

*INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO EM PRISMAS DE ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS DE
CONCRETO.*

Gilberto Nery de Araújo Neto

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. Romilde Almeida de Oliveira

Recife

2006

A663i

Araújo Neto, Gilberto Nery de

Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto / Gilberto Nery de Araújo Neto ; orientador Romilde Almeida de Oliveira, 2006.

72 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2006.

1. Argamassa. 2. Resistência de materiais. 3. Alvenaria. 4. Construção Civil. I. Título.

CDU 691.53

INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO EM PRISMAS DE ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS DE
CONCRETO.

Gilberto Nery de Araújo Neto

Dissertação de mestrado submetida ao departamento de engenharia civil da
Universidade Católica de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de mestre em engenharia civil (M.Sc.)

Avaliado por:

Prof. Romilde Almeida de Oliveira, D.Sc.
(Orientador – UNICAP)

Prof. Antônio Oscar Cavalcanti da Fonte, D. Sc.
(Examinador interno – UNICAP)

Itamar Ribeiro Gomes, Dr.
(Examinador externo – UDESC)

Recife
2006

Dedico este trabalho
aos meus pais Antônio e Tânia
e meus avós Gilberto, Severina, José e Tereza.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Romilde Almeida de Oliveira, pela amizade, paciência, orientação, apoio e contribuições valiosas em todas as etapas deste trabalho.

À Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), pela bolsa de estudos e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio e receptividade.

Ao INMET, Instituto Nacional de Meteorologia por informações cedidas.

À TECOMAT e a Quartzolit, pelos ensaios de caracterização de materiais gentilmente realizados em seus respectivos laboratórios.

Aos Companheiros João Manoel de Freitas Mota e Wellington Amorim Rêgo, presenças constantes quando precisei, incentivo, contribuição e amizade em todas as etapas deste trabalho.

Aos laboratoristas do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Católica de Pernambuco, Washington Esposito e André Miranda, pela importante ajuda nos experimentos e ensaios.

A todos os amigos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Wallace Sá, Sérgio Lemos, Eliane Figueiredo, Ronaldo Pontes, Lavínia Coelho, Benigno Santos, Leonardo Cavalcanti e Carlos Magalhães, agradeço a colaboração, críticas construtivas e principalmente a amizade que foi minha fortaleza nos momentos difíceis.

A todos os membros da banca examinadora, principalmente aos examinadores externos, por aceitarem o convite, honrando-nos com vossa presença.

Aos meus familiares, dos quais nunca faltou muito amor e incentivo, durante todo o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 - A Construção civil e a alvenaria estrutural	1
1.2 - Objetivos	4
1.3 - Estrutura da dissertação	4
CAPÍTULO 2	7
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 - Alvenaria estrutural	7
2.1.1 – modulação	8
2.1.2 – Unidades de alvenaria	9
2.1.3 – Argamassa	11
2.1.4 – Argamassa de revestimento	11
2.1.4.1 - Aderência	12
2.1.4.2 - Durabilidade	12
2.1.4.3 – Influência na resistência à compressão	13
2.1.5 - Graute	13
2.1.6 - Armadura	13
CAPÍTULO 3	14
METODOLOGIA	14
3.1 - Planejamento do experimento	14
3.1.1 - Definição do número de amostras e réplicas	14
3.2 - Caracterização dos materiais	16
3.2.1 - Cimento Portland (CP II Z 32)	16
3.2.2 - Cal hidratada	17
3.2.3 - Ensaio de granulometria da areia da argamassa	17
3.2.4 - Ensaio para determinação da massa específica em agregados miúdos ...	19
3.2.5 - Ensaio do teor de materiais pulverulentos	20
3.2.6 - Ensaio de inchamento do agregado miúdo NBR-6467	21
3.2.7 - Cálculo do teor de umidade:	22
3.2.8 - Ensaio de absorção dos blocos de concreto	23
3.2.9 - Ensaio IRA (Initial Rate of Absortion ou índice de absorção inicial)	25
3.2.10 - Ensaio de compressão axial dos blocos de concreto, NBR 6136 / MB	
116	26
3.2.11 - Ensaio de absorção nos CP's de argamassa de traço fraco e médio	28
3.2.12 - Ensaio de compressão axial dos CP's de argamassa fraca e média	28
3.2.13 - Ensaio de compressão diametral dos CP's de argamassa fraca e média	
.....	29
3.2.14 - Granulometria das argamassas	29
3.2.15 - Variação dimensional das argamassas	30
3.2.16 - Variação de massa das argamassas	31
3.2.17 - Densidade aparente das argamassas	31

