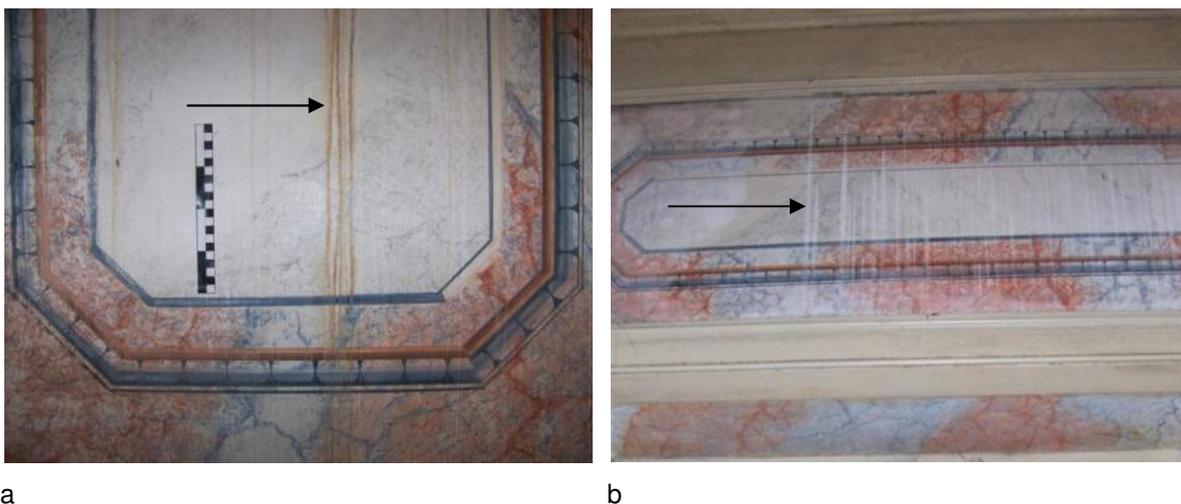


Figura 16 – (a) Manchas escuras provocadas por escoamento de material particulado através de vazamento no telhado. (b) Mancha clara em verga de porta provocada por lixiviação do material da superfície em razão de vazamento no telhado.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

#### 2.4.1.2 Ações Físicas

Mesmo sem provocar reações químicas, a presença da água na alvenaria e revestimento pode acarretar na sua degradação por provocar expansão dos materiais, gradientes de temperatura ou sobrecarga no peso de um revestimento. A cristalização dos sais no interior dos poros é considerada uma ação física frequente e danosa para os revestimentos.

##### **Cristalização de sais**

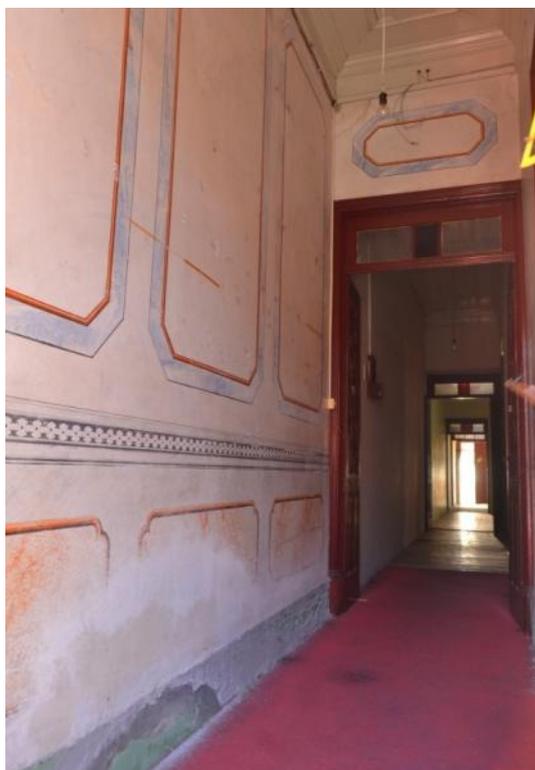
A origem dos sais no interior da alvenaria e revestimento pode estar relacionada com a umidade ascendente proveniente de solos contaminados, ou com os materiais de construção como o tijolo, que pode conter sulfato ou produtos a base de gesso. Os sais também podem formar-se através da combinação de substâncias poluentes, ou de produtos de limpeza com os materiais empregados na construção, ou ainda podem ser oriundos da atividade metabólica.

Estes sais migram solubilizados na água através da estrutura capilar das alvenarias e revestimentos e no momento em que a água se evapora o sal cristaliza. Quando a cristalização ocorre na superfície do revestimento forma uma estrutura denominada de eflorescência e quando cristaliza no interior dos poros da alvenaria e revestimento é denominada de criptoflorescência. A cristalização

dos sais no interior dos poros provoca tensões significativas que podem superar a resistência à tração dos tijolos ou argamassa, provocando a degradação desses materiais.

As eflorescências podem se manifestar na forma de manchas castanhas, com cor de ferrugem ou brancas, ou ainda, como nuvens esbranquiçadas ou manchas escorridas esbranquiçadas, (CINCOTTO, 1988; BAUER, 1999 *apud* LERSCH, 2003).

A Figura 17 mostra a ocorrência desta manifestação patológica sobre escaiolas, de forma geral (a) e em detalhe (b).



a



b

Figura 17 – (a) Eflorescência esbranquiçada na parte inferior da parede. (b) Detalhe de eflorescência esbranquiçada na parede de escadaria.

Fonte: acervo do GEPE, 2013.

A cristalização do sal pode não acontecer na parte inferior, onde se percebe a parede úmida, condição sob a qual o sal não se cristaliza. Na borda superior da mancha de umidade percebe-se a formação da eflorescência. Acima desta borda, a evaporação contínua da água pode provocar uma situação

favorável à cristalização no interior dos poros, formando criptoflorescências, ou *subflorescências*, conforme a Figura 18 (a).

A solubilidade do sal interfere na forma como o sal cristaliza na alvenaria. Sais com alta solubilidade, como os cloretos e nitratos, tendem a cristalizar em alturas mais elevadas e podem formar soluções líquidas mesmo com baixa umidade relativa. Por serem muito higroscópicos, podem nem formar as eflorescências ou criptoflorescências, no entanto, são responsáveis pelo aumento da umidade no interior da alvenaria. Já os sais de menor solubilidade, como os carbonatos, cristalizam-se em alturas mais baixas, próximas do piso, Figura 18 (b) (BERTOLINI, 2010).

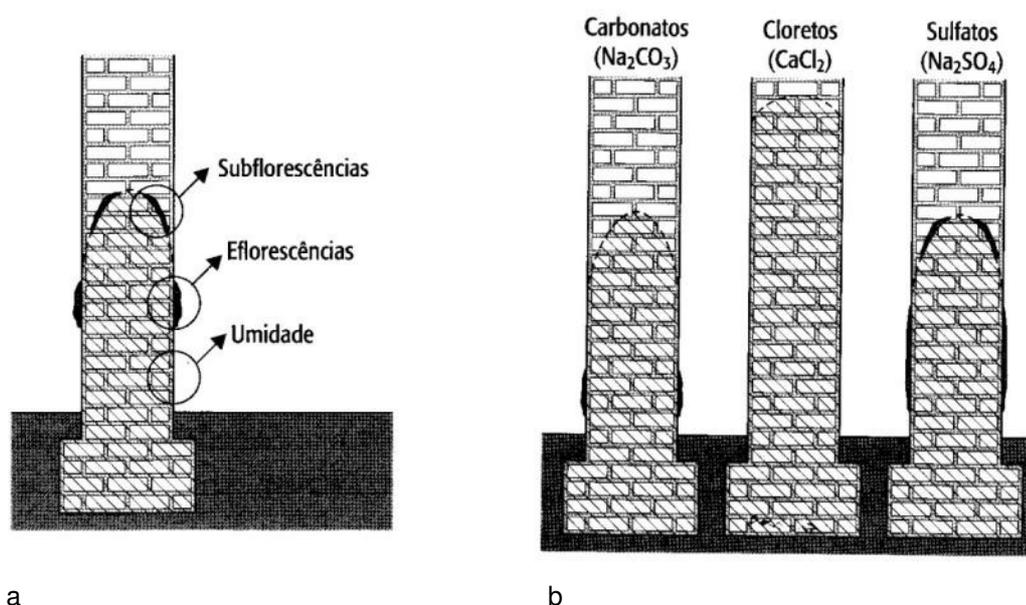


Figura 18 – (a) Corte esquemático mostrando a formação de eflorescências e criptoflorescências (subflorescências) numa parede. (b) Cortes esquemáticos mostrando a manifestação sob forma de eflorescência ou criptoflorescência de diferentes tipos de sais.

Fonte: BERTOLINI, 2010, p.208.

### Descolamento em placas

Geralmente o descolamento ocorre entre a superfície da alvenaria e a camada de emboço, que se desprende em placas, juntamente com o reboco, no entanto, também pode acontecer em outras interfaces. A causa é, geralmente, a falta de aderência entre a superfície da alvenaria e o seu revestimento.

Antunes (2005) diz que a falta de aderência consiste num fenômeno grave e frequente, que causa prejuízos financeiros desde aos fabricantes de insumos,

passando pelos construtores, até aos usuários. Estas falhas restringem a utilização do produto e oferecem risco à população.

O descolamento é percebido através do som cavo produzido quando a superfície é submetida à percussão. Há uma série de causas que podem ser relacionadas com o descolamento de um revestimento. V: variações de temperatura podem provocar expansão do material, gerando tensões nas interfaces. A umidade acidental pode provocar o sobrepeso do revestimento, gerando tensões de cisalhamento superiores à resistência de aderência do revestimento. Revestimentos de grandes espessuras e com superfície pouco porosa podem dificultar a penetração do CO<sub>2</sub> responsável pela reação química que provoca o endurecimento da argamassa de cal, CINCOTTO, 1988, BAUER, 1999 *apud* LERSCH, 2003.

A Figura 19 apresenta uma série de danos, entre eles a desagregação do material e eflorescências. É possível perceber, também, o abaulamento provocado pelo descolamento em placa do revestimento em relação à alvenaria.

De modo geral, o que permite a verificação do descolamento é o som cavo percutido, nem sempre se percebe um abaulamento da superfície. Há, ainda, pesquisas que estudam a utilização de termografia fototérmica de Infravermelho<sup>12</sup> como uma ferramenta auxiliar na detecção das áreas descoladas ou com bolhas de ar entre as camadas de revestimento (CANDORÉ; SZATANIK; BODNAR, DATALLE; GROSSEL, 2006).

---

<sup>12</sup> Tradução livre de *Infra-red photothermal thermography*.

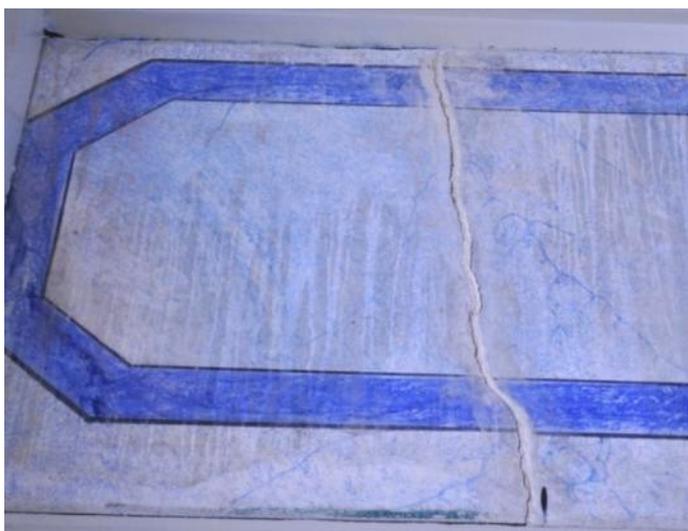


Figura 19 – Abaulamento do revestimento provocado pelo seu descolamento da alvenaria. Hall de entrada de casa localizada na rua XV de Novembro, 563, Pelotas/RS.

Fonte: Acervo do GEPE, 2014.

### **Rachaduras, trincas e fissuras**

Rachaduras, trincas e fissuras podem ocorrer em razão de movimentações da base em que está construído o revestimento, neste caso, elas manifestam-se no revestimento, mas a origem do problema está na alvenaria, Figura 20 (a) e (b).



a



b

Figura 20 – (a) Rachadura vertical em verga de porta; (b) Rachadura vertical em alvenaria.

Fonte: Acervo do GEPE, 2013.

As fissuras também podem ocorrer em função de problemas na execução do revestimento, devido a questões térmicas ou ainda por retração hidráulica da argamassa, CINCOTTO (1988); BAUER (1999) *apud* LERCH (2003).

A Figura 21 apresenta a imagem de fissuras mapeadas de pequenas dimensões na superfície do revestimento de escaiola. Esta manifestação é bastante comum neste tipo de revestimento e está associada à retração da argamassa, seja por dosagem inadequada ou por excesso de desempenamento durante a execução



Figura 21 – Fissuras mapeadas na superfície do revestimento de escaiola.

Fonte: Acervo do GEPE, 2012.

## 2.5 Conservação e restauração dos revestimentos de argamassa de cal

Antes de uma intervenção restaurativa é necessário o levantamento de uma série de dados sobre o bem cultural: os materiais construtivos e as técnicas de execução; o estado de degradação da obra em razão de ações humanas e ambientais; as eventuais restaurações precedentes. Investigam-se, também, os produtos a serem utilizados na restauração e sua implicação no bem (CALDAROLA; LAVIANO; SCANDALE, 2005).

### 2.5.1 Fase de projeto

Toda restauração inicia-se com um levantamento e investigação das características históricas, construtivas e decorativas. A investigação histórica, que havia sido estabelecida desde a Carta de Veneza de 1964<sup>13</sup>, é chamada de memória histórica e serve de embasamento ao projeto de restauração. É necessário contextualizar o monumento historicamente através da caracterização do seu período social, político e econômico (D'OSSAT<sup>14</sup>, 1982 *apud* TAVARES, 2009).

O caderno técnico 1, do Programa Monumenta do Ministério da Cultura, apresenta uma metodologia para intervenção restaurativa em bens culturais imóveis. De acordo com a abordagem proposta, o projeto de intervenção no patrimônio edificado divide-se em três etapas: 1ª Identificação e conhecimento do bem; 2ª Diagnóstico; 3ª Proposta de intervenção (composta por estudo preliminar, projeto básico, e projeto executivo) (MINISTÉRIO DA CULTURA, 2005).

Dentro do item “Identificação e Conhecimento do Bem” são elencados diversos tópicos que deverão ser estudados com objetivo de atender as especificidades do título do item. Os tópicos citados são: pesquisa histórica; levantamento físico; análise tipológica; identificação de materiais e sistema construtivo; prospecções (arquitetônica, estrutural, do sistema construtivo e arqueológica). Um dos produtos desta etapa consiste em um levantamento cadastral onde está desenhada, de forma rigorosa e detalhada, a representação gráfica das características da obra conforme se encontra construída no presente. Deve ser verificada a ortogonalidade entre as paredes e registrados os possíveis desvios e adaptações realizadas durante a construção e alterações que a obra sofreu ao longo dos anos. Devem constar também as representações que indiquem as características do terreno e de demais elementos que estejam construídos na área a ser levantada (MINISTÉRIO DA CULTURA, 2005).

O diagnóstico pode ser compreendido como uma etapa de consolidação dos estudos e pesquisas realizados sobre o bem, ele serve para complementar o conhecimento acerca do objeto na medida em que permite analisar os problemas

---

<sup>13</sup> Quando diz que “O restauro será sempre precedido e acompanhado de um estudo arqueológico e histórico do monumento” (CARTA DE VENEZA, 1964).

<sup>14</sup> D'OSSAT, Guglielmo de Angelis – Guide to the methodical study of monuments and causes of their deterioration. Rome: ICCROM, 1982.

ou interesses específicos sobre sua utilização. O caderno técnico aponta os seguintes itens como necessários nesta etapa: o mapeamento de danos, análises do estado de conservação, estudos geotécnicos e ensaios e testes. O resultado desta etapa de diagnóstico dará as diretrizes para o projeto de restauração (MINISTÉRIO DA CULTURA, 2005).

Nem sempre a restauração de uma parede de escaiola fará parte de um projeto de restauração arquitetônica completo. A falta de legislações que atendam às especificidades e à condição privada do patrimônio integrado contribui para que não haja nenhum tipo de controle nas intervenções realizadas sobre estes bens. Muitas vezes estes revestimentos acabam sendo cobertos com pintura, massas acrílicas e até azulejos.

No entanto, há proprietários preocupados com a proteção do seu patrimônio que buscam o trabalho de um profissional restaurador para atuação específica sobre pinturas murais, nestes casos, a intervenção realiza-se apenas no revestimento, geralmente buscando melhorar características estéticas, de fruição da obra. Mesmo se tratando de uma intervenção avulsa, o revestimento deverá ser objeto de um projeto que inclui todas as etapas descritas para uma intervenção restaurativa. Ao se tratar com escaiolas, por serem acabamento de um revestimento de alvenaria, a presença de um profissional habilitado a lidar com problemas estruturais será sempre necessária. Nestas situações a interdisciplinaridade do trabalho de restauração é fundamental para que não se acabe por mascarar problemas na alvenaria ou estrutura que poderão reaparecer em breve, danificando a intervenção restaurativa realizada.

### **2.5.2 Fase de execução – a intervenção propriamente dita**

A intervenção sobre os bens culturais pode dar-se em três níveis, que acabam por definir, segundo Salvador Muñoz Viñas (2010, p. 80), as atividades de restauração:

- a preservação, ou conservação ambiental ou periférica – consiste em atividades que visam garantir a permanência dos objetos simbólicos e historiográficos<sup>15</sup> atuando sobre suas circunstâncias ambientais;

- a conservação, ou conservação direta – consiste em atividades materiais, ou processos técnicos que visam garantir a permanência dos objetos simbólicos e historiográficos atuando sobre sua materialidade, no entanto, sem que haja alteração da sua capacidade simbólica;

- a restauração – definida como um conjunto de atividades materiais, ou processos técnicos, destinados a melhorar a eficácia simbólica dos objetos simbólicos e historiográficos, atuando sobre sua materialidade.

As primeiras atividades que lidam diretamente com a materialidade dos revestimentos, no caso das escaiolas, são aquelas que compõem as ações de conservação. É possível citar algumas atividades mais recorrentes: higienização e limpeza, e a consolidação.

Higienizar uma obra significa remover as sujidades depositadas nas suas superfícies (BRAGA, 2003). Em restauração de escaiolas a primeira higienização é feita utilizando-se algodão hidrófilo e água deionizada. A higienização é superficial e não costuma remover ceras ou o material aderido a elas (Figura 22 - a).

As ações que provocam a remoção de sujidades incrustadas, ceras e vernizes oxidados e outros materiais fortemente aderidos às superfícies do material são denominadas atividades de limpeza (BRAGA, 2003) e podem ser mecânicas ou químicas.

As limpezas mecânicas removem as sujidades por meio de abrasão e, portanto são realizadas utilizando-se utensílios ou materiais abrasivos, como esponjas, escovas ou pós finos e macios como o pó de pedra-pomes (Figura 22 - b).

---

<sup>15</sup>“Objetos simbólicos e historiográficos” é a forma como este teórico define os objetos passíveis das ações de conservação e restauração conforme estabelecido na teoria contemporânea da restauração (VIÑAS, 2010).



Figura 22 – (a) Higienização da superfície com algodão e água destilada antes e após consolidação. Disciplina de Conservação e Restauração de estuques, 2010; (b) Linha horizontal mostrando a diferença cromática entre a área que recebeu limpeza abrasiva com pó de pedra-pomes e a parte que não recebeu limpeza.

Fonte: Acervo do GEPE, 2010.

Camadas de verniz ou cera podem ainda ser removidas com auxílio de bisturis, espátulas de metal e micro-retíficas. A sensibilidade do operador será sempre determinante na qualidade da limpeza. É importante ressaltar que limpar pouco será sempre melhor do que limar demais. A limpeza excessiva remove os pigmentos incrustados na superfície do afresco, provocando alterações cromáticas.

Há ainda um tipo de limpeza mecânica realizada com jato de ar que sopra um pó abrasivo sobre as superfícies. Há diversos materiais que podem ser utilizados como abrasivos neste tipo de limpeza. A areia produz uma limpeza demasiadamente abrasiva para pinturas murais, já a utilização de micro esferas de alumina de 40 microns de diâmetro produz resultados mais satisfatórios. A aplicação é feita com um equipamento que se assemelha a um aerógrafo, de pressão ajustável, que pode entupir caso não seja utilizado com nitrogênio ou agentes secantes como sílica gel (BRAGA, 2003).

Há diferentes técnicas de se executar limpezas químicas. O produto utilizado precisa ser escolhido em função das características químicas das manchas ou camadas a serem removidas e dos efeitos que podem causar no substrato. É possível utilizar sabões de Ph neutro para a limpeza das superfícies engorduradas. Pequenas manchas, como aquelas provocadas por fitas adesivas, podem ser removidas com uma mistura de 1:1 de acetona em álcool isopropílico.

Outra técnica de limpeza química é realizada com a utilização de emplastos. Através deles, os produtos que possuem ação emoliente e de remoção de resíduos são aplicados num veículo pastoso que cobre a superfície do material a ser limpo durante um período de tempo pré-determinado.

Os emplastos mais comuns contem água e algum material que permita o contato prolongado com a superfície, como o algodão, fibras de papel ou argila. Estes emplastos são geralmente utilizados para a remoção de salinidades que se solubilizam facilmente, os sais são transportados para o emplastro por meio da capilaridade (WOOLFITT; ABREY, 2000).

É possível adaptar os emplastos ao tipo de material que precisa ser removido, principalmente quando o contaminante não é solúvel em água ou quando este penetra profundamente nos poros do material a ser limpo. Um produto bastante utilizado em emplastos é o EDTA<sup>16</sup> na forma de sal dissódico. Uma receita desenvolvida pelo Instituto Central de Restauo de Roma é conhecida como AB-57. Nesta fórmula, para um litro de água são usados 30g de bicarbonato de amônia ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), 50g de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), 25g de EDTA bissódico, 50g de carboximetilcelulose (CMC) e 10g de um biocida da Ciba-Geigy chamado de Desogen. A utilização deste último item é opcional. Quando se verifica a necessidade de dissolver gorduras oxidadas ou óleos é possível utilizar amoníaco ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ou trietanolamina ( $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ) na mistura (OLIVEIRA, 2002; BRAGA, 2003).

Alguns emplastos podem ser elaborados com argilas especiais, que se comportam como absorventes, são as dos tipos sepiolitas e atapulgitas. A argila do tipo bentonita foi testada com sucesso em uma fórmula de emplastro no

---

<sup>16</sup> Trata-se do ácido etilenodiamino tetra-acético, a sigla EDTA vem do inglês *Ethylenediamine tetraacetic acid*.

Núcleo de Tecnologia da Preservação e Conservação<sup>17</sup>. Esta fórmula usa 123,91g de argila bentonita, 10g de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), 5g de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e 12,50g de EDTA bissódico (OLIVEIRA, 2002; BRAGA, 2003).

De modo geral, a aplicação de um emplastro solicita uma limpeza prévia com água destilada e sabão neutro da área a ser tratada. O emplastro pode ser aplicado sobre um papel absorvente, previamente aplicado sobre a superfície. Geralmente usa-se papel japonês que vai sendo moldado à superfície conforme é umedecido a pincel ou vaporizador (BRAGA, 2003).

Esta técnica é chamada de faceamento, protege a superfície e facilita a remoção do emplastro. Deve ser usado sempre que a técnica do emplastro for aplicada sobre uma superfície com pintura delicada. Diversos autores sugerem que o emplastro, depois de aplicado, pode ser coberto com filme de PVC para evitar a secagem rápida da água, desta forma, garante-se que haja tempo suficiente para abrandar e remover as sujidades (OLIVEIRA, 2002; BRAGA, 2003).

Após a aplicação, é necessária uma lavagem com água e, quando necessário, a neutralização de alguns dos agentes de limpeza. Estes procedimentos permitem a remoção de qualquer sujidade ou de algum produto químico remanescente na superfície (WOOLFITT; ABREY, 2000).

A Figura 23 (a) e (b) mostra o teste e o resultado da aplicação de emplastro de EDTA sobre uma lápide mármore.

---

<sup>17</sup> Núcleo do Instituto Politécnico da Universidade Federal da Bahia, coordenado pelo Prof. Dr. Mário Mendonça de Oliveira.



a

b

Figura 23 – (a) Teste de limpeza com emplastro de EDTA realizada sobre lápide de mármore; (b) Resultado do teste de limpeza.

Fonte: Acervo do LAMATEC, 2014.<sup>18</sup>

No que se refere à consolidação, não há, necessariamente, um momento certo de serem executadas. Geralmente, a depender do estado em que se encontram os revestimentos, estes procedimentos costumam ser realizados logo após a limpeza. Assim evita-se que sujidades possam ser “consolidadas” na superfície do revestimento.

Por tratar-se do procedimento de restauração sobre o qual este trabalho de pesquisa se fundamenta, este assunto será discutido com maior acuidade dentro do capítulo 4.

Depois que o revestimento é limpo e consolidado, passa-se às etapas de restauro, cujo objetivo é melhorar sua eficácia simbólica, ou seja, sua capacidade de transmitir uma imagem e funcionar como símbolo<sup>19</sup>.

Em restauração, dá-se o nome de nivelamento ao restabelecimento de uma superfície de uma lacuna através da adição de camadas de revestimento (ou camadas de nivelamento). Estas camadas, juntamente com a pintura que

<sup>18</sup> LAMATEC é o laboratório de materiais e técnicas de bens culturais do curso de Conservação e Restauro da UFPel. O teste foi realizado durante a disciplina de conservação de materiais pétreos sob a coordenação da Profa. Luiza Neitzke.

<sup>19</sup> De acordo com a teoria contemporânea da restauração, os objetos os quais se restaura são portadores de significado, a restauração, segundo esta teoria destina-se a melhorar a capacidade do objeto em transmitir esse significado (VINAS, 2010).

receberão (denominada de reintegração cromática), visam dar continuidade à leitura da superfície, quando esta estiver interrompida em razão das perdas superficiais.

O nivelamento é a reconstituição parcial do revestimento, consiste em dar volume às lacunas, trazendo o fundo da área perdida até o nível da superfície do acabamento. No caso das escaiolas, o nivelamento deve ser dado sobrepondo todas as camadas de argamassa que estão suprimidas na lacuna. A argamassa utilizada deve ser compatível mecânica e quimicamente<sup>20</sup> com o suporte e com o material do revestimento original e deve ser preparada observando-se o traço e a quantidade de água, previamente estabelecidos no estudo.

A aplicação de uma argamassa para reconstituição de um revestimento pode ser feita da seguinte forma. O primeiro passo é limpar a superfície que receberá o nivelamento. O espaço deve ser limpo a seco com jatos de ar ou escovas. Antes da aplicação de qualquer camada, o estrato anterior deve ser umedecido, podem-se usar vaporizadores ou trinchas embebidos em água limpa. A primeira camada deverá ser aplicada de forma que haja impacto ou força para que se garanta sua adesão ao substrato. A camada seguinte deve ser aplicada antes da cura da primeira, com isto garante-se uma ligação química e mecânica entre as camadas. O tempo de aplicação entre as camadas de argamassa deve ser medido em obra e dado em razão das condições climáticas e quantidade de água de amassamento (KANAN, 2008, p.104).

A penúltima camada consiste em argamassa de cal e areia muito fina, sua aplicação pode ser feita com desempenadeira ou espátulas, dependendo do tamanho da lacuna a ser preenchida. Da mesma forma, a camada anterior precisa estar limpa e umedecida. Quanto melhor for o acabamento desta camada, melhor será o acabamento da camada final da escaiola, denominada de marmorino (Figura 24 - a).

Segundo Torraca (2009), estas camadas mais interiores de reconstituição do revestimento devem ser realizadas com argamassas de cal hidráulica, garantindo-se sua cura, mesmo quando cobertas pelas camadas finais, que tornarão difícil a circulação do CO<sub>2</sub> no interior do revestimento.

---

<sup>20</sup>Mais detalhes sobre o que define a compatibilidade entre argamassas antigas e novas estão explicitados no item 2.7.5.1

Por fim, este revestimento é novamente umedecido para a aplicação de uma fina camada do marmorino, argamassa composta por pasta de cal e pó de mármore. Usam-se desempenadeiras ou espátulas e o acabamento deve ser rigorosamente desempenado. Este acabamento final pode ser aplicado em até três camadas muito finas. De modo geral, o traço do marmorino é 1:3, de cal em pasta e pó de mármore, mas pode variar de acordo com a habilidade do aplicador (Figura 24 - b).

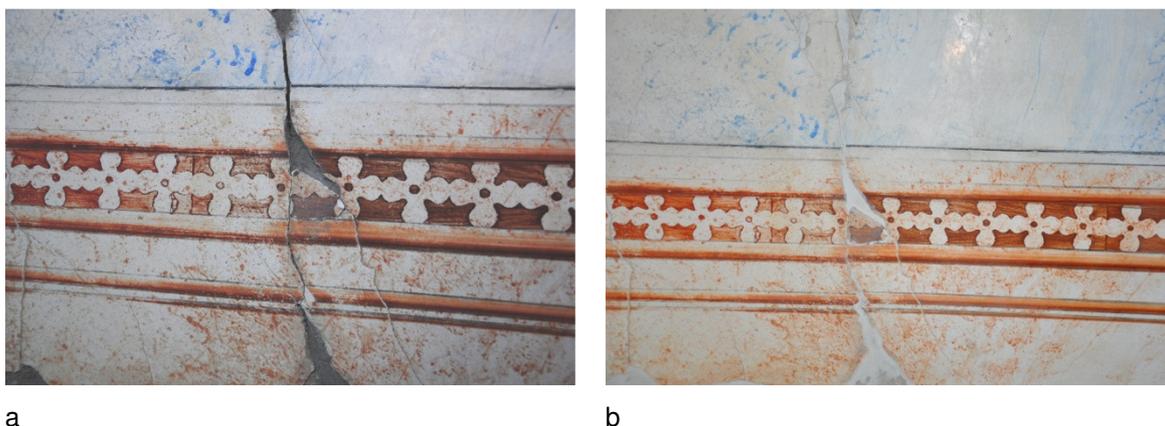


Figura 24 – (a) Aplicação das camadas de nivelamento da lacuna na escaiola; (b) Aplicação da camada nivelamento com marmorino na lacuna da escaiola.

Fonte:Acervo de Mariana Isquierdo, 2011.

Conforme visto em alguns manuais (AZEREDO, 1987; BORGES, 2009) e confirmado em conversas com pedreiros que executavam a escaiola, a fase final do brunimento da superfície é dado aspergindo-se uma solução de sabão em água sobre o marmorino desempenado, enquanto alisa-se a superfície com a desempenadeira. Tal procedimento provoca o aspecto final polido da superfície.

