

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Carla Louise Henz

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COMPATIBILIDADE DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ENCUNHAMENTO**

Porto Alegre
novembro 2009

CARLA LOUISE HENZ

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COMPATIBILIDADE DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ENCUNHAMENTO**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ângela Borges Masuero

Porto Alegre
novembro 2009

CARLA LOUISE HENZ

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COMPATIBILIDADE DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ENCUNHAMENTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal

Porto Alegre, 30 de novembro de 2009

Profa. Ângela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Pagnussat (UCS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Paulo Fernando Salvador (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

À Minha Família, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, Agnelo e Vanice, pelo exemplo de vida, de trabalho, pelos valores que me repassaram, pela simplicidade e pelo caráter sempre demonstrado. Por sempre sonharem e mostrarem o quanto isto é importante. Por incentivarem o estudo e me proporcionar a chance de realizá-los. Por todo amor, carinho e acolhimento que continuam me dando.

Aos meus queridos avós, tio Osmar, tia Jú, primo Eric e a Ladyinha, pelo incentivo, amor e carinho que sempre me deram ao longo da minha vida, fundamentais para realização deste trabalho e por compreenderem minha ausência em vários momentos.

À minha sempre irmã Camila, por aguentar o meu início na Engenharia na UFRGS, por estar ao meu lado na adaptação à Porto Alegre e a enfrentar um “mundo novo”.

À minha orientadora Ângela Borges Masuero, pelo tempo disponibilizado para apoiar e instruir este trabalho.

À professora Carin Maria Schmitt pela dedicação e pela tarefa difícil de nos acompanhar durante a construção deste trabalho.

À querida *Jhan*, amiga, colega de trabalho e “mãe” que à vida me deu de presente. Por todos os mil cuidados, amor, carinho e lições de vida.

Ao Eng. Cláudio, pelo constante conhecimento repassado, pelas aulas diárias, pela paciência e calma transmitidas. Pelas viagens “realizadas”, e por todo apoio dado.

Aos meus queridos colegas e acima de tudo amigos que encontrei na Engenharia. Em especial à Marina, pela amizade, paciência, companhia, apoio e por todos os momentos de angústia compartilhados nesta etapa tão difícil. Ao *Paulistinha* (Guilherme) e à *Marci* (Marcelle) pela amizade e por todos os momentos que juntos vivemos não só de estudos, mas de muita diversão durante todos estes anos.

Ao Alexandre, Airton e Gilmar por me auxiliarem no NORIE durante os ensaios. Ao Daniel e ao Anderson pela ajuda inicial.

Às empresas que doaram os materiais utilizados nesta pesquisa.

À todos que de certa forma me transmitiram o incentivo e a confiança indispensáveis para realização deste trabalho.

A vida é um milhão de novos começos, movidos pelo
desafio sempre novo de viver e fazer sonhar.
Anônimo

RESUMO

HENZ, C. L. **Análise Experimental de Compatibilidade das Argamassas de Revestimento e Encunhamento**. 2009. 85 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O uso das argamassas nas edificações não tem um histórico bem definido, mas sabe-se, porém que desde muito cedo o homem tem utilizado-a para proteger e reforçar sua casa. Com o surgimento de um novo material, no século XX, o cimento Portland, surge um novo conceito de argamassa: mistura homogênea de cimento, areia, água e em certos casos, cal. O uso das argamassas desde então, tomou outras funções, não apenas a de revestir, mas de ligar elementos e materiais diferentes, por exemplo. Apesar de todos os avanços em novos materiais e novas técnicas, as edificações têm sofrido diversas manifestações patológicas, o que tem preocupado todos os profissionais do meio da construção. Entre as principais manifestações patológicas das edificações, está o aparecimento de fissuras horizontais na zona de encunhamento, ou seja, na ligação entre a alvenaria e a estrutura. As fissuras no encunhamento são transferidas para o revestimento de argamassa permitindo a entrada de agentes patológicos, diminuindo assim sua durabilidade, além de provocar problema estético e constrangimento psicológico ao usuário da edificação. Para solucionar tal problema, tem-se indicado o uso de materiais mais resilientes como a **massa podre** (argamassa com baixo módulo de deformação) ou argamassas com elastômeros. Este trabalho analisa os principais tipos de argamassas empregadas pela construção civil de Porto Alegre, tanto na execução do encunhamento como no revestimento externo. Através da determinação das principais propriedades mecânicas, dadas pela classificação francesa MERUC, buscou-se analisar qual é a forma de influência da argamassa de encunhamento no revestimento em argamassa. Assim, foram realizados ensaios em laboratório, determinando a resistência mecânica, o módulo de deformação, a retenção de água, o ar incorporado e a absorção capilar de cada argamassa. O módulo de deformação é uma das propriedades mais importante, a partir do qual foi possível especificar a combinação entre as argamassas de revestimento e encunhamento que podem reduzir as manifestações patológicas no encunhamento. A Argamassa R1 pode ser combinada com quase todas as argamassas de encunhamento, enquanto R2 e R3 podem ser combinadas apenas com as argamassas E1, E3 e E4.

Palavras-chave: argamassa; revestimento; encunhamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: etapas do trabalho de diplomação em Engenharia Civil	17
Figura 2: argamassa sem aditivo incorporador de ar com aspecto seco	34
Figura 3: argamassa com aditivo incorporador de ar com aspecto plástico	34
Figura 4: revestimento em argamassa	36
Figura 5: encunhamento rígido com blocos cerâmicos inclinados a 45°	37
Figura 6: execução do encunhamento rígido com auxílio de uma bisnaga	38
Figura 7: princípio dos esforços que resultam na fissuração no encunhamento	39
Figura 8: fissuras reparadas na área de encunhamento	40
Figura 9: pasta de cal após 24 horas de repouso	47
Figura 10: realização do ensaio de consistência das argamassas	50
Figura 11: exemplo da moldagem dos corpos-de-prova prismáticos	51
Figura 12: corpos-de-prova prismáticos 4x4x16 cm desmoldados	52
Figura 13: detalhe da ruptura dos corpos-de-prova	52
Figura 14: detalhe do ensaio de absorção de água por capilaridade.....	53
Figura 15: equipamentos utilizados para determinar o módulo de deformação dinâmico das argamassas ensaiadas	55
Figura 16: aparelho para determinação da retenção de água das argamassas	57
Figura 17: aparelho utilizado para a determinação do teor de ar incorporado	58
Figura 18: resistência média à tração na flexão das argamassas ao longo do tempo	60
Figura 19: resistência média à compressão das argamassas ao longo do tempo	61
Figura 20: absorção de água por capilaridade aos 10min e 90min	63
Figura 21: detalhe da diferença de comportamento dos traços de argamassa ao ensaio de absorção de água por capilaridade	64
Figura 22: módulo de deformação dinâmico das argamassas de revestimento e encunhamento	66
Figura 23: comportamento do módulo de deformação e resistência à tração	67
Figura 24: comportamento do módulo de deformação e resistência à compressão	68
Figura 25: resultados do ensaio de retenção de água das argamassas	69
Figura 26: resultado do ensaio de teor de ar incorporado	71
Figura 27: resultado das propriedades mecânicas analisadas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: classificação francesa MERUC	21
Quadro 2: resistência à compressão	21
Quadro 3: densidade de massa no estado endurecido	21
Quadro 4: resistência à tração na flexão	22
Quadro 5: coeficiente de capilaridade	22
Quadro 6: densidade de massa no estado fresco	22
Quadro 7: retenção de água	23
Quadro 8: resistência potencial de aderência à tração	23
Quadro 9: classificação dos agregados de acordo com seu módulo de finura	29
Quadro 10: influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento	30
Quadro 11: classificação quanto ao tipo de encunhamento e respectivos materiais	38
Quadro 12: tipos e proporções das argamassas de encunhamento	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: variação do índice de consistência de cada traço de argamassa	50
Tabela 2: resistência média à tração na flexão das argamassas de revestimento e encunhamento	59
Tabela 3: resistência média à compressão das argamassas de revestimento e encunhamento	61
Tabela 4: absorção média aos 10 min, 90 min e coeficiente de capilaridade dos corpos-de-prova aos 28 dias	62
Tabela 5: módulo de deformação dinâmico dos traços de argamassa	65
Tabela 6: combinação entre as argamassas de revestimento e encunhamento	66
Tabela 7: média da retenção de água das argamassas de revestimento e encunhamento	68
Tabela 8: teor de ar incorporado por cada traço de argamassa	70
Tabela 9: classificação das argamassas avaliadas segundo suas propriedades mecânicas	72
Tabela 10: resumo dos resultados das argamassas avaliadas	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MÉTODO DE PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
2.2.1 Objetivo Principal	15
2.2.2 Objetivos Secundários	15
2.3 DELIMITAÇÕES	16
2.4 LIMITAÇÕES	16
2.5 DELINEAMENTO	16
3 ARGAMASSAS	18
3.1 HISTÓRICO E CONCEITOS	18
3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	19
3.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	23
3.3.1 Densidade de massa no estado endurecido	23
3.3.2 Módulo de deformação	24
3.3.3 Resistência Mecânica – à tração por flexão e compressão	25
3.3.4 Capacidade de retenção de água	26
3.3.5 Permeabilidade por capilaridade	26
3.3.6 Ar incorporado	27
3.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS	28
3.4.1 Cimento	28
3.4.2 Areia	29
3.4.3 Água	31
3.4.4 Cal hidratada	32
3.4.5 Aditivos	32
4 O ENCUNHAMENTO E SUAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	35
4.1 REVESTIMENTO	35
4.2 ENCUNHAMENTO	36
4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: REVESTIMENTO X ENCUNHAMENTO	39
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL	42
5.1 DETERMINAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANALISADAS	42
5.1.1 Argamassas de Revestimento	43
5.1.1.1 Argamassa industrializada – R1	43

5.1.1.2 Argamassa de cimento:cal:areia (1:1:6) – R2	43
5.1.1.3 Argamassa de cimento:areia (1:6) + aditivo incorporador de ar – R3	44
5.1.2 Argamassa de Encunhamento	44
5.1.2.1 Argamassa industrializada – E1	45
5.1.2.2 Argamassa industrializada – E2	45
5.1.2.3 Argamassa de cimento:areia (1:3) + 1% de expansor sobre a massa de cimento – E3.....	46
5.1.2.4 Argamassa de cimento:areia (1:3) + 3% de expansor sobre a massa de cimento – E4.....	46
5.1.2.5 Argamassa de cimento:areia:pasta de cal (1:18:5) – E5	47
5.1.2.6 Argamassa de cimento:areia:cola/água (1:10:1/4) – E6	48
5.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	48
5.2.1 Produção das argamassas e determinação do índice de consistência	48
5.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova	50
5.2.3 Resistência à tração na flexão e à compressão	51
5.2.4 Absorção de água por capilaridade	53
5.2.5 Módulo de deformação dinâmico	54
5.2.6 Retenção de água	56
5.2.7 Ar incorporado	57
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
6.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA – À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO..	59
6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	62
6.3 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DINÂMICO	65
6.4 RETENÇÃO DE ÁGUA	68
6.5 AR INCORPORADO	70
6.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	71
6.7 RESUMO DOS RESULTADOS.....	72
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A	78

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com as manifestações patológicas em revestimentos de fachadas tem aumentado, não apenas pela questão estética, mas também pela questão de conservação e desempenho. Entre as principais manifestações patológicas das edificações estão o aparecimento de fissuras horizontais e o destacamento da argamassa de revestimento na zona do encunhamento.

O encunhamento corresponde ao preenchimento do espaço entre a última fiada de alvenaria de vedação e a estrutura. Novas técnicas construtivas e materiais têm sido empregados na execução da fixação da alvenaria de modo a reduzir as frequentes manifestações patológicas desta área.

As manifestações patológicas no encunhamento permitem a infiltração e a entrada de agentes patológicos na edificação. As fissuras na zona do encunhamento é a patologia de maior grau de dificuldade nos reparos executados pelo setor de manutenção (COSTA et al., 2005).

O ritmo acelerado exigido pela construção civil é uma das possíveis causas do surgimento destas manifestações patológicas, pois não permite que todas as etapas de aplicação das argamassas sejam cumpridas e, desta forma, o encunhamento é executado muito antes do tempo indicado. A deformação lenta e excessiva dos elementos estruturais também influencia no aparecimento de fissuras e no descolamento dos revestimentos de fachada. A ausência de critérios na especificação das argamassas, a escolha de materiais não compatíveis e a execução do encunhamento por mão de obra desqualificada estão ainda entre as principais causas.

Este trabalho visa analisar as principais propriedades das argamassas utilizadas nos revestimentos e encunhamentos de edificações, determinando-se assim como a argamassa de encunhamento interfere no comportamento do revestimento em argamassa. Desta forma, a análise destas propriedades possibilitará a especificação das argamassas empregadas nas edificações, com o objetivo de reduzir a incidência de manifestações patológicas.

Este trabalho foi estruturado em 7 capítulos. O primeiro apresenta uma breve introdução ao tema abordado e o segundo mostra o método de pesquisa utilizado. O capítulo 3, através da revisão da literatura especializada, apresenta um breve histórico do uso das argamassas, suas possíveis classificações, suas principais propriedades e seus materiais constituintes. O capítulo 4 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os revestimentos de argamassa e o encunhamento da edificação e as suas manifestações patológicas.

O capítulo 5 descreve os traços de argamassa de encunhamento e as de revestimento escolhidas para serem analisados. Descreve o método dos ensaios realizados com a finalidade de caracterizar as argamassas.

O capítulo 6 apresenta os resultados e discussão dos resultados dos ensaios descritos no programa experimental. Finalizando, o capítulo 7 apresenta as considerações que resumem os resultados obtidos.

2 MÉTODO DE PESQUISA

A seguir é apresentado o método utilizado no trabalho, com a finalidade de indicar as idéias, objetivos, delimitações, limitações e o delineamento do trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual é a combinação das argamassas de revestimento e encunhamento capaz de reduzir a incidência de manifestações patológicas na área de ligação entre a alvenaria e a estrutura?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho foram classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário deste trabalho é a caracterização mecânica das argamassas de encunhamento e revestimento empregadas em Porto Alegre.

2.3 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho teve como delimitação a previsão do comportamento das argamassas analisadas, através de ensaios laboratoriais, dos principais tipos de argamassas de encunhamento e revestimento utilizadas pela construção civil em Porto Alegre.

2.4 LIMITAÇÕES

O trabalho limitou-se a analisar as argamassas mais utilizadas em Porto Alegre definidas em outros trabalhos, não sendo feitas inspeções em obras.