3.2.18 - Retenção de água das argamassas	32
3.3 - Prismas	33
3.3.1 – Confeção dos prismas	33
3.3.2 - Transporte dos prismas	38
3.3.3 - Ensaio de compressão axial dos prismas.....	38
CAPÍTULO 4	42
ENSAIOS	42
4.1 - Ensaio de resistência de aderência à tração.....	42
4.2 - Ensaio de compressão axial dos prismas	43
ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	49
5.1 - Análise estatística.....	49
5.1.1 - Análise de variância	49
5.1.2 - Método de Fisher da Mínima Diferença Significativa. (MDS).....	50
5.2 – Análise física	55
5.2.1 – tipos característicos de ruptura	55
CAPÍTULO 6	66
CONCLUSÕES	66
SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Edifício Ijuí em ruínas	3
Figura 3. 1 - Gráfico da distribuição granulométrica, amostra 1.....	18
Figura 3. 2 - Gráfico da distribuição granulométrica, amostra 2.....	18
Figura 3. 3 - Frasco de Chapman.....	20
Figura 3. 4 - Blocos de concreto em estufa a 110 °C	24
Figura 3. 5 - Blocos de concreto submerso em água por 24 horas.....	24
Figura 3. 6 - Imersão em água do bloco de concreto a uma altura de 3 mm durante 1 minuto.....	26
Figura 3. 7 - Armazenamento dos prismas.....	33
Figura 3. 8 - Aplicação do revestimento com o gabarito.....	34
Figura 3. 9 - Temperaturas diárias do mês de maio de 2005.....	35
Figura 3. 10 - Umidades relativas do ar diária do mês de maio de 2005	35
Figura 3. 11 - Temperaturas diárias de junho de 2005	36
Figura 3. 12 - Umidades relativas do ar diária do mês de junho de 2005	36
Figura 3. 13 - Temperaturas diárias de julho de 2005.....	37
Figura 3. 14 - Umidades relativas do ar diária do mês de julho de 2005	37
Figura 3. 15 - Prisma pronto para ser transportado -	38
Figura 3. 16 - Capeamento dos prismas	39
Figura 3. 17 – Chapas de aço usadas para transmissão de esforços na prensa.....	39
Figura 3. 18 - Prismas ensaiados armazenados	40
Figura 3. 19 - Prisma ensaiado "desmontado".....	40
Figura 4. 1 - Ensaio de arrancamento do revestimento dos prismas	42
Figura 4. 2 - Médias das cargas de ruptura.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 - Potências para alguns tamanhos de amostras	15
Tabela 3. 2 - Características do cimento CP II Z 32	16
Tabela 3. 3 - Características da Cal CHI	17
Tabela 3. 4 - Resultado numérico do ensaio da massa específica do agregado miúdo ..	19
Tabela 3. 5 - Ensaio do teor de Materiais Pulverulentos	21
Tabela 3. 6 - Determinação do inchamento do agregado miúdo NBR - 6467	22
Tabela 3. 7 - Resultados numéricos do ensaio de absorção e teor de umidade.....	24
Tabela 3. 8 - Resultados numéricos do índice de absorção inicial (IRA)	26
Tabela 3. 9 - Resistência à compressão axial dos blocos de concreto.....	27
Tabela 3. 10 - Resultados do ensaio de absorção dos CP's de argamassa	28
Tabela 3. 11 - Resultados dos ensaios de compressão axial dos CP's de argamassa....	29
Tabela 3. 12 - Resultados dos ensaios de compressão diametral dos CP's de argamassa	29
Tabela 3. 13 - Granulometria da argamassa 1:1:6	29
Tabela 3. 14 - Granulometria da argamassa 1:2:9	30
Tabela 3. 15 - Variação dimensional da argamassa 1:1:6	30
Tabela 3. 16 - Variação dimensional da argamassa 1:2:9	30
Tabela 3. 17 - Variação de massa da argamassa 1:1:6	31
Tabela 3. 18 - Variação de massa da argamassa 1:2:9	31
Tabela 3. 19 - Densidade aparente da argamassa 1:1:6.....	32
Tabela 3. 20 - Densidade aparente da argamassa 1:2:9.....	32
Tabela 3. 21 - Retenção de água da argamassa 1:1:6	32
Tabela 3. 22 - Retenção de água da argamassa 1:2:9	33
Tabela 4. 1 - Resultados dos ensaios de arrancamento do revestimento dos prismas....	43
Tabela 4. 2 - Resultados dos ensaios de compressão axial das amostras	44
Tabela 4. 3 - Resultados dos ensaios de compressão axial das amostras	45
Tabela 4. 4 - Comparação simples das médias.....	47
Tabela 4. 5 - Médias das tensões de ruptura.....	47
Tabela 4. 6 - Fatores de eficiência.....	48

SIMBOLOGIA

β - probabilidade de um erro tipo II

H_0 – Hipótese nula

n – Número de réplicas da amostra

Φ – Parâmetro utilizado no planejamento de experimentos

τ_i - Efeito do i -ésimo tratamento

σ^2 - Variância do erro

a – Número de tratamentos

γ - Massa específica

m – Massa aparente

L - Volume do frasco

M_i – Massa inicial do agregado

M_f – Massa final do agregado

γ_s - Massa unitária da amostra coletada, em kg/dm^3 ;

P_b - Massa da amostra mais a do recipiente, em kg;

T - Massa do recipiente, em kg;

V - Volume do recipiente, em dm^3 .

V_h - Volume do agregado com $h\%$ de umidade, em dm^3

V_0 - Volume do agregado seco em estufa, dm^3

CI - Coeficiente de inchamento

γ_s - Massa unitária do agregado seco em estufa, em kg/dm^3

γ_h - Massa unitária do agregado com $h\%$ de umidade, em kg/dm^3

h - Teor de umidade do agregado , em %

$u\%$ - umidade do bloco

$a\%$ - absorção de água

m_1 - massa seca do bloco de concreto após a estufa, em kg

m_2 - massa aturada do bloco de concreto, em kg

m_3 - massa do bloco de concreto no estado natural, em kg

τ_1 – Tratamento 1

τ_2 – Tratamento 2

τ_3 – Tratamento 3

τ_4 – Tratamento 4

τ_5 – Tratamento 5

τ_6 – Tratamento 6

H_1 – Hipótese alternativa

τ_i – Tratamento i

f_0 – Estatística f calculada

$f_{\alpha; a-1; a(n-1)}$ – Estatística f tabelada

MDS – Mínima diferença significativa

T_0 – estatística t calculada

\bar{y}_i – média do i-ésimo tratamento

\bar{y}_j – média do j-ésimo tratamento

MQ_e – Média quadrática do erro

n – Número total de réplicas

$t_{\alpha/2, a(n-1)}$ - É a estatística t tabelada

α - É o mesmo definido para o experimento

a – É o número de tratamentos

n – É o número total de réplicas no experimento

M 3 - Prismas com revestimento de 3 cm de espessura e traço médio;

F 3 - Prismas com revestimento de 3 cm de espessura e traço fraco;

M 1,5 - Prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e traço médio;

F 1,5 - Prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e traço fraco

CH - Prismas com chapisco;

Nu - Prismas nus.