A reintegração cromática da lacuna é feita de acordo com a técnica do afresco, os pigmentos são macerados e dispersos em água. Esta dispersão é aplicada sobre a lacuna com esponjas, pincéis ou penas de galinha buscando os efeitos desejados pelo restaurador. É importante realizar exercícios de reintegração cromática antes da reintegração da lacuna, assim se podem selecionar os materiais adequados para pintura e afinar a mistura de pigmentos. (Figura 25 a, b e c).

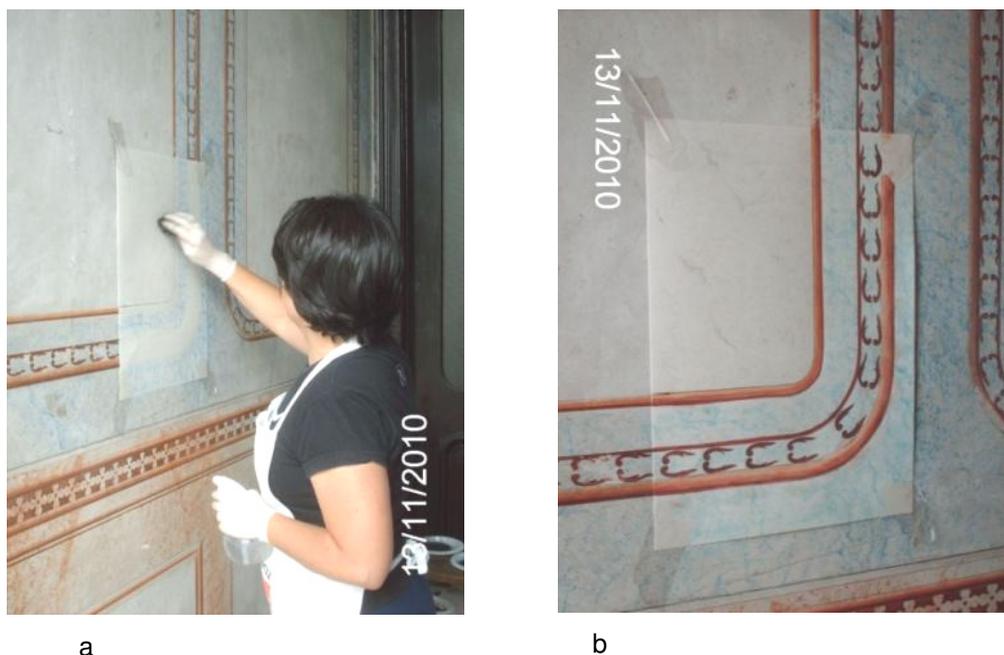


Figura 25 – (a) Simulação da pintura de uma lacuna, treinamento e afinação das cores; (b) Resultado da simulação da pintura de uma lacuna, treinamento e afinação das cores.

Fonte: Acervo do GEPE, 2010.

A reintegração cromática em áreas onde o nivelamento já estiver carbonatado é feita com técnica de pintura a seco, ou seja, torna-se necessária a utilização de um veículo junto ao pigmento que será responsável por sua aderência à superfície. Usam-se tintas próprias para restauração ou pigmentos dispersos em base acrílica como o Acril-33.

A camada final, de proteção, é dada encerando-se a superfície com cera de abelha dissolvida em solvente, ou cera microcristalina dissolvida em solvente, geralmente o Varsol, terebintina ou querosene. O resultado final de uma intervenção pode ser visto na Figura 26.



Figura 26 – (a) Dispersão dos pigmentos em água. Testes de cores; (b) Resultado final da reintegração cromática da lacuna.

Fonte: (a) Acervo do GEPE, 2010; (b) acervo de Mariana Isquierdo, 2011.

## 2.6 A consolidação de revestimentos de alvenaria de bens culturais

A aplicação de argamassas injetáveis para a consolidação de revestimentos de alvenarias é um método de restauro que vem sendo estudado desde os anos 70, sendo que a maioria dos trabalhos parte de centros de pesquisa europeus.

O objetivo da maioria dos estudos é a conservação de pinturas murais aplicadas sobre os revestimentos, geralmente em paredes internas. Podem-se enquadrar as escaiolas pelotenses nessas condições.

A consolidação de superfícies arquitetônicas compreende diferentes técnicas adequadas a diferentes tipos de danos que exigem estas operações. Torraca (2009) classifica as técnicas empregadas dentro de quatro grupos, descritos a seguir.

### 2.6.1 Colagem de partes descoladas

O primeiro é a colagem de partes descoladas, é comum encontrar-se partes da decoração de fachadas soltas ou completamente descoladas. Eventualmente antigas restaurações também podem estar soltas. Nestes casos, a melhor opção é destacar completamente estas partes e fixá-las ao lugar original com um adesivo adequado. A escolha do adesivo é função do tipo de estresse ao qual estará condicionado, geralmente peças robustas exigem adesivos mais

resistentes como as resinas epóxi. É possível misturar-se algum pó inerte aos adesivos visando o preenchimento da junta entre as partes destacadas quando não se encaixam perfeitamente. Peças pesadas ou em balanço podem ser reforçadas com pinos estruturais resistentes à corrosão, contribuindo para evitar possíveis falhas do adesivo. Aço inoxidável e resina de poliéster com fibra de vidro são os materiais usados com maior frequência, no entanto, há que se ter cuidado com seu coeficiente de dilatação térmica, geralmente bem maior que o dos materiais originais (aproximadamente o dobro de muitas pedras). Pinos de titânio, apesar de caros, seriam uma boa solução para uso em locais expostos a grandes variações térmicas (TORRACA, 2009).

### **2.6.2 Preenchimento de lacunas e buracos**

Outro grupo é o preenchimento de lacunas e buracos. Embora este preenchimento também possa ser compreendido como procedimento estético, é considerado ponto fundamental na conservação das superfícies arquitetônicas. Qualquer descontinuidade na superfície de materiais fragilizados é uma das primeiras causas de danos mecânicos ou químicos devido à concentração de tensões e penetração de água, por vezes ácida. Este preenchimento deve ser realizado com cuidado, pois seu resultado costuma ficar aparente, podendo mostrar imperfeições. Quando realizado em pequenas cavidades, é denominado de micro preenchimento (*microfilling* ou *microstuccatura*). O micro preenchimento costuma ser realizado com argamassa à base de cal aérea, enquanto o preenchimento de cavidades maiores exige a utilização de um aglomerante hidráulico e compatível com os materiais originais, como a cal hidráulica. A superfície final pode, então, ser preenchida com argamassa à base de cal aérea (TORRACA, 2009) (Figura 27).

É possível utilizar pigmentos ou pós de pedra com determinadas cores com objetivo de acertar a tonalidade do preenchimento em relação à cor do revestimento original. Este ajuste cromático é necessário quando a superfície não recebe camada de tinta. Geralmente é um procedimento que consome tempo uma vez que o preenchimento fica evidenciado quando as tonalidades não estão muito aproximadas (TORRACA, 2009).

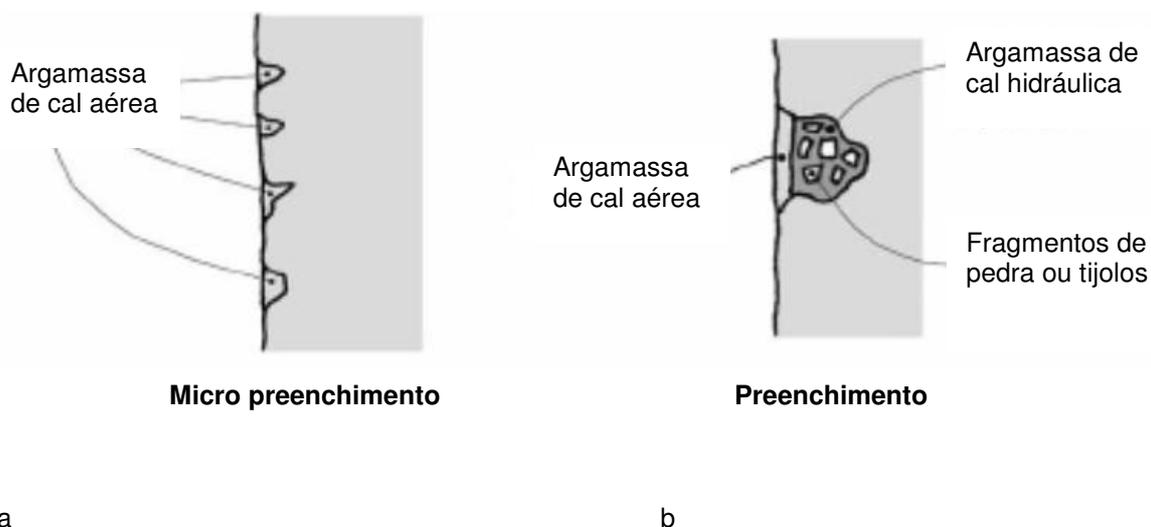


Figura 27 – Esquema apresentando as diferenças entre a técnica de micro preenchimento(a) e preenchimento (b) de cavidades.

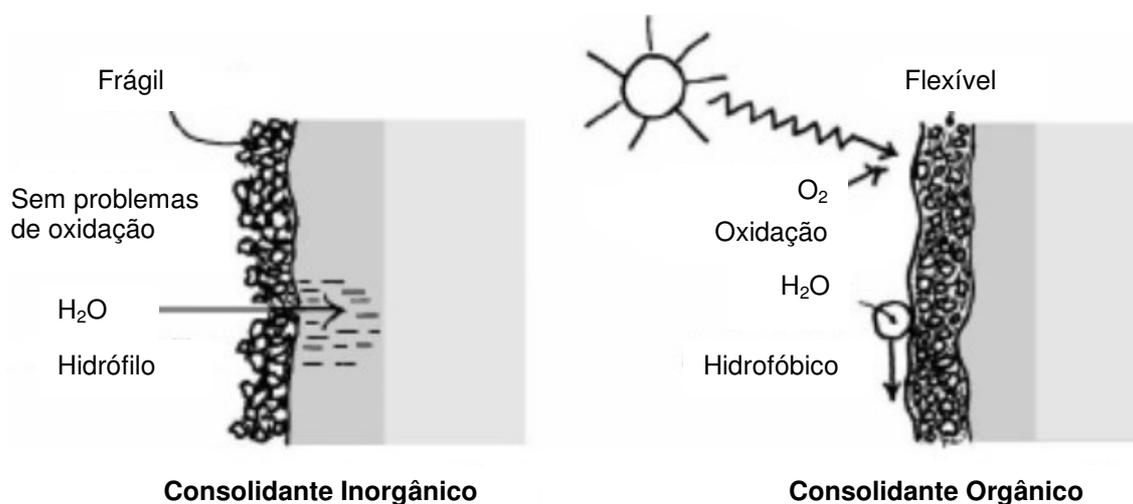
Fonte: Torraca, 2009, p.105.

### 2.6.3 Consolidação por impregnação

O terceiro grupo de técnicas de consolidação consiste nos métodos por impregnação. Estas técnicas são geralmente utilizadas na consolidação de pedras e revestimentos que perderam a coesão e apresentam-se friáveis. Há duas abordagens da consolidação por impregnação, a primeira denominada orgânica, embasa-se no uso de resinas sintéticas a segunda, denominada inorgânica (ou química), baseia-se em reações químicas que causam a precipitação de componentes inorgânicos no interior do material deteriorado.

A consolidação feita com um produto inorgânico não altera as características do material tratado. O material continua frágil, hidrófilo, e sua resistência em relação aos processos de deterioração continua a mesma, o que pode ser resolvido na etapa de proteção.

A consolidação com produtos orgânicos apresenta características diferentes, a fragilidade é reduzida e a superfície torna-se hidrofóbica, no entanto, a ação das intempéries provoca alteração dessas características. É comum perceber-se alguma alteração cromática da superfície, geralmente um escurecimento provocado pela oxidação do material orgânico, ou ainda, um aspecto de superfície envernizada (Figura 28) (TORRACA, 2009).



(a)

(b)

Figura 28 – Esquema mostrando as principais diferenças entre a consolidação por impregnação com materiais inorgânicos e orgânicos.

Fonte: TORRACA, 2009, p. 106.

Independente do consolidante escolhido, para que a consolidação por impregnação seja considerada satisfatória, é necessário que o consolidante atinja toda a camada fragilizada até o suporte. Isto não acontecendo, formará uma crosta sólida sobre uma base fragilizada que poderá causar mais danos do que se não tivesse sido aplicada (Figura 29).

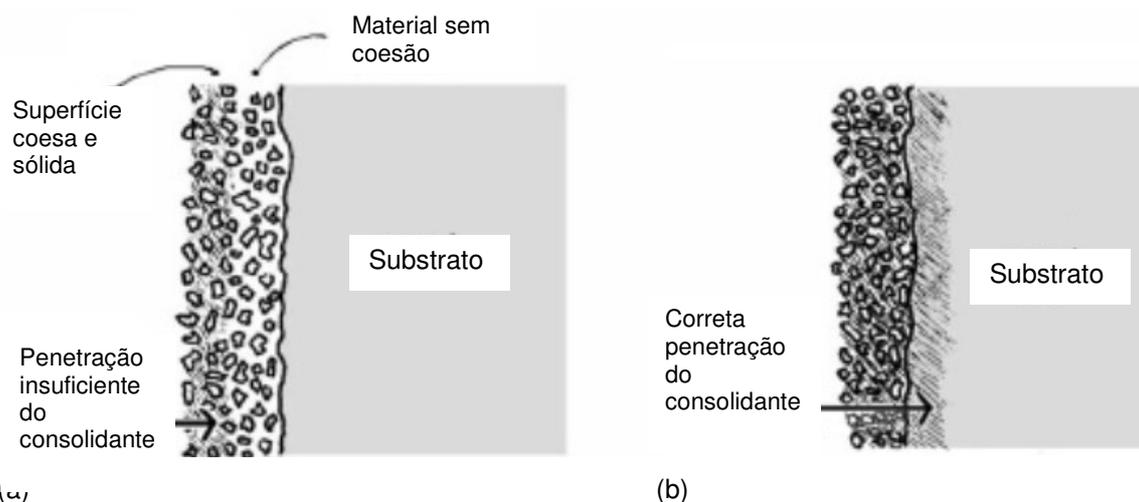


Figura 29 – Esquema apresentando a diferença entre (a) uma consolidação por impregnação mal sucedida (formando uma crosta na superfície) e outra (b) bem sucedida (o material consolidante penetra até o suporte).

Fonte: TORRACA, 2009, p.107.

Tavares (2009) distingue produtos consolidantes de fixadores. Consolidantes são aqueles que devolvem a coesão interna do material e os fixadores são aqueles que conferem apenas uma coesão superficial nas primeiras camadas do revestimento.

Há ainda, métodos de consolidação da perda de coesão denominados de biomineralização<sup>21</sup>. Trata-se da utilização de bactérias que depositam carbonato de cálcio. Utilizam-se bactérias não patogênicas e que não causem danos ao homem ou ao meio ambiente. São cultivadas em solução aquosa, com nutrientes especiais que garantem seu desenvolvimento (Figura 30). A escolha da bactéria e do meio de cultura é importante para que não se desenvolvam outros microorganismos e também não haja alteração cromática na superfície do revestimento onde foi aplicada. De modo geral, esta técnica consiste na aplicação de bactérias e aspersão dos nutrientes, os microorganismos se proliferam e morrem quando se suspende a aplicação do nutriente. Este tipo de consolidação pode resultar na melhoria na resistência mecânica do revestimento e na diminuição da absorção de água, no entanto, pode apresentar resultados negativos, como pouca penetração da precipitação de carbonato de cálcio, diminuição da permeabilidade ao vapor de água, formação de filmes biológicos, entre outros (TAVARES, 2009, pp. 221-223).

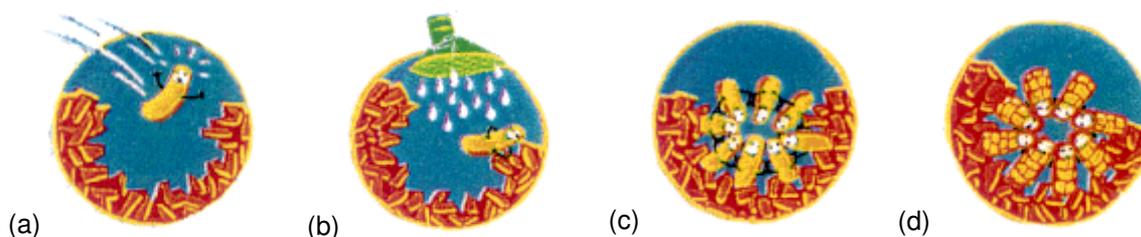


Figura 30 – Esquema apresentando a biomineralização: (a) a bactéria é inoculada no suporte deteriorado; (b) a bactéria recebe aspersões de uma solução de cultura; (c) desenvolve-se uma colônia de bactérias; (d) as bactérias calcificam o dano.

Fonte: Calcite Bioconcept, disponível em <[http://www.calcitebioconcept.com/idx\\_Activite.htm](http://www.calcitebioconcept.com/idx_Activite.htm)>

<sup>21</sup> Para maiores informações sobre um produto comercializado com esta finalidade, consultar: <<http://www.calcitebioconcept.com/>> acesso em 02/02/2016.

#### 2.6.4 Consolidação por injeções

O quarto grupo de técnicas de consolidação consiste nas consolidações por injeção de um material consolidante<sup>22</sup>. Trata-se de técnicas destinadas a restituir a aderência de camadas de revestimento que se soltaram do suporte. São técnicas ainda pouco utilizadas no reparo de revestimentos e ainda há muito que se avançar para torná-la uma técnica viável sob o ponto de vista econômico e de execução, uma vez que sua aplicação é demorada e, geralmente, envolve superfícies de grandes dimensões, heterogêneas e frágeis. As soluções mais comuns de consolidação implicam na injeção de uma argamassa colante bastante fluida, ou ainda, podem ser utilizados adesivos orgânicos ou inorgânicos (VEIGA; AGUIAR, 2003, p. 05;. TORRACA, 2009).

Segundo Biçer-Şimşir e Rainer (2013), a aplicação de uma argamassa injetável é o método usado por conservadores com objetivo de preencher vazios e rachaduras; e fixar revestimentos, pinturas murais e mosaicos a seus suportes arquitetônicos. Não se tratam, portanto, de injeções com funções estruturais. A aplicação de argamassa injetável com objetivo de conservar superfícies arquitetônicas é desenvolvida nos seguintes passos:

##### 2.6.4.1 Preparação dos substratos

Substratos são os materiais preexistentes sobre os quais serão aplicadas as argamassas injetáveis com fins de consolidação e preenchimento. No que tange os assuntos pertinentes à aplicação dos materiais desenvolvidos com esta pesquisa, os substratos são as alvenarias de tijolos assentados com argamassas compostas de cal e areia, e/ou revestimentos de alvenaria feitos de argamassas de pasta de cal e areia ou pasta de cal outro tipo de agregado como o pó de mármore.

Antes de qualquer operação de conservação, o revestimento deve ser cuidadosamente estudado, verificando se há presença de umidade ascendente e contaminantes que podem interferir no processo de consolidação. Reitera-se aqui,

---

<sup>22</sup> Observa-se o termo *surfacegrouting* para este tipo de injeção, sinalizando sua diferença em relação aos grautes estruturais, geralmente cimentícios e de alta resistência.

a necessidade de execução de um mapeamento de danos, onde se anota cada fissura observada, com objetivo de verificar, mais tarde, se a consolidação provocou novas fissuras no revestimento.

A preparação do substrato deve ser iniciada com a limpeza dos detritos que se acumulam por entre os vazios. Isto pode ser feito através de aspiração com a utilização de um aspirador de pó com ponteiros finas ou outros instrumentos que possam ser adaptados às fissuras e aberturas dos revestimentos. Eventualmente, pode ser necessária a abertura de alguns pequenos furos para a remoção dos detritos que se alojam entre as camadas de substrato. O substrato também pode ser lavado com água ou mistura de água e álcool em proporções iguais. O umedecimento do substrato é necessário para que se facilite a passagem da argamassa injetável através da rede de vazios no interior, garantindo melhor adesão entre as camadas e evitando que a argamassa seque muito rapidamente (BIÇER-ŞİMŞİR E RAINER, 2013).

Com a parede molhada, a água de amassamento utilizada na argamassa não é absorvida pelo substrato, desta forma ela mantém sua consistência fluida por mais tempo, proporcionando um maior preenchimento dos vazios.

No entanto, segundo Biçer-Şimşir e Rainer (2013), há que se ter o cuidado de evitar o excesso de água no interior do substrato uma vez que pode provocar alterações na relação entre água e aglomerante da argamassa injetável, interferindo nas suas características finais.

Segundo Bauer e Alves (2005), a molhagem de um substrato antes da aplicação de um revestimento deve ser feita com cautela. Se feita de forma exagerada esta ação pode reduzir a absorção do substrato, reduzindo sua 'avidez' pela água da argamassa. Desta forma, a ancoragem mecânica do revestimento poderia ficar prejudicada pela falta de penetração dos produtos de hidratação dos aglomerantes no interior dos poros do substrato, reduzindo a resistência de aderência à tração do revestimento. O mesmo pode ser pensado em relação a uma argamassa injetável para consolidação.

Outro problema que Biçer-Şimşir e Rainer (2013) referem sobre a molhagem do substrato, seja por lavagem ou com objetivo de molhá-lo, diz respeito a possíveis migrações de sais solúveis para superfícies, resultando em eflorescências quando se dá a evaporação da água utilizada. Pode-se, também,

enumerar o sobrepeso que a água pode provocar no revestimento, resultando em novas fissuras ou perigo de destacamento caso o sobrepeso seja maior que a tensão superficial que ainda mantém o revestimento fixo ao seu lugar de origem.

Geralmente a aplicação é feita em pequenos orifícios, cavidades ou fissuras preexistentes. No entanto, algumas vezes, a depender do estado da superfície ou da extensão dos vazios no interior do revestimento, torna-se necessária a abertura de novos orifícios por onde a pasta deve ser injetada. O conservador deve avaliar a extensão dos danos a serem sanados e o tipo de acabamento superficial para julgar a necessidade da abertura de novos furos.

Os furos pelos quais a argamassa venha a fluir podem ser vedados com massa de modelar plástica, do tipo plastilina. Assim, evita-se que a argamassa seja desperdiçada ao escorrer para fora do revestimento, evitando manchas. Fissuras soltas podem ser protegidas através de faceamento<sup>23</sup> antes da injeção (BIÇER-ŞİMŞİR E RAINER, 2013).

#### **2.6.4.2 Aplicação das injeções**

Uma vez que o substrato esteja limpo e preparado, a mistura com a argamassa consolidante é aplicada por trás do reboco. Esta técnica também pode ser aplicada para consolidação do substrato de uma pintura ou mosaico. A facilidade de injeção depende da forma e do tamanho dos vazios no interior do revestimento e de características da argamassa, como a fluidez e distribuição granulométrica dos grãos dos materiais utilizados. Se um vazio pode ser acessado a partir do topo, então é possível colocar um recipiente com a argamassa consolidante e aguardar que o líquido escorra, por gravidade, até preencher os vazios. Geralmente, a aplicação é feita através de injeções com seringas e cateteres em pequenos orifícios abertos no revestimento (Figura 31 – a

---

<sup>23</sup>Faceamento é a aplicação de uma camada de proteção que pode ser facilmente removida. Para revestimentos, pode ser executada uma sobreposição de tecidos de algodão (fraldas) aderidos com uma cola protéica (gelatina, por exemplo), que adquire boa resistência quando seca, mas é facilmente removível com água morna.

e b) onde se tenha percebido a falta de adesão através de um exame de percussão (BIÇER-ŞİMŞİR E RAINER, 2013).

Quando a cavidade a ser preenchida com a argamassa consolidante for grande, há que se ter o cuidado de preenchê-la por etapas, garantindo certa resistência do material previamente despejado na cavidade antes que mais quantidade de material seja despejada aumentando a pressão entre o revestimento fragilizado (reboco solto) e seu suporte original (alvenaria). Ainda segundo Biçer-Şimşir e Rainer (2013), outro cuidado a ser tomado antes da aplicação da injeção em superfícies arquitetônicas muito fragilizadas diz respeito à necessidade de proteção e escoramento do revestimento. Em alguns casos, é possível aplicar pressão sobre o revestimento a fim de realinhar deformações provocadas pelo descolamento.



(a)



(b)

Figura 31 – (a) e (b) Injeção de argamassa consolidante em revestimento de escaiola. Disciplina de Conservação e Restauro de estuques, 2010.

Fonte: Acervo do GEPE, 2010.

### **2.6.5 Argamassas de cal para consolidações de superfícies arquitetônicas**

As argamassas à base de cal constituem-se nas técnicas mais tradicionais de consolidação das superfícies arquitetônicas, no entanto, há diversos produtos que podem ser utilizados para esta finalidade, cada um com características próprias, o que define casos específicos para cada aplicação.

Um fator que costuma ser fundamental na escolha da técnica de consolidação a ser empregada é a compatibilidade entre os materiais pré-existentes e os materiais que serão inseridos no conjunto durante a restauração.

#### **2.6.5.1 Princípio da compatibilidade**

Por vezes constata-se, em obras de restauração, certa desconfiança em relação à utilização da cal como aglomerante. Isto se deve, em parte, à substituição total da cal pelo cimento como aglomerante principal das argamassas, levando a crer que sua utilização parcial se dá unicamente em virtude da plasticidade que confere ao material no estado fresco. Somam-se a isto, os vastos estudos sobre o cimento como material consolidante, que lhe conferem confiabilidade em razão da sua alta resistência final e as raras normas técnicas adequadas à análise das argamassas à base de cal.

De acordo com Torraca (2009, p.69) são muitos os casos conhecidos onde o emprego do cimento na conservação de obras antigas acabou por causar danos nos materiais originais. Isto levou os arquitetos conservadores a pensar que é mais adequado utilizar materiais e técnicas o mais próximas possível das originais, atitude denominada 'princípio da homogeneidade'. Todavia, tal prática também está sujeita a riscos, uma vez que as consolidações ou mesmo substituições que envolvam grandes áreas podem tornar-se difíceis de distinguir do original.

Hoje se compreende que o material a ser utilizado na restauração deve ser compatível com o material original (princípio da compatibilidade), ou seja, não precisa ser o mesmo material usado originalmente na obra, porém o material escolhido deve contribuir com a conservação do bem sem lhe causar dano. Desta forma, espera-se que o original e o novo se comportem como um conjunto que tenha um comportamento satisfatório, previsível, de modo que o surgimento de

novos processos de deterioração seja postergado ao máximo e, em caso de dano, o material usado na restauração seja o primeiro a apresentá-lo (TORRACA, 2009). Devem ser observados dois tipos de compatibilidade: física e química.

A compatibilidade física entre diferentes materiais é verificada quando estes apresentam comportamentos semelhantes em relação à absorção de umidade, à expansão em razão da variação térmica e à deformação provocada por uma solicitação.

Quando os materiais possuem porosidade muito diferente, ou muito baixa em relação à argamassa original (como as argamassas de cimento), é possível que surjam problemas em decorrência da passagem ou dificuldade de passagem do vapor de água entre os materiais (TORRACA, 2009).

O coeficiente de dilatação térmica de argamassas à base de cimento é geralmente maior que o das argamassas à base de cal, a diferença do valor da variação dimensional em materiais aderidos, expostos às variações térmicas maiores, pode causar tensões que geram danos no material mais fraco, geralmente o mais antigo (TORRACA, 2009).

Os revestimentos à base de cal possuem um baixo módulo de elasticidade (quando comparados aos revestimentos de argamassa de cimento, por exemplo), isto significa que são mais deformáveis por solicitações como as vibrações. Por vezes, o fato de deformar-se é o que evita sua ruptura. Quando um material mais resistente e menos deformável é inserido no conjunto, pode facilitar a ruptura do material mais fraco (TORRACA, 2009). Segundo Tavares (2009), é recomendável que o módulo de elasticidade das argamassas injetáveis seja parecido com o do revestimento original.

Sobre a compatibilidade química compreende-se que, ao colocarem-se dois materiais a trabalhar em conjunto, não haverá, entre os materiais de que são compostos, reações químicas adversas, que provoquem dano ou alterações no original (INTXAUSTI, 2014).

Durante as reações de cura, o cimento Portland desenvolve sais solúveis como o sulfato de sódio, o carbonato de sódio e o silicato de sódio. Estes sais podem solubilizar-se na presença de água e migrar para o material que foi consolidado, provocando eflorescências, criptoflorescências ou incrustações (TORRACA, 2009).

### **2.6.5.2 Características de uma argamassa injetável para consolidação de revestimentos**

Segundo Biçer-Şimşir e Rainer (2013), para garantir a qualidade de uma argamassa injetável, seja industrializada ou de uma mistura feita em obra, uma série de características físicas e mecânicas deve ser avaliada. Os exames devem verificar características e comportamento no estado fresco, durante o endurecimento e no estado endurecido. Há argamassas comerciais que já tiveram características otimizadas no estado fresco e no estado endurecido, no entanto, também é possível produzir em obra argamassas com características específicas, de acordo com exigências do objeto que está sendo restaurado. Quando uma argamassa injetável customizada é produzida, suas propriedades físicas e mecânicas devem ser testadas em laboratório. A validação de um novo produto só pode ser conferida mediante testes de campo.

Estes mesmos autores colocam características que as argamassas injetáveis para consolidação de revestimentos devem apresentar, são eles:

- compatibilidade com os materiais do substrato original e com os materiais da superfície (se houver pintura, por exemplo);
- as argamassas devem ser fluidas o suficiente para que possam ser injetadas sem que haja entupimento, a fluidez também garante a penetração e distribuição do produto através do revestimento;
- a separação entre os componentes da mistura deve ser mínima, ou seja, a mistura deve manter-se coesa, apesar de fluida;
- a retração volumétrica durante o endurecimento deve ser mínima, ou seja, o volume do produto depois de endurecido deve ser o mais próximo possível do volume da mistura úmida;
- a concentração de sais solúveis dentro de uma argamassa de injeção deve ser a mínima possível;
- a resistência mecânica da argamassa injetável no estado endurecido (compressão, cisalhamento e tração) deve ser similar ou inferior à da argamassa original e à resistência mecânica do substrato. Este cuidado evita o surgimento de tensões excessivas no material original;

- a absorção de água por capilaridade da argamassa injetável endurecida deve ser similar à do substrato e revestimento originais;
- a argamassa no estado endurecido deve permitir a passagem de vapor de água, correspondendo à permeabilidade ao vapor de água semelhante a dos materiais originais, nunca criando uma barreira impermeável à passagem da umidade do ar;
- a argamassa injetável deve proporcionar uma ligação adequada entre os materiais, a resistência de aderência na sua interface com os materiais originais deve ser semelhante ou menor do que a resistência dos materiais originais.

Para traduzir esta ‘compatibilidade’ em números que possam ser aplicados num experimento, Tavares (2009) compilou uma tabela com os requerimentos básicos para o projeto de uma argamassa injetável à base de cal. Estes parâmetros de desempenho estão colocados na Tabela 1. Esta tabela, no entanto, não apresenta sob quais métodos de ensaio o material deve ser avaliado para que apresente tais características.

