

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO  
AGREGADO MIÚDO PARA O USO EM REVESTIMENTOS  
DE ARGAMASSA NA CIDADE DE SANT´ANA DO  
LIVRAMENTO - RS**

**GORGE ANDRES BANNURA SALVADOR**

Porto Alegre  
abril 2005

**GORGE ANDRES BANNURA SALVADOR**

**OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO  
AGREGADO MIÚDO PARA O USO EM REVESTIMENTOS  
DE ARGAMASSA NA CIDADE DE SANT'ANA DO  
LIVRAMENTO - RS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado  
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na  
modalidade Profissionalizante

Porto Alegre

abril 2005

S182o SALVADOR, Gorge Andres Bannura

Otimização da distribuição granulométrica do agregado miúdo para o uso na cidade de Sant´Ana do Livramento - RS/ Gorge Andres Bannura Salvador. - 2005.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2005.

Orientação da Prof.a Dra. Angela Borges Masuero

1. Argamassa de revestimento. 2. Materiais de construção – Agregados. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Título.

CDU-691.53(043)

**GORGE ANDRES BANNURA SALVADOR**

**OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO  
AGREGADO MIÚDO PARA O USO EM REVESTIMENTOS  
DE ARGAMASSA NA CIDADE DE SANT'ANA DO  
LIVRAMENTO - RS**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2005

Prof.a Angela Borges Masuero  
Dra. pelo PPGEM, UFRGS  
Orientadora

Prof.a Carin Maria Schmitt  
Coordenadora do Curso

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Dr. pela USP

**Prof.a Ana Luiza Abitante (UFRGS)**  
Dra. pelo PPGEM, UFRGS

**Prof.a Fernanda M.P. Vieira (CIENTEC)**  
Dra. pelo PPGEM, UFRGS

Dedico este trabalho a Carmen Rejane Bannura pela  
compreensão durante o período de seu desenvolvimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento de conclusão de mais uma etapa de minha formação quero agradecer a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A Prof. Ângela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, de quem é a idéia original do tema deste trabalho e que abracei com toda a dedicação possível, pelo companheirismo demonstrado em todos os momentos e por não me deixar desistir de alcançar este sonho.

A minha esposa Carmen pelo amor e paciência, por saber dividir com meus estudos nosso tempo e a minha ausência nos finais de semana.

Aos meus irmãos, Hanna e Jamil, que me acolheram com carinho em suas casas.

Aos meus pais Andrawus Hanna Bannura e Julia Salvador de Bannura grandes responsáveis pela minha formação moral e intelectual.

Aos Professores do NORIE, por dividirem comigo seus conhecimentos.

Aos funcionários do NORIE que sempre estiveram prontos para auxiliar.

Aos alunos do curso de Engenharia Civil da URCAMP, Universidade da Região da Campanha, que contribuíram para a realização dos ensaios em laboratório.

Enfim, aos verdadeiros amigos que torceram pelo sucesso deste trabalho.

Nossas possibilidades de conhecimento são muitas e até, tragicamente pequenas. Sabemos pouquíssimo e, aquilo que sabemos, sabemos-lo muitas vezes superficialmente, sem grandes certezas. A maior parte de nosso conhecimento somente é provável. Existem certezas absolutas, incondicionais, mas estas são raras.

*J. M. Bochense*

## RESUMO

**BANNURA, G.A. Otimização da Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo para o Uso em Revestimentos de Argamassa na Cidade de Sant'Ana do Livramento - RS.**

2005. 128 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Os conhecimentos empíricos relativos à execução de revestimentos em argamassa existentes em nosso país são extensos, contraditórios e inconclusos. Estes conhecimentos encontram-se dispersos e são geralmente transmitidos de forma verbal entre os iniciados, ou seja, os operários e técnicos que atuam no canteiro de obras. Como todo conhecimento não sistematizado ele vem se degradando, perdendo qualidade, sendo alterado pelas distorções da comunicação oral. A ausência de adequados critérios técnicos, no que se refere ao uso de argamassas com os materiais locais de Sant'Ana do Livramento, possibilita uma grande incidência de diversas manifestações patológicas, o que tem resultado na busca de outros materiais que possam melhorar o desempenho destas argamassas, o que por sua vez tem trazido custos significativos na execução dos revestimentos. Este trabalho tem como objetivo a determinação de uma distribuição granulométrica do agregado miúdo para argamassa de revestimento utilizado em alvenaria de tijolos furados, que apresente uma menor retração, uma maior aderência e uma menor permeabilidade, contribuindo assim para a formulação de uma argamassa de revestimento que possa ser utilizada na cidade de Sant'Ana do Livramento de acordo com o desempenho mecânico desejado e uma maior durabilidade. Para isso, foi realizado um estudo a partir de dois tipos de agregados com composições granulométricas diferentes existentes na cidade. A areia **1** utilizada para argamassa de revestimento e a areia **2** para argamassa de assentamento de tijolos. Produzindo três tipos de argamassas com composições granulométricas diferentes para ser comparada com a argamassa produzida com a areia **1**. De posse dos resultados analisados das argamassas mistas de cimento, cal hidratada e areia dosadas a partir de composições granulométricas, através da análise da variação da continuidade da distribuição granulométrica do agregado nas propriedades nos estados fresco e endurecido, foram utilizadas as propriedades dessas argamassas como embasamento teórico para o estabelecimento da composição que produziu a argamassa de melhor desempenho mecânico em função das exigências que serão impostas ao revestimento. Da análise dos dados conclui-se que as composições apresentam diferenças quanto ao seu desempenho. Assim, admitindo que argamassa necessite de propriedades específicas, as correções para aumentar ou diminuir alguma de suas propriedades podem ser feitas através da alteração do agregado miúdo em sua distribuição granulométrica.

Palavras-chave: argamassa; granulometria; propriedades mecânicas; desempenho.



## ABSTRACT

**BANNURA, G.A. Otimização da Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo para o Uso em Revestimentos de Argamassa na Cidade de Sant'Ana do Livramento - RS.**

2005. 128 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

### **Optimisation of the grain distribution of the tiny aggregate for the its Use in mortar covering layer in Sant'Ana do Livramento – RS**

The empirical knowledge related to the execution of covering in mortar, existent in our country, is extensive, contradictory and incomplete. This knowledge is found disperse and is generally transmitted in a verbal way among the initiate, i.e., the workers and technicians that work in the site office. Like all the non-systematised knowledge, it has been degrading itself, losing quality, being changed by distortions of oral communication. The lack of adequate technical criteria, as for the use of mortar with local materials of Sant'Ana do Livramento, enables a great incidence of several pathological behaviours, what has resulted in search for other materials that may be able to improve the performance of the mortar, which has brought significant expense in the execution of the coverings. This work aims at the determination of a grain distribution of the tiny aggregate for covering mortar used in holed brick masonry, which presents less retraction, more adherence and less permeability, contributing to the formulation of a covering mortar that could be used in Sant'Ana do Livramento according to the mechanical performance desired, presenting in this way, more durability. For this, a research has been made from two kinds of aggregate with different grain composition found in the city: The sand **1** used for covering mortar and the sand **2** for brick foundation mortar. Producing three kinds of mortar with different grain composition to be compared to the mortar produced with the sand **1**. Handling the results from the analysis of mixed mortar consisting of cement, lime and sand, measured from the grain compositions, through the analysis of the variation of the continuity of the grain distribution of the aggregate in the features of the fresco and hard states, the proprieties of this mortar have been used as theoretical basis for the establishment of the composition that produced the mortar which had the best mechanical performance according to the demand which will be imposed to the covering. From the analysis of this data we conclude that the compositions we conclude that the compositions present some differences in performance. Thus, admitting that the mortar needs specific properties, the correction necessary to increase or decrease any of these properties can be made by an alteration of the grain distribution of the tiny aggregate.

Keywords: mortar, grain, mechanical features, performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: fissuras do tipo mapeada em um prédio na cidade de Sant'Ana do Livramento.....	21
Figura 2: retração livre de argamassas mistas nas primeiras horas.....	39
Figura 3: retração de argamassa mista, em volume, ao longo do tempo.....	40
Figura 4: retração em função da perda de massa de pasta de cimento com 7 dias de idade e relação água/cimento 0,5 submetida à secagem.....	41
Figura 5: curva granulométrica das areias 1 e 2.....	58
Figura 6: curva granulométrica das composições 01, 02, 03 e 04.....	60
Figura 7: mistura manual do agregado miúdo para obtenção das diferentes composições granulométricas.....	61
Figura 8: confecção da argamassa intermediária em betoneira de eixo inclinado.....	62
Figura 9: mesa de consistência ( <i>flow table</i> ) com o molde rígido tronco de cone.....	64
Figura 10: conjunto molde, papéis-filtro e peso para ensaio de retenção de água para argamassa no estado fresco.....	65
Figura 11: molde em PVC sendo pesado para determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado.....	66
Figura 12: moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm.....	67
Figura 13: cura dos corpos-de-prova cilíndricos nas primeiras 48 h.....	67
Figura 14: corpos-de-prova em ambiente de laboratório.....	68
Figura 15: paredes de alvenaria a serem revestidas.....	69
Figura 16: ruptura dos corpos-de-prova de argamassa de 5 x 10 cm submetidos à compressão axial.....	70
Figura 17: disposições das tiras de chapa dura de fibra de madeira para o ensaio de tração por compressão diametral.....	72
Figura 18: detalhe do ensaio à tração por compressão diametral de corpos-de-prova de argamassa.....	73
Figura 19: paredes de alvenaria com revestimentos de argamassa, traço 1:2:9 com superfície previamente chapiscada.....	74
Figura 20: aparelho para ensaio de resistência de aderência à tração.....	75
Figura 21: demarcação das seções dos corpos-de-prova para o ensaio de aderência à tração a serem cortados.....	76
Figura 22: colocação das pastilhas cilíndricas para fixação do equipamento de tração....	77
Figura 23: execução do ensaio de resistência à tração direta por arrancamento.....	78
Figura 24: corpos-de-prova na estufa até a obtenção da constância de massa para realização do ensaio de absorção por capilaridade.....	80

Figura 25: recipiente com nível d'água de $5 \pm 1$ mm para o ensaio de absorção por capilaridade.....	81
Figura 26: imersão dos corpos-de-prova.....	83
Figura 27: corpos-de-prova de argamassa totalmente submersos.....	84
Figura 28: corpos-de-prova de argamassa submetidos à fervura durante 5h.....	84
Figura 29: detalhe do cachimbo para o ensaio de absorção.....	89
Figura 30: visualização do ensaio de absorção de água pelo método cachimbo.....	90
Figura 31: fissuras no revestimento de argamassa confeccionado com diferentes composições granulométricas.....	92
Figura 32: porcentagem retida de areia utilizada nas composições.....	93
Figura 33: características das areias agrupadas nas composições.....	94
Figura 34: retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	95
Figura 35: módulo de finura das areias e massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	96
Figura 36: resistência à compressão axial das argamassas com diferentes composições granulométricas ao longo do tempo.....	98
Figura 37: relação entre a massa unitária da areia e a resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	99
Figura 38: relação do coeficiente de uniformidade e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	100
Figura 39: relação entre o índice de vazios após imersão e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas aos 28 dias.....	100
Figura 40: relação entre o índice de vazios após imersão e fervura e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas aos 28 dias.....	101
Figura 41: resistência à tração por compressão diametral das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	102
Figura 42: relação entre a resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	103
Figura 43: resistência de aderência à tração por arrancamento das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	104
Figura 44: resistências das argamassas com diferentes composições granulométricas....	105
Figura 45: absorção de água ao longo do tempo das argamassas confeccionadas com diferentes composições granulométricas.....	106
Figura 46: absorção de água por imersão com e sem fervura das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	107
Figura 47: absorção de água pelo método do cachimbo das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	108

Figura 48: índice de vazios das argamassas com diferentes composições granulométricas, em diferentes idades.....	109
Figura 49: massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas, ao longo do tempo.....	110
Figura 50: relação entre massa específica real da argamassa aos 91 dias e a massa unitária das areias com diferentes composições granulométricas.....	111
Figura 51: relação entre massa específica seca da argamassa aos 91 dias e a massa unitária das areias com diferentes composições granulométricas.....	111
Figura 52: controle da fissuração das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: problemas patológicos dos revestimentos com origem na qualidade das argamassas.....	37
Tabela 2: classificação das características de argamassas para revestimentos conforme a CSTB, 1993.....	51
Tabela 3: caracterização química do cimento Portland CP-IV.....	53
Tabela 4: caracterização físico-mecânica do cimento Portland CP-IV.....	54
Tabela 5: caracterização química da cal hidratada CH I.....	54
Tabela 6: caracterização física da cal hidratada CH I.....	55
Tabela 7: caracterização física das areias utilizadas no estudo.....	57
Tabela 8: composição das areias utilizadas no estudo.....	59
Tabela 9: caracterização física das areias utilizadas no estudo.....	59
Tabela 10: traços em massa com areia úmida para as diferentes composições granulométricas.....	62
Tabela 11: índice de consistência, quantidade de água utilizada e relação água/cimento das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	63
Tabela 12: retenção de água das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas.....	64
Tabela 13: densidade de massa das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas.....	65
Tabela 14: teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas.....	66
Tabela 15: resistência à compressão das argamassas com as diferentes composições granulométricas.....	70
Tabela 16: resistência à tração por compressão diametral das argamassas.....	73
Tabela 17: resistência média de aderência à tração das argamassas.....	79
Tabela 18: absorção de água por capilaridade das argamassas.....	82
Tabela 19: absorção de água após 72h de imersão das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	85
Tabela 20: absorção de água após 72h de imersão e fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	85
Tabela 21: índice de vazios após 72h de imersão das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	86
Tabela 22: índice de vazios após 72h de imersão e fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	86
Tabela 23: massa específica seca e saturada das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	87

Tabela 24: massa específica real, saturada e com fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas.....	88
Tabela 25: ensaio de absorção de água pelo método cachimbo nas argamassas aplicadas sobre painéis de alvenaria.....	91
Tabela 26: controle de fissuração por secagem natural do revestimento (mm/m <sup>2</sup> ).....	91
Tabela 27: retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco com diferentes composições granulométricas.....	95
Tabela 28: módulo de finura das areias e massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas.....	96
Tabela 29: resistência média à compressão (MPa) das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	97
Tabela 30: resistência média à tração (MPa) por compressão diametral das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	102
Tabela 31: resistência de aderência média à tração (MPa) das argamassas nas juntas de assentamento e na alvenaria ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	104
Tabela 32: valores médios da absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) das argamassas, com seus respectivos coeficientes (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-0,5</sup> ) nas diferentes composições granulométricas.....	106
Tabela 33: valores médios da absorção de água por imersão (%) com e sem fervura das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	107
Tabela 34: valores médios da absorção de água (cm <sup>3</sup> /min) pelo método cachimbo das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	108
Tabela 35: valores médios do índice de vazios (%) com e sem fervura das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	109
Tabela 36: valores médios da fissuração por retração (mm/m <sup>2</sup> ) das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas.....	112

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 ARGAMASSA MISTA: PROPRIEDADES, INFLUÊNCIA DO AGLOMERANTE E DO AGREGADO .....</b>	<b>23</b>
2.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	23
2.1.1 Capacidade de Aderência.....	23
2.1.2 Resistência Mecânica.....	27
2.1.3 Módulo de Deformação.....	29
2.1.4 Permeabilidade à Água.....	33
2.1.5 Propriedades da Superfície.....	34
2.1.6 Durabilidade.....	35
2.1.7 Retração.....	38
2.2 INFLUÊNCIA DO AGLOMERANTE NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	45
2.2.1 Cimento.....	45
2.2.2 Cal Hidratada.....	46
2.3 INFLUÊNCIA DO AGREGADO NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	50
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>52</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	53
3.1.1 Cimento Portland.....	53
3.1.2 Cal Hidratada.....	54
3.1.3 Agregado Miúdo.....	55
3.1.4 Água.....	60
3.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	61
3.2.1 Ensaio das Argamassas no Estado Fresco.....	63
3.2.1.1 Determinação do Índice de Consistência.....	63
3.2.1.2 Determinação da Retenção de Água.....	64
3.2.1.3 Determinação da Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado das Argamassas no Estado Fresco.....	65
3.2.2 Moldagem e Cura dos Corpos-de-prova.....	66
3.2.3 Ensaio das Argamassas no Estado Endurecido.....	68
3.2.3.1 Resistência à Compressão .....	69
3.2.3.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	71
3.2.3.3 Resistência de Aderência à Tração.....	74
3.2.3.4 Absorção de Água por Capilaridade.....	79

3.2.3.5 Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica.....	82
3.2.3.6 Absorção de Água pelo Método Cachimbo.....	88
3.2.3.7 Controle de Fissuração pela Secagem Natural dos Revestimentos.....	91
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	94
4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO.....	97
4.2.1 Resistência à Compressão.....	97
4.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral .....	101
4.2.3 Resistência de Aderência à Tração.....	103
4.2.4 Absorção de Água por Capilaridade.....	105
4.2.5 Absorção de Água por Imersão e Imersão com Fervura.....	106
4.2.6 Absorção de Água pelo Método Cachimbo.....	108
4.2.7 Índice de Vazios.....	109
4.2.8 Massa Específica.....	110
4.2.9 Retração por Secagem.....	112
4.3 CLASSIFICAÇÃO MERUC.....	113
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>114</b>
5.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	114
5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	117
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>125</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os conhecimentos empíricos relativos à execução de revestimentos de argamassa existentes em nosso país são extensos, contraditórios e inconclusos. Estes conhecimentos encontram-se dispersos e são geralmente transmitidos de forma verbal entre os iniciados, ou seja, os operários e técnicos que atuam no canteiro de obras. Como todo conhecimento não sistematizado, ele vem se degradando, perdendo qualidade, sendo alterado pelas distorções da comunicação oral, sofrendo desgastes importantes no seu conteúdo como decorrência natural da degradação na qualificação dos oficiais pedreiros (SABBATINI, 1990, p. 5).

O conhecimento sobre argamassas é ainda, em grande medida, empírico, apesar dos esforços recentes de pesquisa. As conseqüências práticas deste empirismo não podem ser subestimadas. O crescimento da resistência mecânica do concreto no mercado brasileiro em cerca de 300% nos últimos 15 anos é produto direto da aplicação de conceitos da ciência, particularmente no campo de materiais e química, a este complexo produto. Este desenvolvimento gerado pela comunidade científica internacional na área de cimentos e concretos, que não tem paralelos na área de argamassas. Nesta área, o desenvolvimento de novos produtos tem sido realizado dentro dos diferentes setores industriais, sem que exista o desenvolvimento de um corpo de conhecimento científico comum. A ausência deste conjunto de conhecimentos dificulta a formação de recursos humanos e as atividades de pesquisa na indústria. Conseqüentemente aumenta significativamente o risco de desenvolvimento de produtos com desempenho insuficiente, especialmente em longo prazo.

No que diz respeito ao papel da cal nas argamassas, ainda há muito a ser pesquisado e o conhecimento existente não consegue ser passado e aplicado no mercado. Até o desenvolvimento do cimento Portland no início do século XIX as argamassas para uso externo podiam ser produzidas somente por cal hidratada ou hidráulica, misturada ou não com cerâmica vermelha moída, outras pozolanas naturais e/ou minerais naturais, como o fizeram os povos gregos, bizantinos e romanos. E muitas destas argamassas, com quase 1000 anos de uso, continuam a desempenhar adequadamente suas funções (JOHN, 2003, p. 48). Esta

longevidade e o fato de que restauros recentes utilizando argamassas modernas têm apresentado falhas precoces, tem causado nos últimos anos um aumento significativo no interesse científico sobre o efeito da cal nas argamassas (MARCHESE, 1980; COLANTUONO et al, 1996; MORPOLOULOU et al 1996; MOSQUERA et al, 2002; MONTOYA et al, 2003; GLEIZE et al, 2003).

Os conhecimentos científicos são quase inexistentes. Isto pode ser explicado pela análise da realidade da construção civil no Brasil que não estimula, não conduz à evolução deste conhecimento. Alguns aspectos podem ser lembrados a guias de exemplificação:

- a) tradição cultural brasileira de não valorizar os conhecimentos já adquiridos, de não valorizar a pesquisa e o desenvolvimento científico-tecnológico autóctone;
- b) absoluta deficiência de recursos humanos capacitados a tratar tecnologicamente a atividade de construção civil;
- c) a realidade da formação de nossos engenheiros no que se refere à construção civil, voltada para transmitir informações sobre o como fazer e não do porque se faz;
- d) a estrutura empresarial com uma postura geralmente não técnica (e que por isto não consegue avaliar a dimensão e importância do problema) é a que detém o poder de decisão na atividade de construção civil;
- e) a relativa carência deste conhecimento em outros países (nos países desenvolvidos os revestimentos de argamassa perderam há muito sua importância face ao alto nível de racionalização e industrialização implícitas nos seus processos executivos);
- f) a ausência de mecanismos eficazes da sociedade para reduzir o desperdício de recursos na construção civil e para exigir um incremento e a garantia dos níveis de qualidade dos produtos desta indústria.

O fato é que, por tudo isto, a tecnologia de execução de revestimentos de argamassa em nosso país é extremamente deficiente. Isto tem conduzido a situações inaceitáveis em termos do

nível de problemas patológicos apresentados por estes revestimentos e do volume de recursos desperdiçados na sua execução.

O emprego das argamassas de cimento, cal hidratada e areia é generalizado nas construções brasileiras, tanto no revestimento de paredes, pisos e tetos quanto no assentamento de unidades de alvenaria (blocos e tijolos), seja a alvenaria de função estrutural ou de vedação (SILVA et al., 2002, p. 1).

Os revestimentos de argamassa têm, em geral, as seguintes funções (SABBATINI, 1990, p. 6-7):

- a) proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;
- b) auxiliar as vedações a cumprir com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo. Por exemplo, um revestimento externo normal de argamassa (30 a 40% da espessura da parede) pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e totalmente responsável pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum;
- c) funções estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

Quando a argamassa estiver associada a outros revestimentos (como por exemplo, a um revestimento cerâmico ou azulejos), também tem a função de substrato. Ou seja, deve propiciar uma superfície uniforme, compatibilizar deformações diferenciais entre a base e o revestimento final e ser o suporte mecânico para este.

Para que cumpra com essas funções, as argamassas de revestimento devem atender aos seguintes requisitos (SILVA et al., 2002, p. 2):

- a) o revestimento deve apresentar estabilidade mecânica (resistência à tração, compressão, aderência, impacto e abrasão), estabilidade dimensional e resistência ao fogo;
- b) deve apresentar capacidade de deformação adequada às movimentações esperadas para a base;
- c) deve contribuir para a estanqueidade da parede, constituindo-se em uma barreira à penetração de água;
- d) deve contribuir para o conforto higrotérmico e acústico do ambiente;
- e) deve possuir compatibilidade entre seus materiais constituintes e os materiais da base de aplicação.

Deve-se salientar, entretanto, que não é função dos revestimentos dissimular imperfeições grosseiras das alvenarias ou das estruturas em concreto armado, o famoso “esconder na massa”. Apesar de ser freqüente esta situação é uma prova irrefutável de ineficiência técnica, da ausência de controles e da falta de racionalização construtiva na execução das etapas precedentes.

A NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) define argamassa como a mistura de aglomerantes e agregados minerais com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Segundo Petrucci (1995, p. 351), as argamassas são assim constituídas por material ativo, a pasta, e por material inerte, o agregado miúdo. A adição do agregado miúdo à pasta, no caso de argamassas de cimento, barateia o produto e elimina em parte as modificações de volume. No caso de argamassas de cal, a presença da areia, além de oferecer as vantagens acima apontadas, facilita a passagem de anidrido carbônico do ar, produzindo a recarbonatação do hidróxido de cálcio, com a conseqüente solidificação do conjunto.

Uma argamassa pode ser definida como um material composto por duas frações: uma ativa (aglomerante) e outra inerte (agregado) que compõem uma curva de distribuição granulométrica. Neste trabalho a fração ativa é composta por cimento e cal hidratada, admitindo-se o cimento como responsável por grande parte da resistência mecânica e, a cal

hidratada, pela sua capacidade de deformação. A fração inerte é composta por agregado miúdo, a areia, que não participa das reações químicas de endurecimento. A composição granulométrica e o formato dos grãos interferem, no estado fresco, na trabalhabilidade e na retenção de água e, no estado endurecido, nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade.

As argamassas de revestimento apresentam certas dificuldades para seu correto uso, devido a uma grande variedade de problemas. Estes problemas têm sido atribuídos a diversos fatores, tais como deficiência de mão-de-obra, projetos inadequados ou a inexistência dos mesmos, equipamentos incompatíveis, a não adoção de metodologias de controle e aos materiais usados na produção da argamassa. Deve-se considerar também que, até bem pouco tempo atrás, as argamassas eram, e ainda são em muitos casos, de total responsabilidade do pedreiro, que utiliza o conhecimento empírico na sua execução. Alguns destes problemas podem ser reduzidos com treinamento de mão-de-obra, a conscientização dos profissionais envolvidos no processo e o conhecimento dos materiais utilizados (TRISTÃO; ROMAN, 1995, p. 284).

As manifestações patológicas dos revestimentos são um problema freqüente e até mesmo de incidência crescente, devido à prática empírica de utilização das argamassas e ao crescimento da construção civil no país, havendo, uma maior diversidade de alvenaria e materiais para argamassas, um emprego de mão-de-obra menos qualificada, bem como uma execução em menores prazos (SELMO, 1989).

Das anomalias freqüentes em revestimentos com argamassa, pode-se citar as fissuras tipo mapeada ou teia de aranha, as deficiências na capacidade de impermeabilização e o destacamento do suporte. Dentre estas manifestações, o tipo mais comum é a fissura tipo mapeada que se caracteriza por formar desenhos irregulares com linhas bem finas, parecidos com teia de aranha ou mapas. Este desenho aparece quando a argamassa não tem capacidade de suportar a expansão ou retração durante a fase de endurecimento (VERÇOZA, 1991, p. 56-57).

O preparo da argamassa mista de cimento e cal hidratada, na cidade de Sant'Ana do Livramento, no estado do Rio Grande do Sul, tem sido feito empiricamente, sendo a proporção cimento, cal hidratada, areia e água definida pelo pedreiro ou servente que a prepara, com base na sua experiência, não levando em consideração as características

específicas dos materiais, resultando no constante aparecimento de problemas patológicos, como as fissuras observadas na figura 1, bem como no que tange à aderência e à permeabilidade.



Figura 1: fissuras do tipo mapeada em um prédio na cidade de Sant´Ana do Livramento

A manifestação surgida deve-se, em grande parte, a mão-de-obra desqualificada, que não foi ainda compensada por um maior conhecimento por parte dos técnicos de projetos e de obras, para especificar mais detalhadamente e para conduzir mais rigorosamente os trabalhos.

Outra das causas é a pressão para encurtamento dos prazos de construção, que leva ao desrespeito dos prazos de secagem do suporte e das várias camadas e que inviabiliza operações de tratamento do suporte e de acabamento mais elaborados.