2.5 DELINEAMENTO

Este trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica: consistiu na contextualização do tema a ser desenvolvido através de trabalhos já existentes. A pesquisa bibliográfica foi realizada ao longo de todo o trabalho;
- b) definição das argamassas a serem analisadas: através da bibliografia existente foram identificados os principais traços e tipos de argamassas empregadas pela construção civil em Porto Alegre, e dessa forma, determinou-se quais seriam utilizadas nos ensaios laboratoriais;
- c) definição das propriedades a serem analisadas: etapa que definiu as propriedades mecânicas das argamassas que foram avaliadas em ensaios laboratoriais;
- d) ensaios laboratoriais: etapa na qual foram identificadas as principais propriedades das argamassas;
- e) análise e avaliação dos resultados: a partir dos dados obtidos dos ensaios laboratoriais analisou-se o seu comportamento e desempenho diante de suas funções;
- f) conclusões finais: a partir da análise dos resultados obtidos, pode-se determinar qual a influência da argamassa de encunhamento no comportamento do revestimento em argamassa na área de ligação entre a alvenaria e estrutura. E ainda, quais as argamassas indicadas para o encunhamento e revestimento que podem reduzir as manifestações patológicas nos revestimentos de fachada.

A sequência da realização do trabalho é apresentada na figura 1.



Figura 1: etapas do trabalho de diplomação em Engenharia Civil

3 ARGAMASSAS

A seguir é apresentado um breve histórico, os principais conceitos e a classificação das argamassas, como suas principais propriedades e os seus materiais constituintes.

3.1 HISTÓRICO E CONCEITOS

O uso das argamassas não tem uma evolução cronológica bem definida, pois os relatos da História da Arquitetura enfatizavam mais as formas arquitetônicas das edificações do que as técnicas e materiais utilizados. Sabe-se, porém que desde muito cedo o homem fez uso da argamassa para proteger e reforçar as suas edificações (TERRA, 2001). Em 1924, com o surgimento de um novo material, o cimento Portland, surge um novo conceito de argamassa: mistura plástica composta principalmente de cal, cimento Portland, areia e água (GUIMARÃES, 1997 apud FIESS, 2005).

Segundo a NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), argamassa é uma mistura homogênea constituída pela proporção adequada de aglomerantes de origem mineral (cimento e cal), agregados miúdos (areia) e água, podendo conter aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Geralmente aditivos ou adições são utilizados a fim de melhorar ou conferir determinadas propriedades a argamassa.

Pode-se, ainda, segundo Pereira (2007), definir argamassa como um material composto por uma fração ativa, que é formada pelos aglomerantes, e outra fração inerte, formada pelos agregados. Geralmente a fração ativa é formada pela cal hidratada e o cimento, onde este último é responsável por grande parte da resistência mecânica e a cal pela capacidade de deformação. A fração inerte é formada pela areia, que não entra nas reações químicas de endurecimento.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Na bibliografia é possível perceber que as argamassas podem ser classificadas de várias formas, de acordo com: sua utilização, os aglomerantes empregados, o traço, entre outros. Selmo (1996 apud SILVA, 2006) argumenta que a classificação segundo sua utilização deve ser adotada como prioridade, pois este é um fator básico para a definição de suas propriedades.

Segundo a NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) as argamassas podem ser classificadas de acordo com sua utilização da seguinte forma:

- a) para assentamento empregada,
 - em alvenaria de vedação: indicada para ligação de componentes de vedação no assentamento em alvenaria com função de vedação;
 - em alvenaria estrutural: indicada para ligação de componentes de vedação no assentamento em alvenaria com função estrutural;
 - para complementação de alvenaria (encunhamento): indicada para o fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada da alvenaria;
- b) para revestimentos de paredes e tetos no,
 - revestimento interno: indicada para revestimento de ambientes internos da edificação. É caracterizada como camada de regularização;
 - revestimento externo: indicada para revestimentos de fachadas, muros e outros elementos que estão em contato com o ambiente externo. É caracterizada como camada de regularização;
- c) de uso geral: são indicadas tanto para o assentamento de alvenaria sem função estrutural como para revestimento de paredes e tetos internos e externos;
- d) para reboco: também conhecida como massa fina, é indicada para o cobrimento do emboço, resulta numa superfície fina;
- e) decorativa em camada fina: indicada para revestimentos decorativos, com a finalidade de acabamento;
- f) decorativa em monocamada: indicada para revestimentos de fachadas, muros e outros elementos em contato com o meio externo, tem a finalidade de acabamento com fins decorativos.

A NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) apresenta a classificação das argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou de revestimento de

paredes e tetos, conforme suas características e propriedades. Essa classificação segue os seguintes aspectos:

- a) resistência à compressão;
- b) resistência à tração;
- c) densidade de massa no estado fresco;
- d) densidade de massa no estado endurecido;
- e) capilaridade;
- f) retenção de água;
- g) resistência de aderência.

Essa classificação das propriedades é baseada na classificação francesa denominada MERUC, uma das mais sofisticada dentre as existentes, elaborada pelo CSTB¹. Segundo Loturco (2005), essa nova classificação é importante, pois pode ser aplicada tanto para as argamassas industrializadas quanto para as misturadas em obra. Surgiu incentivada pelo aumento das manifestações patológicas dos revestimentos e do interesse sobre o módulo de elasticidade.

A classificação francesa de argamassas, denominada MERUC baseia-se em cinco propriedades (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004):

- a) *masse volumique apparente de l'enduit durci* (M): densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m^3);
- b) *module d'élasticité* (E): módulo de deformação (MPa);
- c) *résistance à la traction* (R): resistência à tração na flexão (MPa);
- d) *rétenion d'eau (Humidification)*(U): retenção de água no estado fresco (%);
- e) *capillarité* (C): coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{-1/2}$).

O quadro 1 mostra a classificação francesa Meruc.

¹CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT.

Classe	M (kg/m ³)	E (MPa)	R (MPa)	U (%)	C (g/dm ² .min ^{1/2})
1	<1200	< 5000	< 1,5	≤ 78	< 1,5
2	1000 a 1400	3500 a 7000	1,0 a 2,0	72 a 85	1,0 a 2,5
3	1200 a 1600	5000 a 10000	1,5 a 2,7	80 a 90	2,0 a 4,0
4	1400 a 1800	7500 a 14000	2,0 a 3,5	86 a 94	3,0 a 7,0
5	1600 a 2000	12000 a 20000	2,7 a 4,5	91 a 97	5,0 a 12,0
6	> 1800	> 16000	> 3,5	95 a 100	> 10,0

Quadro 1: classificação francesa MERUC (NAKAKURA, CINCOTTO, 2004)

Os quadros 2 à 8 mostram essa importante classificação segundo a NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). A classificação brasileira possui duas características mecânicas a mais, a resistência à compressão e a densidade de massa no estado fresco, e não possui classificação quanto ao módulo de deformação.

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2	NBR 13.279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Quadro2: resistência à compressão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3)

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m ³	Método de ensaio
M1	≤ 1200	NBR 13.280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	> 1800	

Quadro 3: densidade de massa aparente no estado endurecido
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3)

Classe	Resistência à tração na flexão Mpa	Método de ensaio
R1	$\leq 1,5$	NBR 13.279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

Quadro 4: resistência à tração na flexão
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3)

Classe	Coefficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}	Método de ensaio
C1	$\leq 1,5$	NBR 15.259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	$> 10,0$	

Quadro 5: coeficiente de capilaridade
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3)

Classe	Densidade de massa no estado fresco kg/m ³	Método de ensaio
D1	≤ 1400	NBR 13.278
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Quadro 6: densidade de massa no estado fresco
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 4)

Classe	Retenção de água %	Método de ensaio
U1	≤ 78	NBR 13.277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Quadro 7: retenção de água
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 4)

Classe	Resistência potencial de aderência à tração Mpa	Método de ensaio
A1	$\leq 0,20$	NBR 15.258
A2	$\geq 0,20$	
A3	$\geq 0,30$	

Quadro 8: resistência potencial de aderência à tração
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 4)

3.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Como visto na NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), as argamassas são divididas de acordo com diversas propriedades. A seguir, apresentam-se as principais propriedades segundo a classificação MERUC.

3.3.1 Densidade de massa no estado endurecido

A NBR 13.280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a) descreve o método para a determinação de massa no estado endurecido. Nakakura e Cincotto (2004, p. [11]) definem a densidades de massa no estado endurecido como a relação entre a massa total da argamassa após 28 dias de cura. Ainda ressaltam que:

[...] é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.

3.3.2 Módulo de deformação

Segundo Silva (2006, p. 22), “[...] o módulo de deformação é a relação entre a tensão aplicada a um corpo e a deformação produzida por esta tensão.”. Quanto menor o módulo de deformação da argamassa (menor teor de cimento), maior é sua deformabilidade e consequentemente maior a capacidade de absorver deformações. Nakakura e Cincotto (2004) consideram o módulo de deformação uma das mais importantes características que devem ser exigidas das argamassas, pois a capacidade de absorver deformações auxilia na estanqueidade da edificação.

São vários os esforços atuantes nos revestimentos em argamassa, estes podem ser provenientes da deformação diferencial da base, da retração por secagem, da retração por variação térmica, ou esforços por ações externas como o vento e o revestimento cerâmico (MOURA, 2007).

Sabbatini (1991) ressalta que o revestimento pode ou não ter a capacidade de resistir a estes esforços, o que determina o grau de fissuração que o revestimento pode apresentar. Define-se assim, o grau de fissuração em 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, e por consequência 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;

Dessa forma, tanto à capacidade de deformação como à resistência à tração estão diretamente ligadas à tendência da fissuração e suas conseqüências na durabilidade, estanqueidade e desempenho dos revestimentos.

3.3.3 Resistência Mecânica – Tração por flexão e Compressão

A resistência de um material é a capacidade deste resistir a tensões, tanto de tração, como de compressão ou de cisalhamento, causadas por esforços nos revestimentos ou nas juntas entre componentes, ou decorrentes das condições climáticas do ambiente. A resistência à tração, ou ao cisalhamento é muito importante na análise do desempenho dos revestimentos em argamassa, pois esta deve resistir aos esforços de tensão a fim de evitar o aparecimento de fissuras (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

Moura (2007) explica a relação entre o fenômeno da retração e a resistência mecânica das argamassas. A probabilidade de fissuração é maior quanto menor for a relação água/cimento, maior o teor de cimento da mistura, maior a resistência mecânica. Dessa forma, uma elevada resistência à compressão pode não ser boa para as argamassas, ao contrário do concreto.

Segundo Carneiro (1993), quanto menor a porosidade da argamassa maior será a resistência mecânica e, assim, quanto maior o teor de ar incorporado e os vazios capilares menor será a resistência. Neville (1997 apud MOURA, 2007) afirma que quanto menor a relação água/cimento da argamassa, menor será a porosidade e maior será a resistência, já que a porosidade será fechada pelos produtos da hidratação e não pela água em excesso. Outro fator que pode influenciar na resistência mecânica das argamassas é seus materiais constituintes, como por exemplo, as adições e os aditivos (MOURA,2007).

3.3.4 Capacidade de retenção de água

A retenção de água corresponde à capacidade da argamassa de não alterar sua trabalhabilidade, ou seja, reter a água de amassamento contra a perda de água seja por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação. O aumento da retenção de água da argamassa pode ser conseguido aumentando-se o teor de materiais com elevada área específica, como exemplo adicionando-se cal hidratada. Como a cal é um material muito fino, propicia consequentemente uma área maior a ser molhada, o que faz com que apareçam tensões superficiais as quais tendem a manter a água adsorvida nas partículas. Outra forma de aumentar a retenção de água é com a utilização de aditivos (ALVES; Ó, 2005).

A movimentação da água decorrente da argamassa com baixa retenção de água pode afetar a resistência, a capilaridade, a permeabilidade e a aderência da argamassa à base. A argamassa que não possuir capacidade adequada de retenção de água, além de ter afetado o seu manuseio, prejudicará a qualidade do revestimento, pois as reações de hidratação do cimento e carbonatação da cal ficarão comprometidas (GOMES, 2005).

A retenção de água influencia na adesão inicial e na posterior aderência dos revestimentos em argamassa. Carasek (1996 apud MOURA, 2007) aponta a relação entre a retenção de água da argamassa e a taxa de absorção de água do substrato. Segundo o autor deve-se utilizar uma argamassa com grande capacidade de retenção de água quando o substrato tiver alta sucção, enquanto que usa-se argamassas com pequena retenção de água se estes forem aplicados sobre um substrato com baixa absorção, para que a aderência desses dois elementos não fique comprometida.

3.3.5 Permeabilidade por capilaridade

Permeabilidade é a passagem de água no estado líquido ou gasoso, através da argamassa endurecida. A permeabilidade é menor quanto maior for a idade da argamassa, pois como os capilares são os espaços que ainda não foram preenchidos pelos compostos hidratados, a capilaridade depende de forma direta do processo de hidratação. A permeabilidade também depende da porosidade da argamassa, se ela for elevada e os poros estiverem interligados, formando pequenos caminhos, a permeabilidade será elevada. O contrário, a permeabilidade

será baixa, apesar da elevada porosidade, se os poros não tiverem ligação entre si (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

Diversos são os fatores que influenciam na permeabilidade como, por exemplo:

- a) o traço e natureza dos materiais constituintes da argamassa;
- b) a técnica de execução;
- c) a espessura da camada;
- d) a natureza da base;
- e) a quantidade e o tipo de fissuras existentes.

Estes fatores em maior ou menor grau vão interferir na porosidade e na capacidade de absorção de água capilar do revestimento de argamassa. É importante lembrar que a permeabilidade ao vapor da água é recomendada, pois favorece a secagem da parede e também impede a condensação de água em sua superfície.

3.3.6 Ar incorporado

Apesar da propriedade de ar incorporado não fazer parte da classificação francesa MERUC e da NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), optou-se por analisá-lo, visto que esta diretamente ligada às demais propriedades estudadas.

O ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar que é incorporada à mistura. Isto permite uma diminuição na quantidade de finos do agregado e a colocação de menos água na mistura, para uma mesma condição de aplicação (ALVES; Ó, 2005).

Segundo Mansur (2006) o uso de aditivos incorporador de ar e o processo de mistura mecânica são os responsáveis pela incorporação de ar as argamassas. O processo de mistura mecânica que introduz ar na argamassa, também é favorável à remoção deste ar incorporado, pois acaba promovendo a fusão das pequenas bolhas em bolhas maiores que apresentam maior tendência à flutuação. Dessa forma, as bolhas são carregadas até a superfície da mistura onde se rompem. O ar incorporado nas argamassas provoca um ganho de consistência e

plasticidade que se deve ao “efeito ponte” existente entre as bolhas de ar e as partículas de cimento e da areia. Mas ao mesmo tempo, o ar incorporado reduz a resistência mecânica e de aderência das argamassas.

O teor de ar incorporado à argamassa depende da quantidade e do tipo do aditivo, ou seja, aumentando-se a adição do aditivo, aumenta-se o teor de ar incorporado. Mas existe um limite, a partir do qual não se verifica mais o aumento do volume de ar incorporado, mesmo aumentando-se a quantidade de aditivo. Da mesma forma, o aumento do tempo de mistura, aumentará o teor de ar, até que a partir de um ponto o teor de ar pode começar a diminuir (ALVES; Ó, 2005).

3.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

Como definido pela NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), a argamassa é constituída pelos aglomerantes (cimento e cal), agregados miúdos (areia) e água, podendo conter aditivos ou adições. Dessa forma, a seguir será feita uma abordagem sobre cada um dos componentes das argamassas misturadas em obra.