Tabela 1 – Requerimentos básicos para a consolidação com argamassa de injeção à base de cal.

<b>Argamassa de consolidação para perda de aderência</b>	Coeficiente de absorção de água por capilaridade	O valor deve estar entre 50% e 100% do valor da argamassa original.(ZAJADACZ, 2006 <sup>24</sup> <i>apud</i> TAVARES, 2009).
	Resistência à compressão	Menor que a do substrato (< 60%) (ZAJADACZ, 2006 <i>apud</i> TAVARES, 2009) e FERRAGNI <i>et al.</i> , 1984 <sup>25</sup> <i>apud</i> TAVARES, 2009).
	Módulo de elasticidade	Menor que o do substrato (< 80%) (ZAJADACZ, 2006 <i>apud</i> TAVARES, 2009) e (FERRAGNI, 1984 <i>apud</i> TAVARES, 2009).
	Resistência de aderência à tração	≥ 0,1MPa (ZAJADACZ, 2006 <i>apud</i> TAVARES, 2009).

<sup>24</sup>ZAJADACZ, Karina – Grouting of architectural surfaces – the challenge of testing. [Em linha]. In International Seminar Theory and Practice in Conservation – A Tribute to Cesare Brandi, Lisboa, LNEC, 4-5 Maio 2006. Lisboa : LNEC, 2006. Conference papers, p. 509-516. [Consult. Set. 2008]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.icvbc.cnr.it/drilling/publications/Lizbon\\_articlecc.pdf](http://www.icvbc.cnr.it/drilling/publications/Lizbon_articlecc.pdf)>

<sup>25</sup>FERRAGNI, D.; Forti, M.; MALLIET, J.; MORA, P.; TEUTONICO, J.; TORRACA, G. – Injection grouting of mural paintings and mosaics. In: Xéme Congrès International, Institut International de Conservation des Oeuvres Historiques et Artistiques, Paris, 2-7 Setembro 1984. Works, 1984.(Adhesives and Consolidants). p. 110-116.

Retração e dilatação da argamassa na secagem.	O menor possível. (< 4%) (ZAJADACZ, 2006 <i>apud</i> TAVARES, 2009).
Consistência	Fluida o suficiente para injetar (ZAJADACZ, 2006 <i>apud</i> TAVARES, 2009) e (MICHINOVA, 2000 <sup>26</sup> <i>apud</i> TAVARES, 2009).

Fonte: TAVARES (2009, p. 309).

Outros parâmetros para o desempenho das argamassas para recuperação de revestimentos de edificações antigas são apresentados por Maria do Rosário Veiga (2003). Ainda que os objetos de estudo sejam construções antigas portuguesas, os parâmetros podem ser usados como ponto inicial para a definição de parâmetros de desempenho para outros locais.

Esta pesquisadora comenta que um estudo caso a caso do revestimento de edificações históricas só é possível em edificações com alto grau de interesse arquitetônico ou histórico, mas que a experiência acumulada permitiu formular uma tabela com limites recomendados para o projeto de argamassas de revestimento de edifícios antigos, ver Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 – Requisitos para argamassas de revestimento de edifícios antigos – características mecânicas.

Uso	Características mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	E		F Max (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF (mm)
Reboco exterior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000 - 5000	0,1 a 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	<70	>40	>1,5	>0,7
Reboco interior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000 - 5000		<70	>40	>1,5	>0,7
Juntas	0,4 – 0,8	0,6 – 3	3000 - 6000	0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pela junta	<70	>40	>1,5	>0,7

Rt – resistência à tração; Rc – Resistência à compressão; E – módulo de elasticidade; F<sub>máx</sub> – força máxima induzida por retração restringida; G – energia de rotura à tração. CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF = Rt/R<sub>máx</sub>); CREF – coeficiente de resistência à evolução da fendilhação (CREF = G/F<sub>máx</sub>).

Fonte: (VEIGA, 2003, p. 10).

<sup>26</sup> MICHINOVA, Dagmar; Lime based mortars for restoration of historical mortars especially under wall paintings. In International RILEM workshop, RILEM France, 2000. France : RILEM Publications S.A.R.L, 2000. (PRO 12, Historic mortars: Characteristics and Tests). p. 297-306.

Tabela 3 – Requisitos para argamassas de revestimento de edifícios antigos - comportamento à água e ao clima.

Uso	Comportamento à água					Envelhecimento artificial acelerado
	Ensaio clássico		Ensaio com umidímetro			
	$S_D$ (m)	C kg;m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup>	M (h)	S (h)	H (mv.h)	
Reboco exterior	< 0,08	> 8 < 12	> 0,1	< 120	< 16000	Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo
Reboco interior	< 0,10	-	-	< 120	-	
Juntas	< 0,10	> 8 < 12	>0,1	< 120	< 16000	

$S_D$  – espessura da camada de ar de difusão (valor relacionado com a permeância); C- coeficiente de capilaridade; M – atraso na molhagem, em horas, definido como o tempo decorrente desde o momento da aplicação da água sobre o corpo de prova até a água atingir as sondas, considerando-se que tal acontece quando se verifica uma quebra de tensão elétrica de 5%; S – período de umedecimento, em horas, definido como o tempo durante o qual o suporte permanece umedecido, considerando-se que tal acontece enquanto a tensão elétrica se mantém abaixo de 95% do seu valor inicial; H – intensidade de molhagem, em mv x h, definida como a quantidade de molhagem sofrida durante o ensaio, ou seja a área situada entre a linha que define a variação da tensão elétrica com o tempo e a linha correspondente ao valor da tensão no estado considerado seco, ou seja, de 95% do valor inicial.

Fonte: (VEIGA, 2003, p. 10).

Os parâmetros apresentados por Veiga (2003) referem-se às argamassas de reconstituição de revestimento, e não argamassas injetáveis para a restituição da aderência perdida entre revestimento e alvenaria. Neste sentido, eles servem como uma orientação, porém ainda é necessário se conhecer de forma mais aprofundada o revestimento que será restaurado e, se possível, atribuir parâmetros de acordo com suas próprias características.

## 2.7 Parâmetros de dosagem para obtenção de argamassas injetáveis

Neste item serão revistos métodos de dosagens e avaliação das propriedades das argamassas que podem ser aplicados para a formulação e avaliação da argamassa injetável a ser desenvolvida de forma a atender os parâmetros estabelecidos no item 2.7.5.2.

### 2.7.1 Empacotamento de partículas e distribuição granulométrica

O interesse pelo empacotamento de partículas cresce ao verificar-se que a maioria dos materiais com que se lida em argamassas são compostos por partículas de diferentes formas e tamanhos. O comportamento dos materiais se

dá parcialmente em razão das propriedades das suas partes e parcialmente em razão da interação entre elas (STROEVEN e STROEVEN, 1999<sup>27</sup> *apud* CASTRO e PANDOLFELLI, 2009).

A fluidez de uma suspensão concentrada depende da distribuição granulométrica, da forma e da textura superficial das partículas, por esta razão, um projeto da distribuição do tamanho das partículas de uma argamassa é fundamental por promover o empacotamento e definir, juntamente com o fluido, as propriedades reológicas do material no seu estado fresco. (CASTRO e PANDOLFELLI, 2009).

O estudo do empacotamento de partículas define-se, portanto, como o problema de selecionar a proporção adequada do tamanho das partículas de um material particulado, de forma que os vazios deixados pelos grãos maiores sejam preenchidos pelos grãos menores e assim sucessivamente (OLIVEIRA, STUDART, PILEGGI e PANDOLFELLI, 2000<sup>28</sup> *apud* CASTRO e PANDOLFELLI, 2009).

Para Carneiro e Cincotto (1999), o princípio para a composição e dosagem de uma argamassa por meio da sua curva granulométrica reside em obter as propriedades desejadas no estado fresco, como a trabalhabilidade e uma compacidade elevada, com redução do volume de vazios e com capacidade de deformação no estado endurecido.

Estes autores utilizaram a equação do termo geral de uma progressão geométrica, conforme proposta por Furnas em 1931, para a formulação de argamassas. Segundo este método, são geradas curvas de distribuição granulométricas contínuas, com as quais se obteria concretos de máxima compacidade. Esta compacidade máxima é obtida quando os vazios são preenchidos com partículas menores, sucessivamente (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).<sup>29</sup>

---

<sup>27</sup> STROEVEN, P.; STROEVEN, M. Space system for simulation of aggregated matter application to cement hydration, *Cem.Concr. Res.* 29, 8 (1999) 1299-1304.

<sup>28</sup> OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. Dispersão e empacotamento de partículas – princípios e aplicações em processamento cerâmico; São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 2000.

<sup>29</sup> O método está sucintamente apresentado neste trabalho, recomenda-se a consulta ao artigo original para melhor compreensão da sua forma de aplicação. CARNEIRO, Arnaldo M. P.; CINCOTTO, M. A. Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas. In: **Boletim Técnico**, nº BT/PCC/237, ano 1999. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil

$S_n = A \frac{1 - P_r^n}{1 - P_r}$	(6)
-------------------------------------	-----

$S_n$  representa o somatório das porcentagens que ficariam retidas em cada peneira, ou seja, a porcentagem total de material distribuído pelos diâmetros desenhados na curva.

A variável 'A' é um valor matemático que corresponde a uma quantidade de amostra que fica retida na segunda peneira, é o primeiro termo da progressão.

$P_r$  é a razão da quantidade de material que deve ficar retida em cada peneira. Segundo os autores, a argamassa é viável quando o  $P_r$  utilizado estiver entre 0,7 e 1. A partir de 0,7 a curva gerada pode ser classificada como de distribuição contínua. Curvas geradas com  $P_r$  próximo a 1 possuem maior compactidade (maior quantidade de finos), porém, podem ter a trabalhabilidade diminuída em função do enrijecimento da mistura. (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

A variável 'n' refere-se ao número de peneiras da série adotada. Pode ser utilizada a série normal, com a razão de abertura da malha igual a 1,19, ou a série principal, que possui razão de abertura de malha igual a 1,41. É possível, também, usarem-se as peneiras da NBR 5734 ou a série normal da NBR 7211, com razão de abertura de malha igual a 2. A peneira de maior abertura de malha define o maior diâmetro característico, este pode ser definido em função do uso que se deseja da argamassa, é importante acertar o número de peneiras até o número da peneira de maior malha (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

Por tratar-se de somatório de porcentagens, à  $S_n$  é atribuído o valor 100, então é possível calcular o valor de A, substituindo-se o valor de  $S_n$  na equação 1, resultando na equação 2 (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

Equação 2:

$$A = 100 \frac{(1 - P_r)}{(1 - P_r^n)}$$

Definido o valor de A, é possível calcular todos os termos da progressão, através da equação 3:

Equação 3:

$$A_{n+1} = A_n \times P_r$$

Através da equação 3 é possível compreender que, se o valor de 'A' corresponde a uma quantidade total da amostra, 'A<sub>1</sub>' será a quantidade total, menos a quantidade que fica retida na segunda peneira de maior abertura, 'A<sub>2</sub>' será a quantidade total menos o que ficou retido nas duas peneiras de maior abertura e assim sucessivamente até serem calculadas as quantidades matemáticas de amostra que passam por todas as peneiras definidas para o cálculo em 'n'.

Para traçar a curva é preciso conhecer as porcentagens acumuladas passantes em cada peneira, assim, ao diâmetro máximo é atribuído o somatório do valor de todos os termos 'A' até 'A<sub>n</sub>' da progressão, que deverá ser igual a 100%. Ao diâmetro imediatamente menor (dependerá da razão entre as peneiras) é atribuído o somatório de 'A<sub>1</sub>' até 'A<sub>n</sub>', ao diâmetro imediatamente menor é atribuído o somatório de 'A<sub>2</sub>' até 'A<sub>n</sub>' e assim, sucessivamente até o último termo da progressão.

Segundo Carneiro e Cincotto (1999), depois da curva traçada, o traço da argamassa poderá ser definido por álgebra elementar. Em sua pesquisa, foi determinado que o material que passa pela peneira de malha 0,075mm é considerado aglomerante, o agregado é, portanto, a porcentagem de material que fica retida nesta peneira. A porcentagem de aglomerante pode ser dividida entre a relação de cimento e cal estabelecida, quando for o caso.

### **3. Materiais e métodos**

O método estipulado para se atinjam os objetivos estabelecidos para esta pesquisa estruturou o procedimento experimental em três fases distintas mais o teste da resistência de aderência à tração. A primeira fase busca o estudo do revestimento original, de onde serão obtidos os parâmetros que a argamassa injetável deverá atingir. A segunda fase busca desenvolver a argamassa injetável, testando diferentes formulações e buscando a mais adequada para a utilização em restauração. A terceira fase consiste em ajustar da argamassa definida na segunda fase, por meio da utilização de aditivo superplastificante e redução de água usada na formulação. Por último será realizado o ensaio de resistência aderência a tração buscando identificar se as argamassas projetadas resistem o mínimo estipulado para sua eficiência.

Para maior compreensão do procedimento experimental adotado, a Figura 32 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do experimento e os itens a seguir descrevem os procedimentos a serem adotados em cada etapa.

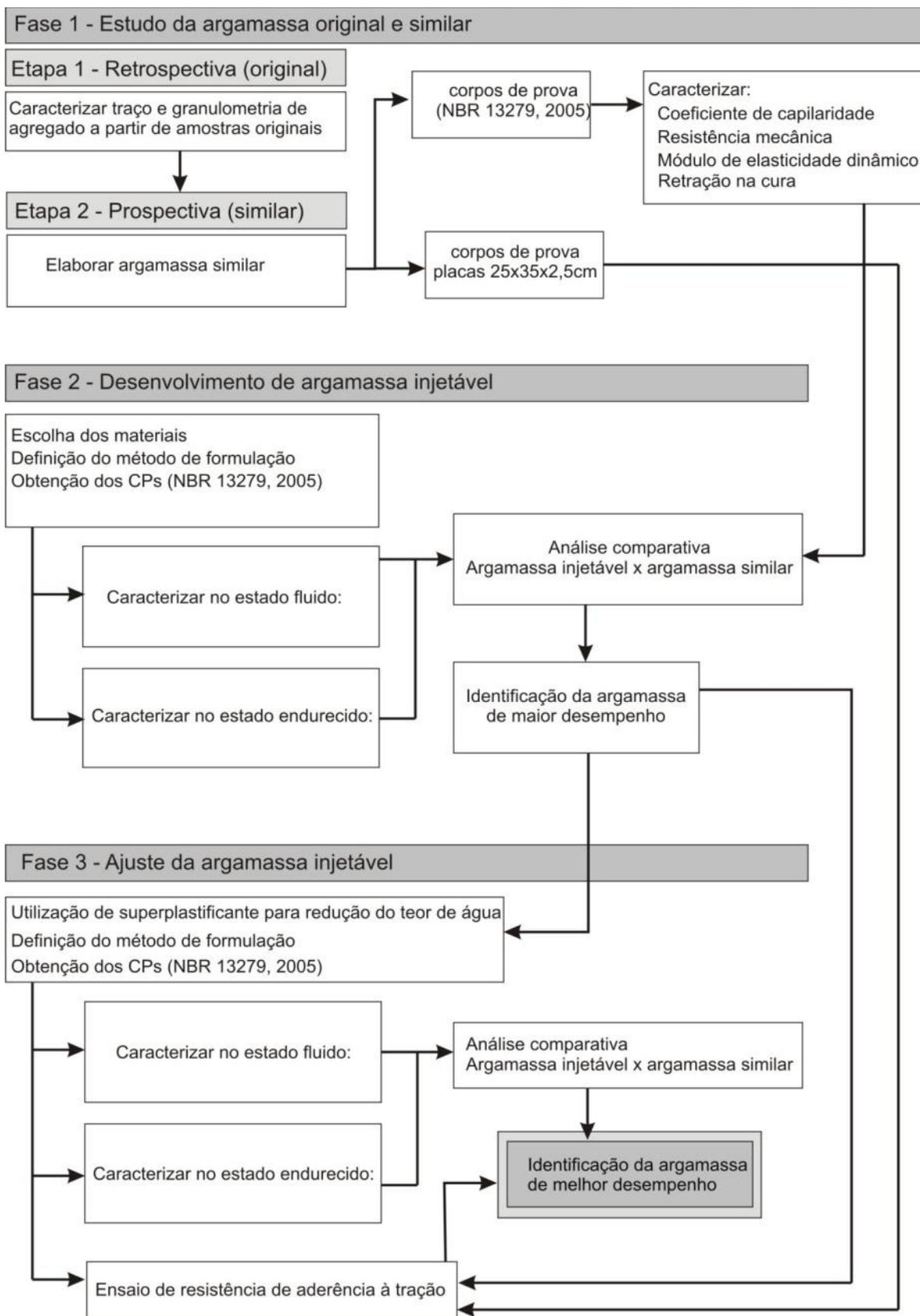


Figura 32 – Fluxograma do processo experimental.

Fonte: Da autora, 2016.

### **3.1 Primeira fase – estudo do revestimento original para obtenção de parâmetros para a elaboração da argamassa de injeção**

O estudo do revestimento original proposto aqui, busca identificar características aproximadas relativas a traço e granulometria do agregado. Embora os resultados dos exames realizados sejam de precisão relativa, é possível utilizá-los para a reconstituição de argamassas de características similares. Sabe-se que, mesmo em obra, não há precisão em relação às medidas adotadas na execução de uma argamassa, no entanto, geralmente são respeitados determinados padrões de traço e de características dos materiais empregados.

Esta fase é subdividida em duas etapas, a primeira de caráter retrospectivo, no qual se estudam características do revestimento original das edificações históricas pelotenses a partir de amostras doadas para tal finalidade.

A segunda etapa tem caráter prospectivo, nela é elaborada uma argamassa similar à original com a qual são confeccionados corpos de prova para a caracterização desta argamassa similar.

#### **3.1.1 Estudo do revestimento original – fase retrospectiva**

Este estudo foi realizado nas argamassas de nivelamento das paredes que receberam aplicação de acabamento em escaiola. Foram utilizados fragmentos de revestimento de escaiola do Casarão 08 da Praça Coronel Pedro Osório, edificado no final do século XIX. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a fachada do referido casarão.



Figura 33 – (a) Casarão localizado na Praça Coronel Pedro Osório, 08; (b) Casarão da Rua Marechal Floriano, 10; (c) Casarão da Rua Marechal Floriano, 59.

Fonte: Foto da autora, 2013.

As amostras utilizadas no desenvolvimento do trabalho foram obtidas por doação, uma vez que não puderam ser utilizadas na reconstituição do revestimento durante o restauro realizado no ano de 2011. Estas amostras foram registradas em fichas, fotografadas, dimensionadas e localizadas de acordo com as paredes em que se localizavam. A Tabela 4 resume as imagens, características e a localização das amostras analisadas. As amostras foram identificadas com a letra C (de casarão), seguida do número do prédio e de uma letra em maiúsculo que identifica a parede de onde a amostra foi retirada.

Tabela 4 – Caracterização das amostras do casarão 8 da Praça Coronel Pedro Osório, Pelotas/RS.

Identificação	Amostra	Características	Imagem do local	Descrição
C8A		Pintura na faixa com dois traços de tonalidade em marrom e pintura de fingido de mármore dos dois lados do friso também marrom. Amostra de aprox. 250cm <sup>2</sup> .		Parede do vestíbulo principal.
C8B		Faixa com três filetes marrons seguidos de um filete preto na divisão do fundo com o apainelado superior. Amostra de aprox. 250cm <sup>2</sup> .		Parede do vestíbulo secundário, voltado para o pátio da Rua Barão de Butuí.
C8C		Faixa simples, de cor escura, acinzentada, marcada nas extremidades por linhas mais escurecidas. Amostra de aprox. 200cm <sup>2</sup> .		Parede do corredor que liga sala de jantar à copa.
C8D		Faixa simples, de cor escura, acinzentada, marcada nas extremidades por linhas mais escurecidas. Amostra de aprox. 200cm <sup>2</sup> .		

Fonte: Fotos da autora, 2014.

Após a identificação, realizou-se um exame visual nas amostras para contar e medir as camadas de regularização. Trata-se de um exame empírico, no qual se observou lateralmente nas amostras as alterações cromáticas e de granulometria do agregado das diferentes camadas de argamassa constituintes.

Na análise das camadas de regularização das amostras do casarão 8 identificou-se: na amostra C8A três camadas; nas amostras C8B e C8D duas camadas; e na amostra C8C apenas uma camada. As amostras C8C e C8D eram provenientes do mesmo ambiente.

### **Ensaio de reconstituição de traço da argamassa e granulometria do agregado**

O ensaio para a reconstituição do traço foi feito segundo o método descrito no Manual do ICCROM (TEUTONICO, 1988) e no Caderno Técnico 8, do Programa Monumenta, do IPHAN (KANAN, 2008). Este método é usado para determinar a proporção entre o aglomerante (cal) e o agregado (areia). Os ensaios foram realizados no laboratório de Caracterização de Materiais do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas.

Pesou-se aproximadamente 40g de cada uma das amostras. Os marmorinos não foram utilizados neste ensaio. Cada amostra foi depositada em recipiente de vidro devidamente identificado. Os recipientes com as argamassas maceradas foram secos em estufa por aproximadamente 24 horas a 75 °C. Todos os vidros e filtros foram previamente secos e pesados antes de receberem as amostras. A Figura 34 (a, b e c) apresenta detalhes do início do procedimento e separação de materiais.



Figura 34 – (a) Separação das camadas observadas para análise individual; (b) Pesagem das porções de amostra; (c) Aspecto das amostras antes da dissolução do aglomerante.

Fonte: Fotos da autora, 2014.

O próximo passo foi dissolver o aglomerante usado na elaboração destas argamassas, a cal (carbonato de cálcio). Para isto foi adicionada uma solução de ácido clorídrico em água destilada na proporção de 1:4. A amostra fica submersa por, no mínimo, 24 horas ou até que não se observe mais a formação de bolhas. A solução com a matéria que fica suspensa é entornada sobre o filtro de papel faixa branca no qual os sólidos ficam retidos. O processo é repetido até que a solução a ser filtrada não apresente mais matéria em suspensão. Desta forma, separam-se, então, o aglomerante, que é descartado na forma dissolvida no líquido, os grãos finos, que ficam dispostos sobre o filtro e os grãos maiores, a areia, que fica disposta no fundo do vidro.

Os vidros com areia e os filtros com os finos são novamente secos em estufa a 75°C por 24h para, então, serem novamente pesados. A areia é encaminhada para o ensaio de granulometria por peneiramento. A Figura 35 (a, b e c) apresenta detalhes do processo de dissolução do aglomerante e filtragem da areia.



Figura 35 – (a) Amostras em digestão com solução ácida; (b) Amostras sendo preparadas para a filtragem; (c) Detalhe da filtragem, finos retidos no filtro.

Fonte: Acervo do GEPE, 2014.

O traço em massa é obtido, então, da seguinte forma: a massa de areia é diminuída da massa inicial da amostra e com isto identifica-se a parcela de massa do aglomerante.

### 3.1.2 Estudo do revestimento original – fase prospectiva

A partir desta fase, todos os procedimentos laboratoriais necessários à realização desta pesquisa foram executados no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob coordenação e orientação da Profa. Dra. Ângela Borges Masuero.

Nesta etapa buscou-se reconstituir o traço de argamassa a ser utilizada como substrato nos testes de reconstituição do revestimento escaiolado. Em razão da distância temporal entre o revestimento original e o reconstituído supôs-se que não se chegaria a valores exatos das características físicas e mecânicas entre elas, mas que estes se assemelhariam porque se utilizou, na argamassa similar, areia com uma curva granulométrica similar à encontrada na argamassa original.

O traço a ser utilizado na etapa retrospectiva foi de 1:2 em volume de cal em pasta e areia de rio, conforme verificado em Vitruvius (Livro II, cap. V, p. 45, 1960).

A areia foi peneirada e teve sua curva granulométrica ajustada para ficar semelhante à areia identificada na fase retrospectiva. Com a pasta de cal e a areia prontas, foi possível iniciar a fase de moldagem dos corpos de prova.

A principal dificuldade nesta etapa é a falta de normatização para os ensaios que são realizados com argamassa elaborada exclusivamente com pasta de cal e areia. A NBR 13276, que trata do preparo da mistura e determinação do índice de consistência de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, não dispõe de um procedimento para argamassas deste tipo. Todos os procedimentos descritos da norma dizem respeito a argamassas de cimento e areia ou argamassas mistas de cimento, cal e areia.

Como o procedimento de mistura desta argamassa é feito com cal em pasta, a quantidade de água de amassamento usada foi definida de acordo com o abatimento em mesa de consistência, estabelecido em 23cm mais ou menos 1cm.

Com esta argamassa foram moldados 6 corpos de prova prismáticos usados para sua caracterização no estado endurecido (retração; módulo de elasticidade dinâmico; resistência mecânica – tração na flexão e compressão; e

índice de absorção de água por capilaridade) e 36 placas de 25cm x 35cm x 2,5cm que serviram para simular uma placa de revestimento descolada da parede, a ser aderida com a argamassa injetável para a realização do ensaio final deste trabalho, a resistência de aderência à tração.

### **3.2 Segunda fase – desenvolvimento da argamassa injetável**

Na segunda fase buscou-se desenvolver as formulações de argamassas injetáveis e analisar as características obtidas em cada uma delas.

Em razão da necessidade de injeção desta argamassa dentro dos vazios deixados pelo descolamento do revestimento, acredita-se que seja fundamental iniciar sua formulação através da obtenção das seguintes características do seu estado líquido: máxima fluidez sem segregação dos componentes da mistura.

#### **Exame preliminar**

Inicialmente, optou-se por realizar um exame preliminar, de caráter exploratório, com objetivo de visualizar empiricamente o comportamento das primeiras misturas em relação à segregação de material, de forma que se pudessem descartar traços que resultassem em argamassas cujas características no estado fluido estivessem muito longe daquelas a serem alcançadas.

Para isto foram feitas as misturas de argamassa injetável utilizando-se traços fornecidos por 4 curvas granulométricas geradas com o termo geral de uma progressão geométrica, conforme explicitado no item 2.8.1. Para as equações utilizou-se a razão dos diâmetros dos grãos de 1,19 (razão adotada para as aberturas das peneiras); o maior diâmetro adotado foi 0,3mm; e um total de 25 variações de diâmetro (como se fossem 25 peneiras). Para este exame preliminar utilizaram-se os seguintes valores de Pr: 0,75; 0,80; 0,85 e 0,90. A quantidade de água, neste primeiro momento, foi fixada em 60% da massa dos sólidos.

Segundo este método de proporcionamento, a porcentagem de material cujo grão possui diâmetro inferior a 0,075mm será considerada a porcentagem de aglomerante, enquanto a porcentagem de agregado será o restante do material

até o diâmetro máximo estipulado. O material utilizado como aglomerante foi a cal hidráulica e o agregado utilizado foi areia fina com maior grão fixado em 0,3mm.

A Figura 36 (a e B) apresentam as curvas geradas para os respectivos valores de Pr: 0,75 e 0,80 e a Figura 37 (a e b) apresenta as curvas geradas para os respectivos valores de Pr: 0,85 e 0,90.

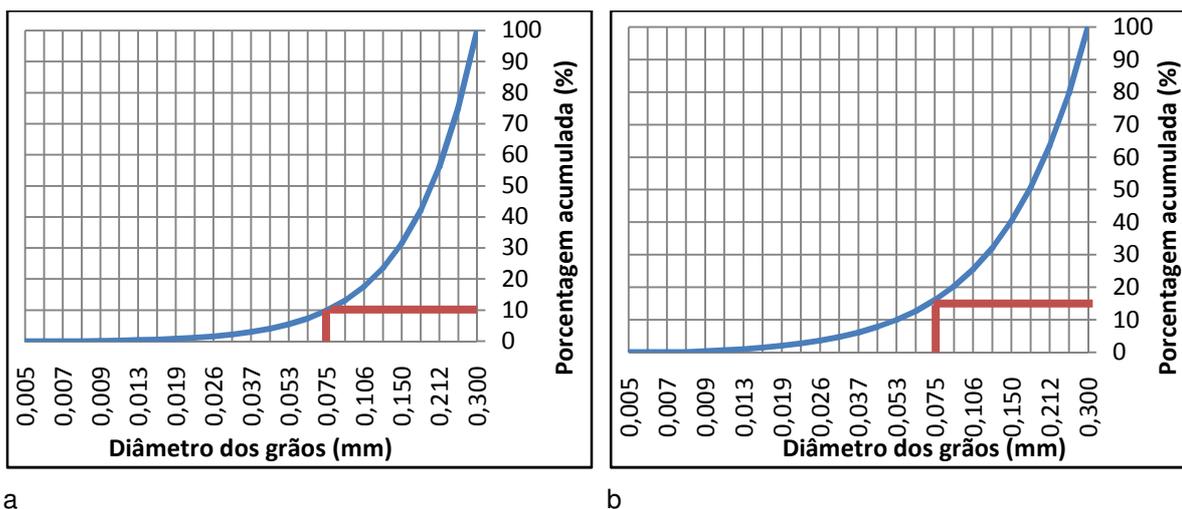


Figura 36 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para Pr = 0,75; (b) curva de distribuição granulométrica contínua para Pr = 0,80.

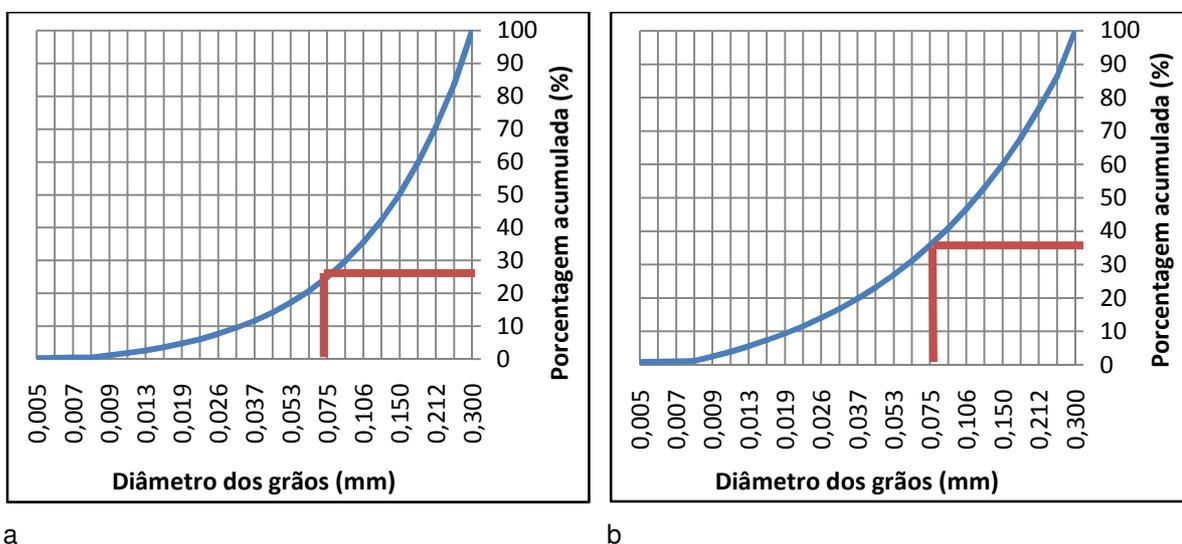


Figura 37 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para Pr = 0,85; (b) Curva de distribuição granulométrica contínua para Pr = 0,90.