Por outro lado, as fissuras apresentadas podem também estar relacionadas à distribuição granulométrica do agregado miúdo que compõem o revestimento de argamassa.

Para o domínio da tecnologia de execução de revestimentos de argamassa é necessário conhecer os conceitos relativos às argamassas, às propriedades dos revestimentos e às características das bases de aplicação.

Entre estes conhecimentos está a utilização de agregados que deve ser corrigida em função da maior ou menor continuidade da distribuição granulométrica. Muitas são as referências que mostram a necessidade da continuidade da curva granulométrica do agregado para aumentar a sua compacidade e sua trabalhabilidade reduzindo a relação água/cimento da argamassa (BONIN et al., 1999, p. 372).

Referindo-se especialmente à composição granulométrica do agregado miúdo utilizado na argamassa de revestimento, as recomendações normalizadas, sejam elas estrangeiras ou nacionais, indicam várias faixas granulométricas. Ainda assim, é difícil obter areias que atendam integralmente às composições recomendadas (TRISTÃO; ROMAN, 1995, p. 284).

O princípio para a composição e dosagem de uma argamassa com base na composição granulométrica está em obter uma argamassa trabalhável no estado fresco e que possua, no estado endurecido, compacidade elevada com redução do volume de vazios e com maior capacidade de deformação.

E, assim, este trabalho tem como objetivo a determinação de uma distribuição granulométrica do agregado miúdo para argamassas de revestimento utilizada em base de alvenaria constituída de tijolos cerâmicos, que apresente menor retração, maior aderência e menor permeabilidade, em relação ao revestimento de argamassa utilizada na cidade, contribuindo assim para a formulação de uma argamassa de revestimento que possa ser utilizada na cidade de Sant´Ana do Livramento de acordo com o desempenho desejado.

Para tanto os objetivos específicos desta pesquisa são os seguintes:

- a) caracterizar do ponto de vista físico as areias disponíveis comercialmente na cidade de Sant´Ana do Livramento;
- b) avaliar as influências das composições granulométricas propostas de agregado miúdo na resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa e na permeabilidade da água do revestimento de argamassa sobre substrato cerâmico;
- c) avaliar as influências das composições granulométricas propostas de agregado miúdo nas propriedades da argamassa no estado fresco na massa específica, índice de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado;
- d) avaliar as influências das composições granulométricas propostas de agregado miúdo nas propriedades mecânicas no estado endurecido na resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração por arrancamento;
- e) avaliar as influências das composições granulométricas propostas de agregado miúdo nas propriedades físicas no estado endurecido na retração por secagem, absorção de água por imersão e por capilaridade, índice de vazios e massa específica.



## **2 ARGAMASSA MISTA: PROPRIEDADES, INFLUÊNCIA DO AGLOMERANTE E DO AGREGADO**

Após análise das propriedades das argamassas de revestimentos serão descritos os materiais empregados na execução das argamassas mistas de cimento e cal hidratada, requisitos, critérios de desempenho e influência do aglomerante e do agregado nas propriedades mais importantes para argamassas de revestimento.

### **2.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS**

As argamassas mistas devem apresentar propriedades e características adequadas de trabalhabilidade, capacidade de retenção de água, resistência mecânica, aderência ao substrato e durabilidade, que serão discutidas a seguir.

#### **2.1.1 Capacidade de Aderência**

Para Sabbatini (1990, p. 7-8), conceitua-se aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais (tração) e tangenciais (cisalhamento) atuantes na interface com a base. A aderência resulta da conjugação das seguintes características da interface revestimento/base de aplicação:

- a) resistência de aderência à tração;
- b) resistência de aderência ao cisalhamento;
- c) extensão de aderência, que se define pela relação entre a área de contato efetivo e a área total da base a ser revestida.

A aderência é influenciada pelas características e condições do substrato, tais como, textura superficial, porosidade, absorção de água e resistência mecânica. Além disso, outros fatores como tipo de aglomerante, granulometria dos agregados, adesão inicial, retenção de água, consistência, teor de ar incorporado nas argamassas, mão-de-obra e condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) exercem influência importante sobre o fenômeno (JOHN et al., 1994, p. 25).

O mecanismo de aderência se desenvolve, principalmente, pela ancoragem da pasta aglomerante nos poros da base e por efeito de ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da superfície a ser revestida. A ancoragem da pasta à base se dá pelo seguinte processo: ao entrar em contato com a base, parte da água de amassamento, contendo os aglomerantes em solução é succionada pelos poros da base. No interior dos poros ocorre a precipitação de silicatos e hidróxidos havendo, com o seu endurecimento progressivo, uma conseqüente ancoragem da argamassa à base (SABBATINI, 1990, p. 8)

Para obter os melhores resultados de aderência, a quantidade de água da argamassa deve ser a máxima possível para proporcionar trabalhabilidade, coesão e plasticidade adequadas às argamassas. Manter uma relação água/cimento baixa pode não ser tão importante para a aderência da argamassa, pois, mesmo que se tenha alta relação água/aglomerante, boa parte dessa água será succionada pelo substrato poroso, o que causa redução da relação água/cimento ao longo da camada de argamassa. Entretanto, cabe salientar que argamassas confeccionadas com elevada relação água/cimento apresentam grande quantidade de vazios capilares e, por conseqüência, menor resistência mecânica (CARASEK et al., 2001, p. 52).

Autores como Bauer, Costa e Oliveira (1997, p. 93) concordam com o efeito nocivo da água em diversas propriedades dos revestimentos. Eles recomendam reduzir a demanda de água dos traços com o intuito de solucionar ou amenizar sua fissuração.

As características da argamassa no estado fresco interferem essencialmente na capacidade de aderência dos revestimentos. Como exemplo destas características tem-se a relação aglomerante/aglomerado, a natureza e o teor dos aglomerantes e a relação água/aglomerante.

O teor e a natureza dos aglomerantes têm grande importância. No entanto, a extensão efetiva da superfície de contato com a base tem maior influência na aderência do revestimento. Segundo Sabbatini (1990, p. 8) a extensão de aderência depende dos seguintes fatores:

- a) trabalhabilidade da argamassa e técnica de execução do revestimento: tendo trabalhabilidade adequada, a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com a base através de um melhor espalhamento. A técnica executiva, em função das operações de compactação e prensagem, tende a ampliar a extensão de contato;
- b) natureza e características da base: o diâmetro, a natureza e a distribuição dos poros determinam a textura superficial e a capacidade de absorção da base, que podem ampliar ou não a extensão de aderência e ancoragem do revestimento;
- c) condições de limpeza da superfície de aplicação: a despeito das características da argamassa fresca utilizada e da textura e porosidade da base, a extensão de aderência é comprometida pela existência de partículas soltas ou de grãos de areia, poeira, fungos, concentração de sais na superfície (eflorescências), camadas superficiais de desmoldante ou graxas, que se constituem em barreiras para ancoragem do revestimento à base.

A trabalhabilidade pode ser encarada como uma das mais importantes propriedades das argamassas, uma vez que sem ela, a facilidade de manuseio, a adesão inicial, a extensão de aderência e por conseqüência, a resistência de aderência à tração ficam comprometidas.

Sabe-se que a perfeita aderência da argamassa de revestimento ao substrato aplicado depende de uma série de fatores que podem estar relacionados: ao projeto da edificação; aos materiais empregados, tanto no substrato quanto no revestimento e à mão-de-obra responsável para execução do revestimento (MURRAY, 1983 apud POSSAN et al., 2002, p. 1242).

Segundo Possan et al. (2002, p. 1242) quanto ao projeto pode-se citar como fatores que afetam a aderência da argamassa, os seguintes itens: especificação dos materiais, definição do tipo de acabamento (desempenado, feltrado, chapiscado ou raspado) e definição do tipo de material para posterior revestimento.

Os fatores relativos aos materiais empregados nas argamassas de revestimento são os que apresentam maior destaque quando estudada a aderência dessas argamassas. Primeiramente, deve haver uma compatibilidade entre a base e o revestimento, algumas bases são mais suscetíveis que outras para favorecer o surgimento de fissuras por retração de secagem, o que ao longo do tempo pode prejudicar a aderência entre o substrato e argamassa. A adesão inicial, que é a capacidade da argamassa ficar aderida ao substrato quando está no estado fresco, também influencia na aderência do revestimento no estado endurecido, pois a falta de adesão resulta no enfraquecimento de sua resistência mecânica. A absorção de água capilar, a porosidade, a umidade e a taxa de absorção do substrato influenciam a adesão inicial e conseqüentemente a resistência mecânica, a aderência e a durabilidade das argamassas de revestimento. O tipo e a qualidade das argamassas, bem como a proporção e as características dos materiais constituintes da argamassa empregada no revestimento, têm forte correlação com a resistência de aderência, principalmente por afetar outras propriedades, como: consistência, retenção de água, teor de ar incorporado e resistência mecânica (CARAZEK et al., 1997 apud POSSAN et al., 2002, p. 1242).

A mão-de-obra empregada para a execução do revestimento apresenta forte influência na aderência, pois ainda, a atividade de aplicação do revestimento de argamassa, na maioria das obras, é feita de forma rudimentar. Desta forma, a mão-de-obra influencia sobre alguns parâmetros que podem afetar a resistência de aderência da argamassa, tais como: preparação da base, controle da sucção da base, controle do armazenamento e mistura dos materiais constituintes da argamassa, aplicação e controle do tempo para aplicação, sarrafeamento e acabamento final do revestimento (MURRAY, 1983 apud POSSAN et al., 2002, p. 1242).

A avaliação da capacidade de aderência dos revestimentos é, usualmente, feita através de ensaios de arrancamento por tração de corpos-de-prova cortados transversalmente no revestimento, obtendo-se valores de resistência de aderência à tração, conforme a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995e).

A aderência necessária aos revestimentos é variável com o tipo de revestimento, com as condições de exposição, com o desempenho esperado, etc. A parametrização desta propriedade é, portanto, complexa. As especificações nacionais e estrangeiras que fixam valores para tal propriedade são ainda restritas. Cabe citar como exemplo a especificação para

revestimentos de argamassa do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (C.S.T.B., 1993):

A resistência média de aderência à tração dos revestimentos de argamassa, cortados transversalmente em toda a sua espessura e até à base, não deve ser inferior a 0,3 MPa. Esta determinação deve ser feita a cada 50 m<sup>2</sup> de superfície, em 3 corpos-de-prova escolhidos ao acaso e que não deverão apresentar resistência individual de arrancamento inferior a 0,2 MPa.

As mesmas especificações são utilizadas na norma brasileira segundo a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b).

Conforme a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995e) os corpos-de-prova podem ser preparados *in situ*, em revestimentos de construção acabadas, antigas ou recentes, ou preparados em laboratório, em revestimentos aplicados sobre painéis de alvenaria, componentes de alvenaria (blocos e tijolos), placas de concreto, etc. Em estudo de laboratório, as características dos revestimentos devem ser selecionadas conforme objetivo a que se propõe o ensaio. Deve-se ensaiar pelo menos seis corpos-de-prova, para cada situação, espaçados entre si e dos cantos e arestas em no mínimo 50 mm. Os resultados estão intimamente ligados com a forma de ruptura que ocorre na interface entre o revestimento e o substrato.

### 2.1.2 Resistência Mecânica

A resistência mecânica consiste na propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna, capaz de suportar ações mecânicas das mais diversas naturezas, e que se traduzem em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Esforços de abrasão superficial, cargas de impacto e movimentos de contração e expansão dos revestimentos por efeito de umidade, também são exemplos de solicitações que exigem resistência mecânica dos revestimentos, pois geram tensões internas que tendem a desagregá-los.

As argamassas de revestimento, por sua vez, estarão sujeitas, quando em serviço, à abrasão superficial, impacto, tensões de cisalhamento decorrentes de movimentações do substrato e de

variações térmico-higrométricas. Além disso, desde o momento de aplicação da argamassa no substrato, existirão tensões de tração ao longo da superfície revestida, devidas à secagem do material (SILVA et al., 2002, p. 6).

Segundo Sabbatini (1990, p. 9-10) a resistência mecânica dos revestimentos é equacionada pela sua resistência ao desgaste superficial e pela sua capacidade de resistir a esforços mecânicos sem desagregação e sem deformações plásticas visíveis e depende, principalmente, dos seguintes fatores:

- a) consumo e natureza dos aglomerantes e agregados: Quando a proporção de agregado é aumentada, a resistência mecânica do revestimento geralmente diminui. As resistências à tração e compressão das argamassas de cimento variam inversamente com a relação água/cimento das misturas frescas a qual varia diretamente com o teor e finura dos agregados e com a consistência de preparo da argamassa. Já as resistências à tração e compressão das argamassas de cal são limitadas pelo seu potencial aglomerante, que se processa pelo fenômeno de carbonatação do hidróxido de cálcio, em muito inferior à consolidação que se verifica pela hidratação dos silicatos do cimento Portland. Quanto à granulometria dos agregados, sua influência sobre a resistência mecânica dos revestimentos se manifesta sob dois aspectos,
  - pelo consumo de água de amassamento quando o agregado é excessivamente fino, podendo resultar um revestimento de estrutura porosa e de menor resistência;
  - quando a fração argilosa ou siltosa do agregado é capaz de recobrir a superfície dos grãos maiores impedindo a sua consolidação no endurecimento da pasta aglomerante. Por outro lado, pode-se esperar alguma contribuição das argilas na resistência mecânica dos revestimentos, se reagirem com os produtos da hidratação do cimento, gerando ligações cimentícias resistentes;
- b) técnica de execução do revestimento: podem levar a uma maior compactação gerando uma estrutura mais densa e de maior dureza superficial, conseqüentemente com maior resistência a ações de desgaste por abrasão e de impactos. A resistência superficial dos revestimentos também parece favorecida quando o acabamento final é feito com desempenadeira de aço, possivelmente por gerar uma película superficial de baixa porosidade.

De acordo com Groot (1993), as quantidades de água existentes na argamassa exercem influência significativa na resistência mecânica do revestimento endurecido, pois o aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água resultante após a sucção.

A avaliação quantitativa da resistência mecânica dos revestimentos carece de metodologia consagrada e resulta que, não raro, tal avaliação é substituída por ensaios de tração ou compressão de corpos-de-prova de argamassa. Entretanto, não guardam correlação com a porosidade e estrutura real dos revestimentos, servindo tal procedimento apenas para efeito de controle da qualidade de argamassas ou de estudos sobre o comportamento do material.

Um método mais real, conforme Sabbatini (1990, p. 10), de avaliação da resistência, embora ainda empírico para servir de base para especificações, é o tradicional risco com prego ou objeto pontiagudo similar, adotado em obra para qualificar a resistência dos revestimentos. Os ensaios internacionais normalizados adotam esferas de impacto, escovas elétricas de desgaste superficial, ou preconizam o uso de fitas adesivas, com determinação da massa de revestimento descolada. Para nenhum dos métodos são especificados valores de referência.

### 2.1.3 Módulo de Deformação

Os revestimentos de argamassa devem absorver as deformações intrínsecas (retrações e expansões térmicas e higroscópicas) e deformações da base de pequena amplitude, sem apresentar fissuração visível e sem desagregar. A capacidade de absorver deformações é uma propriedade equacionada pela resistência à tração e módulo de deformação do revestimento. Esta propriedade permite ao revestimento deformar-se sem ruptura ou através de microfissuras imperceptíveis, quando os esforços atuantes ultrapassam o limite de resistência à tração do material.

A capacidade de absorver deformação representa a propriedade das argamassas de se deformar e, se insuficiente, incide na ocorrência de fissuras. Se não ocorrer a ruptura, retorna às dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhe foram impostas. As argamassas devem apresentar esta propriedade na maioria das suas aplicações. A deformação influi na

aderência ao substrato, estanqueidade da superfície e durabilidade da edificação. É expressa pelo módulo de deformação. As argamassas apresentam, com o passar do tempo, um aumento do módulo de deformação, devido à continuidade das reações de hidratação do cimento. Com maior módulo, a capacidade da argamassa de absorver deformações sem o desenvolvimento de fissuras diminui, mas sua resistência aumenta (SILVA et al., 2002, p. 7).

Segundo Sabbatini (1990, p. 11) nas primeiras idades do revestimento, tão logo a argamassa é aplicada, por efeito de sucção inicia-se um processo de movimentação da nata e da água de amassamento para a base. Pode ocorrer também perda de umidade para o meio ambiente em função das condições de vento, temperatura e umidade relativa. A perda de umidade desencadeia um movimento de retração, gerando tensões internas de tração. O revestimento pode ou não ter capacidade de resistir a essas movimentações, o que regula o grau de fissuração nas primeiras idades. As fissuras de retração de secagem apresentam configuração geralmente poliédrica ou unidirecional, regularmente espaçadas.

A perda de água influi na capacidade de deformação. Argamassas com baixa retenção de água têm problemas de exsudação, demandando misturas constantes da argamassa, reduzindo a produtividade. Argamassas perdem trabalhabilidade devido à perda de água para a base e para o meio. Se a velocidade de redução da trabalhabilidade devido à perda de água não for adequada ao ritmo do trabalho, o acabamento pode ser dificultado, com efeitos no aparecimento de fissuras e na própria produtividade.

A exsudação é um dos problemas relacionados à capacidade das argamassas reterem água, o que influenciam na sua deformação. Segundo Green et al. (1999) os métodos de ensaio normalizados para medir a capacidade de retenção de água são ineficientes pois não simulam as pressões a que a água vai receber pela sucção capilar típica das alvenarias.

Segundo Sabbatini (1990, p. 11-12) o grau de fissuração é função dos seguintes parâmetros:

- a) teor e natureza dos aglomerantes: deveriam, para diminuir o potencial de fissuração, ser de baixa a média reatividade pois, nos revestimentos endurecidos a resistência à tração, sendo elevada, diminui sua capacidade de deformação;



- b) teor e natureza dos agregados: a granulometria deve ser contínua e com o teor adequado de finos, uma vez que o excesso destes irá aumentar o consumo de água de amassamento e com isto, induzir a uma maior retração de secagem do revestimento. A recomendação da granulometria contínua prende-se ao fato de que, gerando um menor volume de vazios no agregado, menor será o volume de pasta necessário, e por conseqüência menor a retração. O mesmo raciocínio se aplica para o aumento do teor de agregado no traço, sem prejuízo da trabalhabilidade, que também deve diminuir o volume de pasta e os efeitos da retração de secagem do revestimento;
- c) capacidade de absorção de água da base: as condições ambientais e capacidade de retenção de água da argamassa podem regular a perda de umidade do revestimento durante seu endurecimento e desenvolvimento inicial de resistência à tração;
- d) técnica de execução: estabelece o grau de compactação do revestimento e os momentos de sarrafeamento e desempenho. Estes parâmetros determinam o teor de umidade remanescente no revestimento e a capacidade de retração subsequente a tais operações.

A consistência e a plasticidade das argamassas auxiliam a resistir as deformações impostas permitindo que a argamassa se deforme sem ruptura, mantendo a forma adquirida após a redução do esforço de deformação. A facilidade dos operários trabalhar com a argamassa, que pode ser entendida como um conjunto de fatores inter-relacionados, conferem boa qualidade e produtividade na sua aplicação. Na prática da aplicação manual, a argamassa deve permitir a penetração da colher de pedreiro, sem ser fluida, mantendo-se coesa durante o transporte e no seu lançamento sobre a base, permanecendo úmida o suficiente para ser espalhada, cortada e ainda receber o tratamento superficial previsto (RILEM, 1982).

A aplicação do acabamento final do revestimento deve respeitar um período de secagem, durante o qual ocorrem as fissuras de retração visíveis ou imperceptíveis. Considera-se que 28 dias é um prazo seguro (SABBATINI, 1990, p. 12).

Segundo ainda Sabbatini (1990, p. 12), na equação 1, nos revestimentos endurecidos admite-se, em termos simplificados, que a capacidade de absorver deformações pode ser equacionada por:

$$\xi = f_{ta} / \xi_{ta} \quad (\text{equação 1})$$

Onde  $\xi$ ,  $f_{ta}$  e  $\xi_{ta}$  são, respectivamente, a deformação específica, o limite de resistência e o módulo de deformação à tração da argamassa no momento da ruptura. Essa ruptura pode se originar de tensões de tração oriundas de movimentação da base ou de movimentos térmicos e higroscópicos do próprio revestimento. Da equação 1 deriva um outro princípio básico para se aumentar a capacidade de absorver deformações dos revestimentos: aumento da relação  $f_{ta}/\xi_{ta}$ , que se obtém diminuindo o módulo de deformação à tração da argamassa e, por conseguinte, o seu limite de resistência à tração.

Nas argamassas ditas fracas, as ligações internas são menos resistentes. As tensões podem ser dissipadas na forma de micro-fissuras, à medida que estas surgem nas interfaces microscópicas entre os grãos do agregado e a pasta aglomerante. Nas argamassas fortes, com maior limite de resistência, as tensões vão se acumulando e a ruptura, quando sobrevém, já ocorre na forma de fissuras macroscópicas (SABBATINI, 1990, p. 12).

A fissuração dos revestimentos é uma situação que deve ser evitada, uma vez que a capacidade de aderência pode ficar comprometida no entorno da região fissurada. As tensões tangenciais surgem na interface base/revestimento próximo às fissuras, podendo ultrapassar o limite de resistência ao cisalhamento da interface, possibilitando o descolamento do revestimento. Além disso, as fissuras podem comprometer a estanqueidade dos revestimentos, sua durabilidade e o acabamento final previsto.

#### 2.1.4 Permeabilidade à Água

A permeabilidade consiste na propriedade de um material de se deixar atravessar por líquidos e/ou gases. No caso da argamassa no estado endurecido, a penetração de água pode ocorrer por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor.

A permeabilidade à água é uma propriedade dos revestimentos relacionada com a absorção capilar da estrutura porosa e, eventualmente fissurada, da camada de argamassa endurecida. A permeabilidade desta camada tem fundamental importância na determinação da estanqueidade do sistema vedação e no nível de proteção que o revestimento deve oferecer à base contra a ação das chuvas ou de águas de lavagem da edificação.

A permeabilidade de uma argamassa depende da quantidade e do tipo de aglomerante utilizado, da granulometria do agregado e das características do substrato. É diretamente proporcional à relação água/aglomerante, e inversamente proporcional à resistência da argamassa. O cimento Portland, quando usado em proporções adequadas, pode reduzir bastante a permeabilidade de um revestimento de argamassa. Entretanto, se usado em teores muito elevado, pode provocar a fissuração da argamassa por retração hidráulica, comprometendo assim sua permeabilidade (CINCOTTO et al., 1995 apud SILVA et al., 2002, p. 10).

A permeabilidade ao vapor d'água é uma propriedade sempre recomendável nos revestimentos de argamassa, por favorecer a secagem de umidade acidental ou de infiltração. Evita também os riscos de umidade de condensação interna em regiões de clima mais frio.

Segundo Sabbatini (1990, p. 13) existem diversos métodos para a determinação da permeabilidade à água, mas para a maioria não há especificação de valores em função do tipo de revestimento. Um método com critério definido de desempenho é o do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo denominado ensaio de permeabilidade "in situ". Consiste em submeter uma área do revestimento à pressão de água constante, e mede-se o teor que penetra pela superfície ao final de 24 horas, havendo um valor máximo especificado.

### 2.1.5 Propriedades da Superfície

As propriedades de textura e porosidade superficiais são importantes por estarem relacionadas com as funções estéticas e com a compatibilização do revestimento de argamassa com o sistema de pintura ou outro revestimento final. Além de exercerem influência decisiva na estanqueidade, na resistência mecânica e na durabilidade do revestimento.

A textura superficial pode variar de lisa à áspera sendo basicamente função da granulometria, do teor do agregado (fração mais grossa) e da técnica de execução do revestimento. Além disto, os revestimentos devem constituir-se em uma superfície plana, nivelada, sem fissuras e resistente a danos. Deve também haver compatibilidade química entre o revestimento e o acabamento final previsto. No caso de tintas a óleo, por exemplo, sabe-se que não há compatibilidade com revestimentos à base de argamassa de cal (SABBATINI, 1990, p. 14)..

A textura dos revestimentos é função do acabamento final previsto. Devem também ser consideradas as condições de exposição a que estará submetido o revestimento. Para revestimentos externos deve-se dar preferência para texturas mais rugosas. Obtêm-se assim superfícies que dissimulam melhor os defeitos do próprio revestimento. Contudo, em regiões com maior índice de poluição atmosférica pode-se preferir revestimentos com acabamentos lisos. Estes, quando associados a uma superfície pouco porosa dificultam a fixação de poeiras e micro-organismos conservando, desta forma, mais eficientemente as características estéticas da fachada.

Segundo Sabbatini (1990, p. 14) a avaliação da textura de revestimentos pode ser feita pela comparação de painéis experimentais com classes padrão de acabamento (definidas em função do tipo e incidência percentual dos defeitos permitidos no revestimento). Este procedimento é recomendado pela *Reunion International des Laboratoires de Essais et Materiaux de Construccion* (RILEM, MR-17).

### 2.1.6 Durabilidade

A durabilidade dos revestimentos de argamassa, ou seja, a capacidade de manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo, é uma propriedade complexa e depende, para ser corretamente equacionada, da observação de inúmeros procedimentos nas diversas etapas da construção, do projeto, ao uso e manutenção. Na etapa de projeto devem ser, por exemplo, especificados os materiais e as composições de dosagem, de maneira a compatibilizar o revestimento com as condições a que estará exposto durante sua vida útil; na etapa de execução é fator determinante, além da obediência às técnicas recomendadas, a execução do controle de produção e para a etapa de uso deve ser objeto de especificações coerentes no programa de manutenção periódico.

O perfeito cumprimento das funções das argamassas de revestimento está relacionada com o seu desempenho, onde se entende por desempenho de um produto o seu comportamento em uso e é avaliado pelo grau de satisfação dos usuários. Um dos requisitos de desempenho dos revestimentos é a durabilidade e a exigência desse fator deve ser entendida como a aptidão de um produto em manter sua capacidade de atender as necessidades dos usuários, ao longo do tempo, ao ambiente específico em que é empregado (JOHN, 1993 apud POSSAN et al., 2002, p. 1242).

Segundo Sabbatini (1990, p. 15) os fatores que, com mais frequência, comprometem a durabilidade dos revestimentos estão a seguir relacionados:

- a) movimentações de origem térmica, higroscópicas ou imposta por forças externas: podem causar fissuração, desagregação e descolamento dos revestimentos;
- b) espessura dos revestimentos: sendo excessiva intensifica a movimentação higroscópica nas primeiras idades ocasionando fissuras de retração, que podem comprometer a capacidade de aderência e a permeabilidade do revestimento. A técnica de execução pode, quando inadequada, provocar e ou agravar o aparecimento de tais fissuras;

- c) cultura e proliferação de micro-organismos: provocam manchas escuras que ocorrem geralmente em áreas permanentemente úmidas dos revestimentos. Os fungos e líquens que se proliferam na superfície do revestimento produzem ácidos orgânicos que reagem e destroem progressivamente os aglomerantes da argamassa endurecida;
- d) qualidade das argamassas: podem causar manifestações patológicas de diversas origens conforme tabela 1.