P_{alv} – Carga admissível da parede de alvenaria;

f_{pm} – Resistência média dos prismas (nu);

h – Altura da parede;

t – Espessura da parede.

P_{up} - Carga de ruptura do prisma

RESUMO

Na Região Metropolitana de Recife foram construídos vários edifícios onde a alvenaria cumpre função estrutural, porém é composta de blocos originalmente confeccionados para vedação. Esse sistema construtivo é conhecido regionalmente como "edifícios caixaão". Para se levar a cabo a correta avaliação das condições de um edifício destes, há de se levar em conta todos os fatores que de alguma forma influenciem na estabilidade ou durabilidade do mesmo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão de prismas de alvenaria compostos por blocos de vedação de concreto. Os ensaios se realizaram em prismas de 3 blocos alinhados, onde foram confeccionadas 6 amostras com 15 réplicas cada. Para minimizar os efeitos de outras variáveis, todos os prismas foram confeccionados sob as mesmas condições e com materiais idênticos. As amostras são: blocos nus; blocos com chapisco; blocos com chapisco e argamassa com espessuras 1,5 cm e 3 cm e traços 1:2:9 (fraco) e 1:1:6 (médio). Os materiais usados na confecção dos prismas foram ensaiados para definição de suas características. Todos os prismas foram rompidos em prensa hidráulica para definição das respectivas resistências à compressão axial e os resultados, posteriormente, tratados estatisticamente. Houve um incremento considerável nas resistências à compressão dos prismas com revestimento e a resistência da argamassa mostrou-se influenciadora da resistência do prisma e nos padrões de ruptura na maioria dos casos. A aderência do revestimento mostrou-se ponto de fragilidade, principalmente nos prismas com revestimento de 3,0 cm de espessura.

ABSTRACT

In the Metropolitan Region of Recife some buildings had been constructed where the masonry fulfills function structural been, however, composed of blocks originally confectioned for non load-bearing masonry. This constructive system is regionally known as "coffin buildings". To take handle of the correct evaluation of the conditions of a building like these, it must be considered all the factors that, somehow, has some influence at the stability or durability of it. The present work had as objective to evaluate the influence of the covering mortar in the axial compressive strength of masonry prisms composed of concrete blocks of non load-bearing masonry. The tests had been carried through with prisms of three lined up blocks, where six samples, with fifteen copies each, had been confectioned. To minimize the effect of other variable, all prisms had been confectioned under the same conditions and with identical materials. The samples are: naked blocks; blocks with base to covering; blocks with base to covering and mortar with thicknesses 1,5 cm and 3 cm and traces 1:2:9 (weak) and 1:1:6 (average). The materials had been tested to define its characteristics. All the prisms had been breached at a hydraulical press for to define its respective resistances to the axial compression and the results, later, were statistically treated. It had a considerable increment at the resistance to the compression of the covered prisms and the mortar's resistance revealed influent to the resistance of the prism and the standards of rupture in the majority of the cases.

Capítulo 1

Introdução

1.1 - A Construção civil e a alvenaria estrutural

A construção civil é uma das áreas de conhecimento mais antigas da humanidade. Desde que o homem deixou de ser nômade e passou a fixar residência, ele transforma a natureza ao seu redor para proporcionar-lhe mais conforto e segurança.

No início ocupava as cavernas, depois começou a construir abrigos com os materiais dos quais dispunha. Madeiras, palhas e pedras eram os materiais mais abundantes, assim alguns puseram-se a fazer seus abrigos com pedras empilhadas, nascendo a idéia da alvenaria. Logo se percebeu que apenas pedras empilhadas não tinham grande estabilidade e que se fazia necessário um material a ser posto entre elas, que desse à construção maior rigidez, distribuindo tensões, colando as pedras e com isso garantindo também uma certa estanqueidade, surge a função da argamassa.

Em alguns lugares, onde as pedras não eram abundantes, o homem fez uso do seu conhecimento sobre a argila e utilizou-a para fabricação de unidades que substituíssem as pedras na alvenaria, com a vantagem de ter forma regular e a construção ser mais fácil e rápida. Com o surgimento da cerâmica, surgiram também as unidades cerâmicas de alvenaria e à medida que novos materiais surgiam eram absorvidos pela alvenaria de acordo com suas qualidades.

Por se tratar de uma das técnicas mais antigas de construção e pela simplicidade que lhe é peculiar, a alvenaria foi vastamente utilizada gerando um imenso conhecimento empírico do sistema.

Com o avanço da ciência dos materiais e com o surgimento de novos materiais, como o concreto armado, a alvenaria teve sua evolução, sendo criados procedimentos de execução e técnicas de dimensionamento específicas. Surgiu assim a alvenaria estrutural como concebemos hoje.

Pelas leis de mercado e pela pouca exigência dos órgãos competentes, surgiram na região metropolitana do Recife vários edifícios onde a alvenaria cumpre função estrutural, porém é composta de blocos originalmente confeccionados para vedação. Esse sistema construtivo é conhecido regionalmente como "edifícios caixão". Estas construções foram realizadas também com conhecimentos empíricos só que com um agravante, ter o intuito de economizar para diminuir custos.