A partir disto, o exame expedito gerou a seguinte matriz de ensaios (Tabela 5).

Tabela 5 – Matriz de ensaios para o exame expedito.

PR	Aglomerante (%)	Agregado<0,3mm(%)	Água (% do peso seco)
0,75	9,84	90,16	60,00
0,80	16,10	83,90	60,00
0,85	24,88	75,12	60,00
0,90	35,77	64,23	60,00

O ensaio consistiu em efetuar as misturas dentro de um béquer e observar seu comportamento quanto à fluidez e segregação. Todas as misturas apresentaram alta segregação, no entanto, para o traço gerado com Pr=0,90 o tempo de segregação do material foi maior, possivelmente por conter maior quantidade de material mais fino. A partir disto, resolveu-se efetuar as formulações com valores de Pr maior (maior quantidade de finos e menor tendência à segregação) com menores quantidades de água.

#### **Definição dos traços a serem testados**

Uma vez que foi verificado que argamassas de traços gerados com valor de Pr menor que 0,90 apresentam fluidez e segregação excessivas, buscou-se conhecer melhor o comportamento das misturas geradas com Pr maior. Como estes traços resultam em argamassas com maior quantidade de finos, acredita-se que, com a quantidade de água ajustada sejam mais fáceis de serem injetados. Em razão da alta segregação observada no exame preliminar, optou-se por testar misturas com quantidades menores de água. Desta forma, novas curvas foram geradas com os seguintes valores de Pr: 0,94; 0,96; e 0,98.

Além de servir para determinar a quantidade de aglomerante (diâmetro de grão inferior à 0,075mm – marcado nas curvas em vermelho) as curvas também foram utilizadas para determinar a quantidade de areia com tamanho de grão entre 0,150 e 0,075mm e 0,300 e 0,150mm (marcado nas curvas em verde).

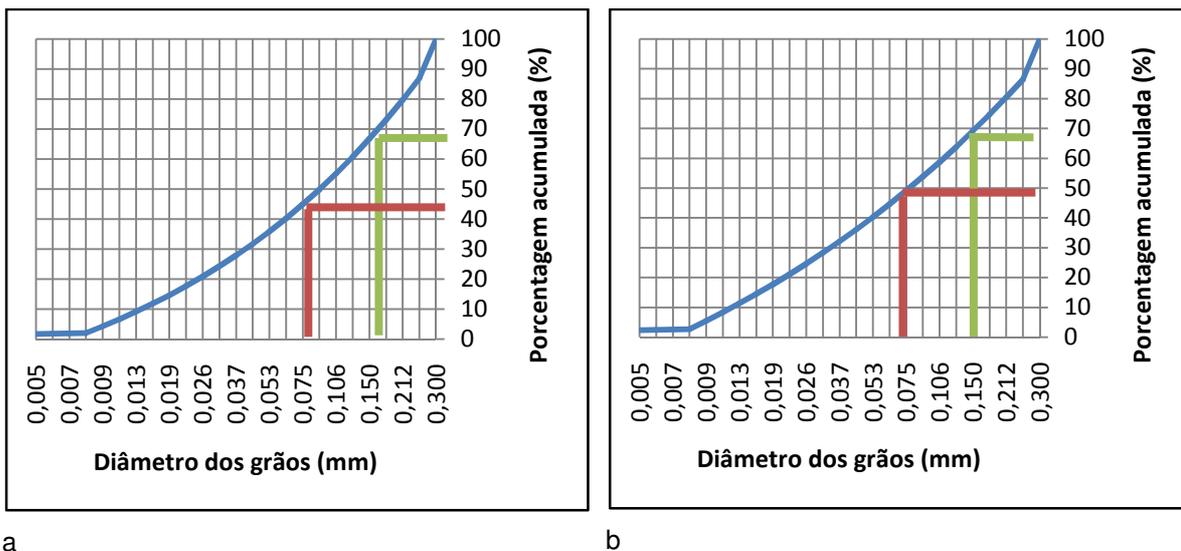


Figura 38 – (a) Curva de distribuição granulométrica contínua para  $Pr = 0,94$ ; (b) curva de distribuição granulométrica contínua para  $Pr = 0,96$ .

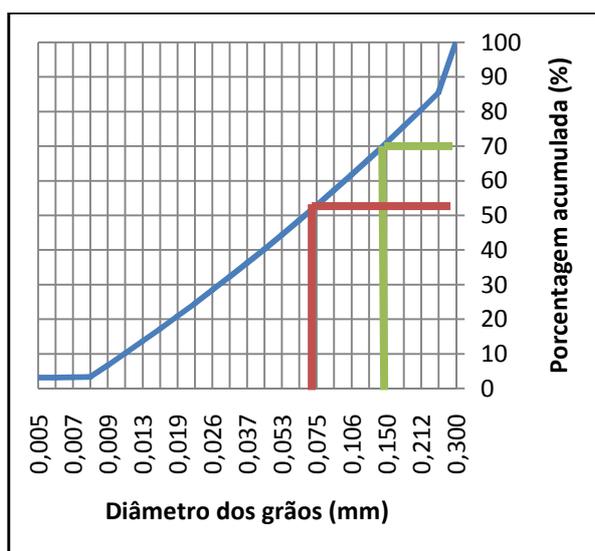


Figura 39 – Curva de distribuição granulométrica contínua para  $Pr = 0,98$ .

Os outros parâmetros controláveis a serem avaliados nesta etapa da pesquisa são: a utilização de sílica de casca de arroz (SCA), em substituição de 0%, 5% e 10% da quantidade de cal hidráulica utilizada na mistura e a quantidade de água, que será variada em 45%, 50% e 55% da massa seca da mistura.

A partir da determinação dos traços, das proporções de SCA e das quantidades de água utilizadas nas argamassas testadas, estabeleceram-se as seguintes matrizes de ensaios:

Tabela 6 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,94.

<b>Formulações para Pr=0,94</b>					
	Cal (%)	Areia 0.15 (%)	Areia fundo (%)	SCA (%)	Água (%)
CA_0.94_45	44,88	33,37	21,75	0,00	45
CA_0.94_50	44,88	33,37	21,75	0,00	50
CA_0.94_55	44,88	33,37	21,75	0,00	55
CAS5_0.94_45	39,88	33,37	21,75	5,00	45
CAS5_0.94_50	39,88	33,37	21,75	5,00	50
CAS5_0.94_55	39,88	33,37	21,75	5,00	55
CAS10_0.94_45	34,88	33,37	21,75	10,00	45
CAS10_0.94_50	34,88	33,37	21,75	10,00	50
CAS10_0.94_55	34,88	33,37	21,75	10,00	55

Tabela 7 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,96.

<b>Formulações para Pr=0,96</b>					
	Cal (%)	Areia 0.15 (%)	Areia fundo (%)	SCA (%)	Água (%)
CA_0.96_45	49,10	30,90	20,00	0,00	45
CA_0.96_50	49,10	30,90	20,00	0,00	50
CA_0.96_55	49,10	30,90	20,00	0,00	55
CAS5_0.96_45	44,10	30,90	20,00	5,00	45
CAS5_0.96_50	44,10	30,90	20,00	5,00	50
CAS5_0.96_55	44,10	30,90	20,00	5,00	55
CAS10_0.96_45	39,10	30,90	20,00	10,00	45
CAS10_0.96_50	39,10	30,90	20,00	10,00	50
CAS10_0.96_55	39,10	30,90	20,00	10,00	55

Tabela 8 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,98.

<b>Formulações para Pr=0,98</b>					
	Cal (%)	Areia 0.15 (%)	Areia fundo (%)	SCA (%)	Água (%)
CA_0.98_45	52,86	29,08	18,06	0,00	45
CA_0.98_50	52,86	29,08	18,06	0,00	50
CA_0.98_55	52,86	29,08	18,06	0,00	55
CAS5_0.98_45	47,86	29,08	18,06	5,00	45
CAS5_0.98_50	47,86	29,08	18,06	5,00	50
CAS5_0.98_55	47,86	29,08	18,06	5,00	55

CAS10_0.98_45	42,86	29,08	18,06	10,00	45
CAS10_0.98_50	42,86	29,08	18,06	10,00	50
CAS10_0.98_55	42,86	29,08	18,06	10,00	55

Após o estudo de todos os traços, é necessário identificar aquele que mais se adéqua aos parâmetros de desempenho solicitados na Tabela 1 (p. 84). Para tanto se fará uso de uma ferramenta matemática para decisão através de multicritérios, o Processo Analítico de Hierarquias.

### **3.2.1 O Processo Analítico de Hierarquia (AHP) como ferramenta para escolha dos traços estudados**

O AHP é um ambiente de decisões multicritério, desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70. Trata-se de uma teoria de medida de importância, realizada através de comparações de pares que conta com os julgamentos de peritos para derivar escalas prioritárias (SAATY, 2008). Consiste na instauração de uma hierarquia entre os critérios que compõe o problema de decisão, facilitando sua compreensão e avaliação (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

De acordo com Saaty (2008) o método segue as seguintes etapas: A primeira é a definição do problema e as informações necessárias para conhecê-lo; A segunda consiste em estabelecer uma estrutura para a hierarquia de decisões. Trata-se da construção de fluxograma (Figura 40) onde o objetivo está no topo, os critérios e subcritérios que definem características desse objetivo estão no centro, ligados a ele. E na parte inferior estão as possibilidades que podem ser selecionadas; A terceira etapa é a construção das matrizes de comparação por pares. Cada nível é comparado entre seus subníveis; A última etapa consiste no uso das prioridades obtidas com as comparações para ponderar o valor das prioridades anteriores.

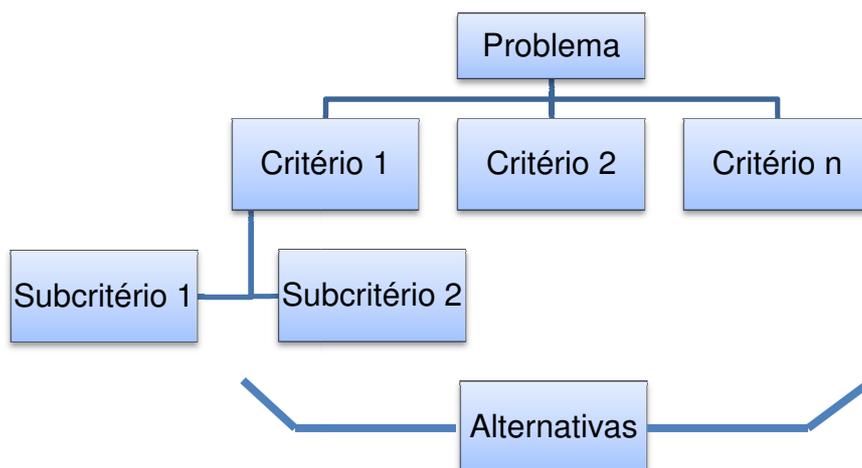


Figura 40 – Esquema de uma estrutura para hierarquia de decisões.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Para gerar a hierarquia entre critérios e entre as alternativas de acordo com cada critério, atribui-se um número de 1 a 9, de acordo com a escala fundamental de Saaty (Tabela 9). Este número indica quantas vezes um critério é mais importante ou dominante do que o outro no momento da comparação por pares.

Tabela 9 – Escala fundamental de números absolutos de Saaty.

Intensidade ou importância	Definição	Exemplo
1	Igual importância	Duas atividades que contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderada importância	Julgamento a favor de uma atividade sobre outra.
5	Forte importância	Julgamento fortemente a favor de uma atividade sobre outra.
7	Grande importância	O julgamento a favor de uma atividade é muito forte e claramente observado na prática.
9	Extrema importância	Quando a diferença entre as atividades é a maior possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	
1,1 – 1,9	Valores mais apurados	Usados para aproximar julgamentos.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

A primeira etapa da aplicação do AHP consiste na formulação do objetivo, que neste caso é escolher uma formulação de argamassa. Os critérios para a seleção da argamassa são os resultados obtidos em cada uma das características avaliadas no seu estado fresco e endurecido (diâmetro de

espalhamento, exsudação, retração, módulo de elasticidade, resistência à tração, resistência à compressão e coeficiente de capilaridade). A coesão foi retirada desta etapa por ter sido considerada um critério excludente, portanto, as formulações de argamassa que não obtiveram coesão suficiente foram previamente excluídas do processo de análise, restando 16 formulações. A formulação CA\_0.94\_45 também foi retirada desta avaliação em razão de problemas percebidos durante a obtenção dos parâmetros. Restando 15 formulações.

Com isto, é possível estabelecer a estrutura hierárquica do problema da escolha da argamassa injetável a ser utilizada em restaurações conforme pode ser verificado na Figura 41.

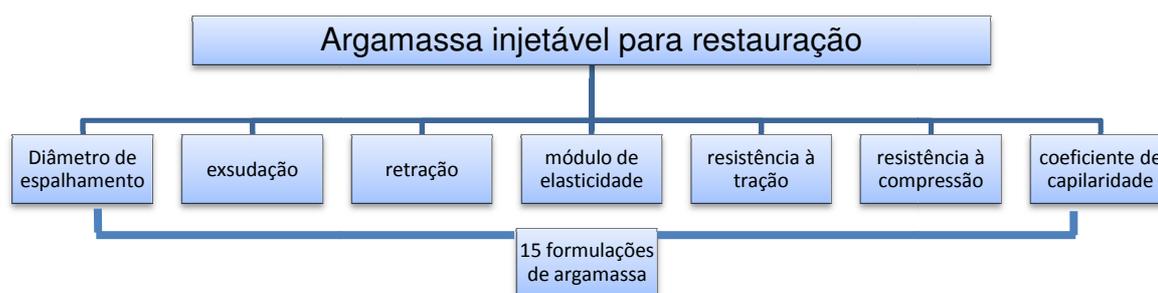


Figura 41 – Estrutura hierárquica para a aplicação do AHP na escolha de uma argamassa injetável.

O segundo passo é estabelecer a hierarquia entre os critérios adotados no problema. Esta etapa exige maior esforço do perito para determinar quais critérios são mais relevantes na escolha de uma argamassa injetável para restauração. A hierarquização dos critérios foi pensada levando-se em conta o que se espera do seu desempenho durante aplicação e utilização, ou seja, suas características no estado fresco e no estado endurecido.

Critério espalhamento: a determinação das características do estado fluido de uma argamassa é uma tarefa complexa. Nesta etapa, e por não se estar utilizando nenhum tipo de aditivo que modifique a plasticidade da argamassa optou-se por utilizar apenas o espalhamento de uma argamassa fluida quando submetida ao esforço do seu peso próprio como critério para fluidez.

Este ensaio não é capaz de avaliar com precisão a capacidade da argamassa de ser injetada e de fluir pelos vazios deixados pelo descolamento do revestimento. No entanto, supõe-se que a fluidez da argamassa contribua para que este espalhamento no interior do revestimento seja possível. De nada adianta a argamassa estar bem ajustada em relação aos demais critérios se ela não tem capacidade de se espalhar e gerar aderência na maior área possível.

Em razão disto o espalhamento será definido como o critério de maior importância e os maiores espalhamentos receberão maior pontuação na aplicação do AHP.

Critérios exsudação e retração: estes dois critérios se referem ao estado fluido da argamassa e relacionam-se com sua capacidade de gerar aderência na interface entre a argamassa injetável e o substrato. O excesso de exsudação pode causar migração de material fino, heterogeneidade e alteração da formulação do produto. A retração em excesso pode causar fissuração da argamassa injetada, enfraquecendo o produto na sua interface com o substrato, diminuindo a aderência entre os materiais.

A forma como exsudação e retração foram avaliadas neste estudo mostrou interdependência entre estes fatores. As argamassas que tiveram mais exsudação foram as que mais retraíram. Isto acontece em razão do longo tempo que as argamassas levam pra secar e endurecer, permitindo que os grãos se acomodem na parte inferior da forma enquanto a água livre vai evaporando.

Em razão disto, exsudação e retração terão pesos semelhantes como critérios de avaliação, serão menos importantes que o espalhamento, no entanto, serão mais importantes que os demais critérios. Os menores valores de exsudação e retração receberão maior pontuação na aplicação do AHP.

Critérios módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade: Estes critérios são importantes para se considerar a durabilidade da argamassa injetável. O módulo de elasticidade está associado com sua capacidade de absorver tensões provenientes de vibrações, por exemplo. Já o coeficiente de capilaridade ganha importância quando a argamassa é aplicada em áreas sujeitas à umidade ascendente. Neste estudo estes critérios serão considerados de igual importância, embora seja possível ajustar a hierarquia dos critérios quando se

sabe que a argamassa será utilizada num pavimento térreo sujeito à ação da umidade ascendente.

Estes critérios recebem mais importância que as resistências mecânicas e sua pontuação na hierarquia é medida em razão da proximidade com os parâmetros obtidos da argamassa original reconstituída.

Critérios resistência mecânica à tração e resistência mecânica à compressão: Estes critérios foram classificados como os menos importantes. A utilização da argamassa injetável não está associada com uma necessidade estrutural. Trata-se de um restabelecimento de aderência perdida, que não demanda de forte resistência mecânica. No entanto, acredita-se que uma argamassa de cal hidráulica e areia seja capaz de fornecer resistência suficiente para a ancoragem necessária.

A pontuação na hierarquia para este critério também será obtida de acordo com sua proximidade em relação aos parâmetros obtidos da argamassa original reconstituída.

Com base na avaliação dos critérios, foram geradas as matrizes de comparação por pares (Tabela 10).

Tabela 10 – Matriz de comparação por pares dos critérios

	Es	Ex	Ret.	MD	RT	RC	CC
Espalhamento	1	2	2	3	4	4	3
Exsudação	1/2	1	1	2	3	3	2
Retração	1/2	1	1	2	3	3	2
Mód. Elasticidade	1/3	1/2	1/2	1	2	2	1
Resist. Tração	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	1
Resit. Compressão	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1/2
Coef. Capilaridade	1/3	1/3	1/2	1	1	2	1

Es.: Espalhamento; Ex.: Exsudação; Ret.: Retração; MD: Módulo de elasticidade; RT: Resistência à Tração; RC: Resistência à compressão CC: Coeficiente de Capilaridade.

Na primeira linha da matriz, o critério espalhamento é comparado com todos os critérios. No cruzamento da primeira linha com a primeira coluna da matriz, espalhamento é comparado com espalhamento, por isto é atribuído o valor 1, não há diferença de “peso” entre estes critérios. No cruzamento da primeira linha com a segunda coluna da matriz, espalhamento é comparado com

exsudação, então se atribuiu o valor 2, por considerá-lo mais importante que exsudação. O mesmo acontece com retração. No quarto e sétimo cruzamentos da matriz, espalhamento é comparado com módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade, atribuiu-se o valor 3 por considerar que espalhamento é ainda mais importante que estes dois critérios. Por último, nos cruzamentos da primeira linha com as colunas cinco e seis o espalhamento é comparado com as resistências à tração e à compressão, onde se atribuiu o valor 4 por considerar estes dois os critérios menos importantes na hierarquia.

Na segunda linha, onde se verificam as comparações a partir do critério exsudação, verifica-se que no primeiro cruzamento foi atribuído o valor  $\frac{1}{2}$ . Isto ocorre por ser o inverso do que está na linha superior. Se a relação de importância entre espalhamento e exsudação é 2, a relação entre exsudação e espalhamento é o inverso:  $\frac{1}{2}$ .

Aplicando as fórmulas na matriz, através de um modelo em planilha do programa Excel<sup>30</sup> verificou-se a hierarquia<sup>31</sup> da Tabela 11.

Tabela 11 – Hierarquia entre os critérios estabelecida com o AHP.

Hierarquia		
Espalhamento	0,317	31,70%
Exsudação	0,177	17,70%
Retração	0,177	17,70%
Mód. elasticidade	0,101	10,10%
Resist. Tração	0,072	7,20%
Resist. Compressão	0,061	6,10%
Coef. capilaridade	0,096	9,60%

O próximo passo é estabelecer a hierarquia (a pontuação) de cada argamassa de acordo com cada critério estabelecido. Segue o exemplo usado para estabelecer a pontuação das formulações no critério espalhamento. A formulação que mais espalhou é a CAS10\_0.94\_50, com 38,6cm. A argamassa que menos espalhou é a CAS5\_0.98\_45, com 27,5cm. A diferença entre os

<sup>30</sup> A planilha utilizada está disponível para download no endereço [www.scbuk.com/AHP%20Template%20SCBUK.xls](http://www.scbuk.com/AHP%20Template%20SCBUK.xls) acesso em 05/10/2016.

<sup>31</sup> A hierarquia teve consistência de 1%. Valor que valida a planilha conforme foi concebida.

resultados foi dividida por 9 (número de valores de 1 a 9 da tabela de Saaty – Tabela 9).

Com isto estabeleceu-se que quando a diferença entre o espalhamento dos pares comparados é de até 1cm atribui-se o peso 1; quando a diferença for de 1,01cm à 2,00cm atribui-se o peso 2 e assim, sucessivamente até se chegar a diferenças maiores que 8cm, para as quais será atribuído o peso 9. Quando a diferença entre o espalhamento dos pares comparados é negativa, usa-se o mesmo critério, porém atribui-se o número correspondente em uma fração: usa-se  $\frac{1}{2}$  quando para diferenças entre -1,01 e -2,00, e assim sucessivamente.

Esta forma foi utilizada para estabelecer a pontuação de todas as formulações em cada critério, utilizando-se a diferença entre o maior e o menor valor encontrado em cada critério.

Gerando as matrizes que comparam as formulações de acordo com cada critério é possível montar a Tabela 12, onde se percebe o peso de cada critério.

Para realizar a parte do processo denominada de síntese, é preciso multiplicar a pontuação de cada formulação pelo peso do critério. Esta etapa final está descrita na Tabela 39, no capítulo 6, juntamente com os demais resultados do trabalho. No final soma-se a pontuação de cada argamassa em todos os critérios para obter sua pontuação final.

Tabela 12 – Matriz com os pesos gerados para cada formulação em cada critério.

<b>Critério</b>	<b>Es</b>	<b>Ex</b>	<b>Ret.</b>	<b>MD</b>	<b>RT</b>	<b>RC</b>	<b>CC</b>
Peso do critério	0,317	0,177	0,177	0,101	0,072	0,061	0,096

CAS5_0.94_45	0,039	0,065	0,1	0,073	0,092	0,032	0,051
CAS5_0.94_50	0,114	0,014	0,013	0,058	0,122	0,237	0,055
CAS10_0.94_45	0,027	0,156	0,027	0,06	0,016	0,032	0,161
CAS10_0.94_50	0,231	0,015	0,014	0,042	0,017	0,032	0,184
CA_0.96_45	0,026	0,06	0,145	0,078	0,016	0,032	0,032
CA_0.96_50	0,125	0,021	0,049	0,037	0,016	0,237	0,078
CAS5_0.96_45	0,027	0,06	0,068	0,278	0,016	0,032	0,061
CAS5_0.96_50	0,125	0,014	0,038	0,018	0,035	0,137	0,04
CAS10_0.96_45	0,022	0,06	0,17	0,017	0,025	0,032	0,102
CA_0.98_45	0,018	0,16	0,034	0,089	0,14	0,032	0,027
CA_0.98_50	0,068	0,015	0,023	0,066	0,212	0,032	0,022
CAS5_0.98_45	0,014	0,16	0,039	0,044	0,046	0,032	0,038
CAS5_0.98_50	0,068	0,021	0,029	0,055	0,023	0,032	0,014
CAS10_0.98_45	0,014	0,16	0,088	0,034	0,088	0,032	0,073
CAS10_0.98_50	0,081	0,021	0,165	0,051	0,133	0,032	0,061

Es.: Espalhamento; Ex.: Exsudação; Ret.: Retração; MD: Módulo de elasticidade; RT: Resistência à Tração; RC: Resistência à compressão CC: Coeficiente de Capilaridade.

### 3.3 Terceira fase – ajuste da argamassa escolhida

O AHP serviu para escolher a argamassa que pode ser considerada a “globalmente” mais adequada à aplicação. No entanto, em razão da diferença entre os materiais da argamassa reconstituída, principalmente no que tange à granulometria do agregado e à fluidez, nem todas as características da argamassa fluida estavam dentro dos limites estabelecidos pela argamassa reconstituída, de acordo com a Tabela 1 (p. 84).

Nesta fase pretendeu-se manipular a quantidade de água usada na mistura da argamassa escolhida através do AHP (CAS10\_0.94\_50), de forma a não comprometer a fluidez, verificando quais as implicações que a diminuição da água provocou nas suas propriedades do estado endurecido.

Para que se diminuísse a quantidade de água sem comprometer a fluidez foi utilizado um aditivo superplastificante. A partir de um teste expedito que levou em conta o espalhamento das argamassas, definiram-se as seguintes formulações, com adições de superplastificante, para novos ensaios. Os parâmetros avaliados em cada formulação estão especificados no item 3.5.

Tabela 13 – Tabela que apresenta as formulações para a proporção de cal e areia geradas através do PR=0,94.

Formulação	cal	areia	areia 0,3	areia	ms	SCA	SCA	a/ms	a/ms	aditivo
	(g)	total (g)	a 0,15 (g)	0,15 a 0,075 (g)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
A	1386	1932,35	1167,95	761,25	3500	10	138,60	26	903	1,25
B	1386	1932,35	1167,95	761,25	3500	10	138,60	30	1050	1,00
C	1386	1932,35	1167,95	761,25	3500	10	138,60	35	1225	0,90
D	1386	1932,35	1167,95	761,25	3500	10	138,60	40	1400	0,64

### 3.4 Matérias-primas (MP's):

As matérias primas a serem utilizadas na argamassa injetável são selecionadas em função da compatibilidade mecânica, física e química que a argamassa deverá ter com o substrato. Além disso, a necessidade de ser injetável e de escorrer através das frestas entre o revestimento e substrato impõe que sejam usadas matérias primas de granulometria muito fina. A facilidade de aquisição dos produtos no mercado e o custo também são fatores a se considerar, embora não configurem, de fato, pontos decisivos na escolha da matéria prima.

#### 3.4.1 Aglomerante: A cal hidráulica

A cal escolhida para a formulação da argamassa injetável é do tipo hidráulica. Optou-se por utilizar cal hidráulica em virtude da argamassa injetável ser aplicada entre o revestimento e a alvenaria, o que dificulta o processo de carbonatação do hidróxido de cálcio, uma vez que o fluxo de ar no interior da parede é limitado.

Trata-se de um produto facilmente encontrado no mercado local cuja produção se dá na cidade de Caçapava do Sul, na região das serras do sudeste do estado do Rio Grande do Sul. A empresa tem certificação ISO 9001 e em 2015 recebeu o selo verde do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

As informações na embalagem do produto dizem que se trata de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e cinzas minerais. Demais

informações sobre o produto, fornecidas pelo fabricante, encontram-se no anexo A.

A ficha técnica do produto traz as informações da Tabela 14:

Tabela 14 – Propriedades físico-químicas da cal hidráulica utilizada.

Propriedades físico-químicas	
<b>Estado</b>	Pó seco, cinza, com 10% a 19% de água combinada
<b>Densidade aparente</b>	600 a 800 kg/cm <sup>3</sup> (0,6 a 0,8 g/cm <sup>3</sup> )
<b>Superfície específica</b>	4000 a 6000 m <sup>2</sup> /kg
<b>Peso específico</b>	2,5 a 2,9 g/m <sup>3</sup>

A granulometria do material foi estudada no laboratório de Caracterização de Materiais do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas. O ensaio realizado num granulometro CILÁS acusou um diâmetro médio de 12,95 $\mu$ m, diâmetro de 2,07 $\mu$ m a 10% e diâmetro de 39,82 $\mu$ m a 90%. A Figura 42 mostra a curva granulométrica da cal hidráulica.

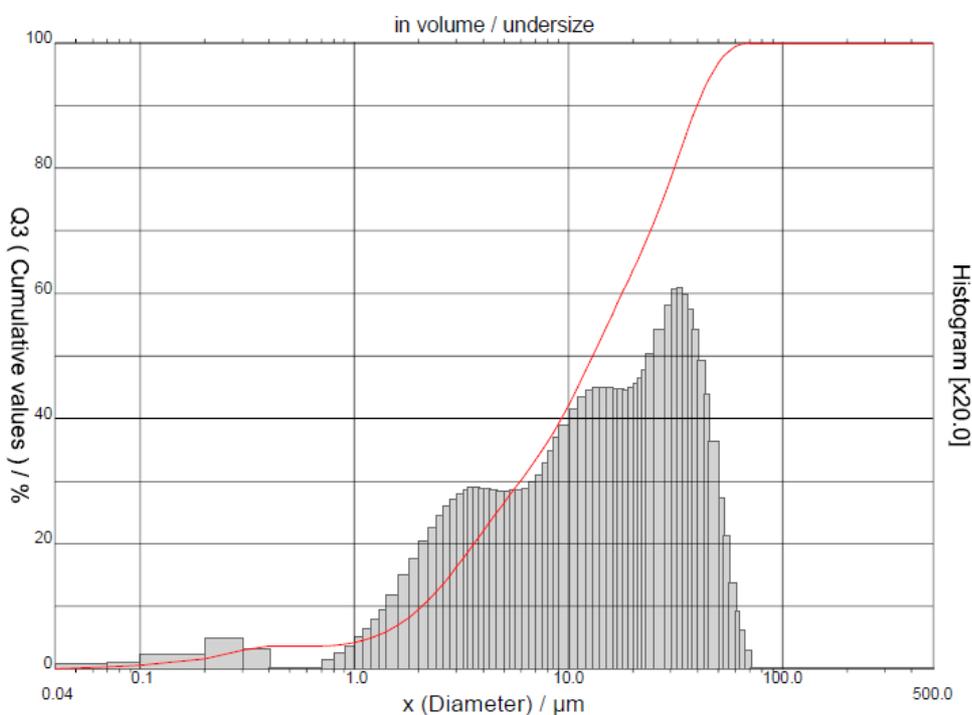


Figura 42 – Curva granulométrica da Cal hidráulica.

### 3.4.2 Agregado miúdo

A areia utilizada na preparação da argamassa injetável é do tipo silicosa, de cor amarela clara, de granulometria fina e foi previamente peneirada e separada em duas frações. A primeira fração com grãos que passam na peneira de 0,29mm e ficam retidos na peneira de 0,15mm e a segunda fração é composta pelos grãos que passam na peneira de 0,15mm. A quantidade de cada uma dessas frações a ser utilizada é função do traço que será realizado, explicitado no item 3.2.