Na grande maioria das edificações a falta de desempenho dos revestimentos de argamassa está relacionada com a perda ou falta de aderência ao substrato. Assim, a capacidade da argamassa de atingir uma completa, resistente e durável aderência com a base, é uma propriedade importante de uma argamassa de revestimento (MARTINELLI, 1989 apud POSSAN et al., 2002, p. 1242).

O desempenho dos materiais de acabamento, dos sistemas de vedação e a estética da obra como um todo depende da durabilidade dos revestimentos, o que demanda decisões coordenadas e controles de qualidade ao nível de todas as etapas do processo construtivo.

A avaliação tecnológica da durabilidade dos revestimentos pode ser realizada através de ensaios acelerados de envelhecimento. Feitos em câmaras climatizadas, representam na maioria das vezes condições de exposição bem mais severas do que as reais sendo, de difícil correlação com a vida útil dos revestimentos. Acredita-se que a melhor forma de se estudar a durabilidade de revestimentos seja através de pesquisas de campo sistematizadas que considerem as reais condições de execução dos serviços e de exposição dos revestimentos (SABBATINI 1990, p. 15).

Tabela 1 : problemas patológicos dos revestimentos com origem na qualidade das argamassas

Origem		Manifestações patológicas observadas no revestimento	
NATUREZA DO AGREGADO	Composição granulométrica excessivamente fina	Fissuras mapeadas de retração de secagem	
	Grãos deletérios (a)	Sulfetos de ferro (pirita, marcassita) concreções ferruginosas	Vesículas vermelhas acastanhadas, provocadas pela formação expansiva de sulfatos, óxidos e hidróxidos
		Argilosminerais Expansivos	Fissuras com ou sem deslocamento e desagregação
	Grãos Friáveis	Micas	Esfoliação ou deslocamento em placas
		Fragmentos orgânicos (materiais carbonosos) (b)	Intumescimento e/ou formação de vesículas
		Torrões de argila (b)	Desagregação, vesículas (com matéria orgânica)
CAL	Hidratação retardada do óxido de cálcio	Vesículas	
	Hidratação retardada do óxido de magnésio	Deslocamento com empolamento	
PROPORÇÃO DE DOSAGEM	Baixo consumo de aglomerantes	Deslocamento, placas de baixa resistência Deslocamento com pulverulência (agregado fino)	
	Consumo excessivo de cal	Deslocamento com pulverulência	
	Consumo elevado de aglomerantes	Deslocamento em placas de elevada resistência (argamassa muito rígida para a base considerada)	
	Consumo de água em excesso (c)	Fissuras mapeadas de retração por secagem	

OBS.:

(fonte: SABBATINI, 1990, p. 16)

- a) grãos instáveis quimicamente;
- b) grãos que, além de friáveis, também podem ser instáveis quimicamente;
- c) o consumo de água em excesso pode ser decorrência do consumo elevado de aglomerantes.

### 2.1.7 Retração

A retração é um fenômeno que ocorre nas argamassas, principalmente nas primeiras idades, e consiste em uma redução de volume do material, causada principalmente pela perda de água de amassamento. Essa perda se inicia desde o momento da mistura, por evaporação, em ambientes com umidade relativa inferior a 100%. Após a aplicação, além da evaporação pela superfície, a argamassa passa a perder água também para o substrato por fenômeno de sucção. As características da rede de poros e o teor de umidade dos materiais em contato com a argamassa, juntamente com as condições ambientais, condicionam a velocidade e a quantidade de saída da água da argamassa (SILVA et al., 2002, p. 7).

Segundo Silva et al. (2002, p. 7) quando a retração da argamassa for restringida, ou seja, quando a movimentação não for livre, surgem, já nas primeiras horas, esforços de tração no material, que podem causar sua fissuração. Devido a isso, a retração tem grande influência na estanqueidade e na durabilidade das argamassas, especialmente nas argamassas de revestimento. Portanto, para aumento da vida útil das argamassas, é importante o controle da sua retração.

Na figura 2 (SILVA et al., 2002, p. 8) está ilustrado o perfil de retração livre de argamassas mistas nas primeiras 24 horas de cura. A retração que ocorre ainda com as argamassas no estado fresco (antes da pega do cimento) é devida à saída da água de amassamento, e é chamada de retração plástica. Medidas eficazes de cura podem evitar o aparecimento de fissuras superficiais geradas por esse mecanismo, pois, com isso, evita-se a saída da água e a retração, quando o material ainda não possui resistência suficiente para resistir às tensões que lhe serão impostas sem que haja ruptura.



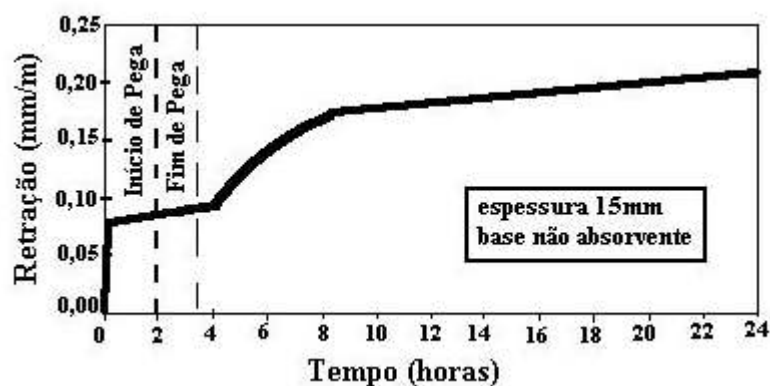


Figura 2: retração livre de argamassas mistas nas primeiras horas (SILVA et al., 2002, p. 8)

Com a continuidade das reações de hidratação e endurecimento, a argamassa sofre retração quando mantida em locais com umidade relativa inferior a 100%. Essa retração resulta da remoção da água adsorvida nos produtos de hidratação, durante o processo de secagem (conhecida por retração por secagem ou retração hidráulica). Parte desta água se encontra nos poros e, quando evapora, origina uma pressão negativa que causa a retração (SILVA et al., 2002, p. 8).

A retração que ocorre durante a hidratação do cimento Portland é chamada de retração por hidratação ou retração química, e se deve ao menor volume ocupado pelos produtos da hidratação, comparativamente ao volume inicial de cimento e água (BASTOS, 2001).

Segundo Bastos (2001) a figura 3 mostra a curva de retração, em função da idade, para uma argamassa mista (em volume). Observa-se que a maior parcela da retração acontece nos primeiros 7 dias de idade, e que continua a uma taxa menor por, pelo menos, 28 dias.

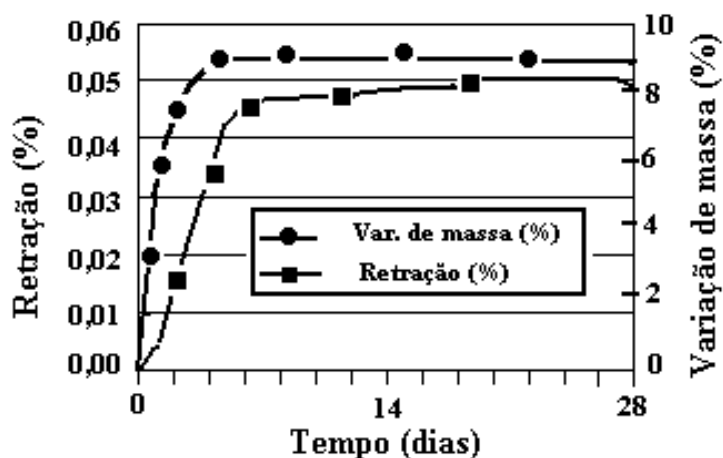


Figura 3: retração de argamassa mista, em volume, ao longo do tempo ( BASTOS, 2001)

Os principais fatores que afetam a retração das argamassas são o tipo e teor de aglomerantes (cimento e cal hidratada), a quantidade de água, a quantidade e granulometria dos agregados, bem como o formato e natureza dos seus grãos, e a espessura da camada de argamassa. As condições ambientais e as características do substrato também exercem influência importante sobre a retração (BASTOS, 2001).

Ainda segundo Bastos (2001) a perda de água e a retração estão diretamente relacionadas. A figura 4 ilustra essa relação. O estágio A corresponde à saída de água dos capilares (vazios maiores) e o estágio B à saída da água dos poros das fases hidratadas do cimento.

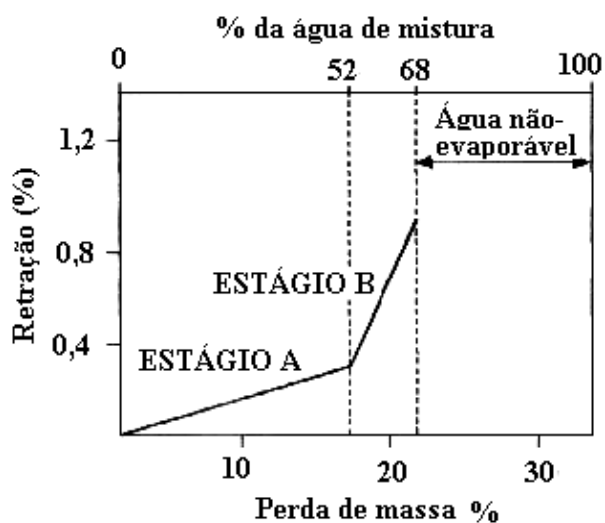


Figura 4: retração em função da perda de massa de pasta de cimento com 7 dias de idade e relação água/cimento 0,5 submetida à secagem (BASTOS, 2001)

Outros fatores relevantes, relacionados ao meio externo, são as condições do substrato sobre o qual a argamassa será aplicada, e as condições de exposição (condições ambientais de temperatura, umidade, insolação, velocidade de vento, etc.) (SILVA et al., 2002, p. 9).

As condições ambientais influenciam a retração na medida em que controlam a velocidade de evaporação da água. Se a evaporação da água tiver início antes do término da pega do cimento, a retração poderá ser acentuadamente elevada. Uma argamassa, mantida sob umidade relativa do ar constante e inferior a 100%, apresenta retração bem mais intensa nas primeiras idades: com apenas sete dias de condicionamento, cerca de 50% da retração total já ocorreu (THOMAZ, 1989, p. 105).

Nas argamassas de revestimento, fatores como aderência à base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada, e intensidade da perda de água durante o processo de endurecimento (regida pelos fatores ambientais), dentre outros, também têm influência importante na retração (THOMAZ, 1989, p. 116).

A absorção excessiva de água das argamassas pelo substrato pode provocar uma hidratação do cimento localmente retardada, podendo formar regiões com materiais de diferentes características e ocasionar grande retração (DETRICHÉ; MASO, 1986).

Além da retração associada à água, as argamassas passam por um processo de retração ou contração térmica, causada pela perda de calor gerado na hidratação dos compostos anidros do cimento. Entretanto, o aparecimento de fissuração de argamassas de revestimento e assentamento é pouco provável, pois a relação área/volume desses materiais permite a rápida dissipação do calor de hidratação no meio externo, não havendo tensões de contração térmica elevadas (BASTOS, 2001).

O primeiro fenômeno de retração a ser considerado é o da retração plástica, que se inicia tão logo a argamassa seja lançada sobre o substrato, pela movimentação de pasta e água de amassamento da argamassa para os poros da base e, também, pela perda da sua umidade para o ambiente, em função das condições de vento, temperatura e umidade do local (SELMO, 1996).

Wittman (1976 apud MIRANDA, 2000, p. 16) demonstrou experimentalmente que o requisito para a retração plástica de concretos é a formação de tensão capilar na água de mistura presente no material fresco após a superfície tornar-se seca.

Quando a superfície seca primeiro, um complexo sistema de meniscos se forma próximo à superfície do concreto. Uma pressão capilar de tração dentro da fase líquida é desenvolvida e aumenta até alcançar um valor máximo, que Wittman (1976 apud MIRANDA, 2000, p. 16) chama de pressão de fratura. A pressão capilar abaixa rapidamente e imediatamente após a pressão de fratura ser alcançada.

A retração plástica começa logo após a pressão capilar começar a se desenvolver e a exercer pressão negativa suficiente para causar retração tanto na direção da espessura quanto da superfície do revestimento. A deformação por retração aumenta com a pressão capilar, até atingir a fratura do material e, após este ponto, a deformação é cessada (WITTMAN, 1976 apud MIRANDA, 2000, p. 16).

Se a retração não é uniforme ou se existe resistência a ela, tensões de tração são desenvolvidas começando na superfície do material. Essas tensões, embora pequenas, podem facilmente

exceder a baixa resistência à tração da argamassa fresca. Segundo Miranda (2000, p. 16) o máximo valor de pressão capilar para todas as misturas estudadas por Kronlõf et al. (1995 apud MIRANDA, 2000, p. 15) variou de 5 a 30 kPa.

Ainda segundo Kronlõf et al. (1995, apud MIRANDA, 2000, p. 15) uma grande pressão não necessariamente causa grande retração e, por outro lado, até mesmo uma pequena pressão pode conduzir à considerável retração. Dependerá da resistência mecânica e da aderência desenvolvida pelo revestimento até a formação da pressão capilar, que servirão como restrição à retração.

As fissuras por retração plástica podem aparecer logo após o acabamento do revestimento ou até mesmo durante a fase de desempenho. Podem ou não ser do tipo mapeadas, visíveis ou em microfissuras, atingindo ou não toda a espessura do revestimento. Sua largura é maior na superfície, diminuindo rapidamente com a profundidade (TECHNICAL DATA, 1994 apud MIRANDA, 2000, p. 15).

A NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b) conceitua os seguintes tipos de fissuras em revestimentos:

- a) fissuras mapeadas: podem se formar por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, quer sejam de aglomerantes, quer sejam de finos no agregado, ou por excesso de desempenamento. Em geral, apresentam-se em forma de mapa;
- b) fissuras geométricas: quando acompanham o contorno do componente da base, podem ser devidas à retração da argamassa de assentamento. Fissuras na vertical podem ser devidas à retração higrotérmica do componente, interfaces de base constituída de materiais diferentes, locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação.

Segundo Miranda (2000, p. 15) as fissuras mapeadas podem ser causadas por um ou mais dos seguintes mecanismos de retração, no caso das argamassas simples ou mistas de cimento Portland: retração plástica, retração hidráulica ou por secagem, retração autógena e retração por carbonatação. Entre essas, as duas primeiras são as mais importantes para o estudo da

fissuração em revestimentos. A retração autógena só é relevante em concretos de alta resistência com relação água / cimento menor que 0,26 (PAILLÉRE et al., 1989) e sobre a retração por carbonatação pouco ainda se tem de informações para revestimentos.

Deve-se observar que alguns fatores, que podem ser favoráveis à diminuição de um determinado tipo de retração, podem causar o aumento de outra, o que torna mais difícil o controle da fissuração (MIRANDA, 2000, p. 15).

Segundo Miranda (2000, p. 18) entre os fatores que influenciam a fissuração mapeada dos revestimentos está a técnica de execução. A técnica de execução dos revestimentos pode ser resumida pelas seguintes etapas: preparo da base, mapeamento de espessuras críticas, taliscamento, mestramento, aplicação da argamassa, sarrafeamento e desempenamento (alisamento ou camurçamento).

A influência da técnica no surgimento de fissuras em revestimentos ainda foi pouco pesquisada. As fissuras dos revestimentos de argamassa podem surgir tanto na sua fase plástica quanto endurecida, sendo que as primeiras podem também ter origem na técnica de execução do serviço, além de causas intrínsecas às argamassas de revestimentos.

Segundo Miranda (2000, p. 18) quanto ao preparo da base, poucos autores têm pesquisado a sua influência na fissuração de revestimentos e os principais a serem destacados são Cândia (1998) e Selmo (1999).

É necessário que seja aguardado um período de tempo entre a aplicação da argamassa e o sarrafeamento do revestimento em execução. Esse prazo, chamado "tempo ótimo de sarrafeamento", varia com a dosagem da argamassa, os seus materiais constituintes, o tipo de substrato e condições ambientais e é determinado pelo operário que executa a operação, por observação visual ou toque dos dedos (para avaliar um nível de consistência adequado) na argamassa. Após essa etapa, executa-se o desempenamento, que deve ser feito obedecendo também um período de tempo em relação à etapa anterior para que se processe a evaporação da água de amassamento, a fim de se evitar o surgimento de fissuras de retração (MIRANDA, 2000, p. 18).

## 2.2 INFLUÊNCIA DO AGLOMERANTE NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Conforme resume Selmo (1996), os aglomerantes devem apresentar finura adequada, por questões de trabalhabilidade e possuir a característica de retenção de água e, ainda, de resistência mecânica baixa a média, pois revestimentos comuns com elevada resistência à tração possuem maior módulo de elasticidade e baixa capacidade de deformação.

### 2.2.1 Cimento

O tipo e a composição do cimento podem influenciar na retração. Cimentos de rápida hidratação (ou seja, cimentos com elevado teor de  $C_3A$  ou de alta resistência inicial) geram menos fissuras porque o esqueleto hidratado precoce consegue suportar mais a retração, dificultando a exsudação (NEVILLE, 1997).

Segundo Bolorino e Cincotto (1997, p. 17) os valores de retração livre de argamassas mistas são maiores para os cimentos CP IV e CP V ARI RS do que para os cimentos CP II E e CP II F. Observaram que painéis revestidos com as argamassas de cimento CP III não fissuraram, enquanto que os painéis revestidos com argamassas de cimento CP V ARI RS apresentaram fissuras, fenômeno justificado pela velocidade de hidratação acelerada e maior retração inicial, o que é contraditório à opinião de Neville (1997).

O cimento tipo CP IV consiste de uma mistura íntima e homogênea do clínquer Portland e pozolana fina, na qual a quantidade de pozolana situa-se entre 15 e 40%. Pozolana é um material silicoso ou silicoaluminoso que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente dividido e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes conforme a NBR 5753 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992a).

O teor de cimento é um fator individual que exerce influência sobre a resistência de aderência das argamassas, ou seja, na medida em que se aumenta o consumo de cimento, obtém-se

maiores valores de resistência de aderência. Entretanto, apesar de um maior teor de cimento resultar em maior resistência de aderência, a presença da cal na argamassa garante durabilidade dessa propriedade, pois torna a argamassa mais flexível, além de reduzir a incidência de fissuras. Além disso, as argamassas mistas (cimento e cal), em geral, devido à sua plasticidade e retenção de água, permitem o preenchimento das irregularidades da base, repercutindo de forma favorável sobre a aderência (CARASEK, 1997, p. 139).

### 2.2.2 Cal Hidratada

No preparo das argamassas mistas é utilizada a cal hidratada, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio ou, ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. A cal hidratada é um aglomerante aéreo, pois interage com o anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) presente no ar atmosférico, na presença de umidade, resultando na formação de carbonatos de cálcio e magnésio (GUIMARÃES, 1989, p. 12).

A cal hidratada é obtida pela hidratação adequada da cal virgem, que reage quimicamente com a água resultando na formação de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio. A reação de hidratação é exotérmica, ou seja, existe a liberação de calor aproximadamente 250 calorias para cada grama de cal virgem. Ocorre também, na hidratação, um aumento volumétrico (expansão) da ordem de 100% (AGOPYAN, 1985, p. 30).

Conforme Cincotto e Carasek (1995, p. 87) o controle de qualidade da cal hidratada começa pela seleção da matéria-prima com pureza adequada. São matérias-primas, os calcários e dolomitos (principalmente rochas metamórficas de ocorrência natural), que passam por aquecimento a temperaturas entre 900 e 1200°C para obtenção da cal virgem.

A pureza da matéria-prima deve ser tal que a cal hidratada tenha um teor mínimo de óxidos de cálcio e de magnésio de 88%, com base em material isento de voláteis, sendo os 12% restantes impurezas da matéria-prima conforme a NBR 6453 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988). Para que isso seja atingido, o teor mínimo de carbonatos correspondentes na matéria-prima é de cerca de 92% (CINCOTTO; CARASEK, 1995, p. 88).



O endurecimento da cal hidratada é geralmente atribuído à carbonatação dos hidróxidos presentes, que acontece gradualmente após a evaporação parcial da água de amassamento. No entanto, estudos publicados no *Journal Materials Science and Engineering A*, demonstram que parte do hidróxido de magnésio e mesmo do óxido de magnésio presentes podem levar à formação de hidromagnesita ( $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ) (DHEILLY et al., 1999), produto que mesmo em baixas concentrações aumenta significativamente a resistência mecânica das argamassas confeccionadas com cales magnesianas ou dolomíticas. Esta teoria foi confirmada em várias argamassas antigas, incluindo a da igreja Santa Maria de Zamarce em Navarra (MONTROYA et al., 2003), embora os carbonatos continuem sendo os compostos majoritários.

As cales hidratadas, por sua vez, são classificadas pela NBR 7175 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992b), de acordo com a sua composição química, em CH I, CH II e CH III. Dentre as exigências químicas para a sua classificação, constam os limites para os teores de anidrido carbônico ( $CO_2$ ) e de óxidos de cálcio e magnésio.

O teor de anidrido carbônico, determinado por análise química, indica se a calcinação da matéria-prima foi incompleta, pois acusa a presença de carbonatos de cálcio e/ou magnésio na cal. O carbonato, chamado pedra crua, representa um constituinte inerte, reduzindo a capacidade aglomerante da cal. Entretanto, a existência de carbonato na amostra pode ser devida à sua carbonatação, por interação química com o gás carbônico presente na atmosfera (SILVA et al., 2002, p. 15).

Conforme Silva et al. (2002, p. 15) a finura também é um parâmetro de qualidade da cal hidratada. A presença de partículas muito grandes é responsável pela falta de estabilidade da cal. A finura controlada evita a presença de grãos graúdos, que podem gerar o aparecimento de vesículas no revestimento acabado, devido a uma hidratação retardada da cal.

As argamassas contendo cal, de forma geral, apresentam maior deformação na ruptura, conforme constatado por Mosquera et al. (2002) que estudaram uma argamassa com traço 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia, em massa) em comparação a argamassas diversas, incluindo uma argamassa comercial. Este é um indicador da resistência à propagação de fissuras deste produto.

No entanto um intrigante estudo mostra que a adição de produtos que provoquem a expansão de argamassas de cimento Portland, como óxido de cálcio supercalcinado (*dead-burnt lime*), provoca significativo aumento na energia de fratura (MERCHANT et al., 2001).

Esta conclusão permite especular sobre eventuais benefícios que uma hidratação controlada de óxidos de cálcio e magnésio no médio e longo prazo possam ter na durabilidade de argamassas de cal, aumentando a resistência à propagação de fissuras e simultaneamente fechando microfissuras já abertas. O desenvolvimento deste tipo de tecnologia não é trivial, posto que existe uma grande dificuldade de analisar os riscos de expansão das argamassas e, no passado, falhas de hidratação em argamassas levaram a problemas patológicos importantes (CINCOTTO, 1980).

A presença de partículas de forma angular, tipicamente produtos de moagem, tem também sido apontada como fator de melhora da tenacidade (MERCHANT et al., 2001; KIM, et al., 1997). Assim, mesmo a fração carbonática presente na cal hidratada potencialmente pode auxiliar no controle de fissuras.

A massa unitária é outro parâmetro de qualidade da cal hidratada. Uma cal, com massa unitária elevada (superior a  $0,70 \text{ kg/dm}^3$ ), denota a presença de materiais inertes que reduzem seu poder aglomerante (SILVA et al., 2002, p. 15).

A influência da cal hidratada sobre a consistência e a trabalhabilidade da argamassa é proveniente do estado de coesão interna que a cal proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. Como as partículas da cal hidratada possuem elevada área específica e elevada capacidade de adsorção de água, as argamassas mistas são caracterizadas pela grande retenção de água (GUIMARÃES, 1989, p. 18).

O tipo de cal hidratada, por afetar a plasticidade, também influencia a trabalhabilidade das argamassas. As cales cálcicas resultam em pastas com maior consistência, ou seja, menor fluidez, do que as cales dolomíticas. A presença de impurezas nas cales torna as argamassas mais fluidas (RAGO; CINCOTTO, 1998, p. 15).

A cal hidratada aumenta a capacidade das argamassas de absorverem deformações sem o desenvolvimento de fissuração intensa, pois reduzem o seu módulo de deformação. Quanto

maior o teor de cal, mais intenso é esse efeito. Entretanto, há redução da resistência mecânica da argamassa com aumento do teor de cal (SILVA et al., 2002, p. 17).

A composição química da cal também exerce influência sobre a aderência entre argamassa e substrato: as cales com maiores teores de hidróxido de magnésio (cales dolomíticas) resultam de argamassas mais aderentes se comparadas às argamassas com cales cálcicas, provavelmente devido à sua maior capacidade de retenção de água (CARASEK et al., 2001, p. 54).

Bolorino e Cincotto (1997, p. 18) obtiveram ainda dados indicativos de que a cal CH I consome maior teor de água de argamassas do que a cal CH III, mas não conseguiram evidenciar a influência do tipo de cal sobre a retração potencial das argamassas que estudaram (1:1:6, traço em massa, com materiais secos). Mas, como a cal CH I possui maior finura que a CH III, é possível utilizá-la em menor quantidade e isto pode compensar o maior consumo de água, bem como propiciar um menor custo.

Mas, Siqueira e Selmo (1995, p. 272) mostraram que, para revestimentos de argamassas mistas 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia, em volume e agregado úmido), com ambos os tipos de cales, CH I e CH III, podem se configurar fissuras mapeadas, por exposição cíclica a variações de umidade e temperatura.

Cincotto et al. (1995) indicam que os aglomerantes são os principais responsáveis pela retenção de água das argamassas devidos principalmente as suas elevadas áreas específicas. Neste mesmo sentido, Green et al. (1999) concluem que a cal apresenta uma forte característica de retenção de água. Também Groot (1993) conclui que a grande retenção de água das argamassas de cal e cimento favorece significativamente a hidratação do cimento.

Segundo Silva et al. (2002, p. 16) a cal hidratada tem influência marcante sobre as propriedades e características da argamassa mista de cimento e cal, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, e também no desempenho da argamassa durante sua vida útil, independentemente das condições de aplicação e de serviço, e da sua função (revestimento, assentamento de alvenaria, etc.).

## 2.3 INFLUÊNCIA DO AGREGADO NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

O estudo sobre a influência da distribuição granulométrica dos agregados nas propriedades de argamassas e concretos nos estados fresco e endurecido, pode ser remontado quando Füller e Thompson (1907, p. 225) através de trabalhos experimentais e empíricos, variando as composições dos agregados e cimento de argamassas e concretos, obtiveram resultados que indicam a redução do consumo de água de amassamento para um aumento da compacidade variando a granulometria do agregado. Como os ensaios eram realizados por tentativas, foi necessário um método para a correção da granulometria dos agregados naturais.

A granulometria dos agregados para argamassas deve ser preferencialmente contínua, o que conduz a uma melhor trabalhabilidade e a uma redução do volume de pasta e dos efeitos da retração por secagem dos revestimentos, como consequência do menor consumo de água nas argamassas (SELMO, 1986, p. 30).