3.4.1 Cimento

O cimento é um aglomerante hidráulico responsável pela resistência mecânica das argamassas. Uma de suas mais importantes propriedades em relação às argamassas, tanto no estado fresco, como no endurecido, é a finura. De acordo com Sabbatini (1989 apud MATTOS, 2001), o aumento da finura do cimento aumenta a trabalhabilidade da argamassa, visto que as partículas mais finas do aglomerante atuam como lubrificantes sólidos entre os grãos dos agregados.

Para Bauer e Sousa (2005), a finura influi na reatividade e na velocidade das reações químicas que ocorrem durante a pega e o endurecimento. O aumento da finura dos cimentos acarreta um aumento da atividade superficial das partículas na hidratação e, ainda, quanto mais fino o cimento, maior será a resistência mecânica da argamassa. Carneiro (1993) salienta que a retenção de água é proporcional ao teor de finos nas primeiras 24 horas. Em tempos

superiores, o aumento de finos conseqüentemente aumenta a retração da argamassa. Para solucionar tal problema, sugere o uso de aditivo incorporador de ar, ou a adição de cal hidratada para melhorar a retenção de água.

Segundo Dubaj (2000) o melhor cimento para as argamassas é o que tem um tempo de pega mais lento e que ganhe resistência ao longo do tempo. Isto evita a formação de fissuras devido à secagem ou retração hidráulica. Ainda ressalta que as argamassas de revestimento não necessitam de elevadas resistências mecânicas, que ainda reduzem a capacidade de deformações, a resistência a impactos e a aderência.

3.4.2 Areia

A areia é o tipo de agregado mais utilizado nas argamassas. Verçoza (1991) define o agregado como um material inerte constituído por grãos minerais estáveis. A areia tem importante papel em diversas propriedades como: retração, resistência mecânica e módulo de deformação. As principais funções das areias nas argamassas são: minimizar os efeitos da retração e reduzir o custo, visto que esse agregado tem valor bem inferior ao do aglomerante.

Na escolha adequada dos agregados deve-se observar diversas características do material. Entre elas deve-se cuidar para que a areia não contenha matéria orgânica ou outras impurezas que possam provocar diferentes manifestações patológicas nas argamassas (BAUER; SOUSA, 2005). Ainda de acordo com esses autores, o módulo de finura é um importante parâmetro para a classificação das argamassas. O quadro 9 define tal classificação.

Areia	Módulo de finura
Grossa	$MF > 3,00$
Média	$2,00 \leq MF \leq 3,00$
Fina	$MF < 2,00$

Quadro 9: classificação dos agregados de acordo com seu módulo de finura (BAUER; SOUSA, 2005, p. 21)

Carneiro (1993) indica as areias grossas para chapisco, as médias para emboço, as finas para reboco e a mistura de areia média e fina para massa única. Quanto maior o módulo de finura,

maior a fração de grãos graúdos e mais áspera é a textura que o revestimento de argamassa pode conferir.

Selmo (1986 apud DUBAJ, 2000) indica que a granulometria do agregado deve ser contínua e regular, pois dessa forma o volume a ser preenchido pela pasta é menor e, conseqüentemente, menor a retração da mesma. A continuidade da granulometria também aumenta a trabalhabilidade da argamassa, pois os grãos com pequenos diâmetros ocupam os espaços deixados por grãos de dimensão superior permitindo um maior empacotamento da mistura (MATTOS, 2001). O quadro 10 mostra o estudo de Sabattini (1986 apud DUBAJ, 2000) sobre as propriedades das argamassas em função das características granulométricas das areias.

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável *	Melhor
Resiliência	Variável *	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável *
Porosidade	Variável *	Aumenta	Variável *
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências	Variável *	Pior	Variável *
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável *

*Variável é considerado quando não existe uma influência definitiva ou quando esta depende de outros fatores

Quadro10: influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento (SABATTINI, 1986 apud DUBAJ, 2000, p. 32)

A forma do agregado é outro fator importante na sua escolha. Grãos angulosos diminuem a trabalhabilidade, enquanto grãos arredondados possuem menor superfície específica e proporcionam maior trabalhabilidade e compacidade as argamassas.

3.4.3 Água

A água utilizada na argamassa não deve conter matéria orgânica, sais inorgânicos, óleos, argilas ou outras impurezas (FIESS, 2005). Segundo Mattos (2001), a água tem duas principais funções nas argamassas: a de combinar quimicamente com seus aglomerantes, possibilitando seu endurecimento e ganho de resistência, e a de propiciar a trabalhabilidade da argamassa.

Segundo FieSS (2005) a relação água/aglomerante tem importância não só na trabalhabilidade da argamassa, mas nas propriedades da argamassa endurecida como: porosidade, absorção de água, retração de secagem, resistência mecânica, entre outras. Mattos (2001) afirma que a trabalhabilidade da argamassa é de difícil quantificação e geralmente é caracterizada através da consistência e da plasticidade, ocorrendo muitas vezes o erro de adotar todos estes termos (trabalhabilidade, consistência, plasticidade) como sinônimos. Segundo Carasek e Djanikian (1993 apud MATTOS, 2001), a consistência caracteriza a resistência a deformação das argamassas sob a ação de uma carga, enquanto que a plasticidade a capacidade das argamassas manterem a deformação após reduzir-se a carga atuante.

Mattos (2001, p. 19) enfatiza que:

A plasticidade e consistência adequadas da argamassa demandam uma quantidade ótima de água, a qual é função da natureza e proporção dos materiais, resultando em argamassas homogêneas e, conseqüentemente, coesas. O excesso de água pode tornar a argamassa mais plástica, entretanto existe uma tendência de separação das partículas (exsudação de água), ocorrendo a segregação com perda de uma parcela do material fino, principalmente o aglomerante, o qual é carregado em conjunto com a água. A exsudação ocorre porque a água em excesso não pode ser retida no interior da mistura pelos demais materiais constituintes.

Com a adição de mais água, a argamassa melhora a trabalhabilidade e a aderência, ao mesmo tempo em que reduz a resistência mecânica (OLIVEIRA, 1989 apud MATTOS 2001). Segundo Selmo (1989 apud MATTOS, 2001) uma parte da água adicionada a argamassa é perdida por evaporação e outra parte pela sucção do substrato, visto que a quantidade de água adicionada buscando uma melhor trabalhabilidade é maior que a necessária para as reações de hidratação. Essa perda de água por evaporação ou sucção acarreta uma maior porosidade, que dependendo de sua distribuição e do tamanho dos poros pode influenciar de forma negativa a resistência, capilaridade, a permeabilidade e a aderência.

Dessa forma, constata-se que a quantidade de água é fundamental na caracterização de diversas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco como endurecido. Necessita-se determinar de forma criteriosa a quantidade de água adicionada de acordo com a trabalhabilidade requerida, a definição do traço, a sucção inicial do substrato a qual é aplicada entre outros fatores.

3.4.4 Cal hidratada

A cal tem seu endurecimento feito pela transformação do hidróxido de cálcio (cal hidratada) em carbonato de cálcio através da fixação do gás carbônico presente no ar (processo de carbonatação) (BAUER; SOUSA, 2005). Segundo Carneiro (1993), a cal é um aglomerante adicionado a argamassa com a função de melhorar diversas propriedades, principalmente as ligadas ao estado fresco como a trabalhabilidade e a retenção de água. Devido a sua finura, a cal favorece a plasticidade da argamassa e dessa forma permite que a argamassa preencha mais facilmente toda a superfície do substrato, resultando numa maior aderência. Já a retenção da água propicia a argamassa uma menor suscetibilidade à fissuração devido à retração da argamassa por secagem.

Os teores de cal adicionados as argamassas devem ser controlados, pois a dosagem em excesso pode atuar de forma negativa no desempenho dos revestimentos em argamassas contribuindo para o aumento de prováveis fissuras nos revestimentos (BAUER; SOUSA, 2005). Dessa forma, a adição de cal em teores adequados pode favorecer propriedades como a trabalhabilidade, retenção de água e a capacidade de absorver deformações. Enquanto que teores em excesso podem diminuir a resistência à abrasão e aumentar a tendência à fissuração do revestimento.

3.4.5 Aditivos

Os aditivos são produtos adicionados em pequenas quantidades nas argamassas com a finalidade de modificar algumas propriedades no estado fresco e no endurecido. Mibielli (1994 apud DUBAJ, 2000) define os aditivos como substâncias químicas que têm a capacidade de modificar propriedades físicas, que reagem com os componentes da argamassa

e que podem sofrer alterações no desempenho, devido a fatores como: temperatura, concentração e tempo decorrido após a aplicação.

Um dos aditivos mais utilizados é o incorporador de ar, utilizado para melhorar a trabalhabilidade da argamassa, ao mesmo tempo em que reduz a quantidade de água adicionada a argamassa. Seu uso é feito principalmente em argamassas que não possuem cal em sua composição. Segundo Yoshida e Barros (1995 apud MATTOS, 2001), há um aumento da trabalhabilidade porque as bolhas de ar incorporado atuam como lubrificantes entre os grãos da mistura. A adição do aditivo incorporador de ar ainda modifica positivamente outras propriedades (ALVES; Ó, 2005, p. 30):

- (a) Módulo de deformação - normalmente é reduzido, o que aumenta a capacidade de deformação do sistema de revestimento;
- (b) Retração - normalmente é reduzida;
- (c) Exsudação - é diminuída;
- (d) Massa específica - é reduzida.

Segundo diversos autores, entre eles Renton e Lee (1989 apud MATTOS, 2001), a dosagem em excesso do aditivo incorporador de ar pode trazer diversas desvantagens como a redução da aderência da argamassa. O ar incorporado ainda reduz as propriedades de resistência mecânica, mesmo que melhore a resistência a ciclos de gelo e degelo (ISBERNER, 1964 apud MATTOS, 2001). Pode-se concluir que existe um teor ótimo de dosagem e a partir desse as propriedades mudam de tendência.

Mattos (2001) conclui que a substituição da cal pelo aditivo incorporador de ar para a mesma relação cimento/areia pode trazer desempenhos não satisfatórios as argamassas de traços reconhecidos como de bom desempenho. Sugere ainda que a adição da cal junto ao aditivo incorporador de ar é a melhor forma de se obter o desempenho desejado, ao invés de substituir-se um pelo outro.

As condições da argamassa sem o aditivo incorporador de ar, e depois com a adição do mesmo, pode ser facilmente vista na figura 2 e 3, respectivamente.



Figura 2: argamassa sem aditivo incorporador de ar com aspecto seco
(ALVES; Ó, 2005, p. 32)

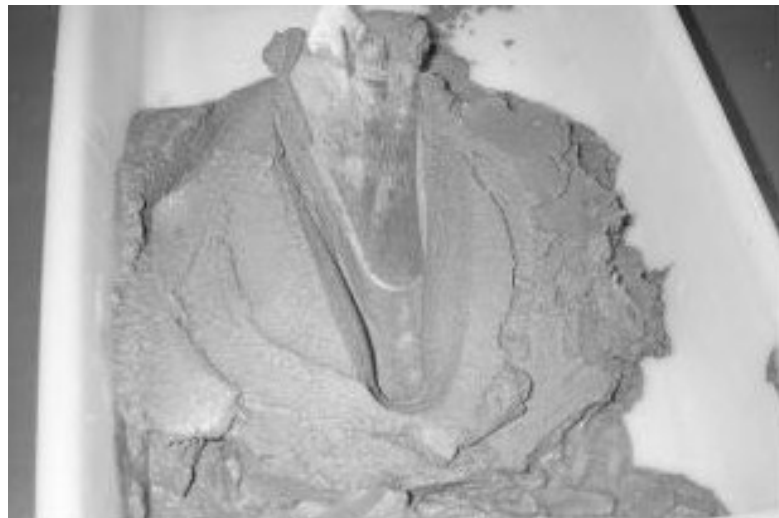


Figura 3: argamassa com aditivo incorporador de ar com aspecto plástico
(ALVES; Ó, 2005, p. 32)

4 O ENCUNHAMENTO E SUAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Este capítulo apresenta uma breve contextualização sobre o revestimento em argamassa e o encunhamento nas edificações e as manifestações patológicas que podem ocorrer nesta zona.

4.1 REVESTIMENTO

Segundo a NBR 13.530 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995a) os revestimentos de paredes e tetos podem se constituídos por chapisco e emboço, como revestimento de camada única, ou por chapisco, emboço e reboco. Classificam, ainda, os revestimentos com relação ao número de camadas aplicadas, ambiente de exposição, comportamento à umidade, comportamento a radiação, comportamento ao calor e ao acabamento de superfície.

Para Bauer (2005, p. 07) “As funções do sistema de revestimento vão desde a proteção à alvenaria, regularização das superfícies, estanqueidade, até funções de natureza estéticas, uma vez que se constitui do elemento de acabamento final das vedações.”.

Sabbatini (1991) ressalta que “Os revestimentos argamassados convencionais, para cumprir adequadamente as suas funções, devem possuir características que sejam compatíveis com as condições a que estarão expostos, com as condições de execução, com a natureza da base, com as especificações de desempenho, com o acabamento final previsto, etc.”.

A NBR13.749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995b) exige as seguintes condições dos revestimentos em argamassa:

- a) ser compatível com o material utilizado como acabamento decorativo;
- b) ter resistência mecânica decrescente ou igual, a partir da camada mais próxima a base;
- c) ser formado por uma ou mais camadas de argamassas contínuas e uniforme;
- d) se externos, resistir à variação de temperatura e umidade do meio;

e) outras.

Na figura 4 pode-se ver o revestimento em argamassa da edificação.



Figura 4: revestimento em argamassa

Segundo Sabbatini (1991) a tecnologia de execução de revestimentos de argamassa utilizada em nosso país é extremamente deficiente, acarretando em situações inaceitáveis em termos do nível de problemas patológicos apresentados por estes revestimentos. O autor recomenda a elaboração de um projeto de revestimento, onde se definem todos os aspectos relativos aos materiais, técnicas e detalhes construtivos a serem empregados, além dos padrões e técnicas de controle de qualidade a serem observados durante a execução do revestimento.

4.2 ENCUNHAMENTO

Encunhamento é basicamente o preenchimento do espaço deixado entre a última fiada da alvenaria e a estrutura, ou seja, é a ligação de dois elementos com comportamentos diferentes. Daldon (2008) explica que o encunhamento começou a ser executado na década de 1930, logo

após o surgimento das primeiras edificações com concreto armado. A primeira técnica de encunhamento executada foi com a utilização de blocos cerâmicos de vedação inclinados a 45°. Segundo Franco (1998 apud DALDON, 2008), nesse sistema as tensões transmitidas pela estrutura à parede é absorvida pela aderência da argamassa de assentamento e o bloco. A figura 5 mostra o encunhamento com a utilização dos blocos cerâmicos a 45°.



Figura 5: encunhamento rígido com blocos cerâmicos inclinados a 45°

Nos últimos anos, diferentes materiais surgiram como opção para a execução do encunhamento. Com estruturas que são cada vez mais flexíveis, Sayegh (2007) sugere a utilização de materiais mais resilientes como:

- a) massa podre (argamassa rica em cal hidratada e baixo consumo de cimento);
- b) tijolos de barro cozido que possuem baixo módulo de deformação;
- c) argamassas com elastômeros;
- d) esferas de isopor;
- e) placas de neoprene;
- f) cortiça ou isopor;
- g) poliuretano expandido.