### 3.4.3 Sílica de casca de arroz

A sílica de casca de arroz (SCA) usada nesta pesquisa é da marca Silcca Nobre, produzida pela Pilecco Nobre. Segundo o fabricante, consiste em sílica proveniente da queima da casca de arroz em sistema de combustão via leito fluidizado. Esta SCA é produzida no Rio Grande do Sul. A ficha técnica deste produto (ANEXO B) traz outras informações além das explicitadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Informações sobre a Silcca Nobre de acordo com o fabricante.

<b>Propriedades químicas</b>	<b>Resultado</b>
Perda ao fogo (%)	<3,5
Umidade (%)	<3
Teor de sílica amorfa (%)	>95
Densidade aparente	>550
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,16
Coloração	Cinza claro

Fonte: <http://www.pilecconobre.com.br/doc/FichaTecnica.pdf>

A granulometria deste material foi estudada no mesmo laboratório que a cal hidráulica. O ensaio realizado num granulômetro CILÁS acusou um diâmetro médio de 16,03µm, diâmetro de 4,09µm a 10% e diâmetro de 42,13µm a 90%. A Figura 43 mostra a curva granulométrica da sílica de casca de arroz.

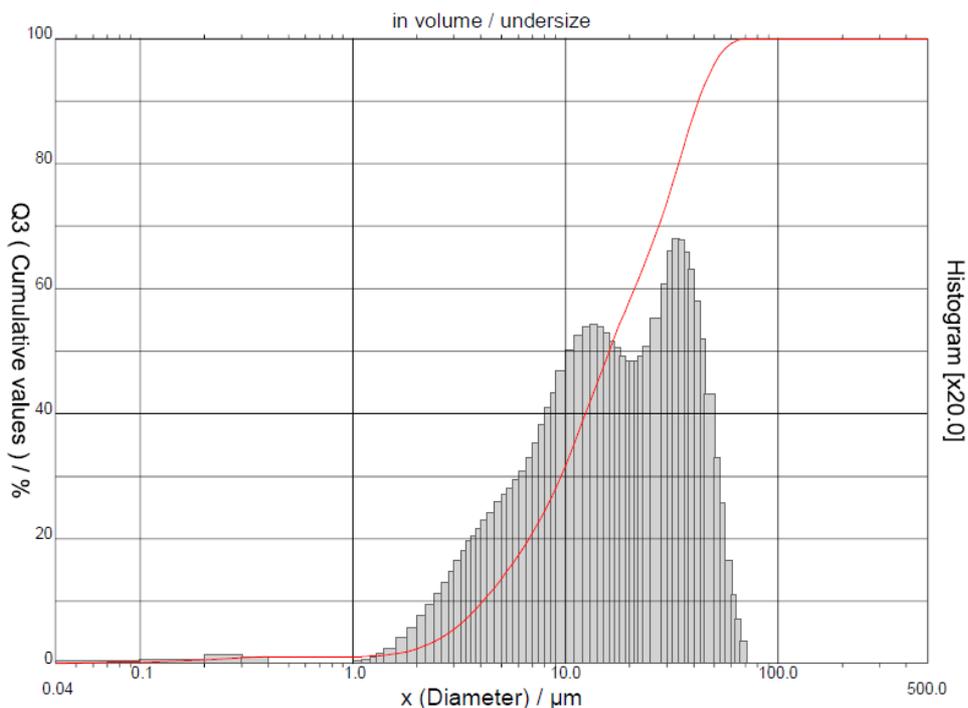


Figura 43 – Curva granulométrica da Sílica de Casca de Arroz.

#### 3.4.4 Aditivo super plastificante

De acordo com o fabricante, o superplastificante utilizado neste trabalho foi quimicamente projetado para alterar a fluidez de concretos, no entanto, o produto mostrou-se eficiente quanto utilizado em argamassas fluidas a base de cal hidráulica.

O produto denominado MC-PowerFlow 4000 consiste em um superplastificante sintético de polímeros policarboxilatos, o fabricante é a MC-Bauchemie. O resumo das principais características e dados técnicos podem ser verificados na Tabela 16.

Tabela 16 – Características gerais do superplastificante de acordo com a MC-Bauchemie.

<b>Característica</b>	<b>unidade</b>	<b>valor</b>	<b>observações</b>
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	1,12	
Dosagem recomendada	%	0,2 a 0,5	Sobre o peso de cimento
<b>Outras características</b>			
Estado	Líquido		
Cor	Marrom		
validade	12 meses a partir da data de fabricação		
Embalagens	Tambor de 210kg ou granel		

Fonte: MC-Bauchemie, 2015. Disponível em <<http://www.mc-bauchemie.com.br/wp-content/uploads/2013/12/mc-powerflow-4000-11-2015.pdf>>, acesso em 06/10/2016.

### **3.5 Formulação e validação das argamassas**

A mistura das argamassas foi realizada da seguinte forma: os materiais foram adicionados no balde metálico da argamassadeira e misturados a seco, manualmente por dois minutos. Em seguida foi adicionada a quantidade de água determinada no traço e novamente a mistura foi agitada manualmente por mais dois minutos. Em seguida o balde foi colocado na argamassadeira e a mistura foi agitada mecanicamente, na velocidade baixa por mais quatro minutos.

#### **3.5.1 Caracterização das argamassas injetáveis no estado fresco**

As variáveis dependentes, ou variáveis de resposta avaliadas são as seguintes:

1. diâmetro de espalhamento no ensaio de mini slump-test (EFNARC, 2002);
2. análise visual da borda e da segregação da argamassa escoada no ensaio de mini slump-test;
3. tempo de escoamento no funil de Marsh adaptado da NBR 7681-2, 2013.
4. exsudação, através de ensaio de campo conforme sugerido em Biçer-Şimşir e Rainer (2013);

### Diâmetro e característica da borda no espalhamento com mini-slump

Na literatura sobre concretos ou argamassas autoadensáveis, o mini Slump-Test, juntamente com o mini funil V são usados para o ajuste dos teores de material fino, da relação água/cimento e do teor de aditivo usado na mistura. Todavia, não há parâmetros a serem adotados nestes ensaios em relação ao estudo de argamassas injetáveis à base de cal hidráulica. Supõe-se, no entanto, que quanto mais fluida for a argamassa, maior será sua capacidade de ser injetada através de um orifício e preencher os vazios no interior de revestimento.

Neste sentido, o mini Slump-test foi utilizado visando identificar-se o máximo espalhamento que uma argamassa fluida apresenta, sem que ocorra segregação dos componentes até 1 minuto após a execução do ensaio. Esta avaliação é feita através do comportamento da borda da argamassa espalhada, da seguinte forma:

As argamassas cuja circunferência de espalhamento apresenta-se desuniforme possuem tendência à segregação (Figura 44 a e b). Quanto à altura da borda, as argamassas que formam bordas mais baixas também possuem maior tendência à segregação (Figura 45 a e b) (MARTINS, 2009).

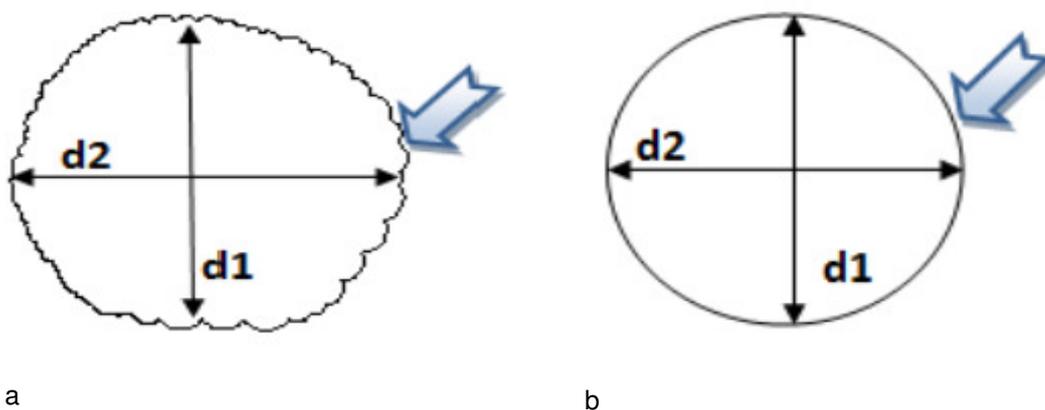


Figura 44 – (a) Circunferência de espalhamento com borda desuniforme; (b) Circunferência de espalhamento com borda uniforme.

Fonte: Adaptado de MARTINS, 2009.

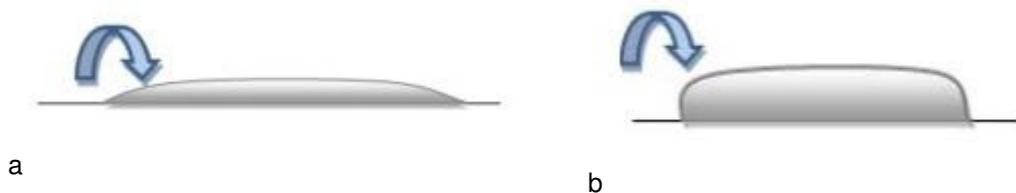


Figura 45 – (a) Espalhamento com baixa espessura; (b) Espalhamento com espessura alta.

Fonte: Adaptado de MARTINS, 2009.

As imagens “a” e “b” da Figura 46 mostram respectivamente uma borda baixa, com alta segregação, verificada pela falta de uniformidade da borda da argamassa espalhada. E uma argamassa sem segregação, com a borda arredondada e alta, sem água livre no limite da borda da argamassa ensaiada.

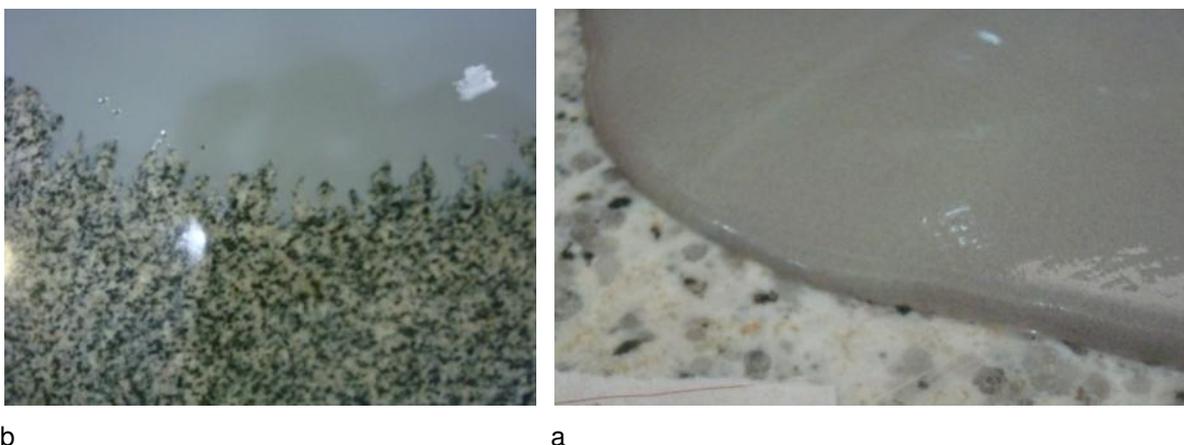


Figura 46 – (a) Argamassa aditivada apresentando segregação. Percebe-se a irregularidade da borda; (b) Argamassa sem segregação, não há água livre na borda da argamassa escorrida.

### **Tempo de escoamento no funil de Marsh – adaptado da NBR 7681-2 (2013)**

Esta norma consiste no procedimento para determinação do índice de fluidez de caldas de cimento para injeção. Como as primeiras 27 formulações de argamassa injetável a serem estudadas possuem alta fluidez, o que não provoca o gotejamento no final do ensaio, optou-se por anotar o tempo que os 2 litros de argamassa levam para atravessar o funil. Desta forma, preenche-se completamente o funil com o orifício inferior vedado com o dedo, em seguida abre-se orifício e anota-se o tempo que todo o volume do líquido leva para escorrer através do funil (imagens a e b da Figura 47). Nos ensaios das

argamassas aditivadas o tempo foi medido até que o gotejamento alcançasse o orifício inferior do equipamento.



a



b

Figura 47 – (a) Funil de Marsh montado para ensaio; (b) Funil de Marsh sendo preenchido com argamassa fluida.

### Exsudação

A exsudação da água da mistura foi medida de acordo com o ensaio proposto no manual para avaliação de argamassas injetáveis à base de cal hidráulica para restauração do Getty Conservation Institute (BIÇER-ŞİMŞİR e RAINER, 2011).

O ensaio consiste em se colocar 80ml da argamassa líquida numa proveta graduada de 100ml e observar a água exsudada em intervalos de 15 minutos durante a primeira hora e em intervalos de uma hora até que não se perceba alteração do resultado.



Figura 48 – Ensaio para medir a exsudação.

### 3.5.2 Caracterização das argamassas injetáveis no estado endurecido

As variáveis dependentes, ou variáveis de resposta avaliadas são as seguintes:

1. retração, medida de forma qualitativa através da aferição das dimensões finais do corpo de prova prismático aos 28 dias.
2. módulo de elasticidade dinâmico. NBR 15630 (ABNT, 2008);
3. resistência mecânica – tração na flexão e compressão. NBR 13279 (ABNT, 2005);
4. índice de absorção de água por capilaridade adaptado da NBR 15259 (ABNT, 2005);
5. resistência de aderência a tração. Adaptado da NBR 13528 (ABNT, 2005).

Os ensaios que não puderam ser realizados nos padrões da norma estão explicitados a seguir:

#### **Retração**

O ensaio consiste na aferição das dimensões finais do corpo de prova prismático moldado em forma de 40mm (+ ou – 0,5mm) de altura e espessura e 160, (+ ou – 0,5mm) de comprimento. A moldagem do CP se deu de acordo com a NBR 13270 (ABNT 2005), exceto em relação ao tempo em que a argamassa

deve permanecer na forma, que, por tratar-se de argamassas muito fluidas, este tempo precisou ser maior. Optou-se por manter os CPs nas formas por 7 dias e aferir as medidas aos 28 dias.

### **Índice de absorção de água por capilaridade**

Na primeira e na segunda fase do procedimento experimental o ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005), no entanto, em metade de um CP. Trata-se de metade do CP que se rompe a partir do ensaio de resistência à tração na flexão. Para aferição da argamassa similar (1ª fase) isto não se mostrou um problema, visto que este tipo de argamassa possui baixa absorção. No entanto, para as argamassas da segunda fase, toda esta metade do CP encharcou de água, possivelmente mascarando o resultado da massa de água absorvida aos 90 minutos.

Na terceira fase todo o procedimento foi feito conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), inclusive repetindo-se o ensaio para a argamassa não aditivada que foi selecionada através do AHP.

### **Resistência de aderência à tração**

Para que o ensaio da resistência de aderência à tração fosse realizado de forma mais próxima da norma, procurou-se simular a injeção da argamassa através de um revestimento que poderia ter se desprendido da alvenaria. Para isto foi executada uma parede de tijolos maciços assentados com argamassa de pasta de cal aérea e areia média no traço 1:3. Sobre essa parede foram fixadas as placas de argamassa que simulam um reboco desprendido. A moldagem dessas placas foi descrita no item 3.2.

Em cada placa foram fixadas tiras de Etil Vinil Acetato (E.V.A.) com cola de silicone. As tiras foram fixadas de forma a vedar as laterais e o fundo das placas, conforme ilustra a Figura 49 “a”. O E.V.A. das placas foi colado diretamente sobre a alvenaria com cola de silicone (Figura 49 “b”), desta forma, criou-se um vão entre a alvenaria e a placa. Através do vão foi injetada a argamassa consolidante (Figura 49 “c”).

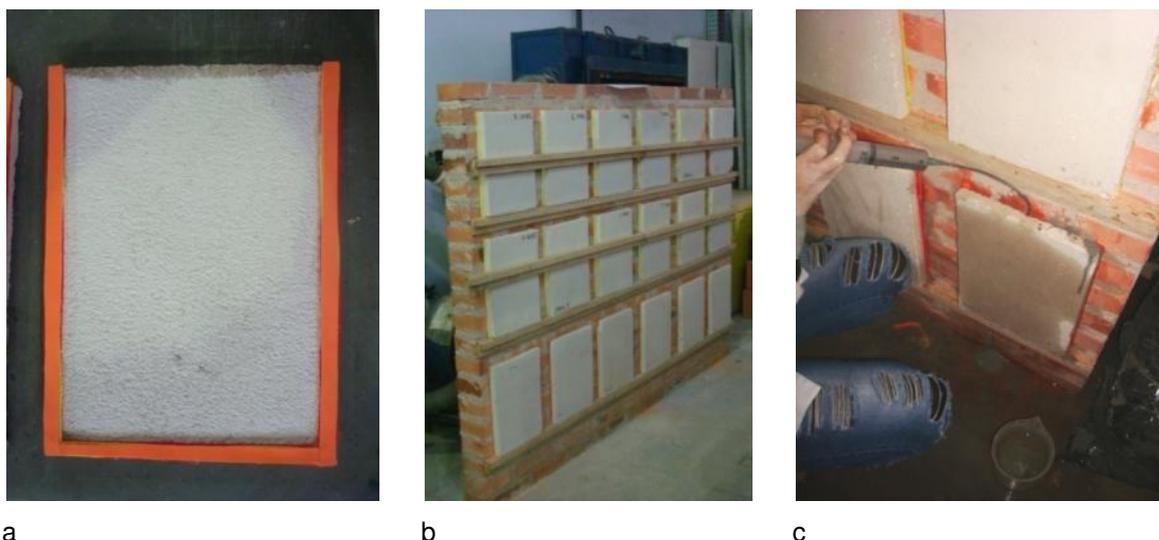


Figura 49 – (a) Placa de argamassa de cal e areia com bordas de tiras de E.V.A.; (b) Placas fixadas em parede de alvenaria de tijolos maciços; (c) Injeção da argamassa fluida no espaço entre a placa e alvenaria.

Antes da injeção da argamassa fluida, o vão entre a placa e a alvenaria de tijolos foi molhado lentamente com 2 litros de água. As argamassas injetáveis, elaboradas com cal hidráulica tiveram 28 dias de tempo de cura. Aos 27 dias as placas foram cortadas e as pastilhas para fixação do aderímetro foram coladas com adesivo plástico, Figura 50 “a” e “b”. As placas de argamassa de cal aérea tiveram 295 a 302 dias de cura entre sua confecção e a execução do ensaio. Entre a execução da alvenaria de tijolos maciços e a execução do primeiro ensaio de aderência transcorreram 204 dias e entre a execução da alvenaria e a execução do último ensaio de aderência transcorreram 274 dias.

O ensaio de resistência de aderência das argamassas injetáveis foi executado apenas para a argamassa escolhida no final da segunda fase (sem aditivo) e para as argamassas aprimoradas durante a terceira fase (com teores diferentes de aditivo).

Cada placa dispõe de espaço para o corte de até 6 corpos de prova. Cada argamassa foi injetada em até 3 placas, totalizando 18 CPs para a realização dos ensaios de cada argamassa injetável (Figura 51 “a” e “b”).

**COLOCAR NUMERO DE ARGAMSSAS**



a

b

Figura 50 – (a) Corte das placas com serra - copo; (b) Colagem das pastilhas sobre os cortes nas placas.



a

b

Figura 51 – (a) Ensaio sendo realizado com aderímetro fixado à pastilha; (b) Aspecto da placa que teve rotura coesiva.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Fase 1 – Estudo do revestimento original – fase retrospectiva

A Tabela 17 e a Tabela 18 resumem os resultados do ensaio de determinação dos traços das argamassas originais. É importante evitar a comparação direta desses resultados com os traços tradicionais em volume (geralmente 1:2 e 1:3 de cal em pasta e areia), uma vez que o aglomerante dissolvido da amostra não estava na forma de pasta quando foram formulados, portanto esta comparação não é possível.

Tabela 17 – Resultados do ensaio de determinação de traço para as amostras oriundas do Casarão 08 da Praça Cel. Pedro Osório (C8).

<b>Amostras</b>	<b>Massa da amostra (g)</b>	<b>Massa da areia (g)</b>	<b>Aglomerante (g)</b>	<b>Aglomerante (%)</b>	<b>Agregado (%)</b>	<b>Traço em massa</b>
<b>C8 A I</b>	40,239	33,477	6,762	16,80	83,20	1:4,95
<b>C8 A II</b>	40,426	33,243	7,183	17,77	82,23	1:4,63
<b>C8 A III</b>	40,154	33,256	6,898	17,18	82,82	1:4,82
<b>C8 B I</b>	40,15	35,271	4,879	12,15	87,85	1:7,23
<b>C8 B II</b>	40,439	34,986	5,453	13,48	86,52	1:6,41
<b>C8 C I</b>	40,038	31,299	8,739	21,83	78,17	1:3,58
<b>C8 D I</b>	40,656	32,686	7,97	19,60	80,40	1:4,10
<b>C8 DII</b>	40,208	31,626	8,582	21,34	78,66	1:3,69

Fonte: da autora, 2015.

Tabela 18 – Resultados do ensaio de determinação de traço para as amostras oriundas das casas localizadas na Rua Marechal Floriano 10 (FLO 10) e Marechal Floriano 59 (FLO 59).

<b>Amostras</b>	<b>Massa da amostra (g)</b>	<b>Massa da Areia (g)</b>	<b>Massa do Aglomerante (g)</b>	<b>Aglomerante (%)</b>	<b>Agregado (%)</b>	<b>Traço em massa</b>
<b>FLO 10 - I</b>	41,034	33,378	7,656	18,66	81,34	1:6
<b>FLO 10 - II</b>	40,161	33,043	7,118	17,72	82,28	1:4,64
<b>FLO 10 -III</b>	40,291	34,215	6,076	15,08	84,92	1:5,63
<b>FLO 59 - ESQ</b>	41,021	33,84	7,181	17,51	82,49	1:4,71
<b>FLO 59 - DIR</b>	51,019	44,225	6,794	13,32	86,68	1:6,51

Fonte: da autora, 2015.

Os resultados obtidos mostram que no Casarão 8 ocorre uma variação significativa na quantidade de aglomerante, entre 12,15% (o traço mais pobre) e 21,83% (o traço mais rico), dependendo da localização da amostra. Porém, tal fato não se repete quando se analisa a quantidade de aglomerante nas diferentes camadas de amostras de uma mesma escaiola.

É importante frisar que nas obras antigas, o traço de argamassa era feito com pasta de cal e areia em volume, não em peso, o que dificulta uma comparação direta entre os resultados. A maior dificuldade se dá em razão da cal ter sido usada na forma de pasta, sem que se saiba a quantidade de água incorporada na mistura, impossibilitando a comparação do volume com o peso.

Os próximos gráficos resumem os resultados do ensaio de granulometria das areias utilizadas nas argamassas de regularização das escaiolas.

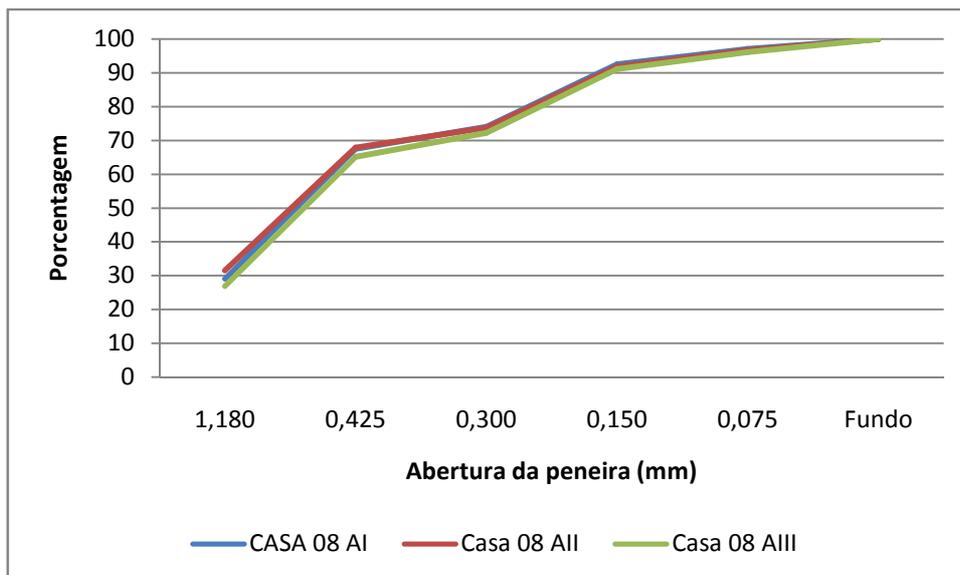


Figura 52 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento da amostra C8A.

Fonte: da autora, 2015.

De acordo com o gráfico da (Figura 52), percebe-se que a mesma areia foi utilizada na elaboração das três camadas de nivelamento das escaiolas do vestíbulo principal. O mesmo aconteceu com o traço, que não apresentou variação significativa de acordo com a Tabela 17.

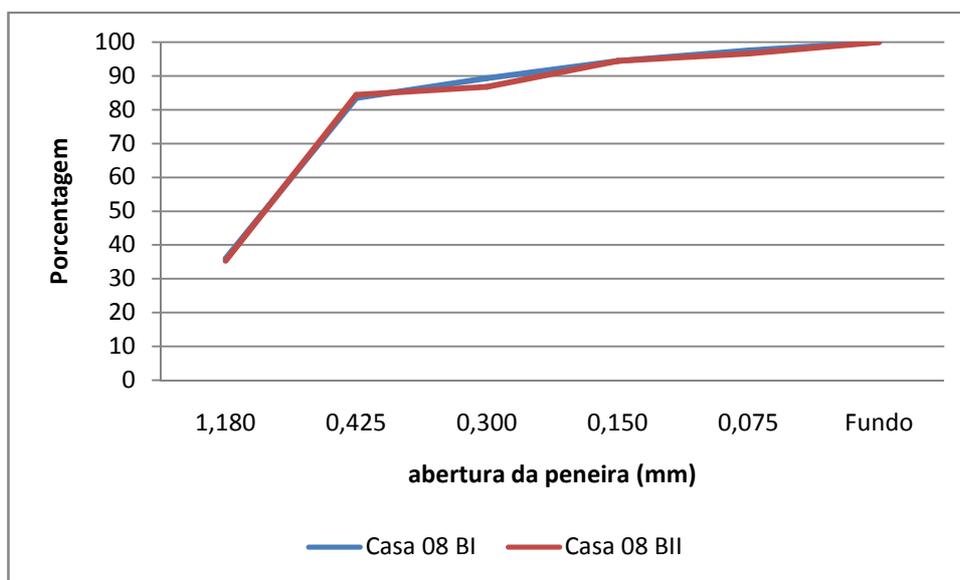


Figura 53 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento da amostra C8B.

Fonte: da autora, 2015.

As duas camadas estudadas na amostra C8B (vestíbulo secundário, voltado para a Rua Barão de Butuí), observadas na Figura 53, também não apresentaram diferenças granulométricas significativas, mostrando que se trata da mesma areia nas duas camadas. A diferença no traço observado nas duas camadas é de pouco mais de 1% (C8BI, C8BII da Tabela 17).

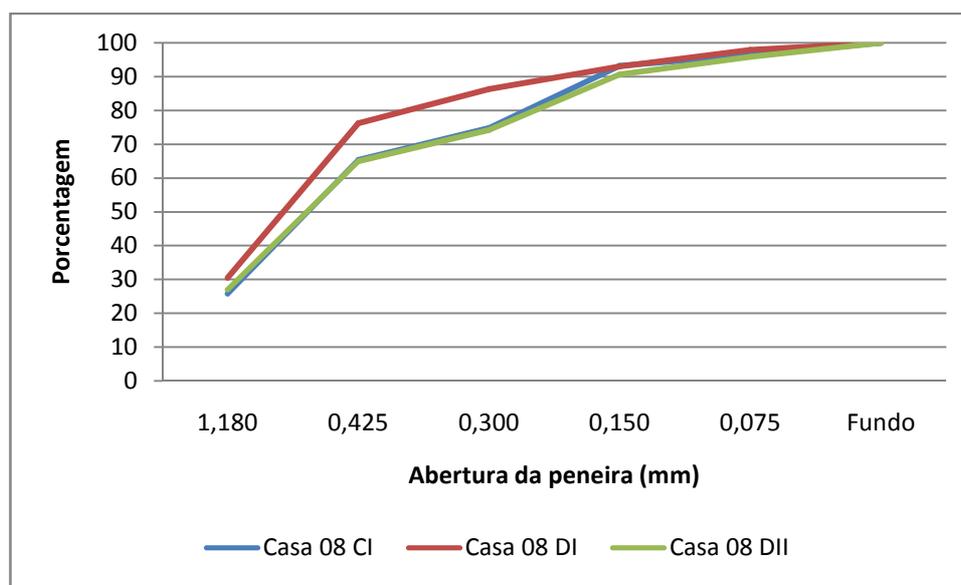


Figura 54 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento das amostras C8C e C8D.

Fonte: da autora, 2015.

As amostras C8C e C8D eram provenientes do mesmo ambiente, portanto foram analisadas em conjunto e seu resultado da granulometria pode ser observado no gráfico da Figura 54. Na amostra C8CI foi possível a identificação de apenas uma camada de regularização. Na amostra C8D, identificaram-se duas camadas (C8DI e C8DII).

A curva granulométrica da única camada de regularização da amostra C8C coincide com a curva granulométrica da camada II da amostra C8D (C8DII), ligeiramente mais fina que a curva granulométrica da sua primeira camada.

Entre as amostras provenientes do casarão 8, as amostras C8DI e C8DII foram as únicas que apresentaram diferença de granulometria entre camadas de regularização do revestimento em escaiola.

O mesmo ocorre com o traço, como se pode perceber através da Tabela 17. Os traços das amostras que possuem mesma granulometria (C8CI e C8DII) possuem apenas 0,49% de diferença. Com relação à diferença apresentada no traço das camadas C8DI e C8DII (diferença de 1,74%), supõe-se que se trate de um reflexo da granulometria da areia. O traço, na obra, geralmente é dosado em volume, um dado volume de uma areia fina tem mais massa que o mesmo volume de areia mais grossa.