Carneiro (1999, p. 7) também comprovou que as argamassas dosadas a partir de distribuições granulométricas contínuas possuem melhores características no estado fresco e endurecido. Essa distribuição contínua, que resulta em maior compacidade das argamassas, pode ser conseguida através da acomodação das partículas menores entre as maiores, reduzindo o consumo de água de amassamento para uma mesma trabalhabilidade estipulada.

Para que estes materiais possam compor as argamassas mistas e atendam as exigências e funções de um revestimento, devem apresentar propriedades e características adequadas de trabalhabilidade, capacidade de retenção de água, resistência mecânica, aderência ao substrato e durabilidade.

Como se pretende utilizar o estudo dessas propriedades como embasamento teórico para estabelecimento de uma argamassa de melhor desempenho a ser utilizada na cidade de Sant`Ana do Livramento, suas características também serão analisadas de acordo com a classificação de MERUC, recomendada pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (C.S.T.B., 1993).

A classificação MERUC contém informações sobre as características para cada classe de argamassa proposta pelo CSTB que, por ser uma entidade certificadora e homologadora oficial de produtos comercializados, tem conhecimento do universo das argamassas produzidas na França, que tem em torno de 200 tipos de argamassas. No entanto, é o produtor que declara qual a classificação do seu produto e a que condições se aplicam, como local, condições ambientais e características da base.

A classificação tem as seguintes características:

- a) **M** – massa específica no estado endurecido ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ );
- b) **E** – módulo de deformação (MPa);
- c) **R** – resistência à tração na flexão (MPa);
- d) **U** – retenção de água no estado fresco (%);
- e) **C** – capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ).

Para a classificação MERUC foram estabelecidos critérios de desempenho em seis classes, conforme a tabela 2.

Tabela 2: classificação das características de argamassas para revestimentos conforme a CSTB, 1993.

Classe	M $\text{kg}/\text{dm}^3$	E MPa	R MPa	U %	C $\text{G}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$
1	< 1,2	< 5000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1,0 a 1,4	3500 a 7000	1,2 a 2,0	75 a 85	1,0 a 2,5
3	1,2 a 1,6	5000 a 10000	1,5 a 2,5	82 a 90	2,0 a 4,0
4	1,4 a 1,8	7500 a 14000	2,0 a 3,2	88 a 94	3,0 a 7,0
5	1,6 a 2,0	12000 a 20000	2,7 a 4,0	92 a 97	5,0 a 12,0
6	> 1,8	> 16000	> 3,4	96 a 100	> 10,0

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O trabalho tem como objetivo a determinação de uma distribuição granulométrica do agregado miúdo para argamassas de revestimento utilizada sobre base de alvenaria constituída de tijolos cerâmicos, que apresente menor retração, maior aderência e menor permeabilidade, em relação ao revestimento de argamassa utilizado na cidade, contribuindo assim para a formulação de uma argamassa de revestimento que possa ser utilizada na cidade de Sant´Ana do Livramento de acordo com o desempenho desejado.

Para avaliar os objetivos propostos neste trabalho foi desenvolvido o presente programa experimental, analisando-se como variáveis quatro tipos de composições granulométricas para a produção de argamassas na cidade de Sant´Ana do Livramento - RS.

De posse do planejamento dos experimentos e das variáveis analisadas, o programa experimental consistiu das seguintes etapas:

- a) seleção e caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas;
- b) composição das quatro misturas granulométricas propostas;
- c) avaliação da massa específica, índice de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco;
- d) avaliação da resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência de aderência à tração, controle de retração por secagem natural do revestimento, absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade, absorção de água pelo método cachimbo, índice de vazios e massa específica da argamassa no estado endurecido.

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais selecionados para a produção de argamassa mista são: cimento Portland, cal hidratada, areia e água, que serão apresentados a seguir.

#### 3.1.1 Cimento Portland

O cimento escolhido para essa pesquisa foi de um único tipo, corrente no mercado de Sant'Ana do Livramento, a saber: cimento Portland CP IV, adquirido no comércio varejista. Este possui as características químicas, físicas e mecânicas apresentadas nas tabelas 3 e 4, conforme dados fornecidos pelo fabricante, com exceção da massa específica, resistência à compressão e massa unitária, determinados em laboratório da URCAMP – Universidade da Região da Campanha, conforme procedimentos prescritos nas normas NBR NM23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a) e NBR 7251 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982), respectivamente..

Tabela 3: caracterização química do cimento Portland CP-IV

Caracterização Química	%
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	36,85
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10,78
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,41
Óxido de cálcio (CaO)	37,77
Óxido de Magnésio (MgO)	4,10
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	2,25
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	0,12
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	1,30
Perda ao fogo	2,85

Tabela 4: caracterização físico-mecânica do cimento Portland CP-IV

Caracterização físico-mecânica	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	455,4
Início de pega (h:min)	4:54
Fim de pega (h:min)	6:04
Resíduo na peneira (0,0075mm)	0,40
Resistência à compressão 3 dias	19,80
(MPa) 7 dias	24,50
28 dias	36,70
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,18

### 3.1.2 Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada na produção da argamassa foi do tipo CH I e possui as características químicas e físicas fornecidas pelo fabricante, com exceção da massa específica e massa unitária realizadas em laboratório (tabelas 5 e 6), conforme preconizam as normas NBR NM23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) e NBR 7251 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982), respectivamente.

Tabela 5: caracterização química da cal hidratada CH I

Caracterização química	%
Insolúveis em ácido clorídrico	1,26
Óxido de ferro e de alumínio (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,70
Óxido de cálcio (CaO)	70,80
Óxido de magnésio (MgO)	0,42
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,23
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	3,75
Perda ao fogo	26,40



Tabela 6: caracterização física da cal hidratada CH I

Caracterização física	
Material retido acumulado peneira 0,600mm (%)	0,00
Material retido acumulado peneira 0,075mm (%)	6,30
Plasticidade	109,00
Retenção de água (%)	80,00
Capacidade de incorporação de areia	1:3,25
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,24
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,48

### 3.1.3 Agregado Miúdo

Segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as frações constituintes dos solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos. Essas frações, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), são: pedregulho, conjunto de partículas cujas dimensões (diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 76 e 4,8 mm; areia, entre 4,8 e 0,05 mm; silte, entre 0,05 e 0,005 mm; argila, inferiores a 0,005 mm.

A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões dos grãos e das suas proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semilogarítmico, no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das aberturas da malha e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em massa, de material que passa pela dimensão considerada.

Como agregado miúdo foram utilizados dois tipos de areias existentes no comércio de Sant'Ana do Livramento. A areia **1** utilizada pelas construtoras para argamassa de revestimento, cuja origem é de rio, obtida na cidade de Rosário do Sul localizada a 100 km de Livramento, e a areia **2**, normalmente utilizada para assentamento de tijolos ou blocos, sendo sua origem um açude localizado a 35 km de Livramento.

Foram caracterizadas pela distribuição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo segundo a NBR 7217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987a);

massa unitária determinada com areia úmida, NBR 7251 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982) e massa específica, NBR 9776 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987b).

Existem granulometrias contínuas ou descontínuas, uniformes, bem graduadas ou mal graduadas, dependendo das frações que a compõem. Porém, para se estabelecer uma diferença mais quantitativa entre os tipos de areia, foram adotados, para curva granulométrica, os parâmetros de Allen-Hazen que são o diâmetro efetivo e o grau de uniformidade. O diâmetro efetivo é aquele da abertura da peneira na qual a porcentagem que passa corresponde a 10% em massa (CAPUTO, 1988, p. 26).

Com estes parâmetros pode-se estabelecer os coeficientes de uniformidade ( $C_u$ ) e o coeficiente de curvatura ( $C_c$ ). Para cálculo do coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) foi utilizada a equação 2, que é a razão entre os diâmetros correspondentes a abertura de malha que passa 60% ( $d_{60}$ ) e 10% ( $d_{10}$ ) em massa, tomados na curva granulométrica. Esta relação indica, na realidade, falta de uniformidade, pois seu valor diminui ao ser mais uniforme o material. Considera-se na mecânica dos solos, como granulometria muito uniforme aquela com  $C_u < 5$ , de uniformidade média  $5 < C_u < 15$  e desuniforme, quando  $C_u > 15$  (CAPUTO, 1988, p. 27).

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (\text{equação 2})$$

Onde  $C_u$  é o coeficiente de uniformidade,  $d_{60}$  é a abertura de malha da peneira que passa 60% em massa e  $d_{10}$  é a abertura de malha da peneira que passa 10% em massa.

Define-se ainda, complementarmente, o coeficiente de curvatura do solo ( $C_c$ ) pela equação 3. Para solos bem graduados seu valor está compreendido entre 1 e 3.

$$C_c = (d_{30})^2 / d_{60} \times d_{10} \quad (\text{equação 3})$$

Onde  $C_c$  é o coeficiente de curvatura,  $d_{30}$  é o diâmetro correspondente a 30% da porcentagem que passa em massa,  $d_{60}$  é a abertura de malha da peneira que passa 60% em massa e  $d_{10}$  é a abertura de malha da peneira que passa 10% em massa.

Foi ainda calculado o índice de vazios ( $I_v$ ) da areia pela equação 4. Os resultados foram agrupados na tabela 7. Na figura 5 apresentam-se as curvas granulométricas das areias **1** e **2** estudadas.

$$I_v = 1 - (\gamma / \delta) \quad \text{(equação 4)}$$

Onde  $I_v$  corresponde ao índice de vazios,  $\gamma$  à massa unitária e  $\delta$  à massa específica.

Tabela 7: caracterização física das areias utilizadas no estudo

Distribuição granulométrica:				
Peneira (mm)	Areia 1 (%)		Areia 2 (%)	
	Retido	Retido acumulado	Retido	Retido acumulado
4,8	0	0	0	0
2,4	0	0	5	5
1,2	0	0	84	89
0,6	1	1	9	98
0,3	51	52	2	100
0,15	47	99	0	100
0,075	1	100	0	100
Fundo	0	100	0	100
Diâmetro máximo (mm)	0,6		2,4	
Módulo de finura	1,52		3,92	
Coefficiente de uniformidade	2,056		1,681	
Coefficiente de Curvatura	0,078		1,008	
Massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,318		1,334	
Massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,503		2,654	
Índice de vazios	0,47		0,50	

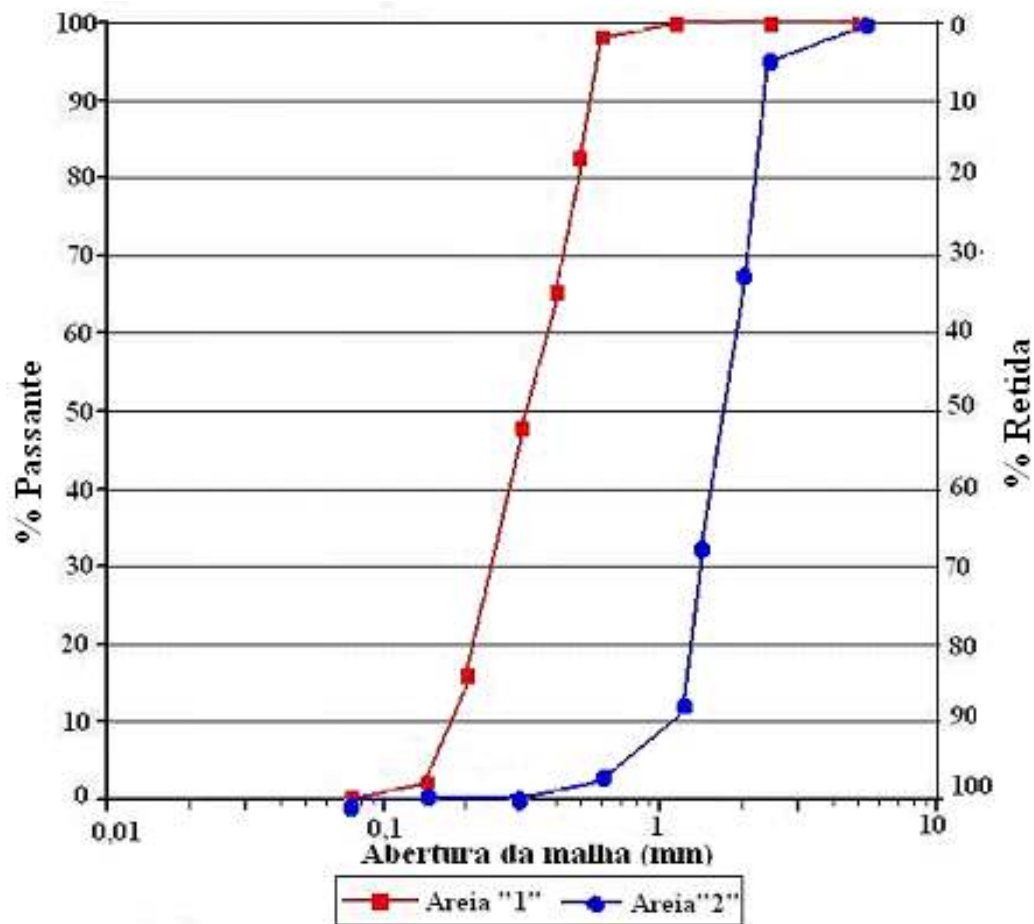


Figura 5: curva granulométrica das areias 1 e 2

A textura superficial da argamassa pode variar de lisa à áspera sendo basicamente função da granulometria e do teor do agregado (fração mais grossa). Seguindo este critério, as areias foram misturadas para compor um revestimento que apresente pouca aspereza, estabelecendo-se um limite de 50% da fração mais grossa. Ainda foram realizadas três composições para obter pontos no traçado de uma curva, conforme a tabela 8.

Tabela 8: composição das areias utilizadas no estudo

	Referência			
	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Areia 1	100 %	90 %	70 %	50 %
Areia 2	0 %	10 %	30 %	50 %

Uma vez compostas as areias, cuja percentagem de cada fração foi obtida da curva granulométrica, foram determinadas para cada composição sua caracterização, cujos resultados são apresentados na tabela 9.

Tabela 9: caracterização física das areias utilizadas no estudo

Distribuição granulométrica:								
Peneira (mm)	Referência							
	Comp.01 %		Comp.02 %		Comp.03 %		Comp.04 %	
	Retido	Retido	Retido	Retido	Retido	Retido	Retido	Retido
	acumulado		acumulado		acumulado		acumulado	
4,8	0	0	0	0	0	0	0	0
2,4	0	0	1	1	2	2	4	4
1,2	0	0	8	9	25	27	41	45
0,6	1	1	1	10	3	30	4	49
0,3	51	52	47	57	37	67	27	76
0,15	47	99	43	100	33	100	24	100
0,075	1	100	0	100	0	100	0	100
Fundo	0	100	0	100	0	100	0	100
Diâmetro máximo (mm)	0,6		2,4		2,4		2,4	
Módulo de finura	1,52		1,77		2,26		2,74	
Coefficiente de uniformidade	2,056		2,205		2,661		6,349	
Coefficiente de Curvatura	0,078		0,861		0,808		0,768	
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,318		1,320		1,323		1,326	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,503		2,518		2,548		2,578	
Índice de vazios	0,47		0,48		0,48		0,49	

Na figura 6 apresentam-se as curvas granulométricas das composições 01, 02, 03 e 04 que foram utilizadas neste trabalho.

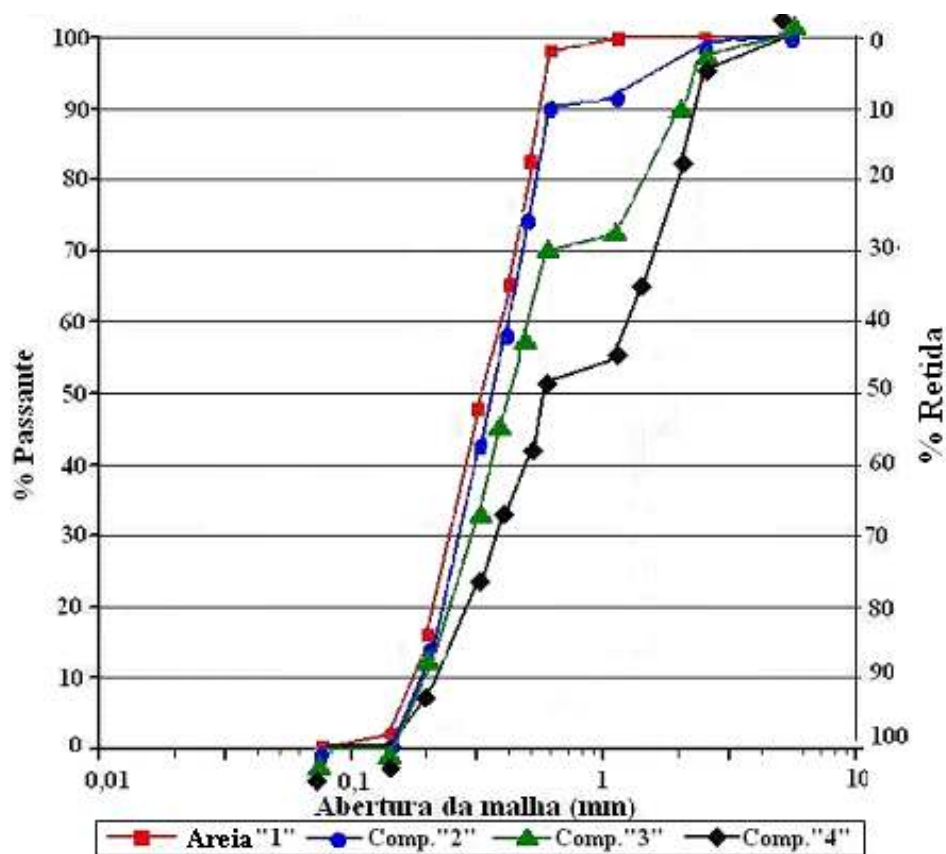


Figura 6: curva granulométrica das composições 01, 02, 03 e 04

### 3.1.4 Água

A água utilizada para o ensaio foi fornecida pelo D.A.E. – Departamento de Água e Esgoto da cidade de Sant´Ana do Livramento.

### 3.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Antes da produção das argamassas propriamente ditas, as areias foram misturadas produzindo três composições. A homogeneização adotada foi manual e não mecânica, a fim de reproduzir uma situação que ocorre na prática, conforme ilustra a figura 7.



Figura 7: mistura manual do agregado miúdo para obtenção das diferentes composições granulométricas

Os ensaios foram realizados com um único traço 1:2:9 (cimento, cal hidratada, areia úmida em volume). A produção da argamassa intermediária teve início com a mistura da areia com a cal hidratada e água, conforme figura 8, em betoneira de eixo inclinado, de capacidade de 120 l e motor de 1,5 cv, sendo armazenada por 24 horas, coberta por plásticos.



Figura 8: confecção da argamassa intermediária em betoneira de eixo inclinado

Após este período a argamassa intermediária foi misturada ao cimento com adição ou não de água, conforme determinado no ensaio de verificação de consistência ( $270 \pm 10$  mm). Após os ensaios no estado fresco, foram moldados 42 corpos-de-prova de argamassa por tipo de composição, para os ensaios na argamassa endurecida nas idades de 7, 28 e 91 dias. Na tabela 10 constam os traços utilizados nos ensaios.

Tabela 10: traços em massa com areia úmida para as diferentes composições granulométricas

Composições	Traço em massa		
	Cimento	Cal	Areia
01	1	0,81	10,05
02	1	0,81	10,07
03	1	0,81	10,09
04	1	0,81	10,11



### 3.2.1 Ensaios das Argamassas no Estado Fresco

Para as diferentes composições de argamassas no estado fresco foram realizados os ensaios para determinação de massa específica, índice de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado.

#### 3.2.1.1 Determinação do Índice de Consistência

Como parâmetro de comparação fixou-se o índice de consistência para que os traços obtivessem uma boa trabalhabilidade. O índice de consistência das argamassas foi pré-estabelecido a partir do traço em estudo e, com o auxílio de um pedreiro.

O índice fixado foi de  $270 \pm 10$  mm verificados na *flow table*, conforme a NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a). A tabela 11 apresenta os resultados obtidos e a figura 9 apresenta um detalhe do ensaio.

Tabela 11: índice de consistência, quantidade de água utilizada e relação água/cimento das argamassas com diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Índice de Consistência (mm)	275	272	267	265
Quantidade de água (l)	5,8	5,7	5,6	5,5
Relação água / cimento	0,77	0,76	0,75	0,74



Figura 9: mesa de consistência (*flow table*) com o molde rígido tronco de cone

### 3.2.1.2 Determinação da Retenção de Água

Para a determinação da retenção de água das argamassas com diferentes composições de agregado miúdo, as mesmas foram ensaiadas no estado fresco, conforme indica a NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995b). A tabela 12 apresenta os resultados obtidos e a figura 10 apresenta um detalhe do ensaio.

Tabela 12: retenção de água das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Retenção de Água (%)	80,68	88,03	84,33	81,92



Figura 10: conjunto molde, papéis-filtro e peso para ensaio de retenção de água para argamassa no estado fresco

### 3.2.1.3 Determinação da Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado das Argamassas no Estado Fresco

As determinações da densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco foram realizadas conforme a NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995c). As tabelas 13 e 14 apresentam respectivamente os resultados obtidos de densidade de massa e teor de ar incorporado. A figura 11 apresenta detalhe do ensaio.

Tabela 13: densidade de massa das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Densidade de Massa (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,03	2,04	2,06

Tabela 14: teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco com as diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Teor de Ar Incorporado (%)	13,14	16,46	17,07	17,60



Figura 11: molde em PVC na balança para a determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado

### 3.2.2 Moldagem e Cura dos Corpos-de-Prova

Os ensaios nas argamassas endurecidas foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm que foram moldados manualmente conforme prescrito na NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a), como pode ser visto na figura 12.



Figura 12: moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm

Nas primeiras 48 h os corpos-de-prova foram mantidos cobertos em ambiente de laboratório e bem vedados com uma placa de vidro, conforme, visualizado na figura 13.



Figura 13: cura dos corpos-de-prova cilíndricos nas primeiras 48 h

As desmoldagens dos corpos-de-prova foram realizadas após 48h para evitar danificá-los. A partir deste momento os mesmos foram mantidos em uma caixa plástica com lâmina de água sem contato com os corpos-de-prova, conforme figura 14a, em seguida, foi vedado para dessa forma conseguir uma umidade relativa do ar próxima a 100%, figura 14b, conforme recomenda a NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a).



(a) (b)  
Figura 14: corpos-de-prova em ambiente de laboratório  
(a) armazenados em caixa plástica; (b) vedados para manter a umidade

Após 6 dias da moldagem, os corpos-de-prova foram armazenados em câmara seca com umidade relativa de  $55 \pm 10\%$  e temperatura de  $24 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , permanecendo neste local até a idade dos ensaios aos 7 dias, 28 dias e 91 dias.

### 3.2.3 Ensaios das Argamassas no Estado Endurecido

Para realização dos ensaios nas argamassas no estado endurecido foram moldados 42 corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm para cada composição.

Foram ainda confeccionados quatro painéis de alvenaria de 1,20 x 1,50 m para o ensaio de aderência à tração com tijolos cerâmicos (figura 15a). Sobre o substrato foi aplicado um chapisco de 1:3 (cimento : areia grossa), como pode ser visto na figura 15b. A espessura do revestimento adotado foi de  $20 \pm 10 \text{ mm}$ , conforme executado na maioria das obras da cidade de Sant'Ana do Livramento.



(a) (b)  
Figura 15: paredes de alvenaria a serem revestidas (a) antes da aplicação do chapisco; (b) após aplicação do chapisco

### 3.2.3.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão das argamassas foi determinada segundo a NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a) e pela NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995d). Os ensaios foram realizados, em quatro corpos-de-prova por idade, aos 7, 28 e 91 dias de idade, em corpos-de-prova que foram curados ao ar (ambiente do laboratório).

Antes da realização dos ensaios, os corpos-de-prova foram capeados com uma mistura de enxofre a quente, com espessura não superior a 2 mm. Foram limpos os pratos da prensa universal com capacidade máxima de 10 t e colocados os corpos-de-prova diretamente sobre o prato inferior de maneira que ficasse rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento.

A seguir, transmitiu-se uma carga de compressão ao corpo-de-prova até seu rompimento, tentando manter uma velocidade de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s conforme indica a NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a). A tabela 15 apresenta os resultados obtidos e a figura 16 mostra detalhe do ensaio.

Tabela 15: resistência à compressão das argamassas com as diferentes composições granulométricas

Composições	Idades dias	Resistência (MPa)				Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4			
01	7	0,74	0,72	0,77	0,73	0,74	0,0216	2,92
	28	1,53	1,50	1,57	1,52	1,53	0,0294	1,92
	91	1,58	1,60	1,62	1,56	1,59	0,0258	1,62
02	7	0,78	0,84	0,82	0,80	0,81	0,0258	3,19
	28	1,55	1,63	1,58	1,57	1,58	0,0340	2,15
	91	1,65	1,64	1,59	1,64	1,63	0,0271	1,66
03	7	1,06	1,06	1,02	0,98	1,03	0,0383	3,72
	28	2,01	1,98	1,97	1,95	1,98	0,0250	1,26
	91	2,05	2,03	2,00	2,08	2,04	0,0337	1,65
04	7	0,82	0,85	0,89	0,88	0,86	0,0316	3,68
	28	1,65	1,67	1,72	1,69	1,68	0,0299	1,77
	91	1,99	2,02	2,12	2,11	2,06	0,0648	3,15



Figura 16: ruptura dos corpos-de-prova de argamassa de 5 x 10 cm submetidos à compressão axial



### 3.2.3.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A resistência à tração por compressão diametral foi determinada segundo a NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Os ensaios foram realizados, em quatro corpos-de-prova por idade, aos 7, 28 e 91 dias de idade, em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm, que foram curados ao ar (ambiente do laboratório).

Para o ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) forma cilíndrica com espessura de pelo menos 2 mm, diâmetro interno de  $50 \pm 2$  mm e altura  $100 \pm 5$  mm;
- b) paquímetro;
- c) régua metálica;
- d) duas tiras de chapa dura de fibra de madeira, conforme indica a figura 17 e com dimensões estipuladas;
- e) balança;
- f) prensa universal com capacidade de 10t.

Após a moldagem e cura, a execução do ensaio consistiu em colocar em repouso o corpo-de-prova ao longo de uma geratriz sobre duas tiras de madeira de chapa dura, isenta de defeitos, apoiadas no prato da máquina de compressão.

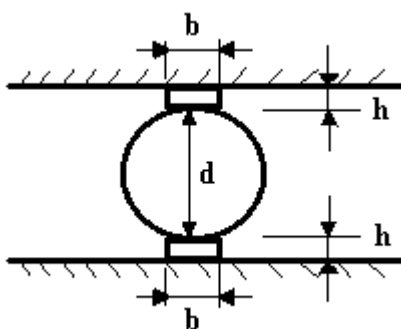


Figura 17: disposição das tiras de chapa dura de fibra de madeira para o ensaio de tração por compressão diametral

A equação 5 indica a largura  $b$  para uma altura  $h = 3,5 \pm 0,5$  mm. A seguir, foram ajustados os pratos da máquina para se obter uma ligeira compressão capaz de manter em posição o corpo-de-prova.

$$b = (0,15 \pm 0,01) d \quad (\text{equação 5})$$

Onde  $b$  é a largura das tiras de madeira e  $d$  é o diâmetro do corpo-de-prova em milímetros.