Na figura 6 é possível ver a execução do encunhamento rígido de uma edificação, utilizando uma argamassa com expansor.



Figura 6: execução do encunhamento rígido, com auxílio de uma bisnaga (FRANCO, 2005 apud DALDON, 2008, p. 28)

Sabbatini (2002) sugere uma classificação quanto aos tipos de técnicas utilizadas para o encunhamento (quadro 11).

Encunhamento	Materiais
com pré-tensionamento (rígido)	tijolos inclinados à 45°
	cunhas de concreto
	argamassa expansiva
sem pré-tensionamento (resiliente)	argamassa de baixo módulo de elasticidade
plástico	espuma de poliuretano

Quadro 11: classificação quanto ao tipo de encunhamento e respectivos materiais (SABBATINI, 2002, p. 4)

O encunhamento com pré-tensionamento (encunhamento rígido) tem por objetivo fixar a alvenaria a estrutura ou propiciar o contraventamento da estrutura. O encunhamento sem pré-tensionamento (encunhamento resiliente) é recomendado para estruturas que são mais deformáveis. Este tipo de encunhamento tem uma menor probabilidade de apresentar fissuras, sendo que a fixação é garantida pela aderência inicial da argamassa e deformação lenta da estrutura. Para este tipo de ligação, é necessário o uso de materiais de baixo módulo de elasticidade, alta aderência inicial e alta plasticidade (SABBATINI, 2002).

Segundo o mesmo autor, o encunhamento plástico é indicado para estruturas muito deformáveis e paredes muito rígidas. Este tipo de ligação é o que tem menor tensão nas paredes após a fixação e é garantido pela colagem do material. Um dos materiais mais indicados nessa técnica é o poliuretano expandido.

4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: REVESTIMENTO X ENCUNHAMENTO

A execução do encunhamento com técnica ou com materiais inadequados estão entre as causas que podem provocar destacamento entre a alvenaria e a estrutura, fissuras ou, em casos mais graves, esmagamento e posterior ruptura da alvenaria, ou do revestimento (LOTURCO, 2004).

Segundo Daldon (2008) a deformação lenta da estrutura atua como mais uma força de compressão sobre o encunhamento. Essa deformação depende da idade do carregamento, ou seja, da idade da execução do encunhamento. O encunhamento absorve parte desta tensão e outra parte é transferida para a alvenaria. A figura 7 mostra que parte da tensão absorvida pelo encunhamento é transformada em uma deformação transversal do encunhamento. O revestimento em argamassa sofre um esforço de tração e dessa forma resultam as fissuras, ou em casos mais graves, o descolamento do revestimento.

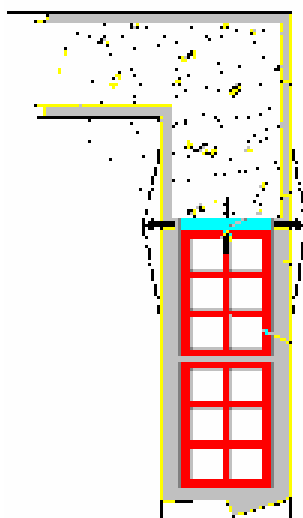


Figura 7: princípio dos esforços que resultam na fissuração no encunhamento
(DALDON, 2008, p.59)

As fissuras horizontais que acompanham o alinhamento da fixação superior da alvenaria à estrutura é a manifestação patológica mais comum. As fissuras também são, segundo Terra (2001, p. 30), o problema que atinge as edificações que mais merece atenção. Entre os principais motivos estão:

- aviso de um eventual colapso da estrutura;
- comprometimento da obra em serviço (estanqueidade, isolamento acústica, durabilidade, etc);
- constrangimento psicológico que exercem sobre os usuários das edificações.

A infiltração de água proveniente das fissuras na região do encunhamento é a manifestação patológica com maior grau de dificuldade nos reparos que são executados pelas empresas de manutenção (COSTA et al., 2005). A infiltração externa através do encunhamento faz com que as paredes internas da edificação que estão nessa fachada fiquem completamente umedecidas. Os reparos não se mostram eficazes somente na parte interna da edificação, necessitando reparos pela parte externa, o que o torna ainda mais complicado. A figura 8 mostra o acabamento dos reparos executados entre a alvenaria e a viga superior de cada pavimento, num prédio de vários pavimentos.



Figura 8: fissuras reparadas na área do encunhamento
(CONSOLI, 2006, p. 140)

Dessa forma, ao se executar o encunhamento deve-se tomar certos cuidados como: a escolha da técnica adotada, o uso de mão de obra capacitada, materiais que sejam compatíveis entre si, a idade do carregamento, afim de evitar eventuais manifestações patológicas.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados quais os tipos de argamassas de encunhamento e de revestimento que serão analisadas durante os ensaios, bem como descrito o modo de preparação e os ensaios de caracterização das argamassas avaliadas.

5.1 DETERMINAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANALISADAS

Com o objetivo de analisar a compatibilidade das argamassas de revestimento com as utilizadas na zona de encunhamento, foram escolhidas uma argamassa de revestimento industrializada e duas dosadas em obra. A escolha da argamassa de encunhamento baseou-se no levantamento realizado por Daldon (2008), optando-se por seis traços comuns na construção civil de Porto Alegre. O quadro 12 mostra o levantamento dos tipos e proporções das argamassas de encunhamento acompanhadas por Daldon (2008).

Obra	Tipo de encunhamento	Traço de produção da argamassa			
		Cimento	Areia	Especificação 1	Especificação 2
A	Rígido	1	3	1% de Expansor sob volume cimento	
B	Rígido	1	3	1% de Expansor sob volume cimento	
C	Rígido	1	3	mais de 1% de Expansor sob volume cimento	
D	Rígido	1	3	menos de 1% de Expansor sob volume cimento	
E	Rígido	1	3	1% de Expansor sob volume cimento	
F	Rígido	1	3	1% de Expansor sob volume cimento	
G	Resiliente	1	18	5 de pasta de cal	0,25 de cola PVA mistura com 0,2 de água
H	Resiliente	1	18	5 de pasta de cal	0,25 de cola PVA mistura com 0,2 de água
I	Resiliente	1	10	Adição de mistura de cola em traço 1 de cola para 4 de água	
J	Industrializada	-	-	1 saco 40 kg pó	7,0 litros de água
L	Industrializada	-	-	1 saco 25 kg pó	3,9 litros de água
M	Rígido/Ausente	1	3	Tijolos inclinados a 45 ° e sem encunhamento	

Quadro 12: tipos e proporções das argamassas de encunhamento (DALDON, 2008, p. 45)

Dessa forma, segue a descrição dos traços das argamassas de revestimento e encunhamento escolhidos para análise.

5.1.1 Argamassas de Revestimento

Optou-se por analisar apenas 3 tipos de argamassas de revestimento, utilizando-se assim uma argamassa industrializada, um traço utilizando cal hidratada, e o último fazendo o uso de aditivo incorporador de ar, visto que estes traços são bem comuns na construção civil de Porto Alegre.

5.1.1.1 Argamassa industrializada – R1

Segundo o fabricante, esta argamassa é uma mistura seca à base de cal hidratada CH-II, cimento Portland CII-Z-32, areia calcária seca e classificada e filer mineral. A quantidade de água recomendada está entre 7,8 e 8,2 litros por saco de 40 kg, para que o produto apresente uma boa consistência.

O procedimento de mistura utilizado para a obtenção da argamassa foi seguido de acordo com as orientações da NBR 13.276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d). Dessa forma as etapas foram as seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, da mistura seca necessária para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1.

5.1.1.2 Argamassa de cimento: cal: areia (1:1:6) – R2

Este é um dos traços mais comuns empregados na execução do revestimento de argamassa. Procedeu-se da seguinte forma:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, cal e areia necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- c) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- d) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre;
- e) utilizou-se a cal hidratada (CH-II) como aglomerante.

5.1.1.3 Argamassa de cimento: areia (1:6) +aditivo incorporador de ar – R3

Para a produção da argamassa de revestimento com incorporador de ar seguiu-se a proporção indicada pelo fabricante, ou seja, 200ml/50kg de cimento. O procedimento e os materiais adotados foram os seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, areia e aditivo necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- c) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- d) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre.

5.1.2 Argamassas de Encunhamento

Optou-se por analisar 6 tipos de argamassas de encunhamento, utilizando-se assim duas argamassas industrializadas, dois traços com expensor, outro traço com pasta de cal e o último com o uso de cola PVA.

5.1.2.1 Argamassa industrializada – E1

Esta argamassa é indicada de acordo com o fabricante para assentamento de alvenaria de tijolos maciços, blocos cerâmicos e de concreto, sendo assim recomendado para o uso na execução do encunhamento. É uma mistura seca à base de cal hidratada CH-II, areia calcária seca e classificada, filer mineral e Cimento Portland CII-Z-32. A quantidade de água recomendada está entre 7,2 e 7,7 litros por saco de 40 kg, para que o produto apresente uma boa consistência. Para a produção da argamassa foi realizada:

- a) a determinação da quantidade, em massa, da mistura seca necessária para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1.

5.1.2.2 Argamassa industrializada – E2

Esta argamassa é indicada de acordo com o fabricante para assentar alvenarias de vedação de tijolos, blocos cerâmicos e de concreto celular. É especialmente indicado para fixação de alvenarias (encunhamento) devido à sua alta capacidade de aderência e baixo módulo de deformação. Como o material utilizado nos ensaios foi doado pelo fabricante, não se conhecendo a quantidade de água indicada pelo mesmo, optou-se por adotar valores semelhantes à argamassa de encunhamento industrializada C. Para a produção da argamassa foi realizada:

- a) a determinação da quantidade, em massa, da mistura seca necessária para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1.

5.1.2.3 Argamassa de cimento: areia (1:3) + 1% de expansor sobre a massa de cimento – E3

A argamassa de cimento e areia com aditivo expansor, ou compensador de retração, é considerada como encunhamento rígido. O fabricante do expansor utilizado, recomenda o uso de 1% de expansor sobre a massa do cimento. O procedimento e os materiais adotados foram os seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, areia e expansor necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- c) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- d) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre.

5.1.2.4 Argamassa de cimento: areia (1:3) + 3% de expansor sobre a massa de cimento – E4

A escolha da argamassa de cimento e areia com 3% de aditivo expansor, deu-se com o objetivo de se observar o comportamento da argamassa utilizando-se um valor maior que o recomendado pelo fabricante, visto que Daldon (2008), verificou o uso do mesmo durante o acompanhamento de obras em Porto Alegre. O procedimento e os materiais adotados foram os seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, areia e expansor necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- c) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- d) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre.

5.1.2.5 Argamassa de cimento: areia: pasta de cal (1:18:5) – E5

Este tipo de argamassa com cimento, areia e pasta de cal é denominado como encunhamento resiliente. Segundo Daldon (2008), esta argamassa utiliza materiais adesivos para propiciar trabalhabilidade e aderência. Esta argamassa ainda é produzida com um teor muito baixo de cimento. O procedimento e os materiais adotados foram os seguintes:

- a) com antecedência de 24h de utilização, preparou-se uma mistura de cal hidratada em pó (CH-II) e água, até que atingisse uma consistência pastosa;
- b) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, areia e pasta de cal necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- c) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- d) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- e) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre.

A pasta de cal foi preparada com um dia de antecedência ao seu uso. Foi mantida em condições úmidas, coberta com um filme plástico, para evitar sua secagem. A figura 9 mostra a pasta de cal após 24 horas de repouso. Pode-se observar sobre a pasta de cal uma fina lâmina de água.



Figura 9: pasta de cal após 24 horas de repouso

5.1.2.6 Argamassa de cimento:areia:cola/água (1:10:1/4) – E6

Assim como a argamassa com pasta de cal, esta argamassa de cimento, areia e cola PVA é denominado como encunhamento resiliente. A proporção de cola utilizada foi de 1 para 4 de água, conforme observado por Daldon (2008). O procedimento e os materiais adotados foram os seguintes:

- a) determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço, ou seja, cimento, areia e cola PVA necessários para a moldagem dos corpos-de-prova;
- b) através da relação água/aglomerante, determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado, conforme definido previamente na tabela 1;
- c) a areia utilizada estava em condições de seco ao ar, passante na peneira 2,4;
- d) o cimento utilizado foi o CP IV-32, por ser este o aglomerante mais utilizado nas obras de Porto Alegre.

5.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Após a determinação dos traços de argamassas de encunhamento e revestimentos adotados, partiu-se para a produção das argamassas e dos respectivos ensaios de caracterização.

5.2.1 Produção das argamassas e determinação do índice de consistência

Após a seleção dos materiais a serem utilizados, passou-se a produção das argamassas e para que fosse possível a comparação entre os diferentes traços, manteve-se fixo o índice de consistência. Esta avaliação foi realizada no laboratório do NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação) da UFRGS, de acordo com a NBR 13.276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d) que descreve o preparo da mistura e a determinação do índice de consistência para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Esta norma divide o método de preparo das argamassas em industrializada e argamassa dosada em obra. Dessa forma procedeu-se:

- a) argamassa industrializada,
 - colocação da água, seguida do material seco de modo contínuo no período de 30s;
 - acionar a argamassadeira por 30s na velocidade baixa;
 - retirar a pá de mistura e raspar toda a superfície interna do recipiente num intervalo de 60s;
 - acionar a argamassadeira por mais 30s;
- b) argamassa dosada em obra à base de cimento (com adições ou aditivos),
 - colocação da água, seguida do material seco de acordo com o proporcionamento de cada traço;
 - acionar a argamassadeira por 90s em velocidade baixa;
 - deixar a mistura em repouso por 15 min;
 - homogeneizar a argamassa manualmente por no máximo 30s;
- c) argamassa dosada em obra à base de cimento e cal hidratada,
 - misturar durante 4 min em velocidade baixa, areia, cal hidratada e água;
 - deixar a mistura em repouso por 15 min;
 - acrescentar o cimento e acionar a argamassadeira por mais 4 min na velocidade baixa.

O índice de consistência das argamassas foi pré-estabelecido em 225 ± 15 mm, para que todos os traços obtivessem uma boa trabalhabilidade.

No ensaio de determinação do índice de consistência, utilizou-se um molde tronco-cônico colocado de modo centralizado na mesa para o índice de consistência. Após a mistura da argamassa, preencheu-se o molde com argamassa, em três camadas com alturas aproximadamente iguais, socando-se cada camada com golpes moderados de soquete, sendo 15 golpes na primeira camada, 10 na segunda e 5 na terceira uniformemente distribuídos. Removeu-se o material que ultrapassou o bordo superior com o auxílio de uma régua metálica, e eliminou-se qualquer partícula em volta do molde com pano e esponja úmida. Removeu-se o molde tronco-cônico e acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, fazendo com que a mesa suba e caia 30 vezes em 30s de maneira uniforme. Após a última queda mediu-se com o auxílio de um paquímetro o diâmetro dado pelo espalhamento da argamassa. Registrou-se dessa forma três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos, sendo o índice de consistência dado pela média dessas três medidas. A figura 10 apresenta detalhes do ensaio e a tabela 1 os resultados obtidos no

ensaio de consistência. No apêndice A estão todas as leituras realizadas no ensaio do índice de consistência.