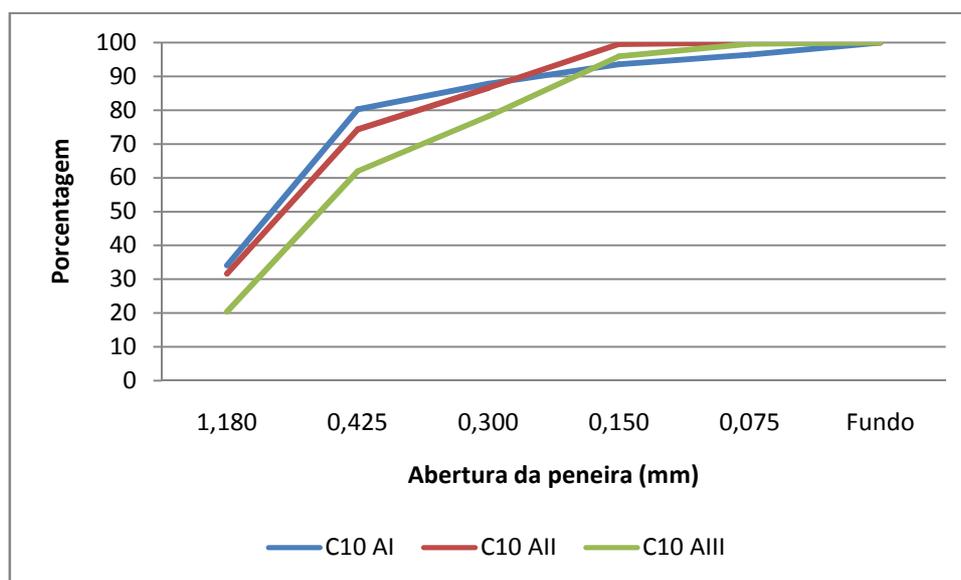


Figura 55 – Curva granulométrica das areias das diferentes camadas de argamassas de nivelamento das amostras C10 AI, C10 AII e C10 AIII.

Fonte: da autora, 2015.

A amostra da casa localizada na Rua Marechal Floriano Peixoto, número 10 apresentou diferença em relação à granulometria das areias em todas as três camadas estudadas. Através do gráfico da Figura 55 percebe-se que a granulometria torna-se ligeiramente mais fina conforme se aplicam novas camadas de regularização. Também se percebe de acordo com a Tabela 18, o traço ligeiramente mais pobre em relação à camada anterior. Como em outros casos já citados, possivelmente seja um reflexo da granulometria mais fina dosada em volume refletida na análise do traço, feita em massa.

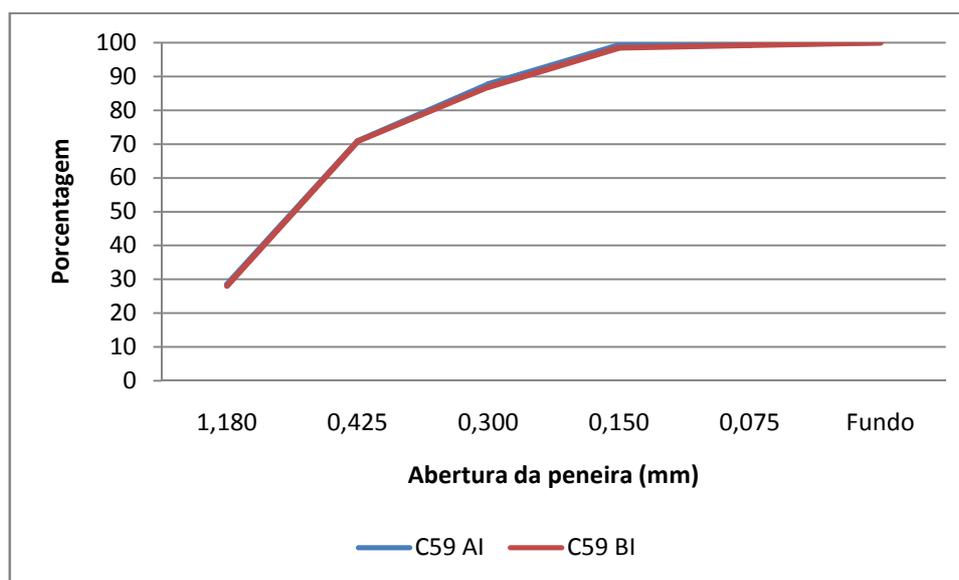


Figura 56 – Curva granulométrica das areias usadas nas argamassas das camadas de nivelamento das amostras de escaiola da casa localizada na Rua Marechal Floriano, 59.

Fonte: da autora, 2015.

As duas últimas amostras analisadas referem-se ao lado esquerdo e ao lado direito do vestíbulo da casa localizada na Rua Marechal Floriano Peixoto, número 59 (Figura 56). Percebeu-se apenas uma camada de regularização nas pequenas amostras utilizadas no ensaio. As duas amostras apresentaram o mesmo resultado em relação à granulometria, comprovando que a mesma areia foi utilizada para revestir as duas paredes do revestimento. No entanto, o resultado do traço apresentou uma diferença de mais de 4% entre as proporções de ligante-agregado analisadas.

É possível identificarem-se, nos resultados, semelhanças em relação às areias e traços utilizados. No entanto, não há constância em relação ao número de camadas de regularização utilizadas antes da aplicação do marmorino.

Com relação ao número de camadas apresentadas pelas amostras, das sete amostras analisadas, duas (C8A e C10A) apresentaram três camadas de regularização, duas (C8B e C8D) apresentaram duas camadas e três amostras (C8D, C59A e C59B) apresentaram uma única camada, demonstrando que, de certa forma, não teria havido, nestes casos, a preocupação em seguir algum critério em relação à aplicação de camadas de regularização antes da aplicação do acabamento em escaiola.

Por fim, com relação à granulometria do agregado utilizado, percebeu-se que em apenas duas amostras observadas (C10A e C8D) houve diferença em relação às camadas aplicadas de uma mesma amostra. Nas duas amostras citadas é possível identificar que a areia utilizada na camada seguinte é mais fina que a areia da camada anterior.

#### 4.2 Fase 1 – Estudo do revestimento similar – fase prospectiva

A Tabela 19, a Tabela 20 e a Tabela 21 apresentam, respectivamente, os resultados da análise de retração, resistência a compressão, resistência à tração na flexão, densidade de massa, módulo de elasticidade, absorção e coeficiente de capilaridade da argamassa similar à original.

Tabela 19 – Resultados das retrações médias observadas na altura, largura, comprimento e volume da argamassa original reconstituída.

<b>RMA</b> <b>(%)</b>	<b>CV</b> <b>(%)</b>	<b>RML</b> <b>(%)</b>	<b>CV</b> <b>(%)</b>	<b>RMC</b> <b>(%)</b>	<b>CV</b> <b>(%)</b>	<b>RMV</b> <b>(%)</b>	<b>CV</b> <b>(%)</b>
1,27	0,58	1,47	0,88	1,23	0,35	3,91	1,10

RMA: retração média na altura; CV: coeficiente de variação; RML: retração média na largura; RMC: retração média no comprimento; RMV: retração média no volume.

Tabela 20 – Resultados da resistência a compressão, resistência a tração, densidade de massa e módulo de elasticidade da argamassa original reconstituída.

<b>Resistência</b> <b>Compressão (MPa)</b>		<b>Resistência</b> <b>tração (Mpa)</b>		<b>Densidade de</b> <b>massa (g/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Módulo de</b> <b>elasticidade (Gpa)</b>	
Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)
0,69	9,09	0,48	15,61	1,76	0,76	4,80	5,07

Tabela 21 – Resultados da absorção e coeficiente de capilaridade da argamassa original reconstituída

<b>Absorção média</b> <b>10 minutos</b>		<b>Absorção média</b> <b>90 minutos</b>		<b>Coeficiente de</b> <b>capilaridade</b>	
Vlr (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	Vlr (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	Vlr (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	CV (%)
0,48	9,25	1,25	9,72	12,35	13,25

### 4.3 Fase 2 – Argamassa injetável – avaliação das características no estado fresco e influência dos componentes da mistura

Com objetivo de compreender melhor a interferência dos componentes das misturas no comportamento reológico de argamassa, analisou-se, inicialmente, o tempo de escoamento pelo funil de Marsh, o diâmetro do espalhamento e a característica da borda do líquido espalhado por mini slump-test, na Tabela 22 também está anotado o resultado do ensaio de exsudação.

Tabela 22 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com Pr= 0,94.

	Tempo (s)	Diâmetro1 (cm)	Diâmetro2 (cm)	D médio (cm)	Borda	Coessão	Exsudação (%)
CA_0.94_45	15,7	36	36	36	Uniforme	Sim	8,13
CA_0.94_50	11,3	38,5	37,5	38	Uniforme	Não	10,63
CA_0.94_55	12,8	39,7	41	40,35	Uniforme	Não	15,00
CAS5_0.94_45	15,9	34	33	33,5	Uniforme	Sim	7,50
CAS5_0.94_50	13,8	38	36,4	37,2	Uniforme	Sim	11,88
CAS5_0.94_55	12,7	44	44	44	Uniforme	Não	16,25
CAS10_0.94_45	16,7	31,5	33	32,25	Uniforme	Sim	6,25
CAS10_0.94_50	13,7	38,5	38,7	38,6	Uniforme	Sim	11,25
CAS10_0.94_55	13	42,4	42,3	42,35	Uniforme	Não	17,50

Tabela 23 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com Pr= 0,96.

	Tempo (s)	Diâmetro 1(cm)	Diâmetro 2(cm)	D médio (cm)	Borda	Coessão	Exsudação (%)
CA_0.96_45	16,7	32,3	32	32,15	Uniforme	Sim	7,50
CA_0.96_50	14,3	37	36,5	36,75	Uniforme	Sim	10,00
CA_0.96_55	13,1	38,5	41	39,75	Uniforme	Não	16,25
CAS5_0.96_45	16,9	32,3	32,2	32,25	Uniforme	Sim	7,50
CAS5_0.96_50	14,7	36,6	36,8	36,7	Uniforme	Sim	11,88
CAS5_0.96_55	12,8	40,3	41,3	40,8	Uniforme	Não	15,00
CAS10_0.96_45	18,5	31,2	31,5	31,35	Uniforme	Sim	7,50
CAS10_0.96_50	14,9	36,8	37	36,9	Uniforme	Não	11,25
CAS10_0.96_55	13,2	40,5	41	40,75	Uniforme	Não	15,00

Tabela 24 – Resultados da análise da borda, diâmetro de espalhamento no mini Slump-test e exsudação para traços gerados com Pr= 0,98.

	Tempo (s)	Diâmetro 1(cm)	Diâmetro 2(cm)	D médio (cm)	Borda	Coesão	Exsudação (%)
CA_0.98_45	20,4	31	30	30,5	Uniforme	Sim	6,25
CA_0.98_50	17,67	35	35,4	35,2	Uniforme	Sim	11,25
CA_0.98_55	15,84	38	37	37,5	Uniforme	Não	14,38
CAS5_0.98_45	22	27,5	27,5	27,5	Uniforme	Sim	6,25
CAS5_0.98_50	17,67	35,2	35,3	35,25	Uniforme	Sim	10,00
CAS5_0.98_55	16,38	38,9	39,3	39,1	Uniforme	Não	13,75
CAS10_0.98_45	24	27,8	27,5	27,65	Uniforme	Sim	6,25
CAS10_0.98_50	18,62	33,9	34,1	34	Uniforme	Sim	10,00
CAS10_0.98_55	16,38	40	39,8	39,9	Uniforme	Não	12,50

Ao observar-se o gráfico da Figura 57, é possível inferir que os traços e as diferentes quantidades de água usadas na mistura conferem diferentes resultados do espalhamento da argamassa no mini-slump.

A análise estatística, resumida na Tabela 25, mostra a interferência do traço e da relação água; material seco (a/ms) sobre o espalhamento, e mostra que, nestes ensaios as adições de SCA não interferem no espalhamento da argamassa.

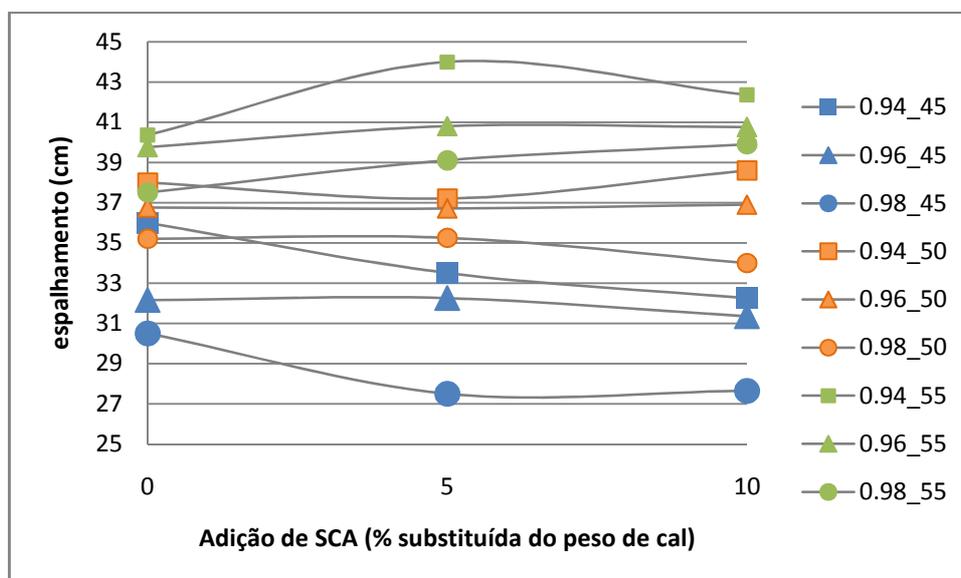


Figura 57– Influência das adições de SCA no espalhamento das argamassas injetáveis.

Tabela 25 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no espalhamento das argamassas injetáveis.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Traço	142,5	2	71,3	47,4	,000*	SIM
relação a/ms	738,7	2	369,3	245,8	0,000*	SIM
SCA	,9	2	,5	,3	,736	NÃO
Erro	70,63	47	1,50			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

De acordo com o gráfico da Figura 58, as adições de SCA não parecem influenciar de forma significativa a exsudação das argamassas injetáveis, no entanto, a análise estatística confirma a interferência de todos os fatores no resultado deste ensaio (Tabela 26).

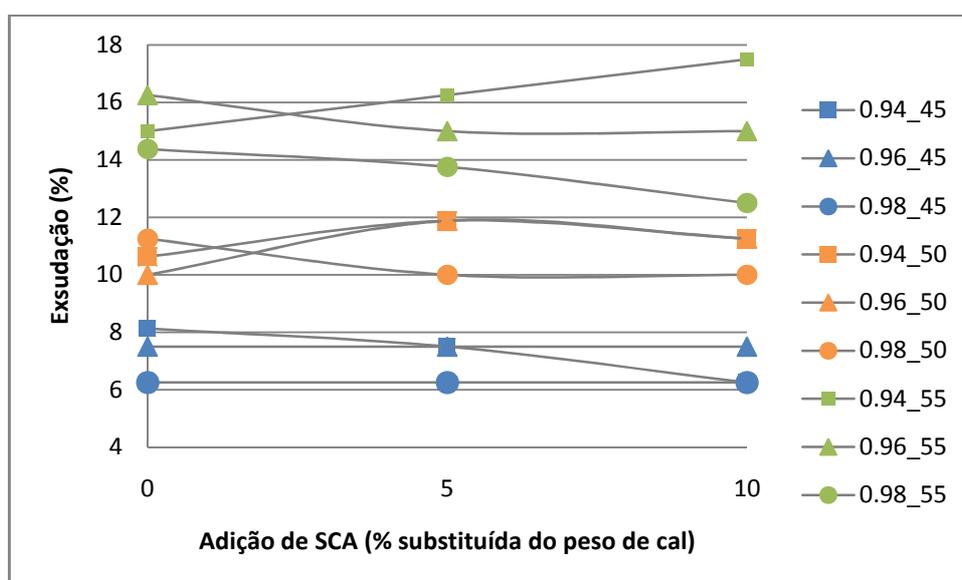


Figura 58 – Influência das adições de SCA na exsudação das argamassas injetáveis.

Tabela 26 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na exsudação das argamassas injetáveis.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Traço	8,2	2	4,1	6,5	,006*	SIM
relação a/ms	218,9	2	109,4	174,9	,000*	SIM
SCA	31,0	2	15,5	24,8	,000*	SIM
Erro	12,516	20	0,626			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

#### 4.4 Fase 2 – Argamassa injetável – Avaliação das características no estado endurecido

##### Retração

A Tabela 27, a Tabela 28 e a Tabela 29 apresentam os resultados das 27 formulações referentes às retrações médias na altura, na largura, no comprimento e no volume.

Tabela 27 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com Pr=0,94.

	RMA (%)	CV (%)	RML (%)	CV (%)	RMC (%)	CV (%)	RMV (%)	CV (%)
CA_0.94_45	6,06	0,55	1,48	0,83	0,58	0,44	7,98	0,72
CA_0.94_50	8,93	2,22	1,96	0,68	1,02	0,19	11,62	2,53
CA_0.94_55	17,39	2,93	3,19	1,97	1,38	0,55	21,13	4,34
CAS5_0.94_45	6,27	0,73	2,40	1,45	0,96	0,08	9,39	2,07
CAS5_0.94_50	10,58	0,75	3,25	0,40	0,79	0,27	14,16	0,08
CAS5_0.94_55	5,63		0,30		-0,63		5,32	
CAS10_0.94_45	10,13	1,14	1,04	1,92	-0,11	0,09	10,96	1,51
CAS10_0.94_50	14,28	0,62	0,10	0,41	-0,18	0,07	14,21	0,52
CAS10_0.94_55	18,13	2,29	0,11	1,13	0,08	0,13	18,29	2,56

RMA: retração média na altura; CV: coeficiente de variação; RML: retração média na largura; RMC: retração média no comprimento; RMV: retração média no volume.

Tabela 28 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com Pr=0,96.

	RMA (%)	CV (%)	RML (%)	CV (%)	RMC (%)	CV (%)	RMV (%)	CV (%)
CA_0.96_45	4,33	0,85	1,50	0,79	0,73	0,20	6,45	1,05
CA_0.96_50	7,60	1,36	1,48	0,99	0,28	0,15	9,22	2,41
CA_0.96_55	14,52	0,79	1,41	1,66	0,50	0,12	16,14	1,86
CAS5_0.96_45	5,94	1,65	2,26	0,53	0,37	0,34	8,41	1,71
CAS5_0.96_50	8,84	7,01	0,64	0,66	0,64	0,24	10,00	7,28
CAS5_0.96_55	15,11	1,06	1,31	0,44	0,16	0,43	16,36	1,00
CAS10_0.96_45	4,96	0,43	1,01	1,15	0,03	0,19	5,94	1,49
CAS10_0.96_50	6,26	0,60	1,52	1,33	1,11	0,26	8,71	1,51
CAS10_0.96_55	16,35	3,11	0,86	1,67	-0,33	0,11	16,80	4,83

RMA: retração média na altura; CV: coeficiente de variação; RML: retração média na largura; RMC: retração média no comprimento; RMV: retração média no volume.

Tabela 29 – Retração média da altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas injetáveis de traço gerado com  $Pr=0,98$ .

	RMA (%)	CV (%)	RML (%)	CV (%)	RMC (%)	CV (%)	RMV (%)	CV (%)
CA_0.98_45	7,90	0,36	2,08	0,81	0,47	0,13	10,24	0,13
CA_0.98_50	10,09	1,01	0,98	0,55	0,30	0,29	11,23	0,29
CA_0.98_55	12,04	2,51	0,37	0,55	0,84	0,16	13,10	0,16
CAS5_0.98_45	8,53	0,81	1,08	0,13	0,38	0,38	9,86	0,38
CAS5_0.98_50	8,55	1,13	1,76	2,39	0,52	0,11	10,63	0,11
CAS5_0.98_55	9,15	0,50	0,45	0,08	0,05	0,04	9,60	0,04
CAS10_0.98_45	6,94	1,65	0,80	0,64	0,04	0,06	7,72	0,06
CAS10_0.98_50	4,54	0,89	1,23	0,67	0,82	0,19	6,48	0,19
CAS10_0.98_55	9,05	2,75	1,88	2,55	-0,12	0,26	10,65	0,26

RMA: retração média na altura; CV: coeficiente de variação; RML: retração média na largura; RMC: retração média no comprimento; RMV: retração média no volume.

Ao analisarem-se separadamente os resultados da retração linear em cada uma das dimensões do CP, verifica-se uma retração mais significativa na altura. O gráfico da Figura 59 mostra como as alturas dos CPs sofreram mais retração do que as larguras. Quando a retração é avaliada no comprimento não se percebe variações significativas, de forma que a retração observada na altura foi atribuída e comparada com a exsudação que cada argamassa sofreu.

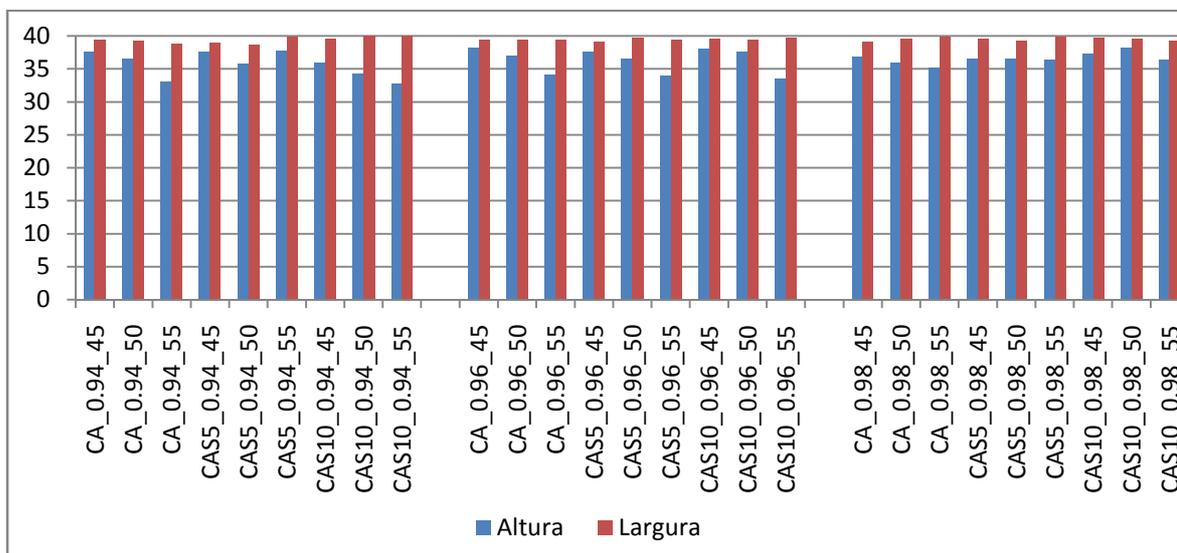


Figura 59 – Gráfico comparativo entre as alturas e as larguras finais dos CPs aos 28 dias.

Uma vez que a retração na altura foi atribuída à exsudação, optou-se por utilizar os valores de retração da largura e comprimento como parâmetros para

comparação de retração das argamassas injetáveis. O mesmo foi feito na tese de Tavares (2009, p. 319-320).

O resumo das análises estatísticas para verificação da influência do traço, da relação a/ms e das adições de SCA para as retrações na largura e comprimento estão dispostos na Tabela 30 e na Tabela 31.

Tabela 30 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na retração linear da largura das argamassas injetáveis.

	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Fator p</b>	<b>Significativo</b>
Traço	0,4	2	0,2	0,9	0,393942	NÃO
relação a/ms	0,3	2	0,2	0,7	0,493363	NÃO
SCA	1,3	2	0,6	2,8	0,067060	NÃO
Erro	15,1	68	0,2			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

Tabela 31 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na retração linear do comprimento das argamassas injetáveis.

	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Fator p</b>	<b>Significativo</b>
Traço	1	2	0	1	0,500445	NÃO
relação a/ms	3	2	1	3	0,063247	NÃO
SCA	9	2	5	9	0,000278	SIM
Erro	33	68	0			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

### **Módulo de elasticidade, resistência à compressão e tração na flexão e coeficiente de capilaridade**

A Tabela 32, a Tabela 33 e a Tabela 34, apresentam os resultados obtidos para módulo de elasticidade dinâmico médio, resistência à compressão média, resistência à tração na flexão média e coeficiente de capilaridade médio dos três corpos de prova avaliados em cada uma das 27 formulações.

Os resultados assinalados em vermelho são aqueles que estão dentro dos parâmetros de desempenho estabelecidos pela Tabela 1, p. 84.

O módulo de elasticidade dinâmico precisa estar entre 100% e 80% do valor da argamassa similar, ou seja, entre 4,80GPa e 3,84GPa.

Os valores de resistência à compressão precisam estar entre 100% e 60% do valor da resistência à compressão da argamassa similar, ou seja, entre 0,69MPa e 0,41MPa.

Os valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade precisam estar entre 100% e 50% do valor do coeficiente de capilaridade da argamassa similar, ou seja, entre  $12,35\text{Kg/m}^2.\text{min}^{1/2}$  e  $8,18\text{Kg/m}^2.\text{min}^{1/2}$ . Nenhuma argamassa atingiu este parâmetro. Embora a Tabela 1 não faça referência à resistência à tração, anotaram-se, também, os resultados desta característica que obtiveram valores entre 100 e 60% do valor da resistência à tração na flexão da argamassa similar, ou seja, valores entre 0,48MPa e 0,29MPa.

Tabela 32 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,94.

	E m (GPa)		RC m (MPa)		RT m (MPa)		CC m (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	
	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)
CA_0.94_45	2,92	1,90	0,67	8,30			27,84	
CA_0.94_50	2,36	7,80	0,49	36,90	0,26		24,08	4,12
CA_0.94_55	2,96	3,21	0,59	33,85	0,34	13,48	19,62	61,55
CAS5_0.94_45	3,29	6,17	0,98	19,16	0,53	8,80	23,31	11,45
CAS5_0.94_50	3,07	1,37	0,77	11,73	0,41	8,13	22,32	28,41
CAS5_0.94_55	1,91		0,66		0,28		24,95	
CAS10_0.94_45	3,11	6,38	1,35	7,05	0,79	27,36	18,61	5,14
CAS10_0.94_50	2,80	2,73	1,46	6,55	0,67	16,53	17,32	8,43
CAS10_0.94_55	2,89	9,06	1,69	7,41	0,62	25,10	18,30	1,49

E m: Módulo de elasticidade dinâmico médio; RC m: Resistência à compressão média; RT m: Resistência à tração média; CC m: Coeficiente de capilaridade médio; vlr: valor; CV: coeficiente de variação.

Tabela 33 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,96.

	E m (GPa)		RC m (Mpa)		RT m (Mpa)		CC m (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	
	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)
CA_0.96_45	3,32	3,02	1,23	11,74	1,00	0,62	25,16	2,77
CA_0.96_50	2,65	2,06	0,65	86,62	0,74	53,01	19,93	9,23
CA_0.96_55	2,19	10,92	0,83	17,32	0,38	37,75	22,11	11,48
CAS5_0.96_45	4,43	6,56	1,75	12,88	1,14	11,62	22,29	2,89
CAS5_0.96_50	1,86	12,39	0,62	5,75	0,14	37,81	24,14	18,69
CAS5_0.96_55	3,08	5,27	1,27	5,68	0,41	48,42	17,49	9,22
CAS10_0.96_45	1,68	78,54	1,33	16,46	0,64	72,78	20,38	20,16
CAS10_0.96_50	4,08	8,01	1,71	9,21	0,89	33,05	20,75	17,65
CAS10_0.96_55	3,20	8,67	1,33	2,71	0,53	43,85	18,37	11,63

E m: Módulo de elasticidade dinâmico médio; RC m: Resistência à compressão média; RT m: Resistência à tração média; CC m: Coeficiente de capilaridade médio; vlr: valor; CV: coeficiente de variação.

Tabela 34 – Valores de retração, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração e coeficiente de capilaridade das argamassas geradas com Pr=0,98.

	E m (GPa)		RC m (Mpa)		RT m (Mpa)		CC m (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>½</sup> )	
	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)
CA_0.98_45	3,45	7,30	1,00	27,24	0,52	21,06	26,67	4,90
CA_0.98_50	3,15	3,12	1,04	3,46	0,50	12,39	27,34	3,64
CA_0.98_55	2,13	4,61	0,67	39,03	0,41	12,00	24,31	9,37
CAS5_0.98_45	2,81	28,31	1,15	26,91	0,58	17,34	24,65	0,87
CAS5_0.98_50	3,01	7,55	1,00	6,25	0,66	10,71	30,50	15,01
CAS5_0.98_55	2,34	7,80	0,90	10,66	0,43	19,80	23,40	16,31
CAS10_0.98_45	2,62	40,53	1,10	6,54	0,56	71,74	22,00	10,14
CAS10_0.98_50	2,93	6,76	0,98	3,59	0,39	46,14	22,61	13,71
CAS10_0.98_55	3,12	0,29	1,00	6,16	0,45	21,56	26,03	25,66

E m: Módulo de elasticidade dinâmico médio; RC m: Resistência à compressão média; RT m: Resistência à tração média; CC m: Coeficiente de capilaridade médio; vlr: valor; CV: coeficiente de variação.

Percebe-se que as adições de SCA não provocaram alteração perceptível ou constante em relação ao módulo de elasticidade das argamassas injetáveis estudadas (Figura 60). O resumo da análise estatística dos resultados confirma que as variações de traço e as adições de SCA nas proporções estudadas não interferem no módulo de elasticidade das amostras (Tabela 35).

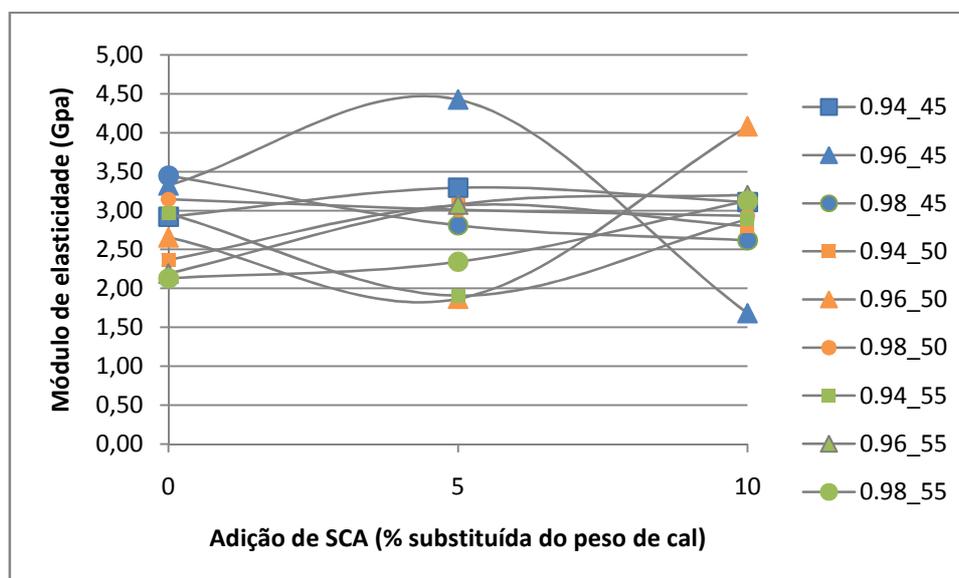


Figura 60 – Influência das adições de SCA no módulo de elasticidade das argamassas injetáveis.