Este tipo de construção teve grande impulso a partir da década de 70, quando cooperativas habitacionais dos estados e cooperativas particulares foram incentivadas pelas políticas de aplicação de recursos oriundos do FGTS e das cadernetas de poupança para a execução de projetos habitacionais. Estima-se que hoje existam cerca de 6.000 prédios com essas características, construídos na Região Metropolitana do Recife.

Assim sendo, vários desses edifícios já estão com idades avançadas e apresentam sinais de deterioração da estrutura carecendo de manutenção ou reabilitação. Acontece que, quando recalculados pelos métodos indicados pela norma para alvenaria estrutural, estes normalmente não cumprem com os requisitos mínimos de estabilidade, todavia a maioria continua de pé.

Duas características intrínsecas a este tipo de estrutura que têm importância capital quando se fala em segurança, são: a ruína quase imediata que ela apresenta na ocasião de um desmoronamento e o colapso progressivo na maioria dos casos. O pouco conhecimento do comportamento estrutural dessa alvenaria resistente de blocos de vedação dificulta a avaliação das condições de segurança.

Já vêm ocorrendo acidentes em alguns desses edifícios, como o do Aquarela, localizado em Piedade, Jaboatão dos Guararapes – PE, que ruiu no dia 22 de maio de

1997, causando muita preocupação aos proprietários de apartamentos em edifícios semelhantes. O Aquarela tinha cerca de 11 anos de construído na ocasião da sua ruína, estrutura tipo caixão com 4 pavimentos em alvenaria singela de tijolos cerâmicos de seis furos e assentamento a galga. Outro edifício com as mesmas características estruturais que desmoronou foi o Éricka, em 12 de novembro de 1999, em Jardim Fragoso, Olinda – PE. Com aproximadamente 12 anos de construído ele, assim como o Aquarela, tinha 4 pavimentos e alvenaria singela de tijolos cerâmicos de seis furos assentados a galga.

Porém não só os edifícios construídos com tijolos cerâmicos estão caindo ou apresentando sérias patologias. O edifício Ijuí, localizado em Candeias, Jaboatão dos Guararapes – PE, era um edifício do tipo caixão, construído em alvenaria resistente de blocos de concreto. Ruiu em maio de 2001 sem deixar vítimas, Figura 1.1. O edifício apresentou horas antes do acidente indicativos de danos em sua estrutura, o que permitiu a retirada dos moradores.



Figura 1.1 - Edifício Ijuí em ruínas

Outro problema grave é a desinformação dos proprietários em relação às características da estrutura dos seus imóveis. Isso faz com que muitas vezes paredes sejam retiradas ou cortadas horizontalmente para colocação de instalações embutidas, além de portas colocadas, inclusive no andar térreo. Essa remodelação dos espaços

internos do apartamento é feita na grande maioria das vezes, sem nenhum tipo de análise estrutural.

Ao cursar a disciplina de Alvenaria Estrutural no mestrado em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco o arquétipo desses edifícios foi motivo de várias reflexões e ponderações relativas à sua segurança e como mensurá-la. Chegou-se a conclusão que: para se levar a cabo a correta avaliação das condições de um edifício destes, há de se levar em conta todos os fatores que de alguma forma influenciem na estabilidade e ou durabilidade do mesmo.

Outro problema é a reabilitação desses edifícios. Ainda não foram estudados apropriadamente os procedimentos a serem seguidos na situação de se constatar a insegurança de uma edificação deste tipo, sendo este o objetivo do projeto FINEP/HABITARE/MOREAR, em andamento, desenvolvido com a coordenação executiva da Universidade Católica de Pernambuco, em parceria com quatro outras instituições, do qual essa pesquisa faz parte.

1.2 - Objetivos

Nesse contexto, o presente trabalho pretende analisar a influência dos revestimentos na resistência à compressão de prismas de blocos de concreto de vedação, identificar os tipos mais comuns de ruptura, gerar conhecimento para posterior transferência às paredes e contribuir assim para um maior conhecimento das características desse tipo de construção, além de uma melhor avaliação das condições gerais das mesmas.

1.3 - Estrutura da dissertação

As atividades desenvolvidas na pesquisa estão descritas de maneira sucinta a seguir:

- pesquisa bibliográfica onde foram estudados os conhecimentos atuais sobre a interação entre blocos e revestimento e outras experiências relativas a essa interação;

- planejamento dos experimentos a serem realizados, como quantidade de situações a serem estudadas e número de réplicas em cada amostra para uma representatividade estatística;

- os ensaios realizados, apesar de terem representatividade estatística, não tiveram a pretensão de se elaborar modelos matemáticos mais elaborados;

- todos os ensaios foram filmados e fotografados para uma melhor avaliação do comportamento do prisma em cada caso e os prismas depois de ensaiados foram cuidadosamente “desmontados” com o intuito de se verificar a direção e a extensão das fissuras;

- a metodologia dos ensaios foi definida de acordo com as normas existentes, apenas alguns procedimentos, quando necessário, sofreram algumas modificações;

Os prismas foram confeccionados com três blocos para haver uma maior representação das juntas no ensaio, mas procurou-se reproduzir condições de obra, de modo que a execução dos prismas ficasse o mais próximo possível das paredes dos edifícios.

Todos os materiais foram caracterizados para uma boa avaliação dos resultados.

O corpo deste trabalho está dividido como se segue:

No **Capítulo 2** consta uma revisão bibliográfica pertinente ao estudo.