Figura 10: realização do ensaio de consistência das argamassas

Tabela 1: Variação do índice de consistência de cada traço de argamassa

Tipo de Argamassa	Índice de consistência (mm)	Relação água/mat seco	Relação água/cimento
R1 – industrializada	239	0,17	-
R2 – (1:1:6)	233	0,14	1,16
R3 – aditivo	215	0,12	0,82
E1 – industrializada	233	0,15	-
E2 – industrializada	231	0,12	-
E3 – 1% expansor	222	0,12	0,47
E4 – 3% expansor	228	0,13	0,51
E5 – pasta de cal	219	0,08	1,59
E6 – cola PVA	220	0,14	1,49

5.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova

A NBR 13.279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005e), descreve a moldagem dos corpos-de-prova prismáticos 4cm x 4cm x 16cm. Após o preparo da

argamassa, cada compartimento do molde prismático recebeu uma porção de argamassa e em seguida aplicou-se 30 quedas da mesa de adensamento. Aplicou-se uma segunda camada de argamassa em cada compartimento do molde e aplicou-se novamente 30 quedas na mesa de adensamento. Os corpos-de-prova permaneceram por 48 ± 24 h nos moldes e foram mantidos nas condições descritas pela norma. A figura 11 mostra a confecção dos corpos-de-prova.



Figura 11: exemplo da moldagem dos corpos-de-prova prismáticos

5.2.3 Resistência à tração na flexão e à compressão

O ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão é normalizado pela NBR 13.279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005e). Dessa forma foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos de dimensões 4x4x16cm para cada tipo de argamassa e data. Cada corpo-de-prova rompido à flexão resultou em duas metades que em seguida foram rompidos à compressão. Dessa forma, foram obtidos três valores de resistência à tração na flexão e 6 de compressão para cada traço analisado. A figura 12 mostra os corpos-de-prova prismáticos que serão rompidos.



Figura 12: corpos-de-prova prismáticos 4x4x16cm desmoldados

Inicialmente os corpos de prova seriam rompidos aos 7 e 28 dias, mas por problemas na prensa hidráulica, foi necessário modificar as datas de ruptura. Os corpos-de-prova foram rompidos aos 14 dias e aos 28 dias, utilizando-se para isso uma prensa hidráulica Emic DL 20000 do CIENTEC (Fundação de Ciência e Tecnologia). A figura 13 mostra a ruptura dos corpos-de-prova utilizando a prensa hidráulica.



Figura 13: detalhe da ruptura dos corpos-de-prova

5.2.4 Absorção de água por capilaridade

A NBR 15.259 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f) estabelece o método para determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

Para este ensaio foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos para cada traço de argamassa, que foram mantidos à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$, conforme orientação da norma. Aos 28 dias os corpos-de-prova foram ensaiados, para isso a superfície dos prismas foi lixada e limpa. Foram realizadas três pesagens dos corpos-de prova, a inicial, após 10 min em contato com uma lâmina de (5 ± 1) mm de água, e aos 90min. A figura 14 mostra os corpos-de-prova submetidos ao ensaio.



Figura 14: detalhe do ensaio de absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é calculada para cada tempo de leitura, e é dada pela seguinte equação:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

A_t = é absorção de água por capilaridade para cada tempo, expressa em gramas por centímetro quadrado;

m_t = é a massa do corpo-de-prova em cada tempo, em gramas;

m_o = é a massa inicial do corpo-de-prova, em gramas.

5.2.5 Módulo de Deformação Dinâmico

A determinação do módulo de deformação dinâmico das argamassas não é normalizada. Desta forma, utilizou-se a norma BS 1881/Part 209 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1990).

Para a determinação do módulo de deformação dinâmico, utilizou-se 3 corpos-de-prova prismáticos com dimensões 4x4x16cm com idade igual à 28 dias. O aparelho adotado durante os ensaios para determinar a velocidade da propagação da onda ultra-sônica foi o tipo PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) e o NDT (Non Destructive Testing Systems). Fez-se o uso de dois aparelhos distintos em datas de ensaios diferentes, pois um dos aparelhos apresentou problemas. Estes aparelhos são compostos por um transdutor e um receptor. Assim, se ambos estiverem em contato com o corpo-de-prova, uma onda será emitida e é possível registrar o tempo que esta leva para passar pelo corpo-de-prova de argamassa. A velocidade de propagação desta onda é facilmente calculada pela equação seguinte:

$$V = \frac{l}{t} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde :

V = Velocidade de propagação da onda ultra-sônica, em Km/s;

l = distância percorrida pela onda (altura do corpo-de-prova), expressa em Km;

t = tempo de propagação, expresso em segundos.

Após o cálculo da velocidade de propagação da onda através do corpo-de-prova, calculou-se o módulo de deformação dinâmico pela fórmula 3:

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde :

E_d = módulo deformação dinâmico, expresso em Megapascal;

ρ = densidade do corpo-de-prova, em kg/m³;

V = velocidade de pulso, em km/s;

ν = coeficiente de Poisson, adotou-se o valor de 0,20.

A figura 15 mostra os equipamentos de ultra-som utilizados para determinar o módulo de deformação dinâmico.



Figura 15: equipamentos utilizados para determinar o módulo de deformação dinâmico das argamassas ensaiadas

5.2.6 Retenção de água

O ensaio para determinação da retenção de água no estado fresco de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos tem como referência normativa a NBR 13.277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c). A preparação da argamassa obedeceu a NBR 13.276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d).

Primeiramente colocou-se o prato sobre o funil e umedeceu-se o papel-filtro colocando-o no fundo do prato. Acionou-se a bomba de vácuo de tal forma que se aplicou uma sucção de 51 mm de mercúrio. Depois, abriu-se a torneira para a saída do excesso de água do filtro e pesou-se o conjunto funil/papel-filtro úmido.

Após, preencheu-se o prato com argamassa e aplicou-se 37 golpes de soquete para adensá-la. Depois de retirar o excesso de argamassa do prato e limpar as bordas do conjunto, pesou-se o conjunto com a argamassa. Abriu-se a torneira e aplicou-se novamente uma sucção correspondente a 51 mm de mercúrio durante 15 min. Fechou-se a torneira e pesou-se outra vez o conjunto com a argamassa.

Para o cálculo da retenção de água (R_a) usaram-se as seguintes equações:

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] 100 \quad (\text{fórmula 4})$$

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde :

m_a = massa do conjunto com argamassa, expresso em gramas;

m_s = massa do conjunto após a sucção, em gramas;

m_v = massa do conjunto vazio, em gramas;

AF = fator água/argamassa fresca;

m_w = massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;

m = massa da argamassa industrializada ou dos componentes anidros, em gramas;

A figura 16 mostra a execução do ensaio de determinação da retenção de água.



Figura 16: aparelho para determinação da retenção de água das argamassas

5.2.7 Ar incorporado

A NM 47 (ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN, 2002) descreve os procedimentos para a determinação do teor de ar incorporado para concreto fresco, através do método pressométrico. O teor de ar corresponde ao volume de ar aprisionado ou incorporado ao concreto é expresso em porcentagem do volume total de argamassa utilizada. Este método foi adotado por se mais preciso que o método da NBR 13.278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) além de ser recomendado pelas normas britânicas e da Comunidade Européia.

O medidor de ar utilizado neste ensaio consiste em um recipiente cilíndrico de aço com uma tampa que deve promover um fechamento hermético e estanque entre o recipiente e a tampa. Deve ser provido de um dispositivo de leitura direta do teor de ar, de válvulas de ar, válvula de saída do ar, chaves para injeção e saída de água. O princípio deste medidor consiste em

igualar as pressões de um volume de ar conhecido, a uma pressão conhecida, em uma câmara de ar estanque, com um volume de ar desconhecido na amostra de argamassa. O mostrador do manômetro deve estar calibrado em porcentagem de ar para a pressão final observada.

Para a realização do ensaio utilizou-se argamassa preparada conforme NBR 13.276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005d). Preencheu-se o recipiente cilíndrico com três camadas de argamassa aproximadamente iguais executando com uma haste, 14 golpes verticais em cada camada, uniformemente distribuídos na superfície da argamassa. Utilizando um martelo de borracha, golpeou-se suavemente 10 vezes a parede externa do cilindro, eliminando-se assim bolhas de ar e espaços vazios. Após o rasamento da amostra, limpou-se as bordas do recipiente e procedeu-se o fechamento da tampa. Fechou-se a válvula principal de ar e abriu-se as duas chaves laterais que se encontram na tampa. Injetou-se água através de uma das chaves até que a água saísse na chave oposta. Fechou-se a válvula de sangramento de ar e bombeou-se ar para a amostra até que o manômetro alcançasse a linha de pressão inicial. Fechou-se as chaves laterais e abriu-se a válvula de ar principal, esperando que o manômetro se estabilizasse. Neste momento fez-se a leitura da porcentagem de ar. O equipamento utilizado para a determinação de ar incorporado pode ser visto da figura 17.



Figura 17: aparelho utilizado para a determinação de teor de ar incorporado

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentará os resultados dos ensaios e as discussões dos mesmos. As argamassas ainda serão classificadas segundo a NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) e a classificação francesa MERUC.

6.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA – À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

Na tabela 2 são apresentados os resultados de resistência média à tração na flexão das argamassas avaliadas e a figura 18 mostra a representação gráfica da variação da resistência obtida em cada traço. Os resultados individuais dos corpos-de-prova estão no Apêndice A.

Tabela 2: resistência média à tração na flexão das argamassas de revestimento e encunhamento

Tração na Flexão				
Tipo de Argamassa	Resistência aos 14 dias (MPa)	Desvio (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)	Desvio (MPa)
R1 – industrializada	1,11	0,14	1,25	0,08
R2 – (1:1:6)	2,31	0,16	2,14	0,33
R3 – aditivo	1,55	0,36	2,23	0,11
E1 – industrializada	4,04	1,66	2,45	0,27
E2 – industrializada	1,62	0,08	1,78	0,20
E3 – 1% expansor	4,16	1,55	3,87	1,17
E4 – 3% expansor	4,60	0,52	4,63	0,40
E5 – pasta de cal	0,48	0,04	0,55	0,10
E6 – cola PVA	0,55	0,03	0,88	0,02

Observa-se através da análise da tabela 2 que as argamassas E3 e E4 alcançaram os maiores valores de resistência à tração, enquanto as argamassas R1, E5 e E6 apresentaram os valores mais baixos.

O valor elevado da resistência mecânica das argamassas E3 e E4 deve-se a menor relação água/cimento, ou seja, ao maior teor de cimento. Enquanto os resultados obtidos em E5 e E6 deve-se a um traço muito pobre em cimento.

Pode-se observar a queda da resistência à Tração nas argamassas R2, E1 e E3. Isto ocorreu, provavelmente, pela variabilidade do ensaio e pela pequena diferença entre a idade de ruptura.

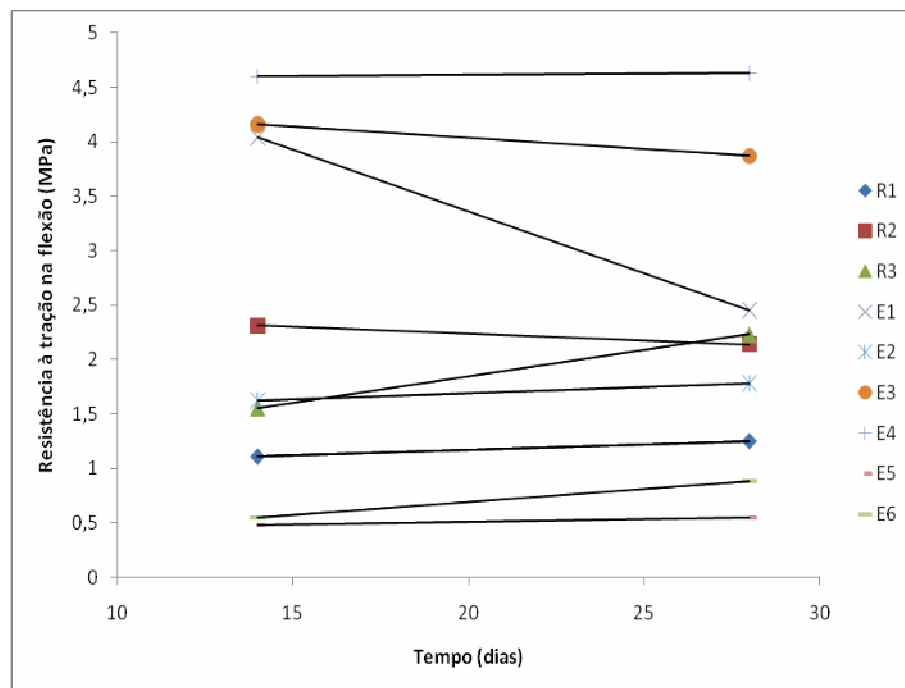


Figura 18: resistência média à tração na flexão das argamassas ao longo do tempo

Na tabela 3 são apresentados os resultados de resistência média à compressão das argamassas avaliadas e a figura 19 mostra a representação gráfica da variação da resistência obtida em cada traço. Os resultados individuais de cada corpo-de-prova encontram-se no Apêndice A.

Observa-se através da análise da tabela 3, uma grande variação na ordem de grandeza das argamassas avaliadas. As argamassas E3 e E4 alcançaram os maiores valores de resistência, enquanto as argamassas R1, E5 e E6 apresentaram os valores mais baixos. Como era esperado, o comportamento dos resultados obtidos no ensaio de ruptura à compressão se equivalem aos apresentados no ensaio de tração na flexão.

Tabela 3: resistência média à compressão das argamassas de revestimento e encunhamento

Compressão				
Tipo de Argamassa	Resistência aos 14 dias (Mpa)	Desvio (Mpa)	Resistência aos 28 dias (Mpa)	Desvio (Mpa)
R1 – industrializada	1,81	0,35	1,94	0,55
R2 – (1:1:6)	7,23	0,94	8,80	1,38
R3 – aditivo	3,52	1,04	5,56	1,16
E1 – industrializada	5,83	0,51	7,29	1,38
E2 – industrializada	2,95	0,38	3,10	1,02
E3 – 1% expansor	12,85	7,17	17,72	7,45
E4 – 3% expansor	14,95	1,46	15,96	2,92
E5 – pasta de cal	1,15	0,11	1,31	0,23
E6 – cola PVA	0,73	0,16	1,73	0,20

Quanto à variação entre os valores de um mesmo tipo de argamassa, observa-se que a argamassa que obteve os maiores valores de resistência também foi aquela que apresentou a maior variabilidade entre o valor mínimo e máximo.