Tabela 35 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no módulo de elasticidade das argamassas injetáveis.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Traço	1,055	2	,528	1,745	,182	NÃO
relação a/ms	4,884	2	2,442	8,078	,001*	SIM
SCA	1,484	2	,742	2,454	,094	NÃO
Erro	20,2552	67	0,3023			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

Com relação à resistência à compressão, quando se observam os resultados de acordo com a amplitude de resistências obtidas com o ensaio, parece haver um ligeiro aumento da resistência à compressão nas argamassas injetáveis que receberam 10% de adição de SAC em substituição de cal hidráulica (Figura 61

Figura 61). A amplitude de resultados para argamassas que não tiveram adições de SCA é de 0,49MPa a 1,23MPa, enquanto a amplitude dos resultados de resistência à compressão para as argamassas que tiveram adições de 10% de SCA é de 0,98MPa a 1,71MPa. Estatisticamente, se comprovam as interferências do traço e das adições de sílica nos resultados das resistências mecânicas (Tabela 36).

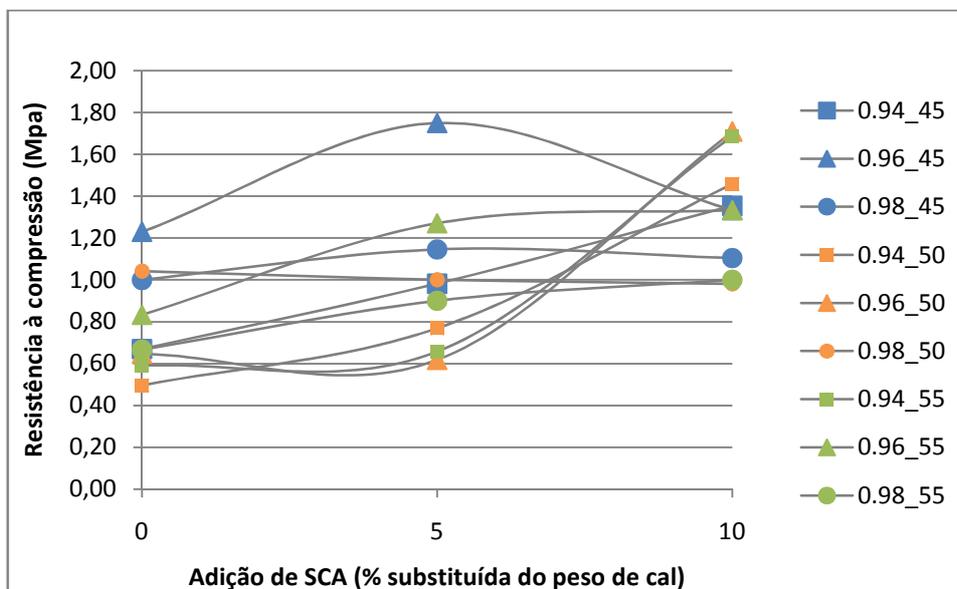


Figura 61 – Influência das adições de SCA na resistência à compressão das argamassas injetáveis.

Tabela 36 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na resistência à compressão das argamassas injetáveis.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Traço	,998	2	,499	6,52	,003*	SIM
relação a/ms	,463	2	,231	3,02	,055	NÃO
SCA	3,182	2	1,591	20,79	,000*	SIM
Erro	5,35592	70	0,07651			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

Embora o gráfico da Figura 62 mostre uma ligeira tendência ao aumento da resistência à tração com a adição de 10% de SCA em substituição da massa de cal hidráulica, a análise estatística mostra que apenas o traço e a relação a/ms influenciam os resultados desta análise (Tabela 37).

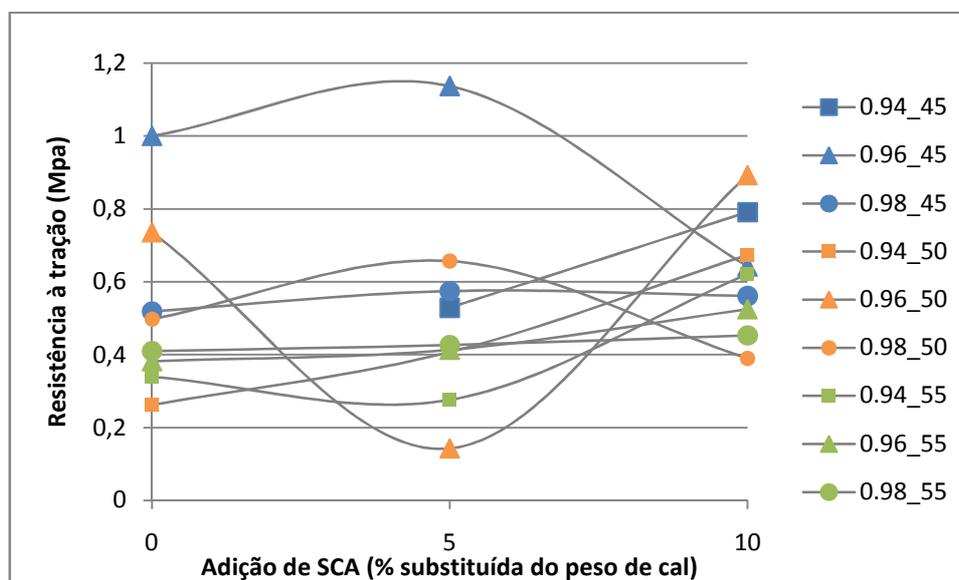


Figura 62 – Influência das adições de SCA na resistência à tração das argamassas injetáveis.

Tabela 37 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA na resistência à tração das argamassas injetáveis.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Traço	,370	2	,185	3,299	,043*	SIM
relação a/ms	1,053	2	,527	9,400	,000*	SIM
SCA	,149	2	,075	1,332	,271	NÃO
Erro	3,52939	63	0,05602			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

Ao compararem-se os coeficientes de capilaridade das argamassas injetáveis sem adições de SCA com os das argamassas com adições de 5% de

SCA percebem-se resultados pouco consistentes. Há casos em que as adições provocam aumentos do coeficiente de capilaridade e em outros casos as adições de 5% provocam a diminuição do coeficiente.

No entanto, ao compararem-se os coeficientes de capilaridade das argamassas sem adições de SCA com as argamassas com adições de 10% de SCA (Figura 63) percebe-se, claramente, uma diminuição dos valores dos coeficientes. As argamassas sem adições de SCA tiveram coeficientes de capilaridade variando entre 19,62 e 27,84 enquanto as argamassas com 10% de adição de SCA variaram entre 17,32 e 26,03. A influência do traço e da adição de SCA no resultado do coeficiente de capilaridade das argamassas injetáveis é comprovado estatisticamente, conforme o resumo do estudo estatístico na tabela Tabela 38.

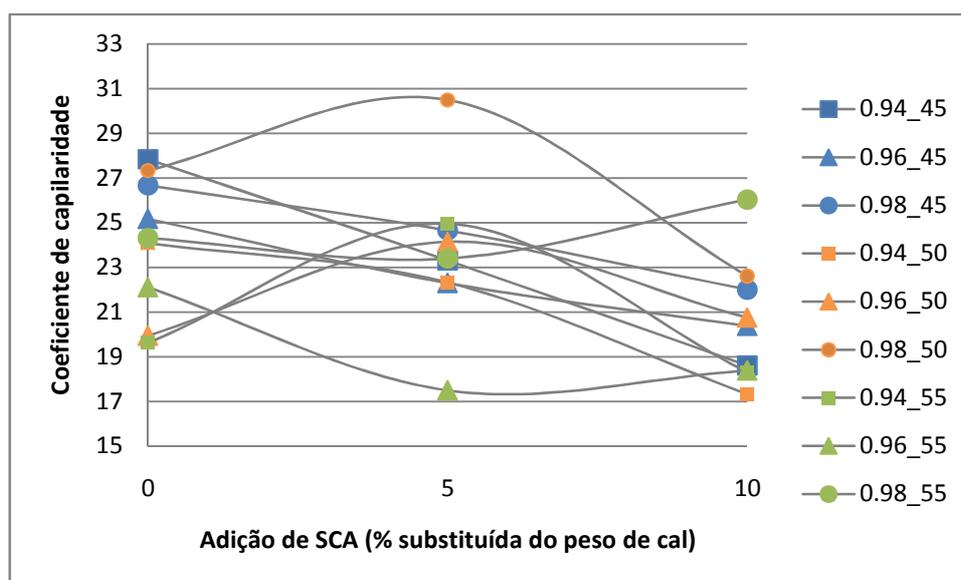


Figura 63 – Influência das adições de SCA no coeficiente de capilaridade das argamassas injetáveis.

Tabela 38 – Análise estatística da influência do traço, da relação a/ms e da SCA no coeficiente de absorção de água por capilaridade das argamassas injetáveis.

	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Fator p</b>	<b>Significativo</b>
Traço	299,7	2	149,9	10,20	,000*	SIM
relação a/ms	73,4	2	36,7	2,50	,090	NÃO
SCA	138,3	2	69,2	4,71	,012*	SIM
Erro	998,81	68	14,69			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

#### 4.5 Fase 2 – Aplicação do AHP na escolha do traço

Uma vez que nenhuma das argamassas estudadas apresentou-se completamente dentro dos parâmetros de desempenho estipulados, optou-se por utilizar o AHP para selecionar uma formulação considerada globalmente mais próxima dos quesitos necessários, seja no estado fresco como no endurecido.

A aplicação do AHP para escolha de uma argamassa injetável gerou um ranking dessas argamassas o qual pode ser conferido na Tabela 39.

Tabela 39 - Resultado final da hierarquia das formulações de argamassa injetável.

	Espalhamento	Exsudação	Retração	Mód. Elastic.	Resist. Tração	Resit. Comp.	Coef. Capi.	Pontuação	Ranking
CAS5_0.94_45	0,012	0,012	0,018	0,007	0,007	0,002	0,005	0,062	11 <sup>º</sup>
CAS5_0.94_50	0,036	0,002	0,002	0,006	0,009	0,014	0,005	0,075	4 <sup>º</sup>
CAS10_0.94_45	0,009	0,028	0,005	0,006	0,001	0,002	0,015	0,066	7 <sup>º</sup>
<b>CAS10_0.94_50</b>	<b>0,073</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,018</b>	<b>0,103</b>	<b>1<sup>º</sup></b>
CA_0.96_45	0,008	0,011	0,026	0,008	0,001	0,002	0,003	0,059	12 <sup>º</sup>
CA_0.96_50	0,040	0,004	0,009	0,004	0,001	0,014	0,007	0,079	3 <sup>º</sup>
CAS5_0.96_45	0,009	0,011	0,012	0,028	0,001	0,002	0,006	0,068	5 <sup>º</sup>
CAS5_0.96_50	0,040	0,002	0,007	0,002	0,003	0,008	0,004	0,065	8 <sup>º</sup>
CAS10_0.96_45	0,007	0,011	0,030	0,002	0,002	0,002	0,010	0,063	10 <sup>º</sup>
CA_0.98_45	0,006	0,028	0,006	0,009	0,010	0,002	0,003	0,064	9 <sup>º</sup>
CA_0.98_50	0,022	0,003	0,004	0,007	0,015	0,002	0,002	0,054	13 <sup>º</sup>
CAS5_0.98_45	0,004	0,028	0,007	0,004	0,003	0,002	0,004	0,053	14 <sup>º</sup>
CAS5_0.98_50	0,022	0,004	0,005	0,006	0,002	0,002	0,001	0,041	15 <sup>º</sup>
CAS10_0.98_45	0,004	0,028	0,016	0,003	0,006	0,002	0,007	0,067	6 <sup>º</sup>
CAS10_0.98_50	0,026	0,004	0,029	0,005	0,010	0,002	0,006	0,081	2 <sup>º</sup>

Com isto, verifica-se que a argamassa CAS10\_0,94\_50 foi aquela cujas características no estado fresco e endurecido mais se aproximaram dos parâmetros de desempenho, analisadas de forma global.

#### 4.6 Fase 3 – Aprimoramento da argamassa injetável – Avaliação das características no estado fresco

Uma vez que a argamassa fluida escolhida através do AHP não atinge todos os parâmetros requeridos para uma argamassa injetável para restauração

de revestimentos citados na Tabela 1, p.84, optou-se por testar a formulação escolhida (CAS10\_0.94\_50) com a utilização de aditivo superplastificante.

Os resultados dos ensaios que caracterizam as novas formulações no estado fluido estão na Tabela 40. Esta tabela traz, também, os resultados da argamassa escolhida através do AHP (CAS10\_0.94\_50), para fins de comparação.

Tabela 40 – Resultados da avaliação das propriedades do estado fresco das formulações de argamassa injetável com adições de superplastificante.

	Tempo funil Marsh (s)	Diâmetro espalhamento médio (cm)	Borda	Coesão	Exsudação (%)
A	02:25	32,8	Uniforme	Sim	0,25
B	01:41	33,5	Uniforme	Sim	1,5
C	00:25	37,5	Uniforme	Sim	2,5
D	00:17	37,6	Uniforme	Sim	3,75
CAS10_0.94_50	00:14	38,6	Uniforme	Sim	11,25

A partir destes resultados é possível perceber que as adições de superplastificante provocam consideráveis alterações na fluidez da argamassa. O tempo de escoamento da argamassa fluida através do funil de Marsh aumenta com o aumento da proporção de aditivo e a diminuição de água<sup>32</sup>.

Por outro lado, o diâmetro de espalhamento no mini-Slump, sem que haja segregação da argamassa espalhada, diminui conforme se aumenta a proporção de superplastificante.

As adições de superplastificante também provocam uma diminuição considerável na exsudação da argamassa no estado fluido.

#### **4.7 Fase 3 – Aprimoramento da argamassa injetável – Avaliação das características no estado endurecido**

##### **Retração**

A Tabela 41 apresenta os resultados da retração média observada nos corpos de prova da argamassa injetável elaborada com aditivo superplastificante.

<sup>32</sup> Embora “injetabilidade”, assim como a “trabalhabilidade” de argamassas não são efetivamente mensuráveis, identificou-se maior resistência das argamassas A e B em passar pelo orifício da seringa quando injetadas nos corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência.

Também se encontram os resultados da argamassa injetável sem superplastificante (CAS10\_0.94\_50) para fins de comparação e da argamassa reconstituída (analisada na fase 1) para comparação com os padrões requeridos para a argamassa injetável.

Os valores anotados em vermelho são os que se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela tabela 1.

Tabela 41 – Retração na altura, largura, comprimento e volumétrica das argamassas aprimoradas com aditivo superplastificante, argamassa injetável sem superplastificante e argamassa similar.

	RMA (%)	CV (%)	RML (%)	CV (%)	RMC (%)	CV (%)	RMV (%)	CV (%)
A	0,17	0,20	0,18	0,12	0,04	0,05	0,39	0,33
B	0,67	0,34	1,12	0,75	0,08	0,05	1,86	0,71
C	4,44	2,32	0,98	0,75	0,28	0,26	4,97	3,00
D	5,82	3,35	1,50	0,99	0,37	0,21	8,36	2,55
CAS10_0.94_50	14,28	0,62	0,10	0,41	-0,18*	0,07	14,21	0,52
similar	1,27	0,58	1,47	0,88	1,23	0,35	3,91	1,10

RMA: retração média na altura; CV: coeficiente de variação; RML: retração média na largura; RMC: retração média no comprimento; RMV: retração média no volume.

\* O valor negativo apresentado para retração no comprimento da argamassa CAS10\_0.94\_50, apresentado na Tabela 40, pode estar relacionado com desajuste da forma onde o corpo de prova foi moldado.

Percebe-se que a retração das argamassas diminui com o aumento da proporção de superplastificante o mesmo efeito também é percebido na exsudação.

Considerando a retração linear na largura e altura, como dito anteriormente, todas as argamassas estudadas alcançaram valores inferiores a 4% e estão neste quesito estão de dentro do parâmetro máximo de 4% estabelecido na Tabela 1 da página 84.

Tabela 42 – Resumo da análise estatística da interferência do superplastificante na retração na altura, largura, comprimento e volume das argamassas injetáveis aditivadas.

	SQ	GDL	MQ	F	Fator p	Significativo
Retração altura	29,47	3	9,82	12,36	0,000017	SIM
Erro	24,63	31	0,79			
Retração largura	1,10	3	0,37	3,9	0,018494	SIM
Erro	2,94	31	0,09			
Retração comprimento	1,5	3	0,5	5	0,006099	SIM
Erro	3,1	31	0,1			
Retração volume	1,712430E+09	3	5,708099E+08	16,15	0,000002	SIM
Erro	1,095548E+09	31	3,534025E+07			

### Módulo de elasticidade, resistência à compressão e tração na flexão e coeficiente de capilaridade

A Tabela 43 apresenta os resultados obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico, para a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e coeficiente de capilaridade das argamassas aprimoradas com superplastificante. Os resultados das mesmas características da argamassa CAS10\_0.94\_50 e da argamassa similar também foram colocados na mesma tabela para fins de comparação.

Tabela 43 – Resultados da avaliação das propriedades do estado endurecido das formulações de argamassa injetável com adições de superplastificante, da argamassa injetável sem superplastificante e da argamassa similar à original.

	E m(GPa)		RC m (Mpa)		RT m (Mpa)		CC m	
	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)	Vlr	CV (%)
A	5,98	4,87	2,86	7,56	0,56	21,21	12,30	6,28
B	5,25	5,27	2,16	7,68	0,57	0,00	19,54	6,75
C	3,03	17,37	1,10	20,28	0,17	59,36	20,34	6,95
D	2,01	12,08	0,98	20,32	0,09	29,71	32,33	1,49
CAS10_0.94_50	2,8	2,73	1,46	6,55	0,67	16,53	51,49	7,23
Similar	4,80	5,07	0,69	9,09	0,48	15,61	12,35	13,25

RV m: Retração volumétrica média; E m: Módulo de elasticidade dinâmico médio; RC m: Resistência à compressão média; RT m: Resistência à tração média; CC m: Coeficiente de capilaridade médio; Vlr: valor; CV: coeficiente de variação.

Tabela 44 – Resumo da análise estatística da influência do aditivo superplastificante no módulo de elasticidade dinâmico (E), na resistência à compressão (RC), na resistência à tração (RC) e no coeficiente de capilaridade (CC) das argamassas injetáveis.

	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Fator p</b>	<b>Significativo</b>
Aditivo x retração	225,6121	3	75,2040	21,2269	0,000002	SIM
Erro	70,8572	20	3,5429			
Aditivo x MED	56,4909	3	18,8303	127,188	0,000000	SIM
Erro	3,2571	22	0,1481			
Aditivo x RC	13,44345	3	4,48115	109,875	0,000000	SIM
Erro	0,69333	17	0,04078			
Aditivo x RT	0,479093	3	0,159698	23,2775	0,000046	SIM
Erro	0,075467	11	0,006861			
Aditivo x CC	482,876	3	160,959	139,918	0,000006	SIM
Erro	6,902	6	1,150			

SQ: Soma quadrática; GDL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática, F: valor de F calculado.

Sobre o módulo de elasticidade dinâmico, de acordo com a Tabela 43, percebe-se que as argamassas com maior quantidade de aditivo e menor relação a/ms são menos deformáveis, apresentando módulos de elasticidade da ordem de 5 GPa. Ao considerar-se o valor estipulado através da tabela 1, todas as argamassas estariam fora da faixa de 100% a 80% do valor da argamassa similar (4,80GPa a 3,84GPa). As argamassas A e B são pouco deformáveis e as argamassas C e D são deformáveis demais.

Se os dados da tabela 2 (p. 85) forem usados como parâmetro, as argamassas C e D possuem módulos de elasticidade compatíveis com argamassas de revestimento para serem utilizadas em edifícios antigos.

A utilização do superplastificante provoca um sensível aumento na resistência mecânica seja à compressão e tração, possivelmente em razão da diminuição da utilização de água para a fluidez necessária, o que pode implicar na diminuição da quantidade de poros provocada pela evaporação da água. No entanto, quando se comparam as argamassas em que o superplastificante foi utilizado com a argamassa na qual esse material não foi utilizado (CAS10\_0.94\_50), percebe-se que, quando utilizado em baixas dosagens o aditivo parece provocar alguma diminuição nas resistências mecânicas à tração na flexão e compressão.

De acordo com a tabela 1 (p. 84), nenhuma argamassa injetável obteve resultado para a resistência mecânica à compressão dentro do padrão requerido, que era entre 100% e 60% do valor obtido pela argamassa reconstituída (entre 0,69 MPa e 0,41MPa), todas obtiveram resistências à compressão maiores.

Ao se verificarem os padrões estabelecidos para as resistências mecânicas à compressão e à tração da tabela 2 (p. 85), percebe-se que apenas a argamassa A obteve resistência acima do valor requerido para resistência à compressão e todas as argamassas tiveram valores adequados para a resistência à tração.

O coeficiente de capilaridade diminui com o incremento de superplastificante, possivelmente em razão do excesso de água usada na mistura provocar o aumento da quantidade de poros e da rede de capilares no interior da argamassa, aumentando a absorção pelo corpo de prova. Porém, ainda que se faça uso do aditivo, os valores de coeficiente de capilaridade das argamassas injetáveis são muito altos quando comparados com o coeficiente de capilaridade da argamassa similar.

Cabe aqui, uma breve discussão sobre o ensaio que determina o coeficiente de capilaridade, que neste trabalho de investigação, foi realizado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005). Segundo esta norma o coeficiente de capilaridade é determinado através da diferença entre a massa medida aos 90 minutos e 10 minutos. A sequência temporal para aferição das massas adotada na pesquisa de Tavares (2009) foi de 0, 5, 10, 30, 60, 90, 180, 300, 480 e 1440 minutos, o coeficiente foi determinado com as massas aferidas aos 5 minutos e 0 minutos.

Esta autora comenta, citando Thorborg Von Konow<sup>33</sup> (1997), que o tempo para determinação do coeficiente de capilaridade entre 10 e 90 minutos não é adequado para argamassas a base de cal, sendo que aos 90 minutos sua absorção já está próxima da saturação. O intervalo entre 0 e 5 minutos seria o mais adequado uma vez que neste intervalo é quando se dá a maior absorção e quando os poros maiores se enchem mais rapidamente com a água. (THORBORG VON KONOW, 1997 *apud* TAVARES, 2009).

---

<sup>33</sup> Thorborg Von Konow, *Restaurening och reparation med puts-och murbruk* (traduzido para o português), Vammala, Abo Akademi, 1997, ISBN 952-9616-72-1.

#### 4.8 Resistência de aderência à tração das argamassas injetáveis

Os resultados obtidos com o ensaio de resistência de aderência a tração não permitiram que se pudessem comparar as resistências de cada argamassa injetável testada. Durante os procedimentos do ensaio verificaram-se Problemas, possivelmente, com a carbonatação da placa de argamassa feita com pasta de cal aérea e areia.

Foram testadas cinco formulações, cada uma foi injetada atrás de três placas de forma que 18 amostras de cada formulação poderiam ser extraídas, totalizando 90 ensaios.

No entanto, 44 amostras foram perdidas durante o procedimento de corte da placa aderida. Todas as amostras perdidas durante o procedimento de corte tiveram ruptura coesiva pela argamassa da placa, o que indica a fragilidade das placas em relação aos outros elementos do sistema de revestimento em teste (argamassa injetada e alvenaria de tijolos).

O ensaio foi realizado nas 46 amostras restantes e os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 45.

Tabela 45 – resultados do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa 30 e das argamassas aprimoradas.

Amostras analisadas – resistência de aderência em MPa											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CAS10 0.94_50	0,07	0,1	0,09	0,11	0,06	0,06	0,05	0,11	-	-	-
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	-	-	-
A	0,09	0,1	0,09	0,14	0,06	0,23	0,06	0,1	-	-	-
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RA P-AI	RCP	RCP	-	-	-
B	0,05	0,09	0,17	0,17	0,19	0,16	0,11	0,14	0,15	0,06	0,14
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
C	0,1	0,14	0,05	0,26	0,2	0,38	0,12	0,07	0,06	0,07	-
	RCP	RCP	RCP	RCAI	RCAI	RCAI	RCP	RCP	RCP	RCP	-
D	0,06	0,07	0,15	0,22	0,22	0,12	0,15	0,12	0,12	-	-
	RCAI	RCP	RCP	RCP	RCP	RCAI	RCAI	RA AI-T	RA AI-T	-	-

RCP: Ruptura coesiva pela placa; RA P-AI: ruptura adesiva entre a placa e a argamassa injetável; RCAI: Ruptura coesiva pela argamassa injetável RA AI-T: Ruptura adesiva entre argamassa injetável e tijolo.

Analisando de forma geral, vê-se que das 46 amostras estudadas, 28 amostras (60,87%) romperam com resistência acima da resistência de aderência mínima requerida para a argamassa injetável. As 18 amostras restantes romperam com resistência de aderência inferior ao mínimo requerido (0,1MPa), sendo que 17 romperam de forma coesiva na placa de revestimento (o que não permite avaliar a resistência de aderência da argamassa injetável) e apenas uma rompeu-se de forma coesiva na argamassa injetável com resistência inferior à mínima (0,06MPa).

Ao analisarem-se as resistências de aderência média obtidas pelas formulações estudadas (Tabela 46), percebe-se que apenas a formulação que não recebeu nenhuma adição de superplastificante não atingiu o valor mínimo da resistência de aderência na média dos resultados.

Tabela 46 – Média das resistências de aderência por argamassa injetável.

Formulação	Desvio Padrão	Resistência de aderência Média (Mpa)	Coefficiente de Variação (%)
CAS10_0.94_50	0,02	0,08	32,00
A	0,06	0,10	55,83
B	0,05	0,13	35,75
C	0,10	0,13	79,74
D	0,06	0,14	41,23

No entanto, acredita-se que estes resultados de resistência de aderência média não podem ser atribuídos diretamente à argamassa injetável visto que em 38 amostras (82% das análises) a ruptura ocorreu de forma coesiva pela placa de argamassa de cal aérea, ou seja, nestes casos, a resistência da argamassa da placa é inferior à resistência da argamassa injetável.

Ao avaliarem-se separadamente as resistências de aderência de acordo com o tipo de ruptura, percebe-se que, sempre que a ruptura envolveu a argamassa injetável, seja de forma adesiva entre a placa e a argamassa injetável, ou entre a argamassa injetável e a alvenaria de tijolos ou ainda de forma coesiva na argamassa injetável, a resistência de aderência avaliada foi superior ao mínimo requerido para esta argamassa injetável (Tabela 47).

Tabela 47 – Resistências de aderência de acordo com o tipo de ruptura observado no CP.

	RCP	CV	RA P-AI	CV	RCAI	CV	RA AI-T	CV
CAS10 0.94_50	0,08	32,00						
A	0,09	36,67	0,23	-				
B	0,13	35,75						
C	0,08	42,25			0,28	32,73		
D	0,17	43,28			0,11	41,66	0,12	0,00

DP = desvio padrão; RCP = ruptura coesiva pela placa de revestimento; CV = coeficiente de variação; RA P-AI: ruptura adesiva entre placa e argamassa injetável; RCAI = ruptura coesiva na argamassa injetável; RA AI-T = ruptura adesiva entre a argamassa injetável e o tijolo da alvenaria.

## 5. Conclusões

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu obter as seguintes conclusões:

O conhecimento adquirido sobre a composição do traço das argamassas originalmente utilizadas como substrato nos revestimento escaiolados não foi utilizado na íntegra porque este apresentou muita variedade e, também, em razão da dificuldade na equivalência dos resultados do traço original obtidos com materiais secos e o utilizado no trabalho, em pasta de cal e areia;

A elaboração de uma argamassa considerada similar às originais de casarões pelotenses (utilizando-se de traço identificado na revisão bibliográfica e areia de granulometria similar à encontrada nos ensaios) foi fundamental para caracterizar esta argamassa em relação à retração, módulo de elasticidade dinâmico, resistência mecânica e absorção de água por capilaridade;

A argamassa similar não é idêntica à original, mas entende-se que suas características representem, de modo geral, as argamassas de cal e areia estudadas;

O emprego do método para obtenção de traços de argamassas baseado no empacotamento de partículas e na distribuição granulométrica que se utiliza de uma progressão geométrica, para gerar curvas de distribuição granulométrica contínuas, foi adequado ao estudo porque possibilitou a análise de diferentes traços de argamassas injetáveis. O método foi considerado fácil de usar e versátil no que tange à possibilidade de ser utilizado para matérias primas de diferentes faixas granulométricas;

Foi possível obter argamassas injetáveis com matérias-primas regionais, obtidas no comércio, o que facilita seu emprego em obras de restauração;

Foram obtidas argamassas injetáveis não aditivadas que não atenderam a todas as especificações de parâmetros estabelecidos na Tabela 1 (p. 84) adotados como parâmetros para este trabalho;

As argamassas injetáveis não aditivadas foram eficientes no tocante a retração linear;

As argamassas injetáveis não aditivadas não atenderam os parâmetros de desempenho quanto ao módulo de elasticidade e coeficiente de absorção de água por capilaridade. Em relação à resistência mecânica, menos de 26% das argamassas estudadas atingiram o parâmetro de desempenho estabelecido;

A utilização do superplastificante nas argamassas injetáveis provocou alterações nas propriedades;

De modo geral, as argamassas injetáveis aditivadas não obtiveram valores compatíveis para módulo de elasticidade, resistência mecânica a compressão e tração na flexão, e ainda que se perceba a diminuição dos coeficientes de capilaridade com a utilização do plastificante, os valores continuam muito altos quando comparados com os valores da argamassa similar usada com substrato;

A utilização do superplastificante nas argamassas injetáveis até o limite de 0,9% pode ser positivo, na medida em que contribuiu para baixar o coeficiente de capilaridade sem provocar alterações significativas nas demais propriedades, quando comparadas com a argamassa injetável sem aditivo;

O ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas injetáveis aditivadas não foi conclusivo porque as placas de argamassa de cal e areia mostraram-se muito frágeis, no entanto as resistências identificadas aproximaram-se do valor mínimo requerido (1MPa);

Embora nem todos os parâmetros tenham sido alcançados, é possível afirmar, que as argamassas estudadas não apresentam valores tão discrepantes em relação ao que pode ser solicitado para edifícios antigos, considerando os parâmetros listados nas Tabelas 2 (p.85) e 3 (p. 86);

Acredita-se que, mesmo que as argamassas injetáveis não tenham atingido todos os parâmetros de desempenho requeridos, estas ainda podem ser uma boa opção de restituição de aderência quando comparadas com produtos de outras naturezas, cujas propriedades são desconhecidas ou reconhecidamente diferentes dos substratos originais.

## 5.1 Atividades futuras

Ao explorar-se o tema da consolidação dos revestimentos do patrimônio edificado verifica-se a abertura de portas para as mais variadas investigações sobre o assunto.

A metodologia proposta nesta tese limitou as variáveis a serem observadas nas argamassas injetáveis, portanto acredita-se que ainda são necessários estudos mais aprofundados para caracterização das suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Além disso, é preciso verificar se os ensaios normatizados para argamassas de revestimento são capazes de medir as características de argamassas injetáveis de forma efetiva. Uma sugestão é utilizar a rotina de procedimentos de laboratório para testes em argamassas injetáveis a base de cal proposta por Biçer-Şimşir e Rainer (2013) e editada pelo *Getty Conservation Institute*.