A carga foi aplicada continuamente e sem choque, com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de  $0,05 \pm 0,02$  MPa/s como indica a NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), até a ruptura do corpo-de-prova. A tabela 16 apresenta os resultados dos ensaios à tração por compressão diametral e a figura 18 um detalhe do ensaio.

Tabela 16: resistência à tração por compressão diametral das argamassas

Composições	Idades dias	Resistência (MPa)				Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coef. de variação(%)
		CP1	CP2	CP3	CP4			
01	7	0,07	0,08	0,07	0,09	0,08	0,0096	12,35
	28	0,17	0,18	0,17	0,19	0,18	0,0096	5,39
	91	0,19	0,21	0,20	0,20	0,20	0,0082	4,08
02	7	0,10	0,10	0,13	0,11	0,11	0,0141	12,86
	28	0,20	0,20	0,21	0,19	0,20	0,0082	4,08
	91	0,20	0,23	0,24	0,21	0,22	0,0183	8,30
03	7	0,12	0,13	0,12	0,15	0,13	0,0141	10,88
	28	0,23	0,24	0,23	0,25	0,24	0,0096	4,03
	91	0,26	0,28	0,25	0,29	0,27	0,0183	6,76
04	7	0,10	0,13	0,13	0,12	0,12	0,0141	11,78
	28	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,0096	4,51
	91	0,27	0,30	0,29	0,30	0,29	0,0414	4,88



Figura 18: detalhe do ensaio à tração por compressão diametral de corpos-de-prova de argamassa

### 3.2.3.3 Resistência de Aderência à Tração

Para a avaliação da resistência de aderência à tração por arrancamento foram executadas as argamassas com diferentes composições de areia aplicadas num substrato de tijolos cerâmicos com a presença de chapisco, conforme figura 19. O ensaio para a determinação da resistência de aderência à tração foi realizado segundo a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995e).



Figura 19: paredes de alvenaria com revestimento de argamassa, traço 1:2:9 com superfície previamente chapiscada

De acordo com a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b) os valores limites de aderência à tração, para emboço e camada única para fachada e revestimento externo com base cerâmica não devem ser inferiores a 0,30 MPa. Para revestimento interno com acabamento de pintura interna e teto, 0,20 MPa.

Já o projeto de norma 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) atualmente em discussão, recomenda para argamassa de revestimento interno e revestimento externo valores de resistência potencial de aderência à tração maiores ou iguais a 0,20 MPa e 0,30 MPa, respectivamente.

Para o ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) equipamento mecânico de fabricação nacional, com articulação para aplicar um esforço de tração simples, capaz de permitir a aplicação manual, lenta e progressiva de carga, conforme figura 20;
- b) pastilhas de alumínio de seção circular, com diâmetro de 50 mm, e espessura de 25 mm, com dispositivo no centro para serem acopladas ao equipamento de tração;
- c) serra copo com bordas diamantadas, com diâmetro de 50 mm, para corte da argamassa no estado endurecido;
- d) furadeira elétrica para acionar a serra copo;
- e) paquímetro;
- f) balança.

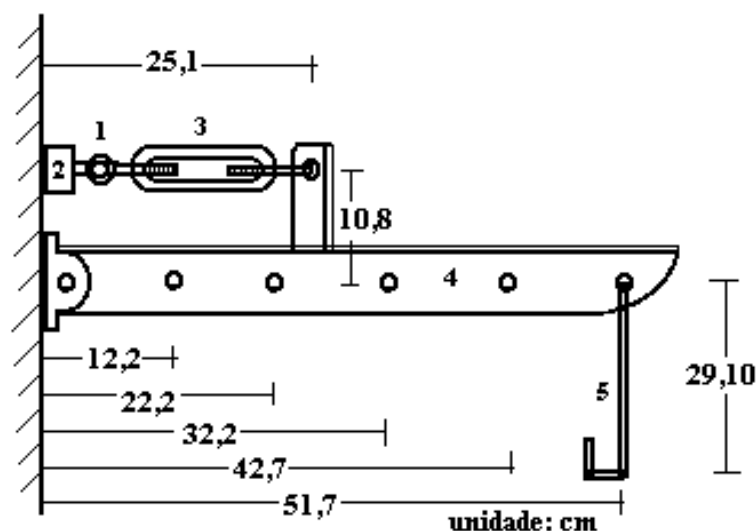


Figura 20: aparelho para ensaio de resistência de aderência à tração

Nomenclatura das partes do equipamento:

- 1) parafuso com argola
- 2) pastilha de alumínio
- 3) esticador ou prisioneiro
- 4) dispositivo de arrancamento
- 5) suporte para implementação de pesos e/ou água

Após 7 dias da execução das alvenarias de 1,20 x 1,50 m a base a ser revestida foi chapiscada com argamassa de cimento e areia grossa, traço 1:3 e consistência bem fluida. Após 30 dias da execução do chapisco, tentando reproduzir o andamento das tarefas em obra, as paredes receberam revestimentos com as quatro composições granulométricas.

A aplicação das argamassas de revestimento foi executada por pedreiro, com técnica pré-estabelecida. A camada resultante teve sua espessura de  $20 \pm 2$  mm e deixada secar. Os ensaios foram realizados aos 7, 28 e 91 dias. Devido à perda elevada dos corpos-de-prova por falhas executivas, conforme cita Dubaj (2000) em seu trabalho, optou-se por realizar o ensaio em 16 corpos-de-prova, sendo 8 posicionados sobre a junta da argamassa e 8 sobre a face dos tijolos, marcados aleatoriamente, sendo utilizado somente os primeiros 12 corpos-de-prova que romperam na interface argamassa-substrato.

Foram medidas e marcadas as seções dos corpos-de-prova no tijolo e na junta, conforme figura 21.

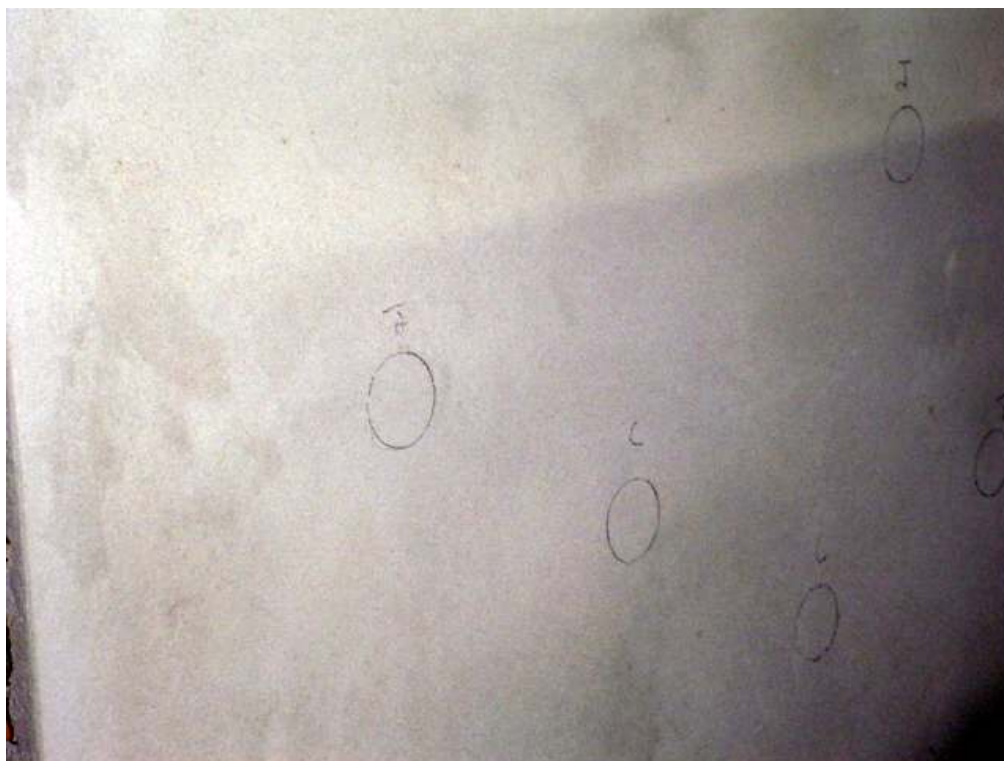


Figura 21: demarcação das seções dos corpos-de-prova para o ensaio de aderência à tração a serem cortados

Logo após, procedeu-se ao corte dos corpos-de-prova até o substrato, com auxílio de uma serra copo com bordas diamantadas e eixo central acoplado a uma furadeira para garantir a horizontalidade do corte, evitando assim, vibrações prejudiciais à integridade do revestimento. O corte foi executado a seco até uma profundidade de 2 a 3mm abaixo da superfície do substrato.

Para a colocação das pastilhas o revestimento foi lixado e escovado para remoção das partículas destacáveis. Logo após, colou-se as pastilhas circulares com diâmetro de 50 mm sobre cada corpo-de-prova, com cola resistente e de secagem rápida, conforme detalhe na figura 22.



(a) (b)  
Figura 22: colocação das pastilhas cilíndricas para fixação do equipamento de tração (a) vista lateral; (b) vista frontal

Na idade prevista para o ensaio, foi acoplado o equipamento de tração à pastilha e, aplicou-se uma carga com velocidade baixa e constante de 5 N/s, utilizando-se como massa areia seca, conforme mostra a figura 23, registrando para cada corpo-de-prova, além do valor da carga de ruptura, a posição em que estava localizada a pastilha e a posição em que se deu a ruptura.



Figura 23: execução do ensaio de resistência à tração direta por arrancamento

Foram considerados apenas os resultados em que o rompimento se deu na interface revestimento e substrato, já que, segundo a norma, nesta região o valor obtido pelo ensaio indica a verdadeira resistência de aderência. A tabela 17 mostra a média dos resultados e no anexo encontram-se todos os valores.



Tabela 17: resistência média de aderência à tração das argamassas

Composições	Local	Corpos-de-prova	Idade dias	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
01	Junta	6	7	0,15	0,009	5,96
			28	0,32	0,014	4,42
			91	0,39	0,046	11,81
	Alvenaria	6	7	0,12	0,014	11,78
			28	0,28	0,032	11,29
			91	0,35	0,014	4,04
02	Junta	6	7	0,17	0,014	8,32
			28	0,33	0,024	7,17
			91	0,39	0,023	5,85
	Alvenaria	6	7	0,13	0,009	6,88
			28	0,27	0,020	7,41
			91	0,36	0,014	3,93
03	Junta	6	7	0,19	0,018	9,41
			28	0,36	0,019	5,27
			91	0,43	0,014	3,29
	Alvenaria	6	7	0,18	0,023	12,67
			28	0,32	0,023	7,13
			91	0,39	0,019	4,86
04	Junta	6	7	0,18	0,011	6,08
			28	0,33	0,019	5,75
			91	0,44	0,026	5,93
	Alvenaria	6	7	0,15	0,014	9,43
			28	0,30	0,021	6,99
			91	0,40	0,023	5,70

#### 3.2.3.4 Absorção de Água por Capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi realizada conforme a NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995a). Na execução do ensaio para todos os corpos-de-prova a água atingiu a face superior dos corpos e conforme a respectiva norma, o ensaio não tem significado se a ascensão capilar máxima atingir a altura do corpo-de-prova.

Desta forma, optou-se pela determinação da absorção de água por capilaridade baseado nos procedimentos do CSTB (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT, 1993) e modificados por Tristão e Roman (1997, p. 440). Os ensaios foram realizados em três

corpos-de-prova aos 7, 28 e 91 dias de idade, em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm, que foram curados ao ar (ambiente do laboratório).

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade (CSTB, 1993) foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) estufa com capacidade para manter a temperatura  $105 \pm 5$  °C;
- b) suportes que mantenham os corpos-de-prova afastados do fundo do recipiente;
- c) balança;
- d) dessecador.

Após a moldagem e a cura, a execução do ensaio consistiu em determinar a massa do corpo-de-prova ao ar e logo após colocou-se em estufa até que a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo-de-prova, entre períodos de 24 h de permanência em estufa, não excedesse 0,5% do menor valor obtido (figura 24).



Figura 24: corpos-de-prova na estufa até obtenção da constância de massa para realização do ensaio de absorção por capilaridade

Resfriou-se o corpo-de-prova ao ar à temperatura de  $23 \pm 2$  °C em dessecador e determinou-se a massa. Em seguida posicionaram-se os corpos-de-prova sobre suportes preenchendo com água o recipiente do ensaio, de modo que o nível d'água permanecesse constante de  $5 \pm 1$  mm acima de sua face inferior, evitando-se de molhar outras superfícies, conforme mostra a figura 25.



Figura 25: recipiente com nível d'água de  $5 \pm 1$  mm para o ensaio de absorção por capilaridade

Durante o ensaio, determinaram-se as massas dos corpos-de-prova que foram enxugados com pano úmido de 10 em 10 minutos até 90 minutos contados a partir da colocação destes em contato com a água. Completada cada etapa, os corpos-de-prova retornaram imediatamente ao recipiente de ensaio.

Calcula-se a absorção de água em  $\text{g}/\text{cm}^2$  a partir da massa de água absorvida em relação à seção transversal do corpo-de-prova. Traça-se a curva de capilaridade onde a abscissa é a raiz quadrada do tempo em minutos e a ordenada a absorção de água em  $\text{g}/\text{cm}^2$ . Através da

declividade da reta ajustada no trecho retilíneo da curva pode-se expressar o coeficiente de capilaridade da argamassa. A tabela 18 apresenta os resultados do ensaio.

Tabela 18: absorção de água por capilaridade das argamassas

Composições	Idade dias	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )			Absorção média (g/cm <sup>2</sup> )	Coef. Absorção (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-0,5</sup> )	Desvio padrão	Coef. Vari. (%)
		CP1	CP2	CP3				
01	7	1,774	1,780	1,795	1,783	0,188	0,011	0,61
	28	1,511	1,558	1,596	1,555	0,164	0,043	2,74
	91	1,485	1,509	1,503	1,499	0,158	0,012	0,83
02	7	1,856	1,809	1,768	1,811	0,191	0,044	2,43
	28	1,609	1,602	1,598	1,603	0,169	0,006	0,35
	91	1,556	1,587	1,411	1,518	0,160	0,094	6,19
03	7	1,528	1,576	1,648	1,584	0,167	0,060	3,81
	28	1,487	1,455	1,411	1,451	0,153	0,038	2,63
	91	1,459	1,444	1,366	1,423	0,150	0,050	3,51
04	7	1,686	1,653	1,728	1,689	0,178	0,038	2,23
	28	1,584	1,522	1,505	1,537	0,162	0,042	2,70
	91	1,490	1,485	1,480	1,485	0,158	0,005	0,34

### 3.2.3.5 Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica

Os ensaios de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica foram realizados segundo a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987c). Os ensaios foram realizados, em três corpos-de-prova aos 7, 28 e 91 dias de idade, em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm, que foram curados ao ar (ambiente do laboratório).

Para o ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) estufa com capacidade para manter a temperatura  $105 \pm 5$  °C;
- b) recipiente adequado para imersão e fervura dos corpos-de-prova;
- c) balança;
- d) dessecador.

Após a moldagem e a cura, a execução do ensaio consistiu em determinar a massa do corpo-de-prova ao ar e logo após colocar em estufa e determinar a massa após permanência 24, 48 e 72 h, até que a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo-de-prova, entre períodos de 24 h de permanência em estufa, não excedesse 0,5% do menor valor obtido.

Resfriou-se o corpo-de-prova ao ar à temperatura de  $23 \pm 2$  °C em dessecador e determinou-se a massa. Em seguida posicionaram-se os corpos-de-prova dentro do recipiente preenchendo com água até 1/3 do seu volume nas primeiras 4 h e 2/3 nas 4 h subseqüentes, sendo completamente imerso nas 64 h restantes, como pode ser visto na figura 26 e 27.



(a) (b)  
Figura 26: imersão dos corpos-de-prova (a) 1/3 da altura do corpo-de-prova; (b) 2/3 da altura do corpo-de-prova

Após a imersão determinou-se a massa da amostra decorrida 72 h de imersão, para isso secou-se a superfície da amostra com toalha absorvente. Logo após, colocou-se os corpos-de-prova em um recipiente cheio de água que progressivamente foi levado à ebulição, a qual começou depois de 15 min da colocação dos corpos-de-prova. A ação da água quente durou 5 h (figura 28).



Figura 27: corpos-de-prova de argamassa totalmente submersos



Figura 28: corpos-de-prova de argamassa submetidos à fervura durante 5h

A seguir, deixou-se resfriar durante 14 h, retirou-se a amostra, secou-se e pesou-se. Nas tabelas 19 a 24 são apresentados os resultados respectivamente, da absorção por imersão com

e sem fervura, índices de vazios e massas específicas para as argamassas confeccionadas com as quatro composições granulométricas. O cálculo para estes índices foi feito utilizando as fórmulas preconizadas pela NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987c).

Tabela 19: absorção de água após 72h de imersão das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

Composições	Idade dias	Absorção (%)			Absorção média (%)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP1	CP2	CP3			
01	7	15,73	15,94	15,88	15,85	0,108	0,68
	28	16,11	16,82	16,72	16,55	0,384	2,32
	91	16,69	16,89	17,03	16,87	0,171	1,01
02	7	15,24	15,24	15,33	15,27	0,052	0,34
	28	15,64	15,64	15,76	15,68	0,069	0,44
	91	15,70	15,69	15,89	15,76	0,113	0,71
03	7	14,96	15,16	14,94	15,02	0,122	0,81
	28	15,38	15,98	15,34	15,23	0,358	2,30
	91	15,35	16,00	14,64	15,33	0,680	4,44
04	7	15,98	15,92	15,98	15,96	0,035	0,22
	28	16,16	15,92	16,16	16,08	0,139	0,86
	91	16,22	16,18	16,71	16,37	0,295	1,80

Tabela 20: absorção de água após 72h de imersão e fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

Composições	Idade dias	Absorção (%)			Absorção média (%)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP1	CP2	CP3			
01	7	17,03	17,75	17,84	17,54	0,444	2,53
	28	17,63	17,74	17,93	17,77	0,152	0,85
	91	17,89	17,85	17,99	17,91	0,072	0,40
02	7	16,96	17,23	17,32	17,03	0,380	2,23
	28	16,69	16,82	17,35	17,18	0,333	1,94
	91	17,44	17,48	17,41	17,36	0,046	0,26
03	7	16,25	16,26	16,03	16,18	0,130	0,80
	28	16,87	16,87	16,67	16,80	0,115	0,69
	91	17,00	16,92	16,99	16,97	0,044	0,26
04	7	17,03	16,82	17,06	16,97	0,131	0,77
	28	17,07	16,82	17,68	17,19	0,442	2,57
	91	17,22	17,00	18,13	17,45	0,599	3,43

Tabela 21: índice de vazios após 72h de imersão das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

Composições	Idade dias	Índice de vazios (%)			Índice de vazios médio (%)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP1	CP2	CP3			
01	7	26,90	27,02	27,02	26,98	0,069	0,26
	28	26,55	27,55	27,54	27,21	0,574	2,11
	91	26,55	27,68	27,73	27,32	0,667	2,44
02	7	25,97	25,93	26,04	25,98	0,056	0,21
	28	25,56	25,56	26,05	25,72	0,283	1,10
	91	25,48	25,51	26,53	25,84	0,598	2,31
03	7	25,04	25,01	25,04	25,03	0,017	0,07
	28	25,06	24,56	25,06	24,89	0,289	1,16
	91	25,06	24,18	25,70	24,98	0,763	3,05
04	7	26,73	26,96	26,98	26,89	0,139	0,52
	28	26,18	26,54	26,55	26,42	0,211	0,80
	91	26,16	26,48	26,98	26,54	0,413	1,56

Tabela 22: índice de vazios após 72h de imersão e fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

Composições	Idade dias	Índice de vazios (%)			Índice de vazios médio (%)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP1	CP2	CP3			
01	7	29,02	28,86	29,48	29,12	0,322	1,10
	28	29,04	29,33	29,53	29,30	0,246	0,84
	91	29,04	29,35	29,75	29,38	0,356	1,21
02	7	28,02	28,01	27,46	27,83	0,320	1,15
	28	28,55	28,55	28,54	28,55	0,006	0,02
	91	27,50	27,52	27,99	27,67	0,277	1,00
03	7	28,82	27,66	28,84	28,44	0,676	2,37
	28	28,05	27,55	28,55	28,05	0,500	1,78
	91	28,00	27,50	29,01	28,17	0,769	2,73
04	7	28,94	28,92	29,02	28,96	0,053	0,18
	28	28,04	28,03	29,04	28,37	0,580	2,04
	91	28,00	27,99	29,39	28,46	0,805	2,83



Tabela 23: massa específica seca e saturada das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

Massa Específica	Idade dias	Composições	CP 1 (g/cm <sup>3</sup> )	CP 2 (g/cm <sup>3</sup> )	CP 3 (g/cm <sup>3</sup> )	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
Seca	7	01	1,596	1,558	1,580	1,578	0,019	1,21
		02	1,605	1,582	1,598	1,595	0,012	0,74
		03	1,611	1,602	1,611	1,608	0,005	0,32
		04	1,602	1,622	1,615	1,613	0,010	0,63
	28	01	1,581	1,591	1,578	1,583	0,007	0,43
		02	1,602	1,602	1,628	1,611	0,015	0,93
		03	1,608	1,614	1,615	1,612	0,004	0,23
		04	1,619	1,643	1,603	1,622	0,020	1,24
	91	01	1,594	1,603	1,591	1,596	0,006	0,39
		02	1,619	1,619	1,631	1,623	0,007	0,43
		03	1,615	1,633	1,627	1,625	0,009	0,56
		04	1,657	1,657	1,627	1,647	0,017	1,05
Saturada	7	01	1,802	1,838	1,823	1,821	0,018	0,99
		02	1,856	1,827	1,891	1,858	0,032	1,72
		03	1,900	1,868	1,863	1,877	0,020	1,07
		04	1,896	1,853	1,885	1,878	0,022	1,19
	28	01	1,825	1,829	1,821	1,825	0,004	0,22
		02	1,852	1,852	1,885	1,863	0,019	1,02
		03	1,867	1,885	1,885	1,879	0,010	0,55
		04	1,880	1,904	1,862	1,882	0,021	1,12
	91	01	1,832	1,839	1,831	1,834	0,004	0,24
		02	1,866	1,891	1,892	1,883	0,015	0,78
		03	1,894	1,894	1,897	1,895	0,002	0,09
		04	1,899	1,922	1,885	1,902	0,019	0,98

Massa Específica	Idade dias	Composições	CP 1 (g/cm <sup>3</sup> )	CP 2 (g/cm <sup>3</sup> )	CP 3 (g/cm <sup>3</sup> )	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
Saturada e Ferv.	7	01	1,832	1,844	1,865	1,847	0,018	0,90
		02	1,890	1,859	1,885	1,878	0,017	0,89
		03	1,908	1,899	1,881	1,896	0,014	0,72
		04	1,905	1,907	1,879	1,897	0,016	0,82
	28	01	1,854	1,859	1,854	1,856	0,003	0,16
		02	1,872	1,872	1,900	1,881	0,016	0,86
		03	1,891	1,900	1,905	1,899	0,007	0,37
		04	1,895	1,919	1,886	1,900	0,017	0,90
	91	01	1,862	1,868	1,862	1,864	0,003	0,19
		02	1,891	1,889	1,899	1,893	0,005	0,28
		03	1,903	1,905	1,907	1,905	0,002	0,10
		04	1,920	1,938	1,914	1,924	0,012	0,65
Real	7	01	2,123	2,148	2,140	2,137	0,013	0,60
		02	2,185	2,168	2,163	2,172	0,011	0,53
		03	2,198	2,189	2,219	2,202	0,015	0,70
		04	2,267	2,266	2,241	2,258	0,015	0,65
	28	01	2,137	2,170	2,137	2,148	0,019	0,89
		02	2,174	2,172	2,180	2,175	0,004	0,19
		03	2,195	2,195	2,235	2,208	0,023	1,05
		04	2,244	2,261	2,274	2,260	0,015	0,67
	91	01	2,180	2,178	2,185	2,181	0,004	0,16
		02	2,183	2,195	2,183	2,187	0,007	0,32
		03	2,203	2,228	2,232	2,221	0,016	0,71
		04	2,289	2,273	2,299	2,287	0,013	0,57

Tabela 24: massa específica real, saturada e com fervura das argamassas confeccionadas com as distintas composições granulométricas

### 3.2.3.6 Absorção de Água pelo Método Cachimbo

O método do cachimbo, para avaliação da absorção de água, tem origem francesa e foi utilizado em revestimentos de argamassa sem pintura por Selmo (1989), a partir dos estudos de Polisseni (1985).

O objetivo deste ensaio é avaliar a permeabilidade de um revestimento de parede de argamassa através da propriedade de absorção de água sob uma pressão inicial de 92 mm de coluna d'água. Esta pressão de água corresponde à ação estática de um vento com velocidade aproximada de 140 km/h.

Para o ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos:

- a) cachimbo de vidro conforme figura 29;
- b) pisseta plástica com capacidade de 30 ml;
- c) cronômetro;
- d) massa de vedação.

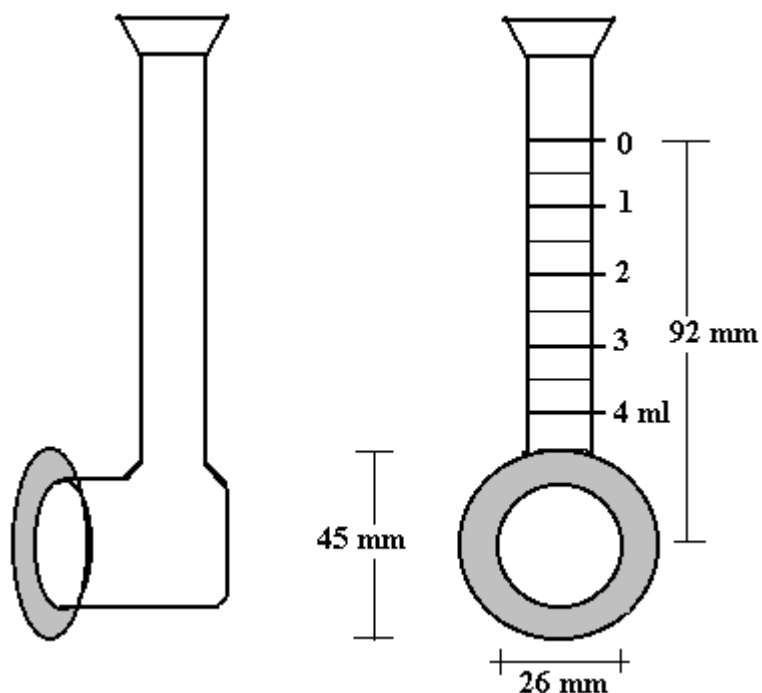


Figura 29: detalhe do cachimbo para o ensaio de absorção

O teste foi realizado colocando-se o cachimbo, em uma única face de cada revestimento aos 7, 28 e 91 dias de idade, nos painéis de 1,20 x 1,50 m que foram curados ao ar (ambiente do laboratório).