No **Capítulo 3** são apresentados a metodologia utilizada na pesquisa e os ensaios utilizados para a caracterização dos materiais, assim como seus resultados e em alguns casos a interpretação desses.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados dos ensaios do experimento e são feitas algumas considerações sobre estes.

No **Capítulo 5** os resultados são analisados estatística e fisicamente e constam comentários e reflexões acerca das análises.

No **Capítulo 6** estão as conclusões e sugestões para futuros trabalhos obtidos com o experimento.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2.1 - Alvenaria estrutural

O tipo de bloco ora estudado tem características diferentes do bloco estrutural. No entanto, ele cumpre função estrutural nos edifícios do tipo caixão, sendo conveniente trazer à tona os fundamentos desse sistema construtivo.

A alvenaria estrutural se diferencia de outros sistemas construtivos desde seu projeto. Como o elemento básico do sistema é um bloco ou tijolo, todo projeto tem que ser pensado com múltiplos desse e modulado de forma a evitar desperdícios. Há ainda uma maior interação entre os vários projetos (arquitetônico, estrutural e de instalações), pois a parede além da função estrutural é também um elemento de vedação que irá receber os elementos hidráulicos e elétricos. Logo, o projeto deve ser racionalizado como um todo.

A distribuição dos esforços na estrutura também muda. Enquanto nas construções em concreto armado se admitem flexões e em alguns casos trações em seus elementos, na alvenaria estrutural a transmissão de ações tem de ser feita através de tensões de compressão, tendo em vista a baixa resistência à tração do sistema.

Segundo Ramalho (2003), pode-se admitir tensões de tração em determinadas peças. Mas, essas devem restringir-se a pontos específicos da estrutura e não apresentar valores elevados.

O objetivo dos projetos é explorar a boa resistência à compressão para compensar a baixa resistência à tração, dispondo as paredes no edifício de forma a assegurar a estabilidade tridimensional. A distribuição das paredes da edificação é o fator primordial dessa estabilidade, devendo o projetista procurar um equilíbrio na distribuição das paredes resistentes na planta, evitando a concentração de carregamentos

em uma determinada região do edifício, que leve à necessidade de utilização de materiais com resistências diferentes para paredes do mesmo pavimento ou do grauteamento de alguma delas que aumentaria o custo e afetaria a construtibilidade.

Paredes resistentes são as que têm por função resistir às ações atuantes na estrutura, além de seu peso próprio, desempenhando também as funções de vedação.

A alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo empregado, quanto ao tipo de unidades ou ao material utilizado, assim:

Alvenaria Estrutural Armada: é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-concreto (Graute).

Alvenaria Estrutural Não Armada: é o processo construtivo em que nos elementos estruturais existem somente armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos (fissuras, concentração de tensões, etc).

Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada: é o processo construtivo em que alguns elementos resistentes são projetados como armados e outros como não armados.

Alvenaria Estrutural Protendida: é o processo construtivo em que existe uma armadura ativa de aço contida no elemento resistente.

Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos: função do tipo das unidades.

Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Concreto: conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de concreto.

2.1.1 – modulação

Trata-se da adequação do projeto às dimensões das unidades, evitando ou diminuindo os desperdícios por cortes e outros trabalhos de ajuste no canteiro que representariam perda de tempo, material e mão de obra. Logo, é fundamental numa edificação em alvenaria estrutural que no projeto se faça a modulação, para que resulte econômica e racional.

2.1.2 – Unidades de alvenaria

As unidades (blocos e tijolos) são os componentes mais importantes que compõem a alvenaria estrutural, pois são eles que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da modulação nos projetos.

A unidade é definida por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. São classificadas como tijolos as unidades com dimensões máximas de 250 x 120 x 55 mm, unidades com dimensões maiores são denominadas de blocos.

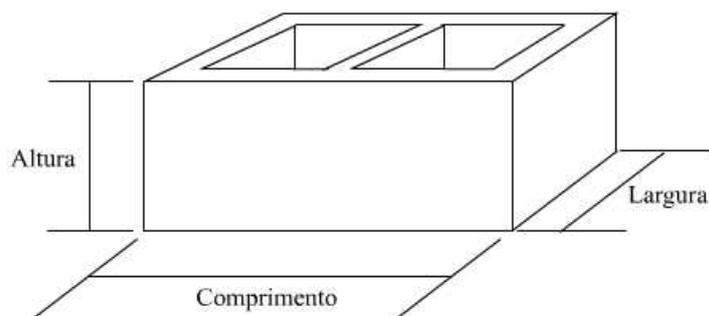


Figura 1. 1 - Dimensões dos blocos

Quanto à aplicação, as unidades podem ser classificadas como de vedação ou estruturais. A NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural especifica que a resistência característica do bloco à compressão, medida em relação à área bruta, deve obedecer aos seguintes limites:

$f_{bk} \geq 6$ MPa: blocos em paredes externas sem revestimento;

$f_{bk} \geq 4,5$ MPa: blocos em paredes internas ou externas com revestimento.

Os blocos de vedação não atendem a esse requisito de resistência, ficando a resistência desses abaixo dos 3 MPa.

A resistência à compressão das unidades é um dos fatores que mais influenciam a resistência da alvenaria. Nas unidades de alvenaria estrutural os furos devem ser

verticais. Os tijolos com furos na horizontal têm ruptura brusca não apresentando sinais antes que ela aconteça, além de possuir resistências baixas à compressão.