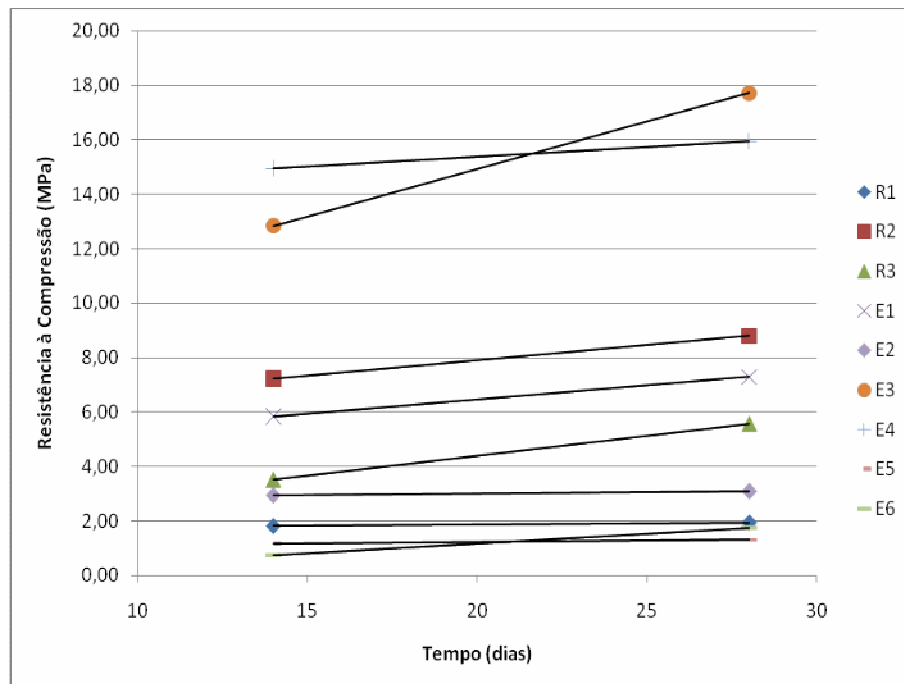


Figura 19: variação da resistência média à compressão das argamassas ao longo do tempo

A capacidade de resistência à tração está diretamente ligada à tendência da fissuração e suas conseqüências na durabilidade, estanqueidade e desempenho dos revestimentos. Dessa forma, deve-se observar tanto à resistência à compressão como à tração na hora de se especificar as argamassas utilizadas. O revestimento em argamassa não precisa ter elevada resistência mecânica, mas deve ter resistência suficiente para resistir aos esforços do conjunto. Para os revestimentos em argamassa é importante a resistência a tração na flexão, pois o revestimento está submetido a esforços de tração e cisalhamento. A resistência à compressão da argamassa pode ser importante para as argamassas de assentamento.

6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Conforme NBR 15.259 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005f), os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados aos 28 dias. Os resultados obtidos no ensaio podem ser observados na tabela 4. Os resultados individuais para cada corpo-de-prova podem ser vistos no Apêndice A.

Tabela 4: absorção média aos 10 min, 90 min e coeficiente de capilaridade dos corpos-de-prova aos 28 dias

Tipo de Argamassa	Absorção Média 10 min (g/cm²)	Absorção Média 90 min (g/cm²)	Coef. Capil. (g/dm².min^{1/2})
R1	0,89	1,25	5,83
R2	0,70	1,18	7,69
R3	0,43	0,73	4,79
E1	0,42	0,71	4,76
E2	0,18	0,33	2,47
E3	0,35	0,43	1,28
E4	0,09	0,18	1,34
E5	1,35	2,03	10,95
E6	1,39	2,45	17,08

Observando-se os resultados pode-se constatar que as argamassas utilizando pasta de cal (E5) e a com cola PVA (E6), foram as que apresentaram maior absorção capilar, tanto aos 10 como aos 90min. Conseqüentemente apresentaram o maior coeficiente de capilaridade, ou seja,

absorveram mais rapidamente e maior quantidade de água ao longo do tempo. Essa variação da absorção pode ser vista claramente na figura 21. A figura 20 demonstra o comportamento dos corpos-de-prova de cada traço ao longo do tempo ao ensaio de absorção de água.

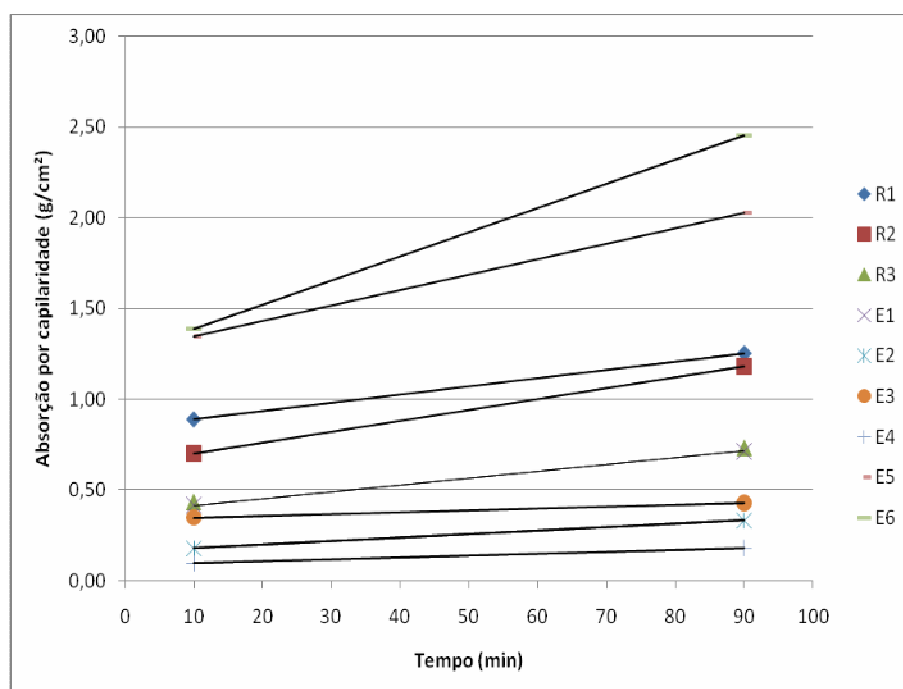


Figura 20: absorção de água por capilaridade aos 10min e 90 min

Moura (2007) encontrou valores semelhantes para os traços estudados, tanto nas argamassas industrializadas como nos traços dosados em obra. A autora realizou o ensaio de absorção por capilaridade em diferentes meios de exposição e condições de temperatura, obtendo coeficientes de capilaridade que variam de 5,5 à 26,4 $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. Comparando-se os resultados da autora com os obtidos neste trabalho, pode-se observar que diferentemente de Moura (2007) as argamassas E5 e E6 tiveram uma elevada absorção já aos 10 min. Enquanto que em Moura (2007) as leituras iniciais foram muito semelhantes entre os diferentes traços e o crescimento da absorção capilar deu-se ao longo do tempo, ou seja, teve um aumento significativo aos 90min.

A partir dos resultados, pode-se observar o desempenho dos três traços de argamassas de revestimentos (R1, R2 e R3), que apresentaram valores de absorção de água mais elevados comparados aos das argamassas de encunhamento (E2, E3 e E4). As argamassas de revestimento deveriam ter apresentado valores de absorção inferiores, já que estão expostas de

forma direta à umidade, chuva e as variações climáticas. A NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) estabelece critérios e métodos de avaliação do desempenho de sistemas construtivos como, por exemplo, os dos sistemas de vedação externa e interna. Essa norma pretende garantir a qualidade, o prazo de vida útil e o desempenho de cada sistema da edificação.

Na figura 21 pode-se observar o comportamento dos corpos-de-prova de cada traço ao longo do tempo ao ensaio de absorção de água.



Figura 21: detalhe da diferença de comportamento dos traços de argamassas ao ensaio de absorção de água por capilaridade

Observa-se também que o comportamento à absorção de água dos traços E3 e E4 ao longo do tempo foi muito semelhante, ou seja, seus coeficientes de capilaridade foram bem baixos assim como os valores de absorção de água. Estes valores já eram esperados ao se observar os resultados dos mesmos traços a ruptura à tração na flexão e à compressão.

Os traços R3 e E1 obtiveram resultados e comportamento à absorção por capilaridade muito semelhante entre si. Os dois tipos de argamassas tiveram valores médios de absorção capilar e coeficiente de capilaridade.

Comparando-se os valores de absorção de água com os da resistência à tração na flexão e à compressão correspondentes aos mesmos traços, pode-se verificar a relação entre resistência à

ruptura e a capacidade de absorção de água da argamassa. Ou seja, as argamassas com maior absorção de água são as que obtiveram menor resistência à ruptura.

6.3 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DINÂMICO

Os resultados individuais dos três corpos-de-prova moldados para este ensaio encontram-se no Apêndice A. A tabela 5 mostra os valores médios do módulo de deformação dinâmico para cada traço de argamassa, que podem ser facilmente analisados na figura 22.

Tabela 5: módulo de deformação dinâmico dos traços de argamassas

Tipo de Argamassa	M (GPa)	Desvio (GPa)
R1 – industrializada	5,38	0,36
R2 – (1:1:6)	16,51	0,68
R3 – aditivo	12,73	0,23
E1 – industrializada	16,57	0,85
E2 – industrializada	10,16	0,22
E3 – 1% expansor	23,33	4,13
E4 – 3% expansor	22,28	2,27
E5 – pasta de cal	3,47	0,22
E6 – cola PVA	5,56	0,05

Pela figura 22 observa-se que as argamassas R1, E5 e E6 apresentam baixo módulo de deformação comparada aos demais. Isto permite concluir que estas argamassas possuem uma maior capacidade de deformação e desta forma menor tendência a fissurar. Ainda, percebe-se que as argamassas com expansor, ou seja, E3 e E4 são as com maior módulo de deformação, assim sendo as mais rígidas.

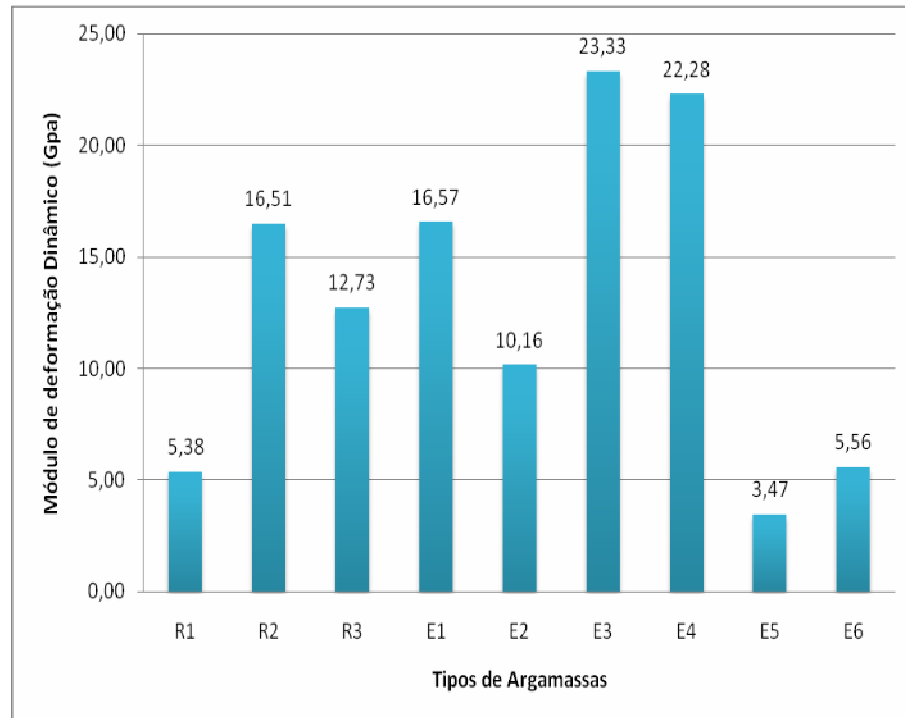


Figura 22: módulo de deformação dinâmica das argamassas de revestimento e encunhamento

Esta informação é importante para a escolha da argamassa de encunhamento e de revestimento. Sabendo-se que o módulo de deformação deve ser menor no sentido da base da estrutura para o revestimento, ou seja, a argamassa de encunhamento deve ter módulo de deformação superior ao revestimento (SEGAT, 2005), pode-se combinar as argamassas estudadas a fim de reduzir a incidência de manifestações patológicas na área de encunhamento.

Assim, a tabela 6 mostra as possíveis combinações entre as argamassas de revestimento e encunhamento.

Tabela 6: combinações entre as argamassas de revestimento e encunhamento

Argamassa de Revestimento	Argamassa de Encunhamento					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
R1						
R2						
R3						

Analisando a capacidade de deformação das argamassas estudadas, percebe-se que a argamassa de revestimento R1 pode ser utilizada com todas as argamassas de encunhamento com exceção da E5. As argamassas R2 e R3 podem ser combinadas com as argamassas E1, E3 e E4. A argamassa de encunhamento E5 não pode ser utilizada com nenhuma das argamassas de revestimento, visto que possui o menor módulo de deformação entre os traços estudados, ou seja, é muito deformável.

Buscando uma relação de comportamento do módulo de deformação com os demais resultados, pode-se observar que a resistência à tração e à compressão segue o mesmo comportamento. As figuras 23 e 24 mostram que quanto maior o módulo de deformação, maior sua resistência mecânica.