Modelou-se com as mãos uma porção de massa para calafetar em forma cilíndrica e envolveu-se o bordo do cachimbo de vidro na parede revestida, comprimindo o selante sobre a argamassa de revestimento. Com o auxílio da pisseta plástica, encheu-se, rapidamente, o cachimbo de vidro com água potável, até a referência de nível zero, e acionou-se o cronômetro.

A cada minuto, foram efetuadas e registradas as leituras da diminuição do nível d'água, em  $\text{cm}^3$ , até completar 15 minutos ou, o nível d'água atingir a marca de  $4 \text{ cm}^3$ , conforme Selmo (1989), simplificando a amostragem de Polisseni (1985). Como recomendado, o ensaio foi executado em três locais do revestimento afastados pela diagonal. A figura 30 apresenta um detalhe do ensaio e a tabela 25 apresenta o valor médio dos resultados do ensaio pelo método cachimbo.



Figura 30: visualização do ensaio de absorção de água pelo método cachimbo (a) fixação do cachimbo de vidro sobre a superfície; (b) vista lateral da fixação

Tabela 25: ensaio de absorção de água pelo método cachimbo nas argamassas aplicadas sobre painéis de alvenaria

Composição	Idade dias	Absorção (cm <sup>3</sup> /min)			Absorção média (cm <sup>3</sup> /min)	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
		CP1	CP2	CP3			
01	7	0,055	0,056	0,051	0,054	0,003	4,90
	28	0,033	0,040	0,033	0,035	0,004	11,44
	91	0,032	0,033	0,028	0,031	0,003	8,53
02	7	0,093	0,088	0,086	0,089	0,004	4,05
	28	0,065	0,057	0,058	0,060	0,004	7,26
	91	0,059	0,055	0,057	0,057	0,002	3,51
03	7	0,025	0,020	0,021	0,022	0,003	12,03
	28	0,014	0,012	0,013	0,013	0,001	7,69
	91	0,013	0,011	0,012	0,012	0,001	8,33
04	7	0,056	0,055	0,063	0,058	0,004	7,51
	28	0,037	0,035	0,039	0,037	0,002	5,40
	91	0,036	0,032	0,031	0,033	0,003	8,02

### 3.2.3.7 Controle da Fissuração pela Secagem Natural dos Revestimentos

Realizou-se também o controle da fissuração pela secagem natural dos revestimentos. O ensaio foi realizado em termos de quantidade e comprimento linear para as fissuras visíveis, sem molhar e a 1,0 m de distância da parede. As fissuras foram medidas em milímetros por metro quadrado de parede revestida pela argamassa, realizando assim uma adaptação da NBR 8490 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984a), como foi utilizado por Miranda (2000, p. 69). A tabela 26 apresenta os resultados obtidos e a figura 31 mostra as fissuras.

Tabela 26: controle de fissuração por secagem natural do revestimento (mm/m<sup>2</sup>)

Fissuração por secagem (mm/m <sup>2</sup> )				
Dias	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
7	180	80	50	70
28	290	185	110	150
91	310	215	136	185

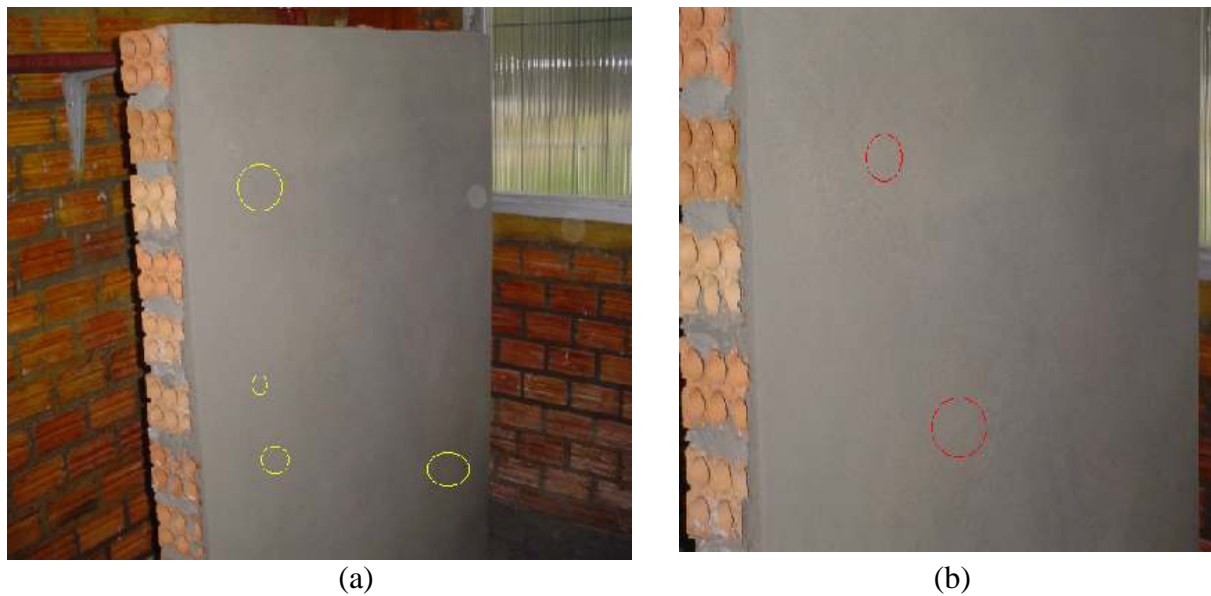


Figura 31: fissuras no revestimento de argamassa confeccionado com diferentes composições granulométricas

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta análise tem por objetivo fazer um comparativo entre as argamassas confeccionadas com as composições 02, 03 e 04 com a argamassa da composição 01, a partir da avaliação dos resultados encontrados em cada uma das propriedades, procurando relacioná-los.

As areias foram misturadas em quatro composições segundo a distribuição granulométrica da figura 32 e logo executadas as argamassas de revestimento, denominadas composições 01, 02, 03 e 04.

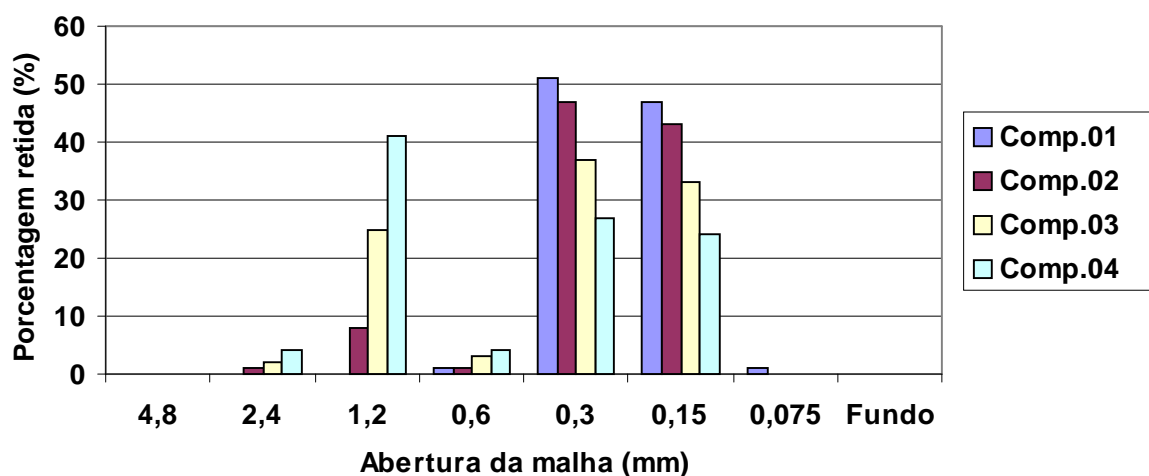


Figura 32: porcentagem retida de areia utilizada nas composições

A figura 33 apresenta várias características das composições que são de grande importância no agregado miúdo que constituíram as argamassas deste estudo.

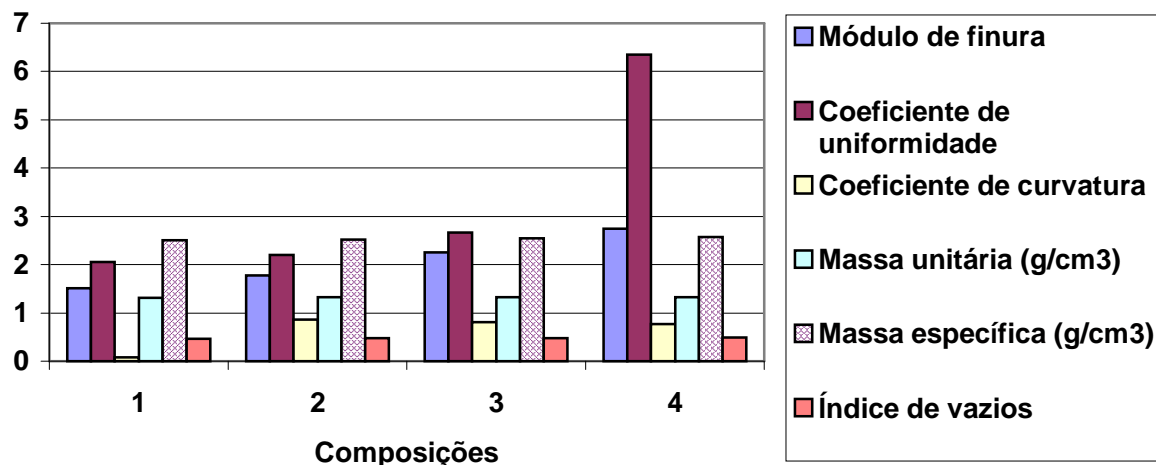


Figura 33: características das areias agrupadas nas composições

Como se pretende utilizar o estudo dessas propriedades como embasamento teórico para estabelecimento de uma argamassa de melhor desempenho a ser utilizada na cidade de Sant`Ana do Livramento, será feito um estudo comparativo com a classificação de MERUC, recomendada pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (C.S.T.B., 1993) levando-se em consideração todos os valores individuais obtidos dos ensaios.

Todos os resultados obtidos referentes às propriedades ensaiadas no estado fresco e endurecido encontram-se no anexo os quais permitem fazer as seguintes considerações detalhadas abaixo.

#### 4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

A retenção de água nas argamassas é de muita importância tanto no que tange á sua trabalhabilidade como na manutenção de sua consistência. Quando solicitadas perdem água por evaporação, sucção e absorção pelo componente.

Os resultados referentes à retenção de água destas argamassas encontram-se na tabela 27 e figura 34. Pode-se observar que os resultados variaram de 80,68% a 88,03%. Como diversos



autores (CARASEK et al., 1995; GOMES, 2000) consideram uma retenção adequada acima de 80%, as retenções de água das argamassas foram consideradas satisfatórias. Observa-se, ainda, que a argamassa produzida com a composição 01 apresenta a menor retenção de água, enquanto que a argamassa produzida com a composição 02 apresentou a maior retenção de água. As argamassas produzidas com as composições 01 e 04 apresentam pouca variação na retenção de água.

Observa-se também que a argamassa produzida com a composição 01 apresentou o menor teor de ar incorporado quando comparado com as outras composições, que é uma propriedade importante nas argamassas de revestimento. Sendo que a argamassa produzida com a composição 04 o maior teor.

Tabela 27: retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco com diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Retenção de Água (%)	80,68	88,03	84,33	81,92
Teor de Ar Incorporado (%)	13,14	16,46	17,07	17,60

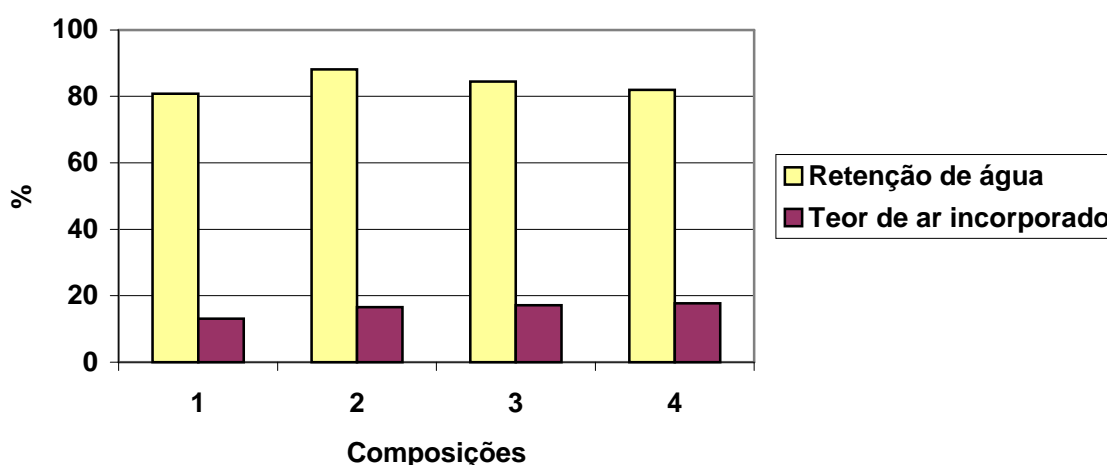


Figura 34: retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas com diferentes composições granulométricas

Na tabela 28 e figura 35 observa-se a pouca variação das massas específicas das argamassas em relação ao módulo de finura do agregado miúdo, que aumentou consideravelmente a partir das composições 03 e 04 que compõem as argamassas.

Tabela 28: módulo de finura das areias e massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas

	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
Módulo de finura	1,52	1,77	2,26	2,74
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,03	2,04	2,06

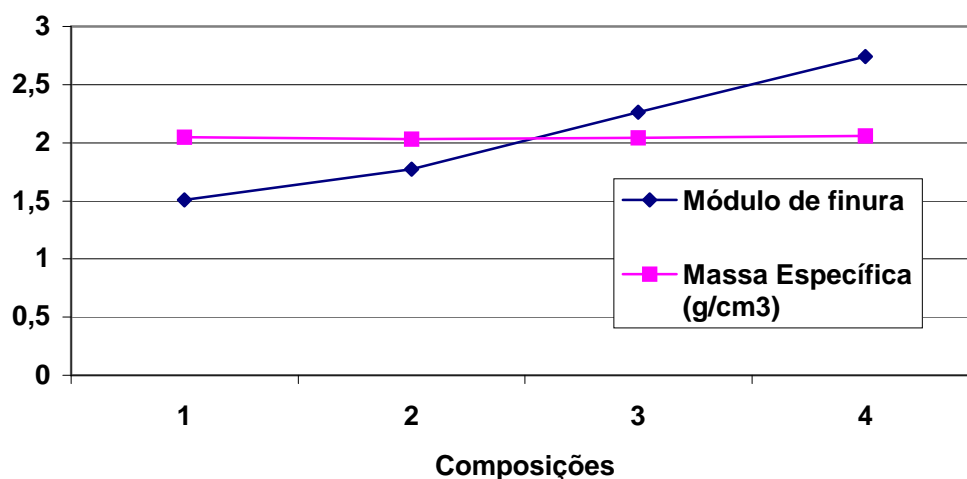


Figura 35: módulo de finura das areias e massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas

Conforme resultados obtidos por Tristão (1995), com o aumento do módulo de finura das areias há um aumento do empacotamento da mistura e por conseqüência um aumento da massa específica das argamassas no estado fresco.

## 4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Resistência à Compressão

No que se refere à resistência à compressão, pode-se observar que a argamassa executada com a composição 01 apresenta o menor valor de resistência enquanto que as argamassas executadas com as composições 03 e 04 apresentam valores muito próximos entre si e superiores quando comparado com a argamassa da composição 01. Observa-se também, na tabela 29 e figura 36, o pequeno ganho de resistência dos 28 para os 91 dias.

Tabela 29: resistência média à compressão (MPa) das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Resistência média à compressão (MPa)				
Dias	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
7	0,74	0,81	1,03	1,04
28	1,53	1,58	1,98	1,99
91	1,59	1,63	2,04	2,06

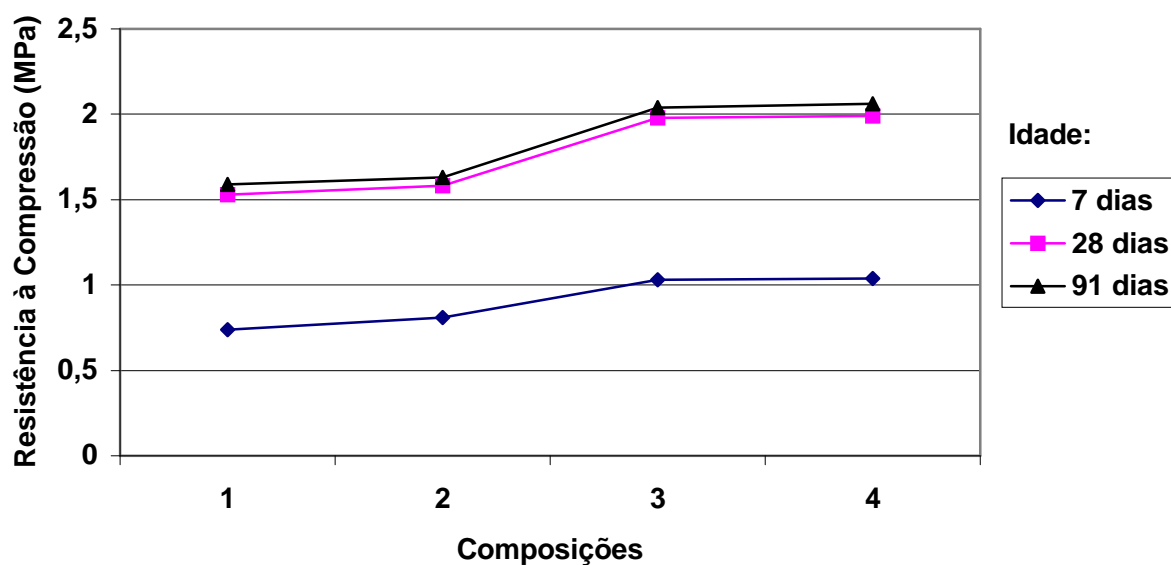


Figura 36: resistência à compressão axial das argamassas com diferentes composições granulométricas ao longo do tempo

De acordo com o projeto de norma 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) todas as argamassas com diferentes composições seriam enquadradas na classe P2 cujos valores de resistência à compressão estão compreendidos entre 1,5 a 3,0 MPa.

Pode-se notar que à medida que melhora a distribuição entre as frações granulométricas, aumentam as partículas maiores na areia **1**, conforme as composições propostas, logo há um aumento da massa unitária da areia e por consequência um aumento da resistência à compressão, fato este que já era esperado, decorrente do empacotamento da mistura, como se pode verificar na figura 37.

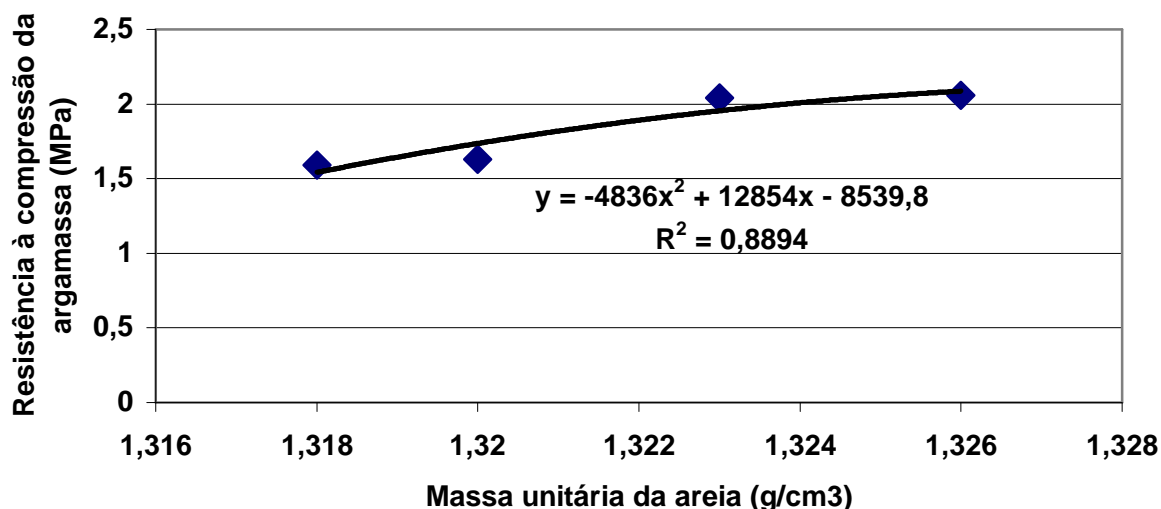


Figura 37: relação entre a massa unitária da areia e a resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas

Na figura 38 relaciona-se a resistência com o coeficiente de uniformidade e observa-se que ao aumentar o coeficiente de uniformidade da curva granulométrica da areia há um aumento da resistência à compressão. O mesmo comportamento foi demonstrado nos trabalhos realizados por Carneiro (1999) e Miranda (2000).

Como era de se esperar, quanto maior o índice de vazios das composições menor a resistência à compressão. O aumento da continuidade na distribuição granulométrica dos agregados miúdos que compõem as argamassas, propicia uma estrutura mais densa, resultando em um menor índice de vazios, e conseqüentemente uma maior resistência à compressão das argamassas. Foi similar o resultado obtido na relação índice de vazios com imersão e fervura e resistência à compressão das argamassas, como ilustram as figuras 39 e 40 a partir dos dados apresentados nas tabelas 15, 21 e 22.

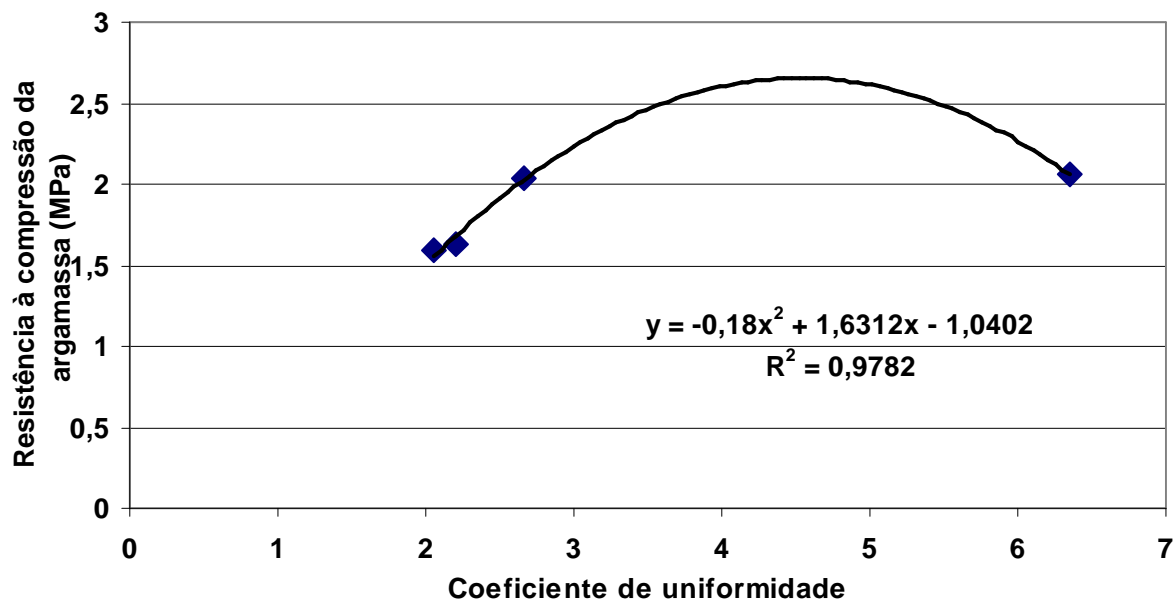


Figura 38: relação do coeficiente de uniformidade e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas

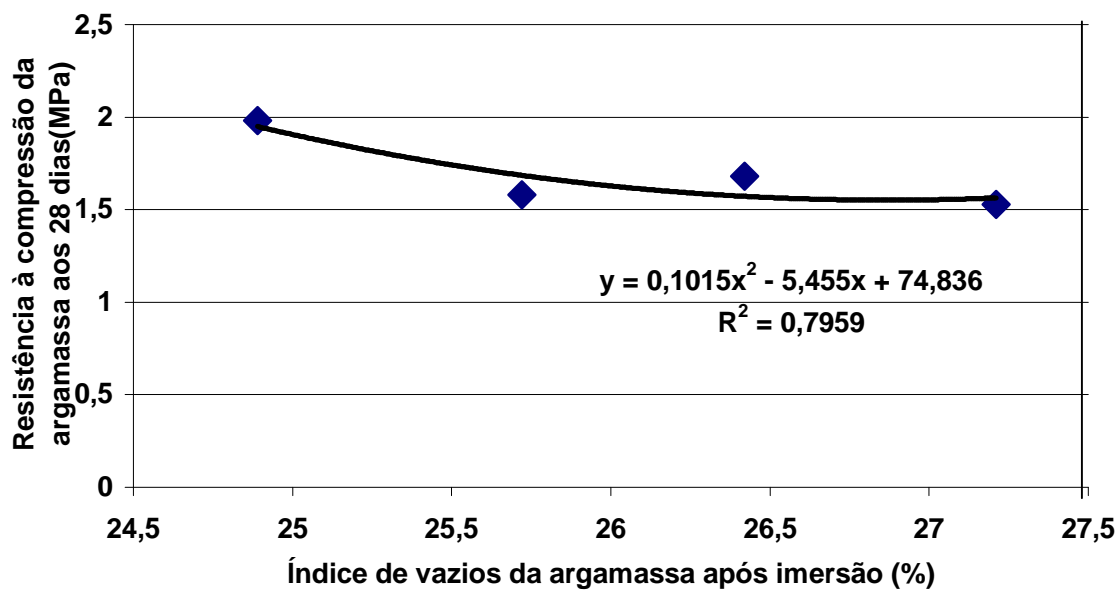


Figura 39: relação entre o índice de vazios após imersão e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas aos 28 dias

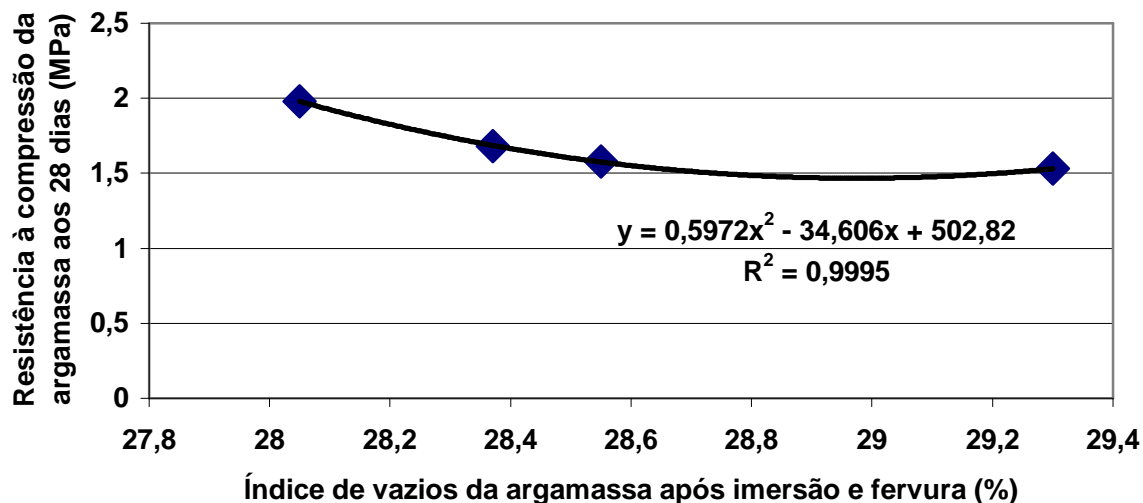


Figura 40: relação entre o índice de vazios após imersão e fervura e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas aos 28 dias

#### 4.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

O comportamento das argamassas em relação à resistência à tração por compressão diametral foi similar ao da resistência à compressão. Observa-se na tabela 30, cujos dados foram extraídos da tabela 16, que a argamassa executada com a composição 01 apresenta os menores valores de resistência enquanto que as argamassas executadas com as composições 03 e 04 apresentam valores muito próximos e bem superiores quando comparado com a argamassa de composição 01. Observa-se também, na figura 41, que a resistência praticamente não aumentou dos 28 para os 91 dias.