Uma vez que sejam resolvidas as principais dúvidas sobre a avaliação das características das argamassas injetáveis e as adaptações necessárias no laboratório, é possível estudarem-se formulações diferentes, utilizando-se produtos diferentes e granulometria ainda menores, a fim de melhorar determinadas características no estado fresco e endurecido.

Como percebido ao longo deste trabalho, os parâmetros de desempenho fornecidos pela tabela 1 (p. 84) trabalham com faixas muito estreitas de resultados, dificultando que se encontre um material que seja adequado em todos os fatores analisados. Isto demonstra a necessidade de se conhecerem melhor os substratos originais, de forma a montar tabelas como as tabelas 2 e 3 (p. 86) apresentadas neste trabalho. Estas tabelas dizem respeito aos revestimentos das edificações portuguesas e é possível que haja diferenças em relação aos revestimentos a base de cal das edificações do patrimônio cultural produzidos no Brasil.

## 6. Bibliografia

AGUIAR, José. **Estudos Cromáticos Nas Intervenções de Conservação em Centros Históricos**: bases para a sua aplicação à realidade portuguesa. 1999. 754 f. Tese (Doutorado em Conservação do Patrimônio Arquitetônico) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora, 1999.

\_\_\_\_\_. **Cor e Cidade Histórica**: Estudos Cromáticos e Preservação do Patrimônio. Porto: FAUP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas – determinação da finura. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7681-2**: Calda de cimento para injeção – determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Revestimento de Argamassas**. ABCP, 104 p., 2002.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

AZEITEIRO, Liliana C. D.; **Desenvolvimento de caldas de injeção para consolidação de revestimento**. 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.

BAUER, Elton; ALVES, Nielsen J. D.; Peculiaridades da Produção de Revestimentos de Argamassas. In: BAUER, Elton. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon, 2005. PP 38-50. Disponível em <<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>

f> acesso em 02/07/2015.

BAUER, L. A. Falcão; **Materiais de Construção**. V.1, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488p.

BELLANCA, Calogero (Ed.) **Methodical Approach to the Restoration of Historic Architecture**. Perugia: Alinea Editrice, 2011.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de Construção**: Patologia, reabilitação, prevenção. Tradução: Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BIÇER-ŞİMŞİR, Beril; RAINER, Leslie. **Evaluation of Lime-Based Hydraulic Injection Grouts for Conservation of Architectural Surfaces: A Manual of Laboratory and Field Tests Methods**. Los Angeles: GettyConservationInstitute, 2013. Disponível em <[http://hdl.handle.net/10020/gci\\_pubs/evaluation\\_grouts](http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/evaluation_grouts)> acesso em 19/09/2014.

BORGES, Alberto de Campos. **Prática das Pequenas Construções**. 9 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

BRAGA, Márcia. **Conservação e Restauro**, Pedra – Pintura Mural – Pintura em Tela. Rio de Janeiro: Editora Rio, 2003.

CALDAROLA, Francesca; LAVIANO, Rocco; SCANDALE, Eugenio. **Il Restauro dell'Arco San Nicola a Molfetta: Una pregevoleriscoperta**. 2005. Disponível em:  
<[http://www.researchgate.net/publication/259526593\\_2005\\_Il\\_restaurato\\_dellarco\\_d\\_i\\_S.\\_Nicola\\_a\\_Molfetta\\_una\\_pregevole\\_riscoperta](http://www.researchgate.net/publication/259526593_2005_Il_restaurato_dellarco_d_i_S._Nicola_a_Molfetta_una_pregevole_riscoperta)> acesso em 11/02/2015.

CANDORÉ, J. C.; SZATANIK, G.; BODNAR, J. L.; DATALLE, V.; GROSSEL, P. **Infra-red photothermal thermography**: A tool of assistance for the restoration of mural paintings. In 8<sup>th</sup> QIRT Conference. 2006, Padova, Itália. Disponível em: <http://qirt.org/archives/qirt2006/papers/037.pdf> Acesso em 11/03/2015.

CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. 2009. 138 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARNEIRO, Arnaldo M. P.; CINCOTTO, M. A. Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas. In: **Boletim Técnico**, nº BT/PCC/237, ano 1999. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil da EPUSP, 1999. Disponível em <[http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT\\_00237.pdf](http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00237.pdf)>

acesso em 01/11/2016.

CARTA DE ATENAS, 1931. 6 p. Disponível em  
<<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201931.pdf>> Acesso em 21/05/2016.

CARTA DE VENEZA, 1964. 4 p. Disponível em  
<<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>> Acesso em 25/05/2016.

CASTRO, A. L de, PANDOLFELLI, V. C.; Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. In: **Cerâmica**, nº 55, ano 2009. pp. 18-32, 2009.

CINCOTTO, M. A.; QUARCIONI, V. A.; JOHN V. M. Cal na Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo C. (editor); **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Engenharia dos Materiais. Vol. 1. São Paulo: Ipsi Gráfica e Editora, 2007. p. 693-725.

CORONA & LEMOS. **Dicionário de arquitetura brasileira**. São Paulo: EDART São Paulo Livraria e Editora LTDA., 1972.

EFNARC, EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETES SYSTEMS. **Specification and guidelines for self compacting concrete**. United Kingdom, 2002.

EUROPEAN COMITTEE OF STANDARDIZATION. **BS EN 459-1**: Building Lime – part 1: Definitions, specification and conformity criteria. Bruxelas: ECS, 2015.

FONSECA, D. B; GONÇALVES, M. R. F. Argamassas usadas nas escariolas dos casarões pelotenses e a técnica clássica dos estuques no Tratado de Vitruvius. In: **Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio** - Unirio | MAST – vol.9, no2, 2016.

Disponível em:

<<http://revistamuseologiaepatrimonio.mast.br/index.php/ppgpmus/article/view/494/501>> acesso em 04/10/2016.

FONSECA, Daniele B; SANCHES, Pedro L. M. Inventário dos Estuques Lustrados do Casario Histórico Pelotense: proposta de preservação do patrimônio integrado. In **Congresso Internacional História da Construção Lusobrasileira**, 1, 2013, Vitória-ES, Anais, Vitória/ES, 2013.

GUIMARÃES, José E. P. **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2002. 341 p.

INTXAUSTI, Imanol A.; **Ajustes Óptimos de Morteros de Cal com Micro e Nano Sílice (I).** 2014. Monografia (Grado em Ciências y Tecnologías de La Edificación) Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

ISAIA, Geraldo C. (editor); **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Engenharia dos Materiais. Vol. 1. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2007.

ISAIA, Geraldo C. (editor); **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Engenharia dos Materiais. Vol. 2. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2007.

JOHN V. M.; CINCOTTO, M. A.; Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo C. (editor); **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Engenharia dos Materiais. Vol. 1. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2007. pp. 693-725.

KANAN, M. Isabel. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal.** (Cadernos Técnicos; 8) – Brasília, DF : Iphan / Programa Monumenta, 2008. 172 p.

LADE, Karl; WINKLER, Adolf. **Yesería y Stuco.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A, 1960.

LERSCH, Inês Martina. **Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre.** 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

LICHTESTEIN, N.B. Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação. In: **Boletim Técnico**, nº 06, ano 1986. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção da EPUSP, 1986.

MARINS, C. S. SOUZA, D. O.; BARROS, M. S..O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, XLI., 2009, Porto Seguro. *Anais...* Porto Seguro, 2009. p. 1778 – 1788.

MINISTÉRIO DA CULTURA; INSTITUTO DO PROGRAMA MONUMENTA. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural** – Caderno técnico 1. Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa

Monumenta, 2005. 76p.

MINISTÉRIO DA INSTRUÇÃO PÚBLICA, **Carta do Restauro**. Governo da Itália, 1972. Disponível em <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauro%201972.pdf>> Acesso em 25/05/2016.

NATALI, Daniela. La técnica della scagliola. In **Daniela Natali Scagliola Artisan In Florence**. Florence, 2011. Disponível em <[http://www.danielanatali.it/IT/tecnica\\_scagliola.aspx](http://www.danielanatali.it/IT/tecnica_scagliola.aspx)> Acesso em 07/10/2014.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da Conservação e da Restauração: Materiais e Estruturas – Um roteiro para estudos**. Salvador: EDUFBA, 2002.

PERES, Rosilena M.; **Levantamento e Identificação de Manifestações Patológicas em Prédio Histórico** – Um estudo de Caso. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SABBATINI, Fernando H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. In: **Boletim Técnico**, nº BT/02/86, ano 1986. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil da EPUSP, 1986.

SANCHES, Pedro L. M.; PALLA Fabiana F.; ALVES, Fábio G. Fingir e Escaiolar: Variações do Léxico e do Modo de Fazer em Pelotas, RS, Brasil. In: **Anais do Congresso Internacional História da Construção Luso-brasileira** [CD-ROM]. 1ª ed. Rio de Janeiro: PoD, 2013.

SANTIAGO, Cybèle C. **Argamassas Tradicionais de Cal**. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p.

TAVARES, Martha L. **A Conservação e o Restauro de Revestimentos Exteriores de Edifícios Antigos**. 2009. 475 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

TAVARES, Martha; AGUIAR, José; VEIGA, Rosário. Uma Metodologia de estudo para a Conservação de Rebocos Antigos – O restauro através da Técnica de Consolidação. In: **VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, SBTA**, 2005, Florianópolis. s/p.

TAVARES, Martha L.; VEIGA, M. do R.; FRAGATA, Ana. **Grouting mortars for consolidation of historical renders showing loss of adhesion**. In: 2nd. Historic

Mortars Conference HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic, pp 743-752.

TERÁN, Pedro; MORENO-JIMÉNEZ, José María. Group Decision Making with Soft AHP Based on the Random Set View of Fuzzy Sets. In: DUBOIS, Didier (e editores). **Soft Methods for Handling Variability and Imprecision**. Berlim: Springer-Verlag, 2008. p. 427-434.

TEUTONICO, Jeanne Marie. **ARC: A laboratory manual for architects**. Roma: ICCROM, 1988. Disponível em <<http://www.iccrom.org/downloads/>> acesso em 21/05/2015.

TORRACA, Giorgio. **Lectures on Material Science for Architectural Conservation**. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2009.

TRISTÃO, Fernando A. **Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento**. 1995, 218f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

VEIGA, Maria do R. As argamassas na conservação. **1<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro**. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes., p. 1–22, 2003.

VIÑAS, Salvador M. **Teoría Contemporánea de La Restauración**. Madrid: Editora Síntesis, 2010.

VITRUVIUS. **The Ten Books on Architecture**. Tradução de Morris Hicky Morgan. New York: Dover Publications, Inc., 1960. 331p.

WEBB, Patrick. EN 459-1:2010 European Standard for Building Lime. In: **Real Finishes**. 25/11/2012. Disponível em: <<http://realfinishes.blogspot.com.br/2012/11/plaster-coating-series-en-459-12010.html>> acesso em 22/12/2015.

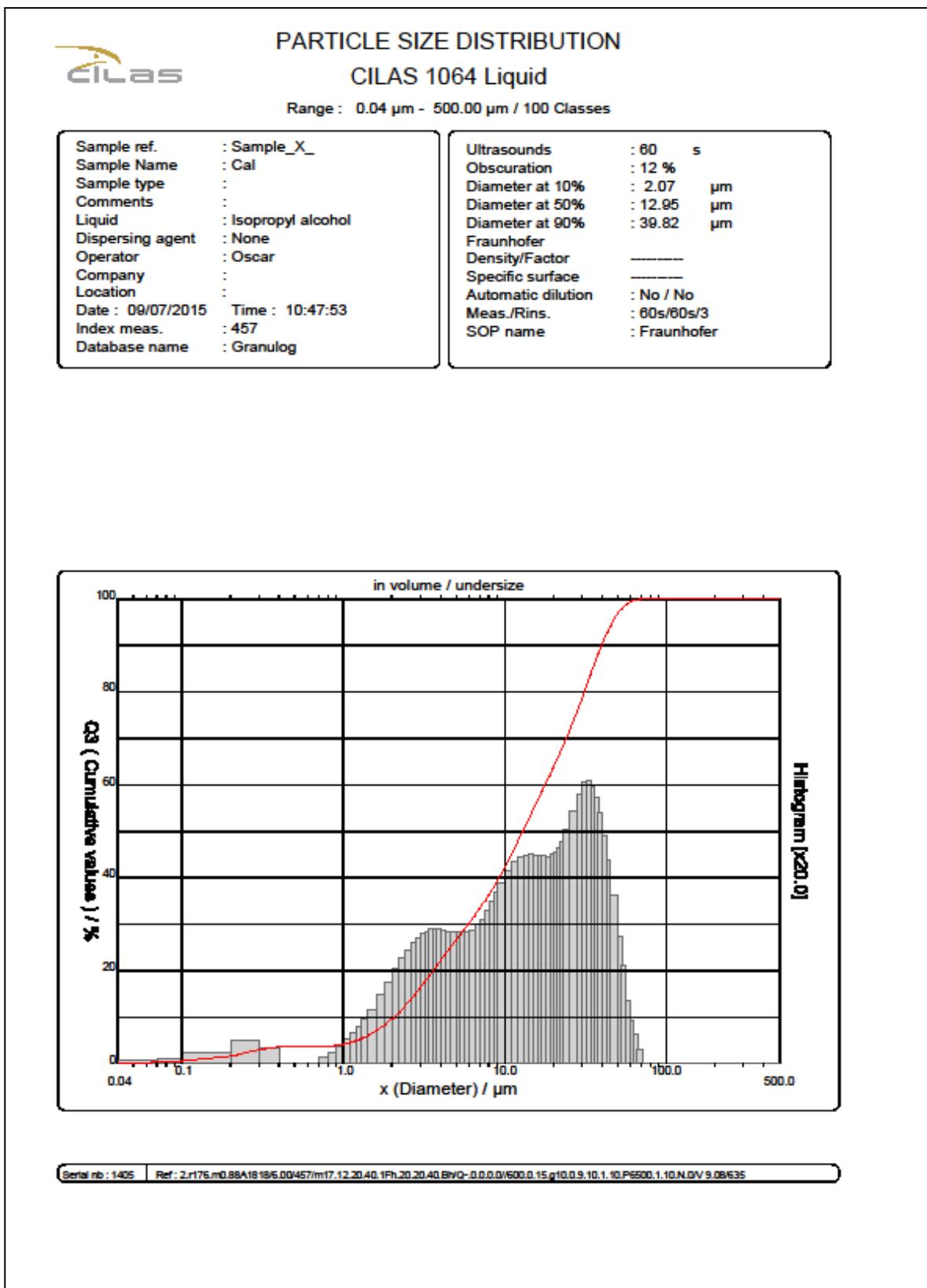
WOOLFITT, Catherine; ABREY Graham. Poultrices. In: **Building Conservation directory 2000**. Wiltshire: Cathedral Communications, 2000. Disponível em <http://www.buildingconservation.com/articles/poultrices/poultice.htm> Acesso em 30/03/2015.

ZAMBRANO, Laura; CAETANO, Fábio. O programa Monumenta em Pelotas. In: MICHELON, Francisca F.; MACHADO JR. Cláudio; GONZÁLEZ, Ana M. S. (organizadores), **Políticas Públicas do Patrimônio Cultural** ensaios, trajetórias

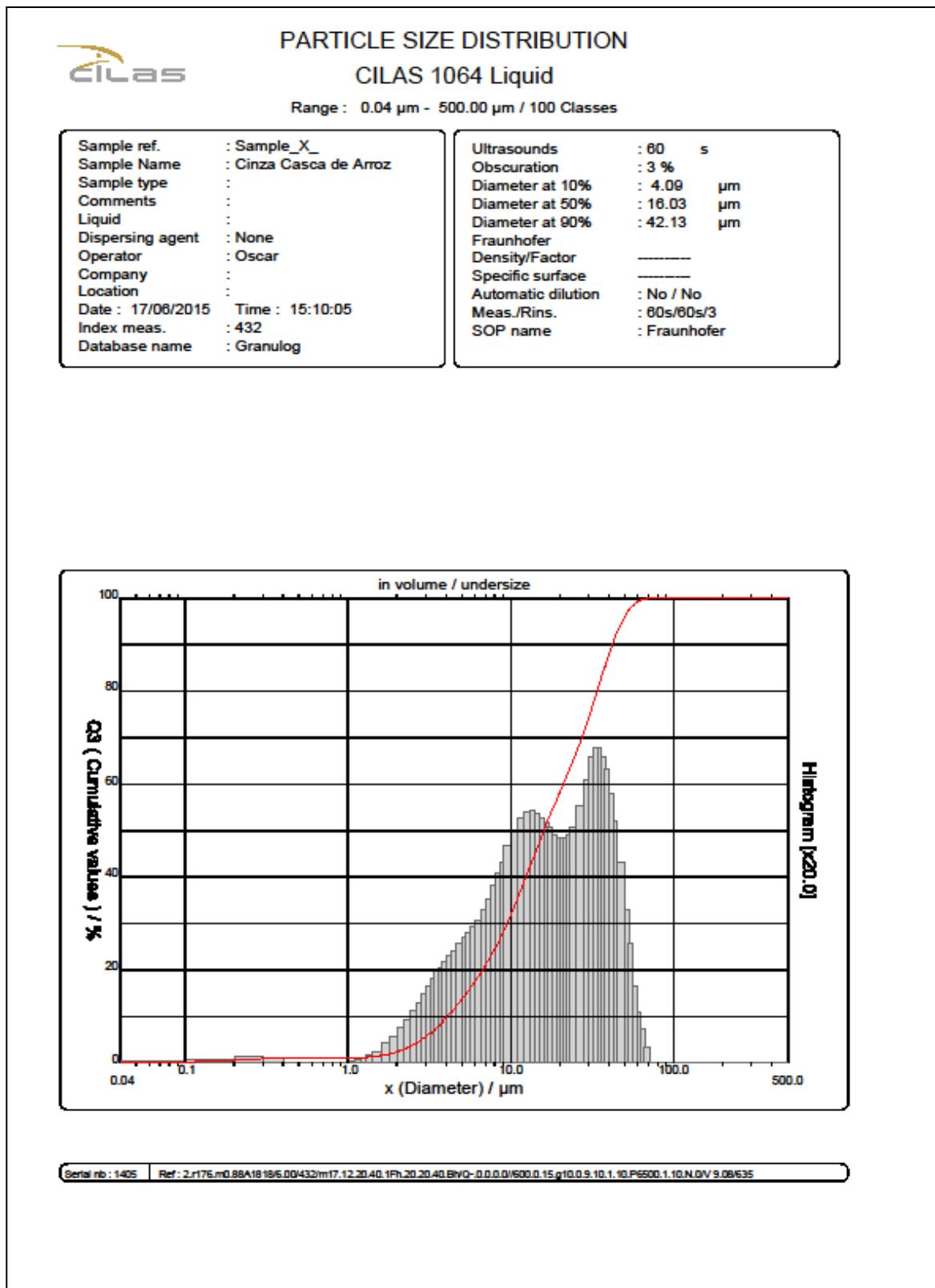
e contextos. Pelotas: Editora UFpel, 2012. pp 68-81.

## **7. Apêndices**

Apêndice A – Resultado da análise granulométrica da cal hidráulica Dagoberto Barcelos, feita em granulômetro a Laser Cilas.



Apêndice B – Resultado da análise granulométrica da sílica de casca de arroz Silka Nobre, feita em granulômetro a Laser Cilas.



## **8. Anexos**

## ANEXO A – Ficha técnica da Cal Hidráulica Dagoberto Barcellos



<b>FICHA DE INFORMAÇÕES DE PRODUTO</b>
--

<b>Identificação da empresa</b>
---------------------------------

Razão Social: Dagoberto Barcellos S/A Endereço: BR 392 km 250 Cx. Postal 155. 96570-000 Caçapava do Sul - RS Fone/fax: (0xx) 55 3281 0123 db@grupodb.com.br / www.grupodb.com.br
--

<b>Identificação do Produto</b>
---------------------------------

Nome: Cal Hidráulica Registro do produto: 25222000 Composição: Produto alcalino, composto de Hidróxido de Cálcio e Magnésio e Cinza Mineral. Esta mistura confere ao produto propriedades hidráulicas.
--

<b>Propriedades físico-químicas</b>
-------------------------------------

Estado: Pó seco cinza, com 10% a 19% de água combinada. Odor: inodoro Densidade Aparente: 600 a 800 kg/ m <sup>3</sup> (0,6 a 08 g/ cm <sup>3</sup> ) Superfície Específica: 4.000 a 6.000 m <sup>2</sup> /Kg Peso específico: 2,5 a 2,9 g/cm <sup>3</sup> .
--

<b>Regulamentação</b>
-----------------------

Cal Hidráulica não possui norma técnica brasileira de requisitos de especificação.
--

<b>Estocagem</b>
------------------

Os locais para estocagem devem ser secos, limpos, cobertos e sem goteiras e providos de estrados de madeira para evitar contato do produto com o chão.
--

Estabelecido: 10/12/2001	Revisão: 2	Data Revisão: 02/01/2015
--------------------------	------------	--------------------------

## ANEXO B – Ficha técnica da Silcca Nobre.



## FICHA TÉCNICA SCI

**SILCCA NOBRE**

- Sílica proveniente da queima controlada da casca de arroz em sistema de combustão via leito fluidizado.

**Propriedades Físico Químicas**

	<b>Resultado</b>
• Perda ao fogo (%)	< 3,5
• Umidade (%)	< 3
• Teor de sílica amorfa (%)	> 95
• Densidade aparente	> 550
• Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,16
• Coloração	Cinza claro

**Aplicação:**

- Adição para concreto e argamassa.

**Embalagem:**

- Granel
- Embalagem 20 kg
- Big Bag

ANEXO C (1/4) – Ficha de informação e segurança de produtos químicos da Sílica de casca de arroz, página 1.

## SVA – SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA



**FISPO SILCCA NOBRE SCI**

### **SEÇÃO 1 – IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA**

NOME DO PRODUTO: SILCCA NOBRE SCI  
 NOME DA EMPRESA: SVA SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA  
 Avenida Braz Faraco 691  
 Bairro Prado, CEP 97.543-090  
 Alegrete – Rio Grande do Sul - Brasil  
 Telefone: +55 (55) 3421 9000

### **SEÇÃO 2 -COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE INGREDIENTES:**

COMPOSIÇÃO: Sílica amorfa; óxido de ferro, cálcio, alumínio, magnésio, sódio e potássio; carbono e umidade.

SINÔNIMOS: Sílica ativa, sílica amorfa, cinza da casca do arroz, sílica da casca do arroz.

UTILIZAÇÃO: Uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland, borrachas, plásticos.

SUBSTÂNCIA	CAS <sup>(1)</sup>	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	OSHA – PEL-TWA <sup>(2)</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	ACGIH – TLV-TWA <sup>(3)</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
Sílica Amorfa (SiO <sub>2</sub> )	69012-64-2	≥ 90,0	-	2
Sílica Cristalina (SiO <sub>2</sub> )	14808-60-7	≤ 2	3	0,05
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	1313-59-3	≤ 1,5	-	-
Carbono total (C)	1333-86-4	≤ 6,0	3,5	3,5
Umidade (H <sub>2</sub> O)	-	≤ 3,0	-	-

(1) CAS: Chemical Abstract Service Registry Number;

(2) OSHA - PEL: Occupational Safety & Health Administration – Permissible Exposure Limits.

(3) ACGIH – TLV-TWA: American Conference Of Governmental Industrial Hygienists - Thershold Limit Value-Time Weighted Average exposure concentration for a conventional 8-hour (TLV, PEL) workday and a 40-hour workweek. (ver Seção 16).

ANEXO C (2/4) – Ficha de informação e segurança de produtos químicos da Sílica de casca de arroz, página 2.

## **SVA – SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA**

### **SEÇÃO 3 – IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS:**

EFEITOS AMBIENTAIS:	Produto considerado não perigoso (inerte).
PERIGOS FÍSICOS E QUÍMICOS:	Restringir contato com ácido e/ou hidróxido.
PERIGOS ESPECÍFICOS:	Produto não inflamável, não explosivo.

### **SEÇÃO 4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS:**

INALAÇÃO:	Em caso de inalação, remover a vítima para local arejado e ventilado. Em caso de dificuldade na respiração, administrar oxigênio umidificado. Se a respiração estiver ausente devem ser iniciadas, imediatamente, as manobras de ressuscitação cardiopulmonar e procurar assistência médica urgente.
OLHOS:	Em contato com os olhos, lavar imediatamente com água em abundância por mais de 15 minutos. Evitar fazer fricção sobre os olhos, procurar assistência médica.
PELE:	Em caso de contato com a pele, lavar com água e sabão neutro. Caso persistir irritações, procurar assistência médica imediatamente.
INGESTÃO:	Em caso de ingestão, lavar a boca com bastante água. Caso a vítima estiver inconsciente procurar assistência médica imediatamente.

### **SEÇÃO 5 – MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO:**

Produto não inflamável. O produto não é combustível e não é facilitador de combustão de outros produtos.

### **SEÇÃO 6 – MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO:**

Precauções Pessoais:	Evitar o contato com os olhos, vias respiratórias e pele. Evitar o uso de ar comprimido. Manter o produto fora do alcance de crianças.
Precauções com o ambiental:	Para evitar que o resíduo se espalhe sobre o solo e gere poeira, usar lona sobre o produto derramado/vazado até que seja realizada sua remoção.
Métodos de remoção e limpeza:	Recolher o resíduo com auxílio de uma pá ou um aspirador de pó em vasilhame fechado para evitar formação de poeira. Evitar o uso de ar comprimido.

### **SEÇÃO 7 – MANUSEIO E ARMAZENAMENTO:**

- O produto deve ser entregue em sacos, contêineres, ou granel;
- A embalagem ou documentação de despacho no caso de entrega a granel, deve ser claramente identificada;
- Manusear o produto em local ventilado, arejado e seco, evitar a suspensão de poeira;
- Armazenar em local bem ventilado e livre da ação de intempéries;
- Não expor o produto à umidade direta, conservar em local fresco e seco;

ANEXO C (3/4) – Ficha de informação e segurança de produtos químicos da Sílica de casca de arroz, página 3.

## SVA – SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA

- No armazenamento, empilhar sobre estrado madeira seco, mínimo de 10 cm acima do solo e sem contato com as paredes do local, empilhar no máximo de 20 sacos;
- Armazenar o produto separadamente de ácidos (HF) e álcalis (KOH e NaOH).
- O prazo de armazenamento do produto é indefinido, se mantida as condições de manuseio e armazenagem do produto aqui mencionado;

### SEÇÃO 8 – CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL:

Ventilação:	Manusear o produto em locais com ventilação natural ou forçada;
Proteção respiratória:	Usar máscara respiratória com filtro mecânico contra poeira;
Proteção dos olhos:	Usar óculos de segurança;
Proteção das mãos:	Usar luvas de segurança;
Comentários adicionais:	Usar proteção de segurança para o corpo, evitando o contato do produto com a pele.

### SEÇÃO 9 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:

Estado físico (CNTF):	Sólido.
Diâmetro médio:	<8,0 µm.
Resíduo na peneira 45 µm:	≤10,0%.
Aparência:	Pó de dimensões micrométricas.
Cor:	Cinza claro.
Odor:	Sem odor.
pH:	≤10,0.
Ponto de fusão:	1550-1570 °C.
Ponto de fulgor:	Não aplicável.
Perda ao Fogo:	≤ 3,5%.
Densidade aparente:	550 – 600 kg/m <sup>3</sup> .
Solubilidade:	Insolúvel em água; Solúvel em HF e KOH ou NaOH.
Área específica B.E.T.:	20.000 m <sup>2</sup> /kg.
Limite de explosividade:	Não aplicável.

### SEÇÃO 10 – ESTABILIDADE E REATIVIDADE:

- Estabilidade: O produto é um material estável.
- Reatividade: O produto é solúvel em álcalis (KOH e NaOH) e reage com ácido fluorídrico (HF) formando gás tóxico (SiF<sub>4</sub>).

### SEÇÃO 11 – INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS:

Toxicidade aguda:	
- Contato com os olhos:	Pode causar irritação e desidratação;
- Contato com a pele:	Pode causar irritação e desidratação;
- Inalação:	Pode causar irritação e desidratação das mucosas;
- Ingestão:	Pode causar irritação e desidratação das mucosas.

#### Toxicidade crônica:

A inalação do produto é considerada de baixo risco para o desenvolvimento da fibrose pulmonar (contém pequenas quantidades de quartzo na forma cristalina < 2,0%), no entanto, a inalação por um longo período (anos)

ANEXO C (4/4) – Ficha de informação e segurança de produtos químicos da Sílica de casca de arroz, página 4.

## **SVA – SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA**

de poeira em alta concentração quando a exposição é acima da recomendada pelos limites de saúde ocupacional, causa pneumonia.

### **SEÇÃO 12 – INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS:**

O produto é caracterizado como não perigoso ao meio ambiente.

### **SEÇÃO 13 – CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO:**

O produto e restos do produto são não perigosos e inertes. A disposição final do resíduo deve estar de acordo com a legislação vigente para resíduo não perigoso. A embalagem usada pode ser reciclada, dependendo do material utilizado na sua fabricação (ex: papel, polipropileno, etc...).

### **SEÇÃO 14 – INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE:**

O produto não se enquadra como perigoso. Recomendações especiais: não transportar em conjunto com substâncias descritas na seção 10.

### **SEÇÃO 15 – REGULAMENTAÇÕES:**

Não há regulamentação aplicável para este produto. Normas utilizadas, ver Seção 16.

### **SEÇÃO 16 – OUTRAS INFORMAÇÕES:**

CAS: Número de registro de substância no Sistema de Classificação Codificada de Substâncias Químicas (Chemical Abstract Service).

OSHA - PEL: Segurança Ocupacional & Administração da Saúde – Limite de Exposição Permissível.

ACGIH – TLV-TWA: Conferência Americana Governamental da Higiene Industrial – Valores

Limites de Exposição – Média Ponderada pelo Tempo: Valor Limite de exposição do profissional a uma concentração média ponderada pelo tempo de uma jornada normal de 8

horas diárias e 40 horas semanais, onde o profissional pode estar repetidamente exposto, dia

após dia, sem sofrer efeitos adversos à sua saúde. Este produto deve ser armazenado e manuseado de acordo

com as boas práticas de higiene industrial e em conformidade com qualquer regulamento legal. A informação aqui

contida está baseada no atual estado do nosso conhecimento e pretende descrever nosso produto do ponto de

vista das exigências de segurança. Ela não deve ser tomada como garantia de propriedades específicas. Desde que

o uso atual por outros esteja além do nosso controle é de responsabilidade do usuário determinar a segurança, toxicidade e adequação para seu próprio uso do produto descrito nesta FISPQ.

REV 03 – DATA: 26/05/2013

Av. Braz Faraco, 891 – Bairro: Prado - Alegrete/RS CEP: 97543-090 Tel: (55) 3421-9000/Fax: (55) 3421-9037 E-mail: sva@pileconobre.com.br