Como na filosofia da alvenaria estrutural se evitam os ajustes ao máximo, existem inúmeros modelos de blocos para atender as mais diversas finalidades sem a necessidade de adaptações ou cortes. Horowitz, Araújo e Oliveira (1981) citam bloco intermediário, meio bloco, bloco de alma descartável e bloco de cinta, tipos U e J, como os tipos básicos a serem utilizados. O número de blocos de cada tipo e a localização exata deles é definido ainda na fase de projeto e modulação. Os materiais utilizados na confecção de tijolos e blocos são o concreto, a cerâmica, o sílico-calcário e o concreto aerado. Existem também alguns materiais alternativos, Gutierrez et al (1994) mostram que blocos de solo cimento podem ter boas características com a seleção rigorosa da jazida e com um bom controle na fabricação.

As principais propriedades da unidade a serem observadas são: resistência à compressão, estabilidade dimensional, vedação, absorção adequada, trabalhabilidade e modulação.

Nessa pesquisa foram utilizados blocos de concreto de dimensões 390 x 190 x 90 mm, iguais ao da Figura 2.1.



Figura 1. 2 - Bloco usado no experimento

2.1.3 – Argamassa

A argamassa é um material constituído de aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia) e água. Além desses podem ainda ser adicionados produtos especiais (cal, fibras, etc) com a finalidade de conferir determinadas propriedades ao conjunto. Em algumas argamassas a cal é substituída pelo saibro (solo contendo a fração argila). Cascudo e Carasek (1994) alertam que com essa substituição a argamassa tem prejudicada uma série de propriedades importantes dadas pela cal, como: retenção de água, durabilidade e reduzida retração por secagem reversível.

Argamassas magras de cimento portland tornam-se mais trabalháveis com a adição de cal, além de melhorar sua retenção de água. Carvalho, Silva e França (1995) chegaram à conclusão que as argamassas de cimento e cal são viáveis para a realização de emboço por sua melhor trabalhabilidade e retenção de água.

As funções primordiais da argamassa são: unir as unidades, transmitir as tensões de forma bem distribuída e absorver pequenas deformações que a parede venha a sofrer. Além disso, a argamassa tem que satisfazer a certos requisitos como ter boa trabalhabilidade. Argamassa de boa trabalhabilidade é aquela que espalha facilmente sobre o bloco e aderi nas superfícies verticais, devendo a consistência ser tal que o bloco possa ser prontamente alinhado, mas seu peso e o peso das fiadas subsequentes não provoquem posterior escorrimento da argamassa.

Costa et al (1994), chamaram a atenção para a grande influência da dosagem da argamassa de assentamento no comportamento das paredes.

2.1.4 – Argamassa de revestimento

Apesar da argamassa de revestimento não estar nos componentes clássicos da alvenaria estrutural, a hipótese principal deste trabalho é que ela contribua com a resistência da parede e como componente ativo do conjunto devendo esta também ter seus estudos referenciados.

2.1.4.1 - Aderência

É fator determinante para que aconteça alguma influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão dos prismas.

Segundo Roman et al (199?), “Os fatores que influenciam o grau de contato e a adesão são a trabalhabilidade da argamassa, a retentividade, a taxa de absorção inicial do bloco, a mão-de-obra, a quantidade de cimento na mistura, a textura da superfície do bloco, o conteúdo de umidade do bloco, temperatura e umidade relativa.”

Alguns procedimentos de preparação de substrato também influenciam na aderência. A aplicação de chapisco é um tipo de preparação muito difundido no Brasil e utilizado na grande maioria dos edifícios tipo caixão. “Revestimentos executados sobre paredes chapiscadas apresentam maior absorção e melhor aderência que revestimentos aplicados em bases sem chapisco.” Medeiros e Sabbatini (1994).

2.1.4.2 - Durabilidade

Em se tratando de argamassa de revestimento, “que é caracterizada pela variação, ao longo do tempo da resistência de aderência, da resistência de abrasão, do transporte e absorção de água, ou de qualquer outra propriedade julgada de interesse.” Rago et al (1994).

No mesmo trabalho os autores citam as principais exigências de uma argamassa no meio externo (fachadas) e interno (paredes de interior). As argamassas em meio externo estão expostas a ciclos de molhagem e secagem, que podem gerar um efeito de cisalhamento na interface entre a base onde foram aplicados, o revestimento e a argamassa, exigindo uma boa resistência de aderência para que não haja descolamento. A penetração de água de chuva nos poros do revestimento pode carrear partículas e substâncias dissolvidas para a superfície na sua evaporação. Nas regiões das paredes próximas ao piso em ambientes de elevada solicitação por circulação intensa de pessoas, ou ambientes sujeitos a impactos e abrasão. Em meio interno o movimento de móveis e

peças, com o efeito de abrasão sobre o revestimento, além de esforços de objetos e móveis pendurados são os principais fatores prejudiciais.

2.1.4.3 – Influência na resistência à compressão

Oliveira (2001), estudou a viabilidade da utilização de argamassas de revestimento armadas para reforço estrutural de paredes resistentes. No experimento também foram ensaiadas paredinhas com revestimentos não armados com uma argamassa chamada de forte e outra fraca. As resistências à compressão das paredes revestidas com argamassa não armada tiveram incrementos de carga da ordem de 20%. Os revestimentos foram executados com 20 mm e as paredes foram chapiscadas antes da aplicação.

2.1.5 - Graute

Apesar de, para o objetivo do trabalho o graute não ser usado, não se pode deixar de se fazer referência a ele. Trata-se de um micro-concreto de grande fluidez utilizado para preencher os furos dos blocos. Usado principalmente para unir alvenaria e armadura, em vergas, por exemplo, e/ou aumentar a resistência à compressão da parede. Possui os mesmos ingredientes do concreto convencional.

2.1.6 - Armadura

As armaduras são usadas em situações específicas na alvenaria estrutural (vergas, contravergas, etc), ou para aumentar a capacidade de carga da parede.