Tabela 30: resistência média à tração (MPa) por compressão diametral das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Resistência à tração por compressão diametral (MPa)				
Dias	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
7	0,08	0,11	0,13	0,13
28	0,18	0,20	0,24	0,25
91	0,20	0,22	0,27	0,29

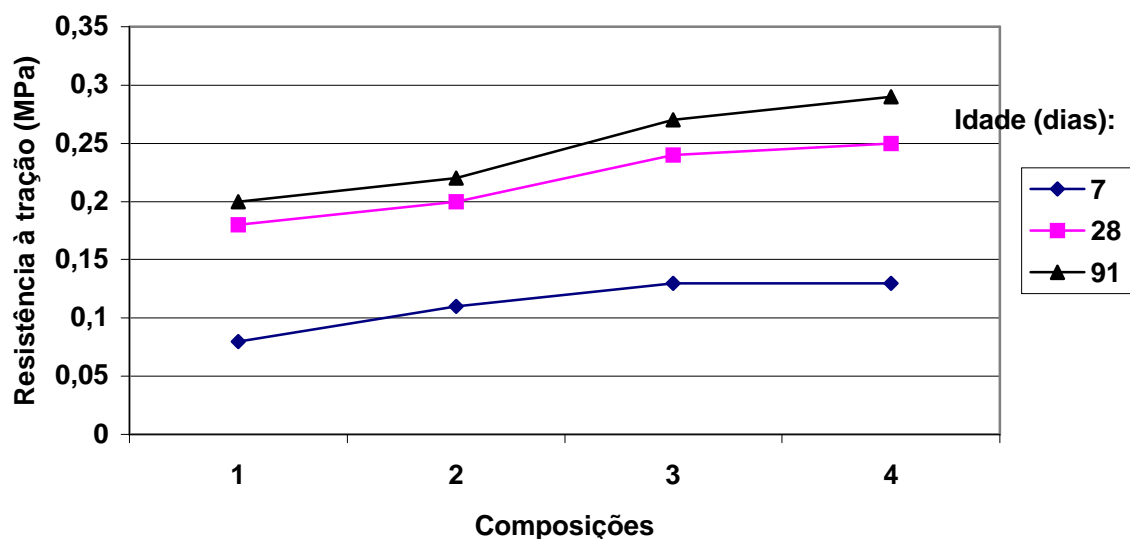


Figura 41: resistência à tração por compressão diametral das argamassas com diferentes composições granulométricas

A figura 42 mostra a correlação entre as resistências à tração e à compressão, apresentando comportamento conforme esperado. Segundo Joisel (1981) para argamassas de cimento, cal hidratada e areia a relação entre estas resistências encontra-se por volta de 10%. Para os ensaios apresentados obteve-se uma relação entre 12 e 14%.



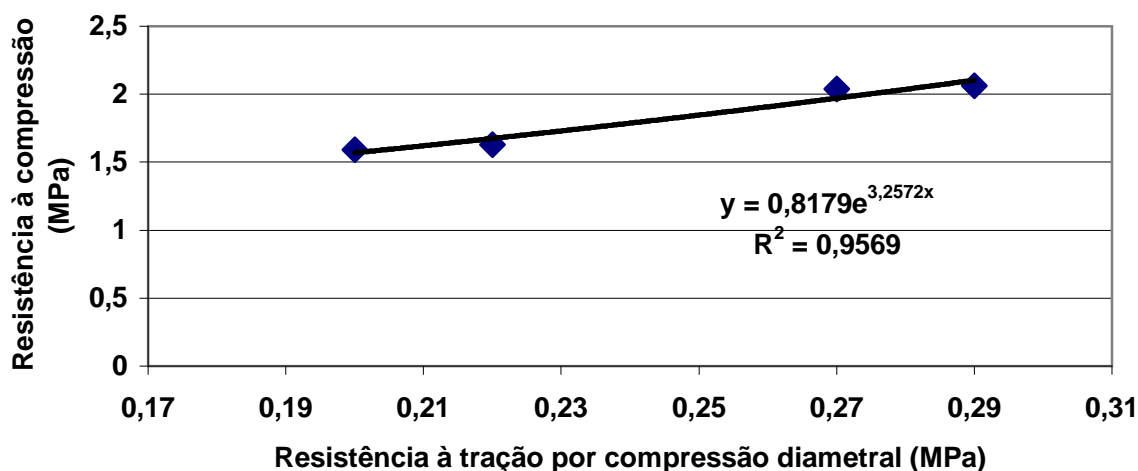


Figura 42: relação entre a resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão das argamassas com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.3 Resistência de Aderência à Tração

No que se refere à resistência de aderência à tração por arrancamento, pôde-se observar conforme a figura 43 que as argamassas executadas com as composições 01 e 02 apresentaram os menores valores de resistência enquanto que as argamassas executadas com as composições 03 e 04 apresentaram valores muito próximos e superiores quando comparados com as argamassas das composições 01 e 02.

No ensaio de resistência de aderência à tração por arrancamento, pode-se concluir que os ensaios realizados sobre argamassas de revestimento que estavam sobre as juntas de assentamento de alvenaria apresentaram os maiores valores quando comparados com as argamassas no elemento de alvenaria.

Os revestimentos realizados com as diferentes composições apresentaram resistências de aderência à tração da ordem de 0,3 MPa aos 28 dias quando testados sobre o centro da alvenaria, ou seja, dentro do limite mínimo de 0,30 MPa, estabelecido pela norma NBR 13749

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b) para revestimentos externos.

Foram considerados apenas os resultados em que o rompimento se deu na interface revestimento e substrato, já que, segundo a norma, nesta região o valor obtido pelo ensaio indica a verdadeira resistência de aderência. A tabela 31, cujos dados foram extraídos da tabela 17, mostra a média de 6 corpos-de-prova e no anexo encontram-se todos os valores.

Tabela 31: resistência de aderência média à tração (MPa) das argamassas nas juntas de assentamento e na alvenaria ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Resistência de aderência à tração (MPa)								
Dias	Composição 01		Composição 02		Composição 03		Composição 04	
	Juntas	Alvenaria	Juntas	Alvenaria	Juntas	Alvenaria	Juntas	Alvenaria
7	0,15	0,12	0,17	0,13	0,19	0,18	0,19	0,18
28	0,32	0,28	0,33	0,27	0,36	0,32	0,37	0,32
91	0,39	0,35	0,39	0,36	0,43	0,39	0,44	0,40

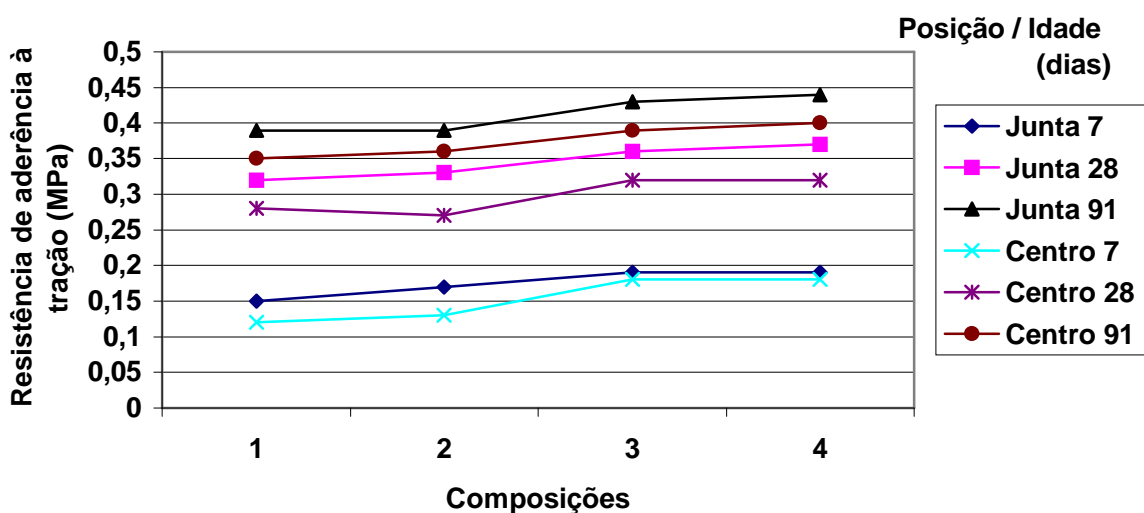


Figura 43: resistência de aderência à tração por arrancamento das argamassas com diferentes composições granulométricas

Na figura 44, mostra-se um comparativo das resistências à compressão, à tração por compressão diametral e de aderência à tração por arrancamento para cada argamassa com diferentes composições granulométricas.

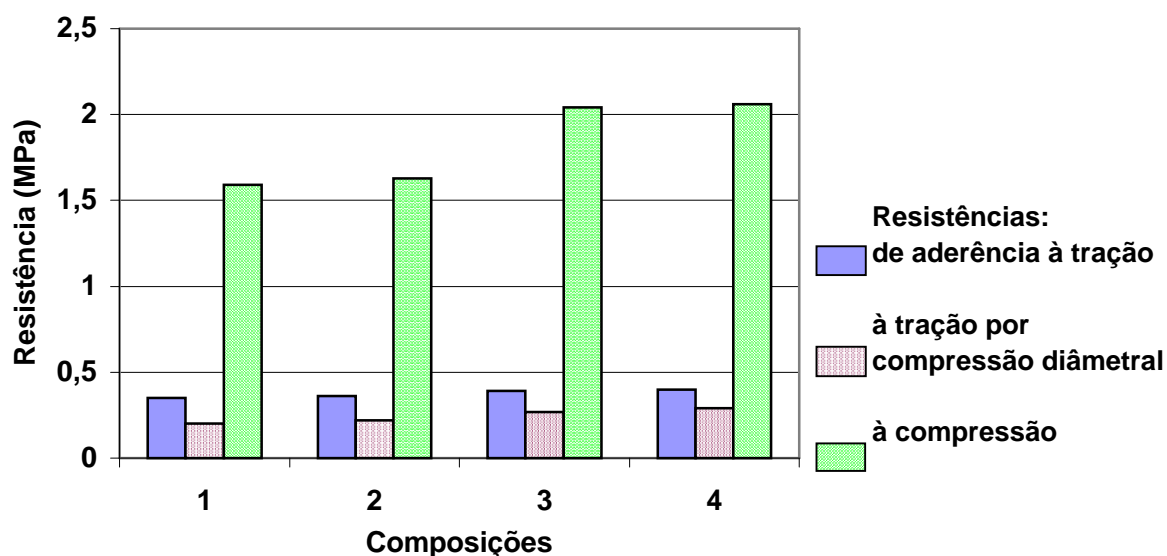


Figura 44: resistências das argamassas com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.4 Absorção de Água por Capilaridade

No que se refere à absorção de água por capilaridade, verifica-se que o aumento da continuidade da distribuição granulométrica do agregado miúdo nas argamassas provoca um aumento da massa unitária da areia, e por consequência diminui o índice de vazios nas argamassas, resultando em uma menor capilaridade.

Analisando os dados da tabela 32 e figura 45, pode-se concluir que as argamassas produzidas com as composições 01 e 02 apresentam praticamente os mesmos valores de absorção, enquanto que as argamassas produzidas com as composições 03 e 04 apresentam valores inferiores às demais, isto se deve provavelmente ao aumento da continuidade da granulometria.

Tabela 32: valores médios da absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) das argamassas, com seus respectivos coeficientes ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$ ) nas diferentes composições granulométricas

Absorção de água por capilaridade								
Dias	Composição 01		Composição 02		Composição 03		Composição 04	
	$\text{G}/\text{cm}^2$	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$	$\text{G}/\text{cm}^2$	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$	$\text{g}/\text{cm}^2$	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$	$\text{g}/\text{cm}^2$	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$
7	1,783	0,188	1,811	0,191	1,584	0,167	1,689	0,178
28	1,555	0,164	1,603	0,169	1,451	0,153	1,537	0,162
91	1,499	0,158	1,518	0,160	1,423	0,150	1,485	0,158

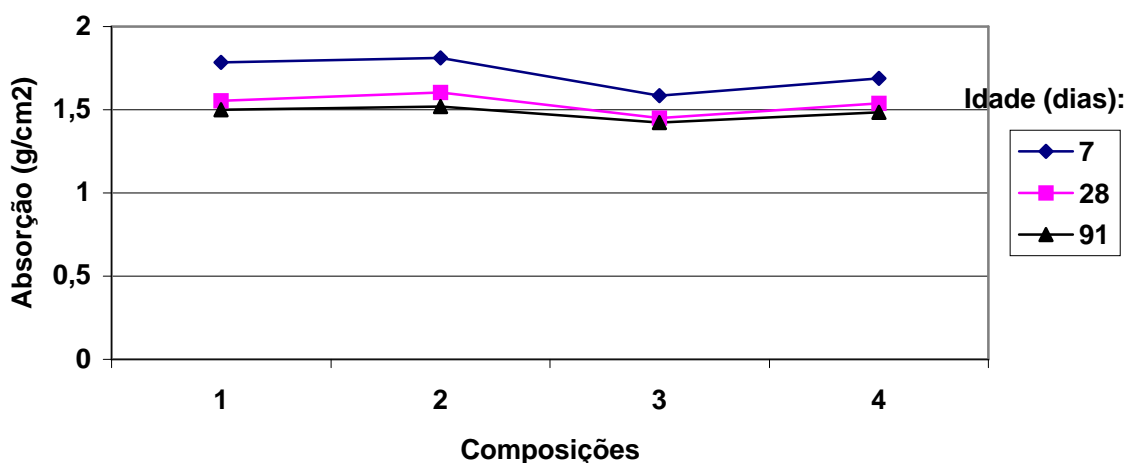


Figura 45: absorção de água ao longo do tempo das argamassas confeccionadas com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.5 Absorção de Água por Imersão e Imersão com Fervura

A absorção por imersão é regida pela quantidade de água presente na mistura, pois quanto maior a quantidade de água, maior será a porosidade da argamassa, resultando em maior absorção.

No que se refere à absorção de água por imersão e por imersão com fervura, nota-se, que com o processo de fervura as argamassas absorvem uma maior quantidade de água para o mesmo intervalo de tempo. Observa-se, ainda, que a argamassa produzida com a composição 03 apresentou a menor absorção de água tanto por imersão como por imersão com fervura, como ilustra a tabela 33 e a figura 46.

Tabela 33: valores médios da absorção de água por imersão (%) com e sem fervura das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Absorção de água por imersão e imersão com fervura (%)								
Dias	Composição 01		Composição 02		Composição 03		Composição 04	
	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura
7	15,85	17,54	15,27	17,03	15,02	16,18	15,96	16,97
28	16,55	17,77	15,68	17,18	15,23	16,80	16,08	17,19
91	16,87	17,91	15,76	17,36	15,33	16,97	16,37	17,45

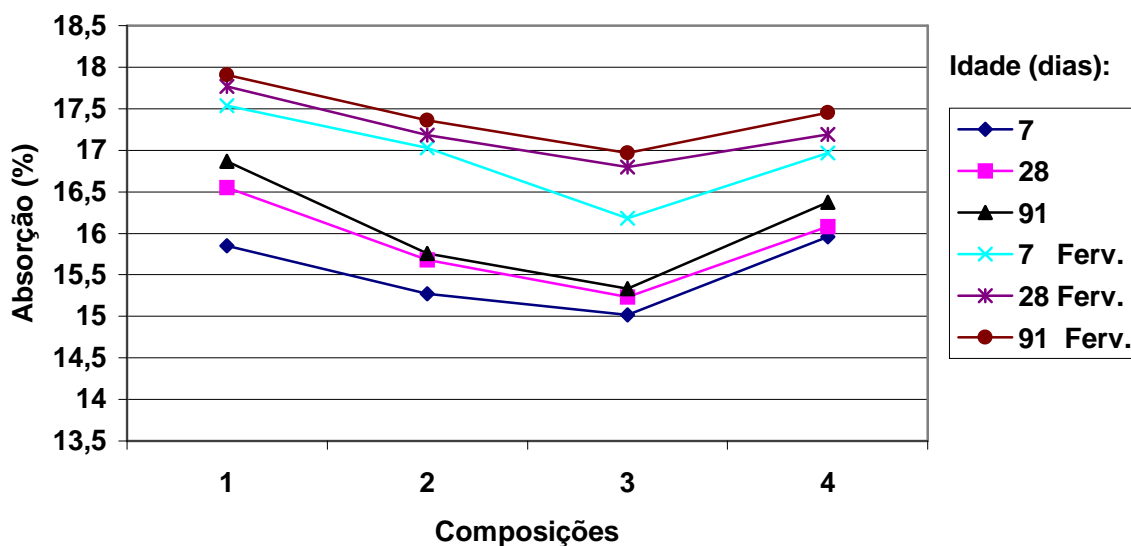


Figura 46: absorção de água por imersão com e sem fervura das argamassas com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.6 Absorção de Água pelo Método Cachimbo

No que se refere à absorção de água pelo método do cachimbo observa-se que com o tempo a absorção vai diminuindo à medida que se aumenta o tempo de cura da argamassa, como se vê na tabela 34 e figura 47. Isto se deve à cal por colmatar a porosidade intrínseca da argamassa por efeito da carbonatação, sendo este um processo mais lento, além da hidratação do cimento. Pode-se observar que a argamassa executada com a composição 03 apresenta o menor valor de absorção tanto para 7, 28 e 91 dias.

Tabela 34: valores médios da absorção de água ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ) pelo método cachimbo das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Absorção de água método cachimbo ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )				
Dias	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
7	0,054	0,089	0,022	0,058
28	0,035	0,060	0,013	0,037
91	0,031	0,057	0,012	0,033

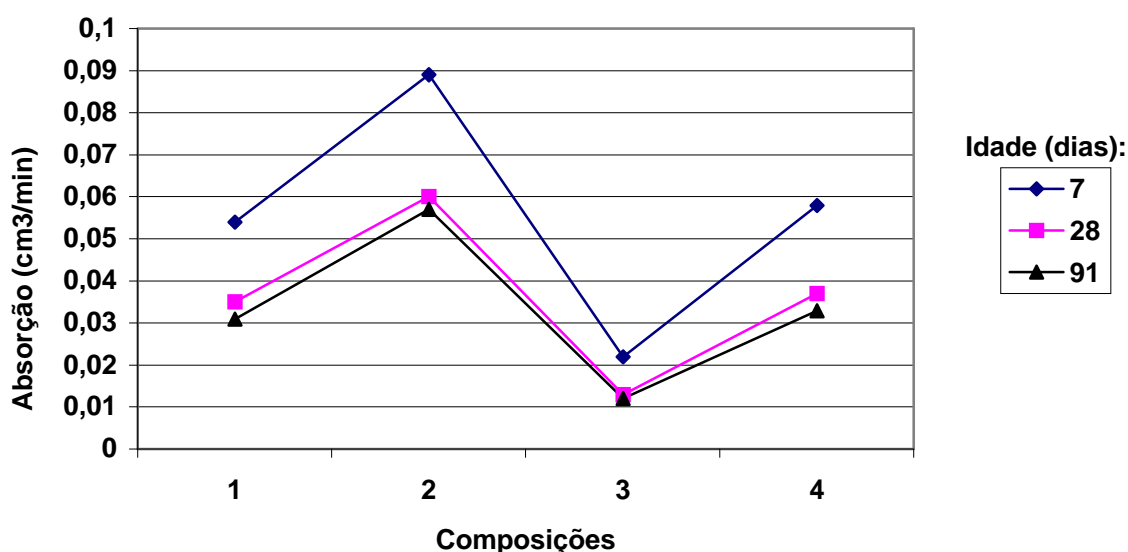


Figura 47: absorção de água pelo método do cachimbo das argamassas com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.7 Índice de Vazios

Como a absorção por imersão está diretamente relacionada com os poros permeáveis, também existem indícios de correlação do índice de vazios com a relação água/materiais secos. As observações realizadas na absorção por imersão também podem ser comprovadas no índice de vazios. Com relação ao índice de vazios, também se constatou que a composição 03 apresentou os menores valores, de acordo com a tabela 35 e figura 48.

Tabela 35: valores médios do índice de vazios (%) com e sem fervura das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Dias	Índice de vazios por imersão e imersão e fervura (%)							
	Composição 01		Composição 02		Composição 03		Composição 04	
	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura	Imersão	Imersão fervura
7	26,98	29,12	25,98	28,44	25,03	27,83	26,89	28,96
28	27,21	29,30	25,72	28,05	24,89	27,55	26,42	28,37
91	27,32	29,38	25,84	28,17	24,98	27,67	26,54	28,46

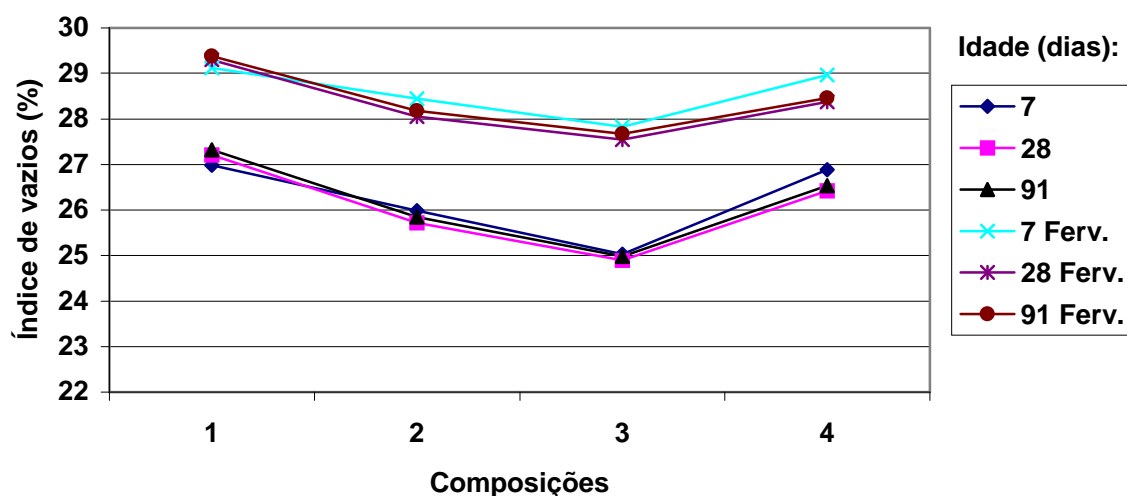


Figura 48: índice de vazios das argamassas com diferentes composições granulométricas, em diferentes idades

### 4.2.8 Massa Específica

O valor da massa específica é um indicativo de compactidade obtida da mistura do agregado e aglomerante propiciada pelo endurecimento ao longo do tempo resultantes das reações químicas em curso.

De acordo com a análise de dados de Tristão (1995) e Carneiro (1997), o aumento da massa unitária da areia corresponde a uma redução no seu índice de vazios e, conseqüentemente, maior massa específica. É o que se observa na figura 49, que ao longo do tempo enquanto vai se processando as reações químicas a massa específica da argamassa aumenta.

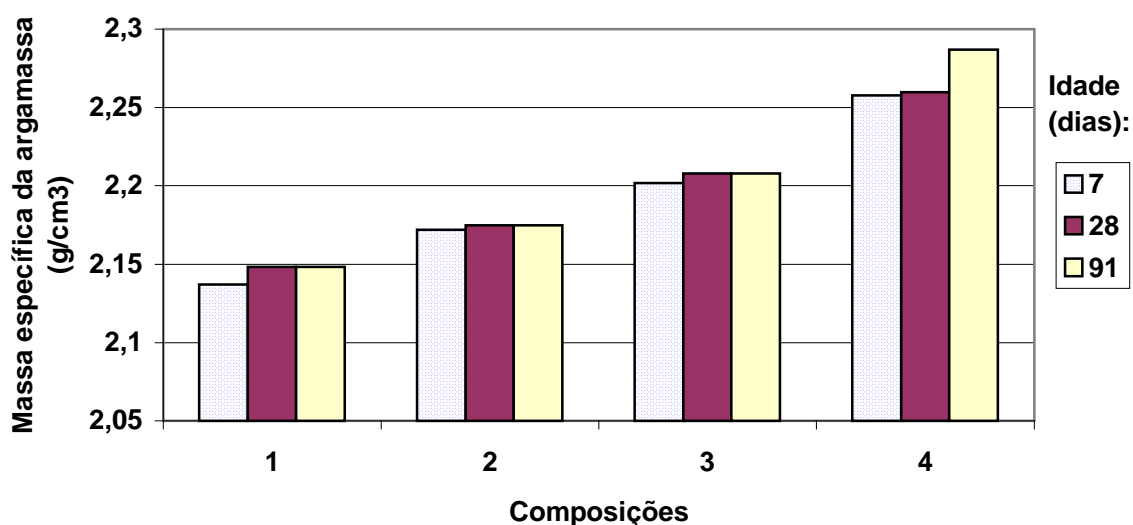


Figura 49: massa específica das argamassas com diferentes composições granulométricas, ao longo do tempo

O valor da massa específica da argamassa é diretamente proporcional ao valor da massa unitária das areias que as compõem, como se pode observar na figura 50, com a massa específica real.