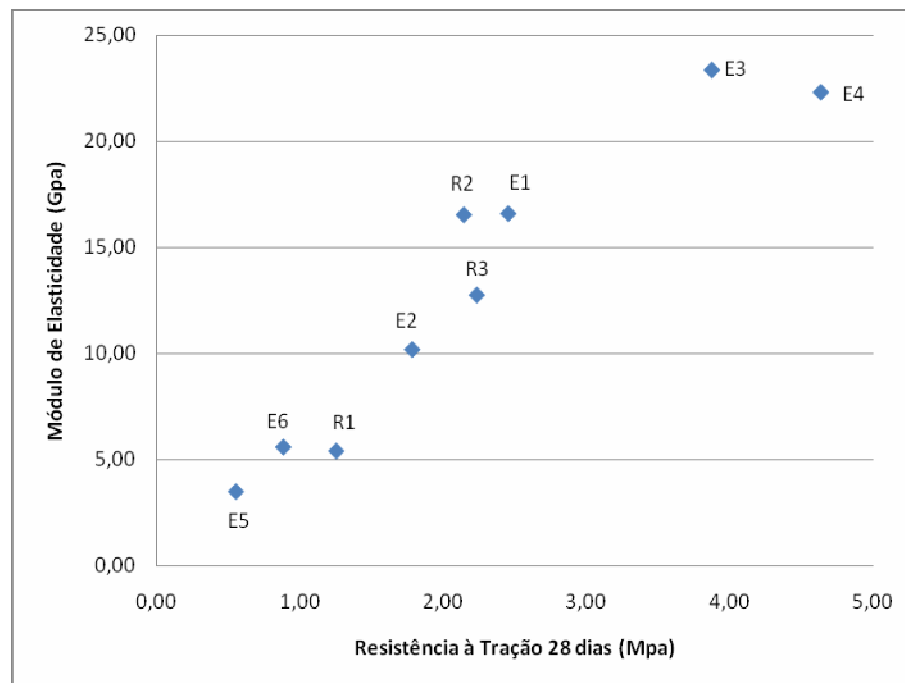


Figura 23: comportamento do módulo de deformação e resistência à tração

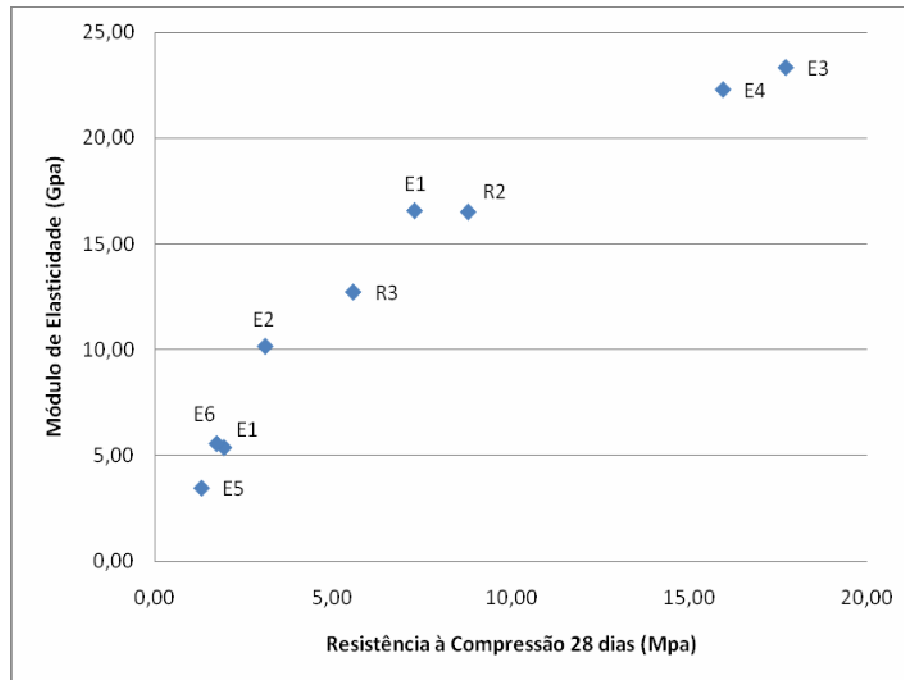


Figura 24: comportamento do módulo de deformação e resistência à compressão

6.4 RETENÇÃO DE ÁGUA

O ensaio para determinação da retenção de água foi realizado conforme a NBR 13.277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c) e seus resultados são apresentados na tabela 7 e mais facilmente observados na figura 25.

Tabela 7: média da retenção de água das argamassas de revestimento e encunhamento

Tipo de Argamassa	Média da Retenção de Água (%)
R1 – industrializada	81,38
R2 – (1:1:6)	90,06
R3 – aditivo	72,91
E1 – industrializada	90,05
E2 – industrializada	98,70
E3 – 1% expansor	99,32
E4 – 3% expansor	89,87
E5 – pasta de cal	92,05
E6 – cola PVA	76,81

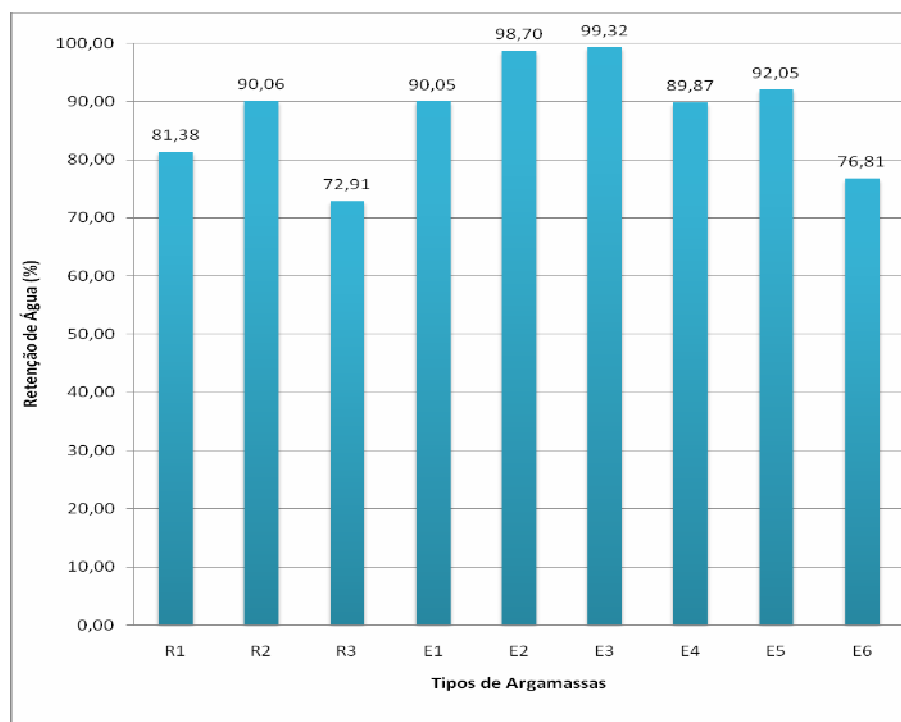


Figura 25: resultados do ensaio de retenção de água das argamassas

As argamassas R3 e E6 ficaram com valores abaixo dos recomendados (mínimo de 80% de retenção de água) pela NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). O resultado obtido com a argamassa R3 não era esperado, já que o incorporador de ar adicionado a argamassa melhoraria não apenas a trabalhabilidade da argamassa, mas também a capacidade de retenção de água.

Todas as outras argamassas obtiveram resultados satisfatórios, podendo-se observar que as argamassas E2 e E3 são as que apresentaram maior retenção de água. A argamassa de revestimento R2 e a de encunhamento E5 apresentaram uma elevada retenção de água devido à presença de cal nesses traços, que dessa forma reduz a suscetibilidade à fissuração da argamassa causada pela retração por secagem.

A capacidade das argamassas de reter água está diretamente ligada à sua capacidade de aderência (MOURA, 2007). Dessa forma, devido à importância da aderência da argamassa de revestimento à base ou sobre a camada que é aplicada, temos que o resultado da argamassa R3 não é satisfatório.

Moura (2007) obteve resultados semelhantes a este trabalho. Na avaliação de dois traços convencionais e duas argamassas industrializadas para revestimento obteve retenção de água de 83,65 a 94,31%.

6.5 AR INCORPORADO

O ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar observados no interior da argamassa. A determinação do ar incorporado é realizada com a argamassa no estado fresco. A tabela 8 e a figura 26 apresentam o resultado do ensaio de determinação do teor de ar incorporado.

Tabela 8: teor de ar incorporado por cada traço de argamassa

Tipo de Argamassa	Ar incorporado (%)
R1 – industrializada	7,40
R2 – (1:1:6)	2,02
R3 – aditivo	5,00
E1 – industrializada	2,39
E2 – industrializada	2,40
E3 – 1% expansor	4,35
E4 – 3% expansor	3,10
E5 – pasta de cal	2,42
E6 – cola PVA	4,10

Pode se observar pela tabela 8 e pela figura 26 uma grande variabilidade de resultados. O maior resultado de ar incorporado foi o da argamassa R1, ou seja, da argamassa industrializada para revestimento. Esse resultado é consequência da adição de vários produtos as argamassas, entre eles os aditivos incorporadores de ar. A argamassa R1 apresentou uma baixa resistência à tração e conseqüentemente à compressão, o que se deve ao maior teor de ar incorporado entre todas as argamassas.

Pode-se observar que a argamassa R3 teve elevado teor de ar incorporado à argamassa, isso comprova a finalidade do aditivo utilizado, ou seja, do incorporador de ar empregado com a

finalidade de melhorar a trabalhabilidade da argamassa, reduzindo assim a quantidade de água necessária.

As argamassas com grande quantidade de ar incorporado podem ter redução na resistência de aderência. Isto é atribuída à diminuição da superfície de contato entre a argamassa e o substrato, e pela redução de propriedades mecânicas devido ao incremento da porosidade na argamassa, após a incorporação de uma certa quantidade de ar (ALVES; Ó, 2002). Dessa forma, os resultados obtidos com as argamassas de revestimento R1 e R3 são importantes, pois podem indicar maior dificuldade de aderência à camada aplicada.

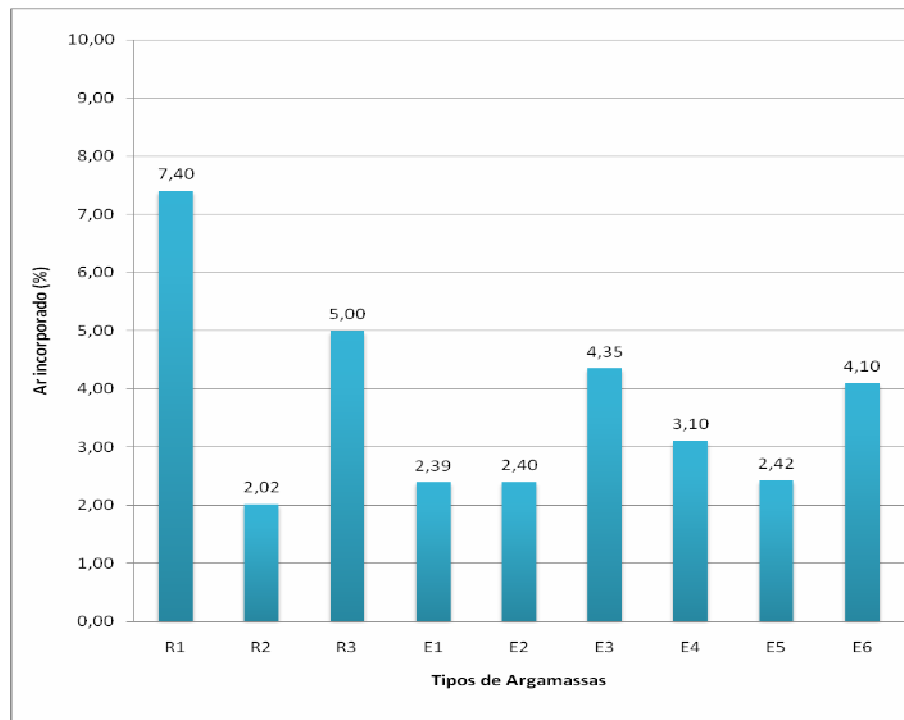


Figura 26: resultado do ensaio de teor de ar incorporado

6.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A seguir as argamassas de revestimento e encunhamento foram classificadas segundo a NBR 13.281 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) e a classificação francesa MERUC. A tabela 9 apresenta a classificação das argamassas segundo suas

propriedades mecânicas. A classificação segundo a norma brasileira é dada na resistência à compressão, enquanto que as demais propriedades são classificadas pela norma francesa.

Tabela 9: classificação das argamassas avaliadas segundo suas propriedade mecânicas

Classificação das Argamassas					
Tipo de Argamassa	Módulo de Deformação	Resistência à Tração	Resistência à Compressão	Coefficiente de capilaridade	Retenção de Água
R1 – industrializada	E2 ou E3	R2	P1 ou P2	C4	U2 ou U3
R2 – (1:1:6)	E5 ou E6	R3 ou R4	P5 ou P6	C5	U3 ou U4
R3 – aditivo	E4 ou E5	R3 ou R4	P4 ou P5	C4	U1 ou U2
E1 – industrializada	E5 ou E6	R3 ou R4	P5	C4	U4 ou U5
E2 – industrializada	E4	R2 ou R3	P3	C3	U6
E3 – 1% expansor	E6	R5 ou R6	P6	C1	U6
E4 – 3% expansor	E6	R6	P6	C1	U3 ou U4
E5 – pasta de cal	E1	R1	P1	C5	U4 ou U5
E6 – cola PVA	E2 ou E3	R1	P1 ou P2	C5	U1 ou U2

6.7 RESUMO DOS RESULTADOS

A tabela 10 apresenta o resumo de todos os resultados obtidos através dos ensaios. A figura 27 facilita a visualização do comportamento das argamassas para cada propriedade analisada. As linhas utilizadas para unir os resultados das argamassas avaliadas, foram utilizadas apenas com a função de facilitar a comparação e o comportamento de cada traço para as diferentes propriedades mecânicas.