Apesar de ter grande importância a armadura não será comentada por ser usada apenas em situações onde é indispensável (vergas, contravergas, etc.), no tipo de construção que motiva esta pesquisa (edifícios caixa).

Capítulo 3

Metodologia

3.1 - Planejamento do experimento

3.1.1 - Definição do número de amostras e réplicas

Como o objetivo principal da pesquisa foi analisar uma possível influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão dos prismas, em primeira decisão optou-se por 4 amostras sendo elas: prismas nus (sem revestimento), prismas apenas com chapisco, prismas com argamassa de espessura 1,5 cm +- 1mm, prismas com argamassa de espessura 3,0 cm +- 1mm, com o revestimento executado nas duas laterais do prisma.

Quanto à argamassa foi resolvido que seria confeccionada com cal, apesar de na prática a maioria dos edifícios terem utilizado argamassa com saibro. A heterogeneidade desse poderia influenciar de alguma forma nos resultados dos experimentos e uma variável a mais dificultaria a análise dos resultados.

No momento de decidir o traço da argamassa foi observado que poderia-se também tentar avaliar alguma indicação de influência da resistência à compressão da argamassa sobre a do prisma e foi decidido utilizar 2 tipos de argamassa, uma com traço 1:2:9 que chamou-se de fraca e uma de traço 1:1:6 que chamou-se de média.

Finalmente foram utilizadas 6 amostras de prismas, nas seguintes condições: sem revestimento, apenas com chapisco, com revestimento de 1,5 cm de argamassa fraca, com revestimento de 1,5 cm de argamassa média, com revestimento de 3,0 cm de argamassa fraca e com revestimento de 3,0 cm de argamassa média.

Para definir o número de réplicas foi utilizado o método estatístico do planejamento de experimento, especificamente a determinação do tamanho da amostra em experimentos com um único fator para efeitos fixos, Montgomery (2003). Fez-se uso de curvas características operacionais para guiar a seleção. Essas curvas são gráficos de probabilidade de um erro tipo II (β), para vários tamanhos de amostra, contra uma medida da diferença nas médias que seja importante detectar.

A potência ($1 - \beta$) do teste é:

$$1 - \beta = P \{ \text{Rejeitar } H_0 \mid H_0 \text{ sendo falsa} \}$$

Resolveu-se que o experimento teria uma potência de pelo menos 0,95 e calculou-se a potência para vários tamanhos de amostra, Tabela 3.1. Encontrou-se 12 como o número mínimo de réplicas para garantir a potência requerida. Sabendo das dificuldades que surgiriam no transporte e armazenamento dos prismas, foi resolvido que seriam confeccionadas amostras com 15 réplicas.

Tabela 3. 1 - Potências para alguns tamanhos de amostras

n	Φ^2	Φ	a(n - 1)	β	Potência
11	5,5	2,35	60	0,053	0,947
12	6	2,45	66	0,018	0,982
13	6,5	2,55	72	0,016	0,984

Onde:

n – Número de réplicas da amostra

Φ – Parâmetro em que

$$\phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a\sigma^2}$$

τ_i - Efeito do i-ésimo tratamento

σ^2 - Variância do erro

a – Número de tratamentos

β - Probabilidade de um erro tipo II

3.2 - Caracterização dos materiais

3.2.1 - Cimento Portland (CP II Z 32)

O cimento utilizado na confecção das argamassas foi o cimento portland CP II Z 32, fornecido em sacos de 50 kg, com as características indicadas na Tabela 3.2.

Tabela 3. 2 - Características do cimento CP II Z 32

Ensaio Químicos	Normas	Resultados	Especificação
			Norma NBR 11578/91
Óxido de magnésio – MgO - (%)	PO 00435	2,66	≤ 6,5
Anidrido sulfúrico - SO ₃ - (%)	PO 00436	3,26	≤ 4,0
Óxido de cálcio livre - CaO (Livre) – (%)	NBR NM 13	1,44	não aplicável
Ensaio Físicos e Mecânicos	Normas	Resultados	Norma NBR 11578/91
Área específica (Blane) – (cm ² /g)	NBR NM 76	3540	≥ 2600
Massa específica – (g/cm ³)	NBR NM 23	3,04	não aplicável
Densidade aparente – (g/cm ³)	X	1,2	não aplicável
Início de pega – (h:min)	NBR NM 65	02:30	≥ 1 h
Fim de pega – (h:min)	NBR NM 65	03:40	≤ 10 h
Expansibilidade de Le Chatelier – a quente – (Mm)	NBR 11582	0,3	≤ 5

Fonte: MOTA (2005)

3.2.2 - Cal hidratada

A cal utilizada nas argamassas foi a CHI, cujas características constam na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Características da Cal CHI

Ensaio	Cal Hidratada CH I
Natureza da cal hidratada	Cálcica
Finura #30 (0,600 mm)	0,3
(% retida) # 200 (0,075 mm)	1,8
Densidade aparente (g/cm ³)	0,5
Umidade (%)	1,26
Anidrido Carbônico – CO ₂	2,21
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	0,05
Sílica e resíduo insolúvel	0,84
Óxido não hidratado	7,3
CaO, não hidratado	73,72
MgO, não hidratado	0,71

3.2.3 - Ensaio de granulometria da areia da argamassa

A granulometria é um ensaio no qual através de peneiras se chega a medida dos diâmetros das partículas constituintes de um solo, ela é representada por uma curva de distribuição granulométrica.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UNICAP. Na caracterização da areia foram usadas duas amostras. As Figuras 3.1 e 3.2 representam a distribuição granulométrica dessas, onde para cada diâmetro de grão, é relacionada sua porcentagem em peso da amostra. A curva de distribuição é representada por gráfico mono-log, no qual o eixo das abscissas indica os diâmetros dos grãos e o das ordenadas, a porcentagem que passa em peso.