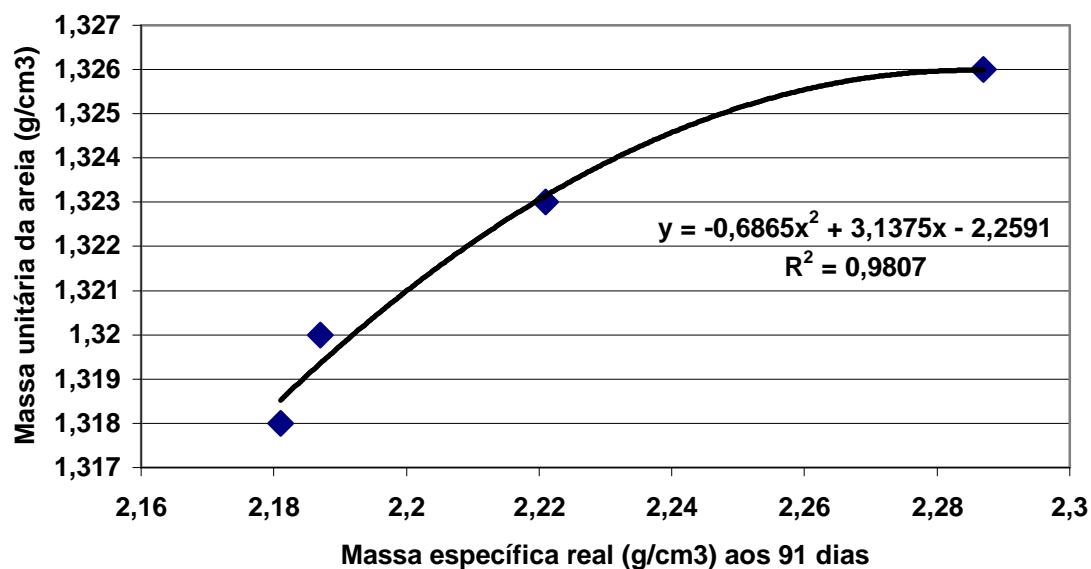


Figura 50: relação entre massa específica real da argamassa aos 91 dias e a massa unitária das areias com diferentes composições granulométricas

Da mesma forma a massa específica seca é proporcional a massa unitária da areia, como se pode observar na figura 51.

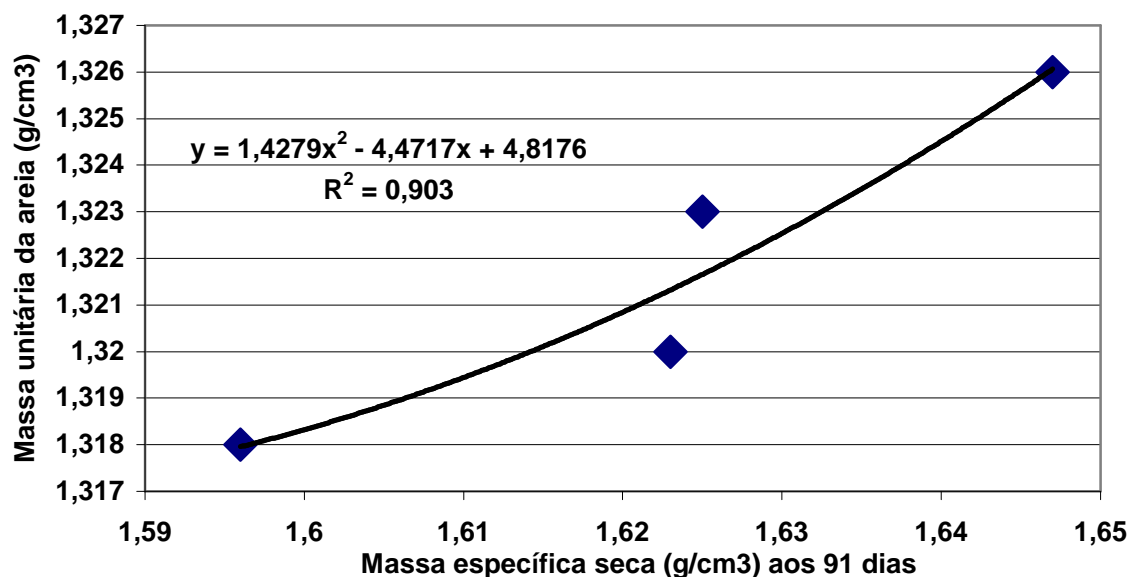


Figura 51: relação entre massa específica seca da argamassa aos 91 dias e a massa unitária das areias com diferentes composições granulométricas

#### 4.2.9 Retração por Secagem

No controle da fissuração em relação à idade, para as fissuras visíveis, observa-se que a argamassa que apresentou o maior número de fissuras de todas foi a composição 01 devido ter um teor de finos bastante elevado. Houve diferença relevante entre a composição 01 com a composição 03 de menor número de fissuras. Os resultados da contagem das fissuras em relação às idades estão apresentados na tabela 36 e figura 52.

Tabela 36: valores médios da fissuração por retração ( $\text{mm/m}^2$ ) das argamassas ao longo do tempo com diferentes composições granulométricas

Fissuração por retração ( $\text{mm/m}^2$ )				
Dias	Composição 01	Composição 02	Composição 03	Composição 04
7	180	80	50	70
28	290	185	110	150
91	310	215	136	185

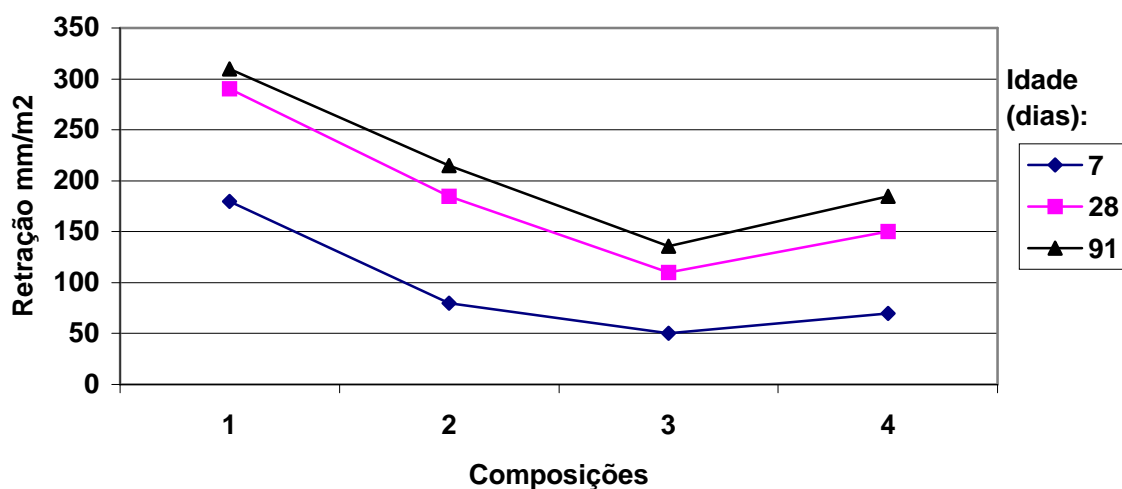


Figura 52: controle da fissuração das argamassas com diferentes composições granulométricas

### 4.3 CLASSIFICAÇÃO MERUC

Conforme a classificação MERUC (página 53), recomendada pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (C.S.T.B., 1993) as composições propostas estão enquadradas para os 28 dias nas seguintes classificações: para massa específica real das argamassas, todas estão na classe 6, ou seja, maior que  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ; para massa específica no estado seco das argamassas, todas estão na classe 4, ou seja, entre  $1,4$  a  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ; quanto à retenção de água no estado fresco, as composições 01 e 04 estão na classe 2 que varia de 75 a 85%, enquanto que a composição 02 pode ser classificada na classe 3, enquanto que a composição 03, nas classes 2 e 3; para a classificação quanto à capilaridade das argamassas todas estão na classe 6, ou seja, maior que  $0,10 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ .

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de adequados critérios técnicos, no que se refere às proporções das argamassas com os materiais locais de Sant'Ana do Livramento, gera uma grande incidência de diversas manifestações patológicas. Como consequência disto, há uma procura de outros materiais que possam melhorar o desempenho destas argamassas, o que por sua vez tem trazido custos significativos na execução e manutenção dos revestimentos.

Em função desta situação, este trabalho teve como objetivo principal identificar e caracterizar o comportamento das argamassas de traço 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia úmida) com agregado miúdo de diferentes granulometrias, na expectativa de contribuir para o estabelecimento de parâmetros para o emprego dos materiais locais, sem a utilização de aditivos, e sem outros custos extras na execução dos revestimentos.

Buscou-se à determinação de uma distribuição granulométrica do agregado miúdo para argamassa de revestimento, utilizado em alvenaria de tijolos cerâmicos, que apresente uma menor retração, uma maior aderência e uma menor permeabilidade. Contribuindo assim para a formulação de uma argamassa de revestimento que possa ser utilizada na cidade de Sant'Ana do Livramento de acordo com o desempenho desejado.

As conclusões deste trabalho restringem-se ao âmbito desta pesquisa, sendo necessária à realização de outras pesquisas que possam estabelecer o embasamento para o completo entendimento do comportamento destas composições de argamassas para revestimentos. Desta forma, também serão feitas algumas sugestões para futuros trabalhos.

### 5.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO EXPERIMENTAL

As conclusões deste trabalho referem-se aos materiais estudados nesta pesquisa os quais são utilizados na cidade de Sant'Ana do Livramento – RS.

As conclusões obtidas foram as seguintes:

- a) é de extrema importância a definição de um perfil de distribuição granulométrico do agregado miúdo, a areia, visando a necessidade de correção da granulometria da areia natural disponível no comércio de Sant'Ana do Livramento;
- b) a influência do consumo de cimento das argamassas não foi analisada neste trabalho, já que ele é praticamente constante para todas as composições de argamassas utilizadas neste trabalho;
- c) a distribuição da curva granulométrica é importante para se obter compacidade elevada, com reflexo sobre as resistências mecânicas;
- d) o valor da massa específica da argamassa é diretamente proporcional ao valor da massa unitária das areias que as compõem, seguindo a mesma relação da argamassa no estado fresco;
- e) o aumento do percentual de material entre peneiras, reduz o consumo de água na argamassa para uma mesma faixa de trabalhabilidade fixada e aumenta a retenção de água e a consistência das argamassas;
- f) os ensaios normalizados para a permeabilidade de argamassas para revestimento são geralmente realizados através de ensaios de absorção de água por capilaridade em corpos-de-prova confeccionados a partir do preenchimento de moldes metálicos. Entretanto, este método é útil para caracterizar o material, porém tem limitações consideráveis para o estudo do comportamento de revestimentos de argamassa, por não permitir avaliar a influência dos vários fatores de aplicação, que se verifica ser importante, tais como: substrato sobre o qual foi aplicado, espessura e também por não mostrar claramente aquilo que se pretende de fato estudar, ou seja, a capacidade real de proteção do suporte conferida pelo revestimento.
- g) o teor de finos tem influência na fissuração dos revestimentos;

- h) em um comparativo de resistência de aderência à tração com fissuração para os revestimentos executados, pode-se observar que aqueles que apresentam maiores resistências à tração são os que menos fissuraram, caso da argamassa executada com a composição 03;
- i) as argamassas executadas com as composições 03 e 04 apresentaram a maior resistência à compressão e maior resistência à tração por compressão diametral e o menor número de fissuras quando comparadas com a argamassa produzida com a composição 01;
- j) quanto ao controle de fissuração por secagem livre das argamassas é uma propriedade que deve ser analisada com cuidado. Neste trabalho a composição 01, que é utilizada na argamassa de revestimento na cidade de Livramento, foi a que apresentou maior fissuração. Enquanto a que apresentou menor nível de fissuração foi à argamassa produzida com a composição 03.

Conforme a classificação MERUC, recomendada pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (C.S.T.B., 1993) pode-se enquadrar as argamassas nas seguintes classificações:

- a) para massa específica real das argamassas, todas estão na classe 6, ou seja, maior que  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ;
- b) para massa específica no estado seco das argamassas, todas estão na classe 4, ou seja, entre  $1,4$  a  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ;
- c) para a retenção de água no estado fresco, as argamassas produzidas com as composições 01 e 04 estão na classe 2 que varia de 75 a 85%, enquanto que as produzidas com a composição 02 pode ser classificada na classe 3, enquanto que a argamassa produzida com a composição 03, nas classes 2 e 3;
- d) para a classificação quanto à capilaridade das argamassas todas estão na classe 6, ou seja, maior que  $0,10 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ .

Assim, admitindo que as argamassas necessitem de propriedades específicas, as correções para aumentar ou diminuir alguma de suas propriedades podem ser feitas através da alteração do agregado miúdo em sua distribuição granulométrica.

Tecnicamente, para as composições analisadas, observa-se que a composição 03 foi a que produziu a argamassa de melhor conjunto de resultados e a argamassa produzida pela composição 01, que é a mais utilizada na cidade de Sant'Ana do Livramento – RS apresentou o mais baixo desempenho.

Este fator pode vir a ser determinante quanto à escolha da argamassa a ser empregada na execução de revestimentos, sem custos extras, como por exemplo aditivos, conseguindo assim uma melhora em seu desempenho.

## 5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com o intuito da continuidade desta pesquisa fica como sugestão para futuros trabalhos a possibilidade de fazer uma análise da evolução das características das argamassas no estado endurecido para um período mais longo que 91 dias.

Também como sugestão, fica a possibilidade de fazer um comparativo das propriedades analisadas para o traço 1:2:9 com outros traços e ainda com traços que utilizam aditivos, com uma análise de comparativos de custos.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V. A cal na engenharia civil. In: Reunião Aberta da Indústria da Cal, 5, São Paulo, 1985. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1985, p. 27-36.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_ **NBR 5753**: Cimento Portland pozolânico - Determinação da pozolanicidade. Rio de Janeiro, 1992a.

\_\_\_\_\_ **NBR 6453**: Cal virgem para construção. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_ **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 1992b.

\_\_\_\_\_ **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996a.

\_\_\_\_\_ **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987a.

\_\_\_\_\_ **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_ **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_ **NBR 8490**: Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - Retração por secagem. Rio de Janeiro, 1984a.

\_\_\_\_\_ **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama - Tensão-deformação. Rio de Janeiro, 1984b.

\_\_\_\_\_ **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987b.

\_\_\_\_\_ **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987c.



\_\_\_\_\_ **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995a.

\_\_\_\_\_ **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995b.

\_\_\_\_\_ **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995c.

\_\_\_\_\_ **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995d.

\_\_\_\_\_ **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_ **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995e.

\_\_\_\_\_ **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996b.

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

BASTOS, P.K.X.; CINCOTTO, M.A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas mistas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001. Brasília. **Anais...** Brasília: PECC, ANTAC, 2001, p. 69-85.

BAUER, E.; COSTA, S.A.; OLIVEIRA, S.J. Geração de parâmetro de referência para controle de recebimento de agregados para argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 87-96.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M.A. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 15-25.

BONIN, L.C.; FEUERHARMEL, C.; CARNEIRO, A.M.P. Estudo da influência da distribuição granulométrica da areia na trabalhabilidade da argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, PPGE, 1999. p. 371-378.

CANDIA, M.C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** 1998. 198 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – fundamentos.** 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988, p. 27.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2, Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997, p. 133-146.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, P. de F. dos. Estudo do comportamento das argamassas de assentamento contendo saibro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 153-164.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001. Brasília. **Anais...** Brasília: PECC, ANTAC, 2001, p. 43-67.

CARNEIRO, A.M.P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** 1999. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COLANTUONO, A.; DAL VECCHIO, S.; MARINO, O. MASCOLO. G.; VITALE, A. **Cement-lime mortars joining porous stones of masonries able to stop the capillary rise of water, Cement and Concrete Research.**1996, v. 26, Issue 6, p. 861-868.

CINCOTTO, M..A. **Patologia das argamassas de revestimento. Análise e recomendações.** 1980, IPT – b.

CINCOTTO, M..A.; SILVA, M.A.C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, 118 p.

CSTB – CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB dès esduits monocouches d'impermabilization – Modalités d'essais.** CSTB. Paris. Cahier du CSTB. Liv.341. juilllet/août 1993. Cahier 2669-4.

DETRICHE, C.H.; MASO, J.C. **Differential hydration in rendering mortars. Cement and Concrete Research.**1986, v.16, p. 429 – 439.

DHEILLY, R. M.; BOUGUERRA, A.; BEAUDOIN, B.; TUDO, J.; QUENEUDEC, M. **Hydromagnesite development in magnesian lime mortars**, *Materials Science and Engineering A*. 1999, v. 268, Issues 1-2, p. 127-131.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 102 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FÜLLER, W.B.; THOMPSON, S.E. **The laws of proportioning concrete**. Proceedings of American Society of Civil Engineers, 1907, v.33, p. 223-298.

GLEIZE, P. J. P.; MÜLLER A.; ROMAN, H. R. **Microstructural investigation of a silica fume-cementlime mortar**. *Cement and Concrete Composites*. 2003, v.25, Issue 2, p. 171-175.

GOMES, A. de O. **Influência dos argilominerais nas propriedades das argamassas de revestimento em Salvador: uma contribuição à qualidade ambiental**. Salvador, 2000. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

GREEN, K. M.; CARTER, Margaret A.; HOFF, W.D.; WILSON, M. A. **The effects of lime and admixtures on the water-retaining properties of cement mortars**. In: CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, 1999, v.29, p. 1743-1747.

GROOT, C. **Effects of water on mortar – brick bond**. Rotterdam: Technische Universiteit Delft, 1993, 185 p.

GUIMARÃES, J.E.P. **Terminologia de Calcários-Dolomitos e da Cal**. São Paulo: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1989, p. 12-18.

JOHN, V.M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003, p. 48.

JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A.; GUIMARÃES, J.E.P.; RAGO, F. Cal x Aditivos orgânicos. **Téchne**, 11, 1994, p. 25-28.

JOISEL, A. **Fisuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios**. 5. ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1981.

KIM, J. -K.; LEE, C.S.; PARK, C.K.; EO, S.H. **The fracture characteristics of crushed limestone sand concrete**. *Cement and Concrete Research*, 1997, v.27, Issue 11, p. 1719-1729.

- MARCHESE, B. **Non-crystalline Ca(OH)<sub>2</sub> in ancient non-hydraulic limes mortars**, *Cement and Concrete Research*. 1980, v.10, Issue 6, p. 861-864.
- MERCHANT, I. J.; MACPHEE, D. E.; CHANDLER, H. W.; HENDERSON, R. J. **Toughening cement-based materials through the control of interfacial bonding**, *Cement and Concrete Research*. 2001, v. 31, Issue 12, p. 1873-1880.
- MIRANDA, L.F.R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. 2000. 172 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONTOYA, C.; LANAS, J.; ARANDIGOYEN, M.; NAVARRO, I.; CASADO P. J.G.; ALVAREZ, J. I. **Study of ancient dolomitic mortars of the church of Santa María de Zamarce in Navarra (Spain): comparison with simulated standards**, *Thermochemica Acta*. 2003, v.398, Issues 1-2, p. 107-122.
- MOROPOULOU, A.; TSIOURVA, Th.; BISBIKOU, K.; BISCONTIN, G.; BAKOLAS, A.; ZENDRI, E. **Hot lime technology imparting high strength to historic mortars**, *Construction and Building Materials*. 1996, v.10, Issue 2, p. 151-159.
- MOSQUERA, M. J.; BENÍTEZ, D. PERRY, S. H. **Pore structure in mortars applied on restoration: Effect on properties relevant to decay of granite buildings**. *Cement and Concrete Research*. 2002, v.32, Issue 12, p. 1883-1888.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.
- PAILLÈRE, A.M.; BUIL, M.; SERRANO, J.J. **Effect of fibre addition the autogeneous shrinkage of silica fume concrete**. *ACI Materials Journal*, 1989, v.86, n.2, p. 139-144.
- PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 10. ed. São Paulo: GLOBO, 1995. 435 p.
- POLISSENI, A.E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**. 1985. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- POSSAN, E.; GAVA, G. P.; PETRAUSKI, S. C. Estudo comparativo do desempenho de argamassas de revestimento produzidas em obra e industrializadas em diferentes substratos. In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu : ANTAC, 2002. p. 1241-1250.
- RAGO, F.; CINCOTTO, M.A. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas**. São Paulo: EPUSP, 1998, p. 15.

RILEM – REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D’ESSAIS ET MATÉRIAUX -. **MR 3 – 17: testing methods of mortar and renderings**. France, 1982.

SABBATINI, F.H. Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 13., 1990, São Paulo. **Anais...**São Paulo: EPUSP, 1990. 32 p.

SELMO, S.M.S. Agregados miúdos para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1986. p. 27-43.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SELMO, S.M.S. **Revestimentos de argamassas de paredes e tetos de edifícios: projeto, execução e manutenção**. 1996, São Paulo, ABCP, (Apostilas e anexos de laboratório do curso intensivo de argamassas de assentamento e revestimento – CIARE).

SELMO, S.M.S.; MORAIS, F.L.; TAKEASHI, M. Estudo da fissuração em revestimentos de argamassa mista com traço padrão e diferentes condições de preparo e aplicação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 461-475.

SILVA, A. S.; GLEIZE, P.J.; ROMAN, H.R.; TRISTÃO, F.A. **Argamassas mistas de cimento e cal**. Florianópolis: UFSC, 2002. 30 p.

SIQUEIRA, N.M.; SELMO, S.M.S. Estudo de caso de revestimentos externos de argamassas mistas e de cimento com solo fino beneficiado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 271-282.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, EPUSP, IPT, 1989. 194 p.

TRISTÃO, F.A. **A influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TRISTÃO, F.A.; ROMAN, H.R. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades mecânicas das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 283-293.

TRISTÃO, F.A.; ROMAN, H.R. Proposta de metodologia de ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p. 437-444.

VERÇOZA, E.J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: SAGRA, 1991. 173 p.

## **ANEXO A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

Tabela A.1: propriedades no estado fresco, quantidade de água utilizada e reação água/cimento das argamassas com diferentes composições granulométricas

Composições	Propriedades no estado fresco					
	Índice de consistência (mm)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Retenção de água (%)	Teor de ar incorporado (%)	Quantidade de água (l)	Relação água aglomerante
01	275	2,05	80,68	13,14	5,8	0,77
02	272	2,03	88,03	16,46	5,7	0,76
03	267	2,04	84,33	17,07	5,6	0,75
04	265	2,06	81,92	17,60	5,5	0,74



Tabela A.2: valores obtidos no ensaio de aderência à tração das argamassas com diferentes composições granulométricas

Composições	Resistência de aderência à tração das argamassas (MPa)										
	Local	Dias	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média	Desvio Padrão	Coefficiente variação(%)
01	Junta	7	0,15	0,14	0,16	0,14	0,16	0,15	0,15	0,009	5,96
		28	0,32	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,32	0,014	4,42
		91	0,38	0,39	0,37	0,35	0,48	0,37	0,39	0,046	11,81
	Alvenaria	7	0,10	0,12	0,14	0,11	0,12	0,13	0,12	0,014	11,78
		28	0,26	0,25	0,28	0,27	0,28	0,34	0,28	0,032	11,29
		91	0,35	0,34	0,36	0,35	0,33	0,37	0,35	0,014	4,04
02	Junta	7	0,15	0,17	0,18	0,17	0,19	0,16	0,17	0,014	8,32
		28	0,30	0,32	0,34	0,33	0,32	0,37	0,33	0,024	7,17
		91	0,41	0,39	0,40	0,38	0,41	0,35	0,39	0,023	5,85
	Alvenaria	7	0,13	0,14	0,12	0,13	0,14	0,12	0,13	0,009	6,88
		28	0,30	0,28	0,27	0,26	0,27	0,24	0,27	0,020	7,41
		91	0,35	0,36	0,38	0,37	0,36	0,34	0,36	0,014	3,93
03	Junta	7	0,21	0,20	0,20	0,19	0,16	0,18	0,19	0,018	9,41
		28	0,38	0,36	0,38	0,35	0,36	0,33	0,36	0,019	5,27
		91	0,43	0,42	0,45	0,44	0,43	0,41	0,43	0,014	3,29
	Alvenaria	7	0,20	0,18	0,19	0,17	0,20	0,14	0,18	0,023	12,67
		28	0,30	0,32	0,30	0,33	0,31	0,36	0,32	0,023	7,13
		91	0,39	0,37	0,39	0,42	0,40	0,37	0,39	0,019	4,86
04	Junta	7	0,19	0,18	0,16	0,19	0,18	0,18	0,18	0,011	6,08
		28	0,30	0,33	0,32	0,33	0,35	0,35	0,33	0,019	5,75
		91	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,46	0,44	0,026	5,93
	Alvenaria	7	0,15	0,13	0,17	0,14	0,15	0,16	0,15	0,014	9,43
		28	0,33	0,29	0,30	0,32	0,28	0,28	0,30	0,021	6,99
		91	0,37	0,40	0,38	0,42	0,40	0,43	0,40	0,023	5,70

Tabela A.3: propriedades no estado endurecido das argamassas com diferentes composições granulométricas

C O M P O S.	Propriedades no estado endurecido:																
	D I A S	fc MPa	ft MPa	Fad MPa		Absorção de água					Índice de Vazios %		Massa específica g/cm <sup>3</sup>				Retra ção mm/m <sup>2</sup>
						por capilaridade		imersão %		Mét.	72 h	Ferv.	seca	satura da	Sat. Ferv.	real	
				J	C	g/cm <sup>2</sup>	Coeficiente g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-0,5</sup>	72 h	ferv	Cachimb cm <sup>3</sup> /min							
01	7	0,74	0,08	0,15	0,12	1,783	0,188	15,85	17,54	0,054	26,98	29,12	1,578	1,821	1,847	2,137	180
	28	1,53	0,18	0,32	0,28	1,555	0,164	16,55	17,77	0,035	27,21	29,30	1,583	1,825	1,856	2,148	290
	91	1,59	0,20	0,39	0,35	1,499	0,158	16,87	17,91	0,031	27,32	29,38	1,596	1,834	1,864	2,181	310
02	7	0,81	0,11	0,17	0,13	1,811	0,191	15,27	17,03	0,089	25,98	27,83	1,595	1,858	1,878	2,172	80
	28	1,58	0,20	0,33	0,27	1,603	0,169	15,68	17,18	0,060	25,72	28,55	1,611	1,863	1,881	2,175	185
	91	1,63	0,22	0,39	0,36	1,518	0,160	15,76	17,36	0,057	25,84	27,67	1,623	1,883	1,893	2,187	215
03	7	1,03	0,13	0,19	0,18	1,584	0,167	15,02	16,18	0,022	25,03	28,44	1,608	1,877	1,896	2,202	50
	28	1,98	0,24	0,36	0,32	1,451	0,153	15,23	16,80	0,013	24,89	28,05	1,612	1,879	1,899	2,208	110
	91	2,04	0,27	0,43	0,39	1,423	0,150	15,33	16,97	0,012	24,98	28,17	1,625	1,895	1,905	2,221	136
04	7	0,86	0,12	0,18	0,15	1,689	0,178	15,96	16,97	0,058	26,89	28,96	1,613	1,878	1,897	2,258	70
	28	1,68	0,21	0,33	0,30	1,537	0,162	16,08	17,19	0,037	26,42	28,37	1,622	1,882	1,900	2,260	150
	91	2,06	0,29	0,44	0,40	1,499	0,158	16,37	17,45	0,033	26,54	28,46	1,647	1,902	1,924	2,287	185

fc – resistência à compressão

ft – resistência à tração por compressão diametral

fad – resistência de aderência à tração

J – juntas de assentamento de alvenaria

C – centro da alvenaria