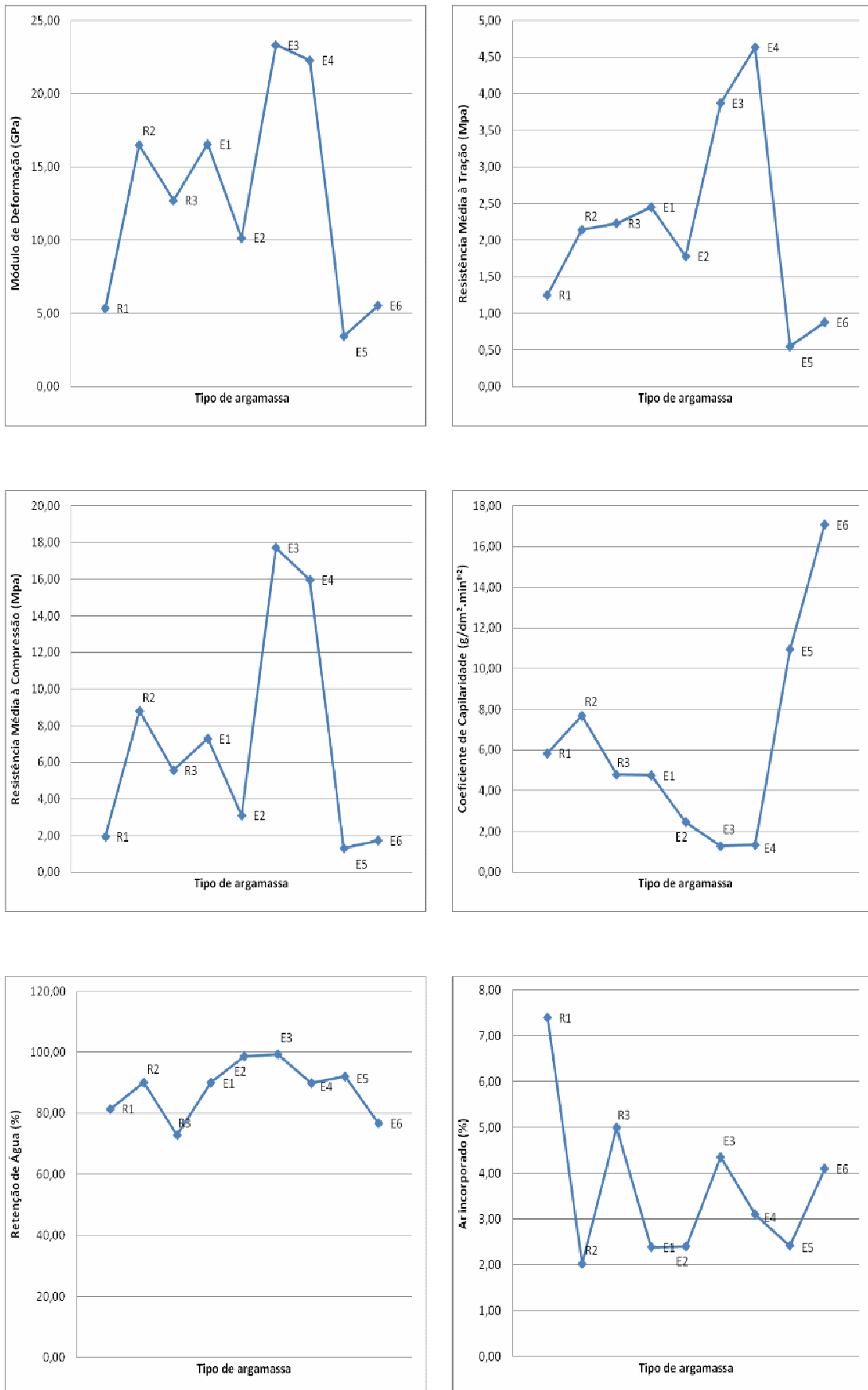


Figura 27: resultados das propriedades mecânicas analisadas

Tabela 10: resumo dos resultados médios das argamassas avaliadas

Tipo de Argamassa	Consistência (mm)	Relação água/mat seco	Relação água/cimento	Módulo de Deformação (Gpa)	Resistência à Tração 14 dias (Mpa)	Resistência à Tração 28 dias (Mpa)	Resistência à Compressão 14 dias	Resistência à Compressão 28 dias (Mpa)	Absorção 10 min (g/cm ²)	Absorção 90 min (g/cm ²)	Coef. Capil. (g/dm ² .min ^{1/2})	Retenção de Água (%)	Ar incorporado (%)
R1	239,00	0,17	-	5,38	1,11	1,25	1,81	1,94	0,89	1,25	5,83	81,38	7,40
R2	233,00	0,14	1,16	16,51	2,31	2,14	7,23	8,80	0,70	1,18	7,69	90,06	2,02
R3	215,00	0,12	0,82	12,73	1,55	2,23	3,52	5,56	0,43	0,73	4,79	72,91	5,00
E1	233,00	0,15	-	16,57	4,04	2,45	5,83	7,29	0,42	0,71	4,76	90,05	2,39
E2	231,00	0,12	-	10,16	1,62	1,78	2,95	3,10	0,18	0,33	2,47	98,70	2,40
E3	222,00	0,12	0,47	23,33	4,16	3,87	12,85	17,72	0,35	0,43	1,28	99,32	4,35
E4	228,00	0,13	0,51	22,28	4,60	4,63	14,95	15,96	0,09	0,18	1,34	89,87	3,10
E5	219,00	0,08	1,59	3,47	0,48	0,55	1,15	1,31	1,35	2,03	10,95	92,05	2,42
E6	220,00	0,14	1,49	5,56	0,55	0,88	0,73	1,73	1,39	2,45	17,08	76,81	4,10

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios laboratoriais possibilitaram caracterizar os tipos de argamassas de encunhamento e revestimento mais comuns em Porto Alegre. As conclusões e as considerações que seguem, restringem-se ao âmbito desta pesquisa.

A resistência mecânica das argamassas apresentou o mesmo comportamento que o módulo de deformação, ou seja, quanto maior a resistência à tração na flexão, maior é a resistência à compressão e o módulo de deformação. Observou-se resultados bem distintos entre os traços de argamassas, enquanto que as argamassas E3 e E4 se mostraram muito rígidas, as argamassas R1, E5 e E6 tiveram baixos resultados, sendo assim bastante deformáveis. Pode-se especificar as argamassas ideais para cada função, ou seja, quais as possíveis combinações entre as argamassas de revestimento e encunhamento capazes de reduzir as manifestações na zona de encunhamento.

A argamassa de revestimento R1, devido ao seu baixo módulo de deformação, pode ser especificada com todas as argamassas de encunhamento, com exceção da argamassa E5, que possui módulo inferior à R1. Já as argamassas R2 e R3 tiveram como resultados a mesma combinação de argamassas de encunhamento, assim podendo ser utilizadas com as argamassas E1, E3 e E4.

As argamassas de encunhamento tiveram desempenho bom entre os valores determinados pela norma à absorção de água por capilaridade, com exceção das argamassas E5 e E6 que também obtiveram menor resistência mecânica. A absorção de água das argamassas de revestimento foi bem elevada, o que pode não ser satisfatório, visto que estão expostas a chuva e ações de outras intempéries e portanto deveriam apresentar um bom desempenho e estanqueidade.

As argamassas R3 e E6 tiveram resultados no ensaio de retenção de água inferiores ao mínimo requerido pela NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c). As demais argamassas obtiveram resultados consideráveis em relação a

esta norma. Quanto ao ar incorporado, nota-se que os maiores valores são os das argamassas de revestimento R1 e R3, resultado esperado devido o uso de aditivos incorporadores de ar.

A especificação das argamassas de encunhamento e revestimento, através da caracterização mecânica, não garantem o aparecimento de manifestações patológicas na zona de ligação entre a alvenaria e a estrutura. Além da escolha de materiais que sejam compatíveis, deve-se observar outros critérios como:

- a) forma correta de executar o encunhamento e o revestimento, de acordo com a técnica escolhida;
 - b) preparação correta da argamassa industrializada ou dosada em obra;
 - c) execução do encunhamento no tempo correto;
- entre outras.

Através do resultado das possíveis combinações entre as argamassas de encunhamento e revestimento, acredita-se que a argamassa de encunhamento absorva a tensão exercida sobre ela, e a mesma tensão seja absorvida pelo revestimento em argamassa, reduzindo a tendência de fissuração na zona de ligação entre alvenaria e estrutura.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N. J. D. ; Ó, S. W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: BAUER, E. (Org.). **Revestimentos em Argamassas**: características e peculiaridades. Brasília, LEM-UnB; SINDUSCON/DF, 2005. p. 30-37.
- ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 47: 2002**: Concreto: determinação do teor de ar em concreto fresco: método pressométrico. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.530**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995a.
- _____. **NBR 13749**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 1995b.
- _____. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 13.281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 13.277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005c.
- _____. **NBR 13.276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005d.
- _____. **NBR 13.279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005e.
- _____. **NBR 15.259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005f.
- BAUER, E. Sistemas de revestimentos de argamassas - Generalidades. In: BAUER, E. (Org.). **Revestimentos em Argamassas**: características e peculiaridades. Brasília, LEM-UnB; SINDUSCON/DF, 2005. p. 07-14.
- BAUER, E. ; SOUSA, J. G. G. Materiais constituintes e suas funções. In: BAUER, E. (Org.). **Revestimentos em Argamassas**: características e peculiaridades. Brasília, LEM-UnB; SINDUSCON/DF, 2005. p. 15-22.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1.881: Part 209**: Recommendations for Measurement of Dynamic Modulus of Elasticity. London, 1990.
- CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia**: sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COSTA, A. ; BRAYNER, M. ; MARQUES, P. R. **Encunhamento de alvenaria de vedação: análise de soluções práticas**. 2005. 12f. Trabalho do Curso de Gestão de Revestimento da Comunidade da Construção, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/comunidades/rio_de_janeiro/downloads/LNK04/Carmo%20e%20ca%20cada.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2009.

DALDON, M. **Fatores que podem estar contribuindo para o aparecimento de manifestações patológicas na zona de encunhamento de paredes em obras de Porto Alegre**. 2008. 86 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

FIESS, J. R. F. **Estudo crítico de materiais e técnicas usuais de execução de revestimentos de fachada em argamassa**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

GOMES, A. O. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas**. 2005. 17f. Comunidade da Construção, Salvador. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo2/htms/downloads/LNK05/05/M%C3%B3dulo%201/4.Propriedades_Apostila.pdf>. Acesso em: 30 out. 2009.

LOTURCO, B. Ligação de paredes com vigas e lajes. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 12, n. 86, p. 55-57, maio 2004.

_____. Argamassas em discussões. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 13, n. 98, maio 2005.

MANSUR, A. A.P.; MANSUR, H. S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu.

MATTOS, L. R. S. **Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA**. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOURA, C. B. **Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substratos de Concreto**: influência das condições de temperatura e ventilação na cura da camada de perparo com argamassa de chapisco. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NAKAKURA, E. H. ; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004. Boletim Técnico BT/PCC/359.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo de fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília/DF.

SABBATINI, F. H. **Fissuras em alvenaria decorrentes da interação estrutura-alvenaria**. 2002. Disponível em: <<http://tgp-mba.pcc.usp.br/TG-004/TG004-AULA7-Apresenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

_____. **Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas**. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 13., 1991, Campinas. Disponível em: <<http://pcc2436.pcc.usp.br/Textost%C3%A9cnicos/Revestimentos%20verticais/13%C2%BA%20SIMPATCON.pdf>>. Acesso em: 03 novembro. 2009.

SAYEGH, S. Última fiada. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 14, n. 120, p. 30-33, março 2007.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimento de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, F. B. 2006. 60 f. **Relatório Parcial de Iniciação Científica** – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://br.geocities.com/fernanda.belizario/principal.html>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VERÇOSA, Ê. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

APÊNDICE A – Planilhas dos ensaios de caracterização das argamassas

Tabela 1A: resultados individuais do ensaio de resistência à tração na flexão

Tração na Flexão						
Tipo de Argamassa	Resistência aos 14 dias(Mpa)	Resistência aos 14 dias (Mpa)	Desvio (Mpa)	Resistência aos 28 dias(Mpa)	Resistência aos 28 dias (Mpa)	Desvio (Mpa)
R1	1,024	1,11	0,14	1,317	1,25	0,08
	1,066			1,170		
	1,254			1,254		
R2	2,404	2,31	0,16	2,360	2,14	0,33
	2,381			2,255		
	2,152			1,818		
R3	1,734	1,55	0,36	2,340	2,23	0,11
	1,191			2,194		
	1,734			2,152		
E1	2,717	4,04	1,66	2,528	2,45	0,27
	5,705			2,634		
	3,698			2,173		
E2	1,672	1,62	0,08	1,672	1,78	0,20
	1,546			1,985		
	1,651			1,693		
E3	3,073	4,16	1,55	5,036	3,87	1,17
	5,705			2,528		
	3,698			4,034		
E4	5,121	4,60	0,52	4,452	4,63	0,40
	4,493			5,036		
	4,179			4,408		
E5	0,439	0,48	0,04	0,502	0,55	0,10
	0,522			0,502		
	0,481			0,648		
E6	0,585	0,55	0,03	0,857	0,88	0,02
	0,522			0,878		
	0,543			0,899		

Tabela 2A: resultados individuais do ensaio de resistência à compressão

Compressão						
Tipo de Argamassa	Resistência aos 14 dias (Mpa)	Resistência Média aos 14 dias(Mpa)	Desvio (Mpa)	Resistência aos 28 dias (Mpa)	Resistência Média aos 28 dias(Mpa)	Desvio (Mpa)
R1	1,47	1,81	0,35	1,69	1,94	0,55
	1,52			1,78		
	1,82			1,64		
	1,87			1,77		
	2,12			2,24		
	2,08			2,49		
R2	6,39	7,23	0,94	8,29	8,80	1,38
	6,17			8,00		
	7,70			8,60		
	8,17			10,17		
	6,92			9,59		
	8,04			8,12		
R3	4,02	3,52	1,04	4,80	5,56	1,16
	4,49			5,87		
	2,98			5,96		
	2,49			6,73		
	4,07			4,97		
	3,10			5,05		
E1	5,32	5,83	0,51	7,48	7,29	1,38
	6,02			6,90		
	6,33			6,05		
	5,81			6,36		
	5,91			8,67		
	5,61			8,28		
E2	2,65	2,95	0,38	2,08	3,10	1,02
	2,95			2,31		
	2,80			2,88		
	2,85			3,64		
	3,33			3,74		
	3,14			3,92		
E3	10,55	12,85	7,17	25,17	17,72	7,45
	12,46			24,50		
	17,90			11,28		
	20,02			15,47		
	8,01			15,98		
	8,16			13,91		

Continuação

E4	14,80	14,95	1,46	18,88	15,96	2,92
	15,16			18,03		
	13,48			15,62		
	15,60			15,11		
	16,16			13,69		
	14,46			14,40		
E5	1,06	1,15	0,11	1,15	1,31	0,23
	1,11			1,53		
	1,10			1,09		
	1,15			1,39		
	1,26			1,19		
	1,24			1,49		
E6	0,89	0,73	0,16	1,93	1,73	0,20
	0,69			1,55		
	0,70			1,69		
	0,74			1,63		
	0,72			1,82		
	0,66			1,77		

Tabela 3A: resultados individuais do ensaio de consistência das argamassas

Tipo de Argamassa	Consistência (mm)	Consistência (mm)	Consistência (mm)	Consistência Média (mm)
R1	242,00	236,50	239,00	239,00
R2	228,20	239,00	230,40	233,00
R3	221,40	210,00	214,40	215,00
E1	241,00	231,00	227,50	233,00
E2	232,00	232,10	229,00	231,00
E3	220,00	231,00	216,10	222,00
E4	225,30	232,00	227,00	228,00
E5	223,60	219,20	213,30	219,00
E6	223,00	222,50	215,60	220,00

Tabela 4A: resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade

Tipo de Argamassa	Absorção o 10 min (g/cm²)	Absorção o 10 min (g/cm²)	Desvio (g/cm²)	Absorção o 90 min (g/cm²)	Absorção o 90 min (g/cm²)	Desvio (g/cm²)	Coef. Capil. (g/dm².min^{1/2})
R1	1,02	0,89	0,13	1,40	1,25	0,16	5,83
	0,80			1,10			
	0,85			1,27			
R2	0,63	0,70	0,07	1,13	1,18	0,05	7,69
	0,74			1,20			
	0,74			1,21			
R3	0,43	0,43	0,04	0,74	0,73	0,03	4,79
	0,40			0,70			
	0,47			0,77			
E1	0,46	0,42	0,05	0,78	0,71	0,07	4,76
	0,39			0,67			
	0,39			0,68			
E2	0,13	0,18	0,10	0,20	0,33	0,19	2,47
	0,28			0,53			
	0,13			0,27			
E3	0,34	0,35	0,03	0,46	0,43	0,05	1,28
	0,32			0,38			
	0,38			0,45			
E4	0,06	0,09	0,03	0,11	0,18	0,07	1,34
	0,10			0,20			
	0,12			0,23			
E5	1,40	1,35	0,09	1,55	2,03	0,48	10,95
	1,38			2,42			
	1,26			2,12			
E6	1,39	1,39	0,17	2,51	2,45	0,17	17,08
	1,56			2,57			
	1,22			2,29			

Tabela 5A: resultados individuais do ensaio de determinação do módulo de deformação dinâmico

Tipo de Argamassa	Módulo de Deformação (GPa)	Média do Módulo de Deformação (GPa)	Desvio (GPa)
R1	5,72	5,38	0,36
	5,40		
	5,02		
R2	15,94	16,51	0,68
	16,39		
	17,19		
R3	12,70	12,73	0,23
	12,96		
	12,52		
E1	16,86	16,57	0,85
	17,12		
	15,72		
E2	10,38	10,16	0,22
	10,10		
	9,99		
E3	21,80	23,33	4,13
	27,46		
	20,72		
E4	20,02	22,28	2,27
	23,25		
	23,59		
E5	3,68	3,47	0,22
	3,45		
	3,26		
E6	5,53	5,56	0,05
	5,62		
	5,54		