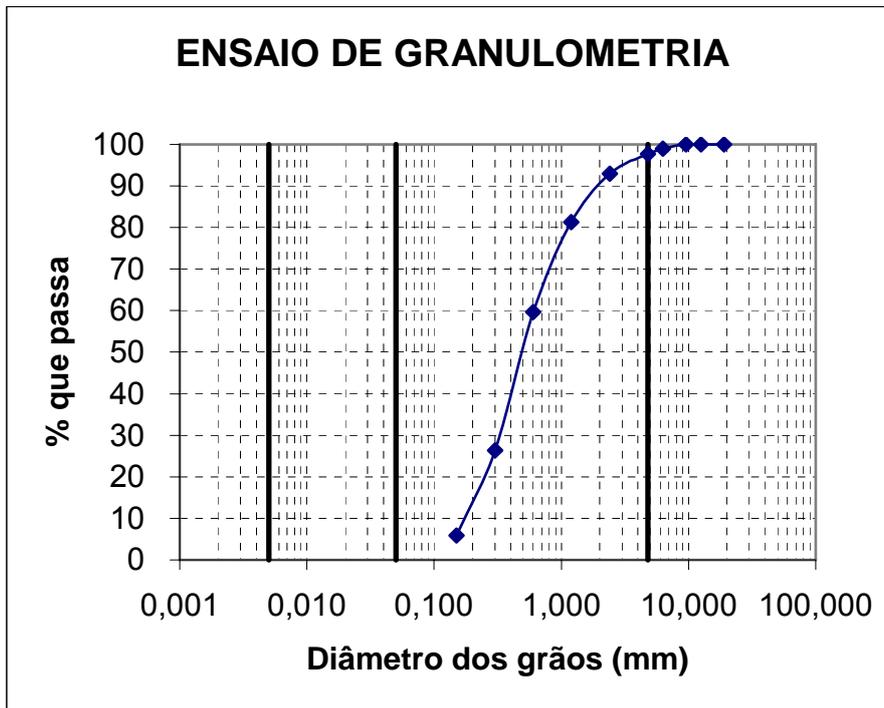


Figura 3. 1 - Gráfico da distribuição granulométrica, amostra 1

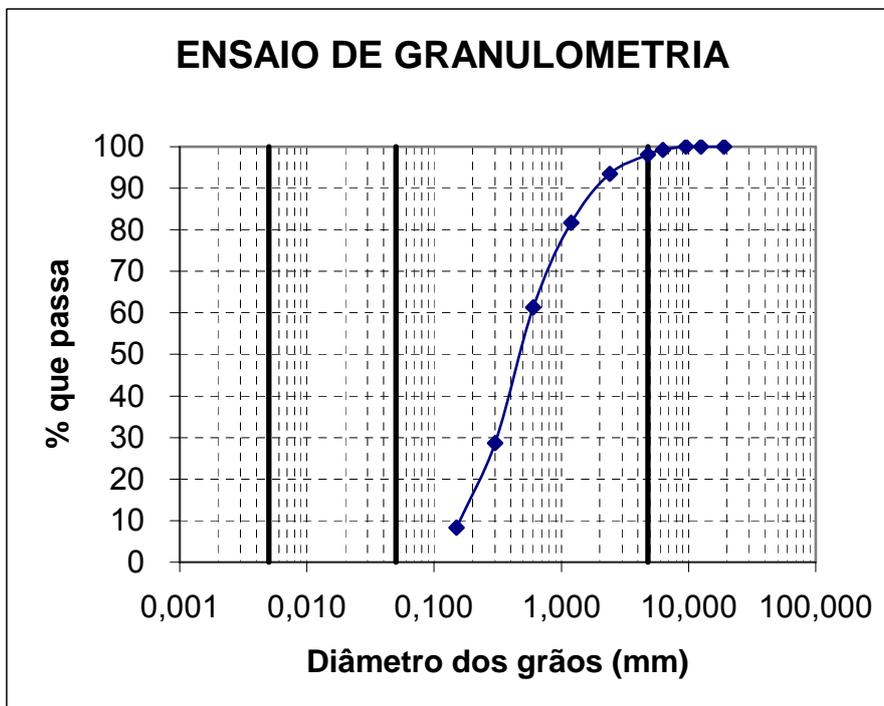


Figura 3. 2 - Gráfico da distribuição granulométrica, amostra 2

3.2.4 - Ensaio para determinação da massa específica em agregados miúdos

O agregado miúdo é areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos têm diâmetro inferior a 4,8 mm e superior a 0,075 mm.

O ensaio foi feito no Laboratório de Materiais de Construção da UNICAP. No ensaio da amostra, ver Tabela 3.4, foram executados os seguintes procedimentos:

- secou-se 500 g de areia em estufa a 110 ° C até constância de peso;
- colocou-se a areia seca no frasco de Chapman (Figura 3.3), que deve estar previamente com 200 cm³ de água;
- a água deve subir pelo gargalo até estabilizar;
- efetuou-se a leitura do nível d'água e calculou-se a massa específica.

Tabela 3. 4 - Resultado numérico do ensaio da massa específica do agregado miúdo

Amostra	Massa do agregado (g)	Volume do frasco (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
1	500	392	2,604
2	500	391	2,618

Cálculo da massa específica:

$$\gamma = \frac{m}{(L - 200)}$$

Onde m é a massa aparente e L o volume do frasco.

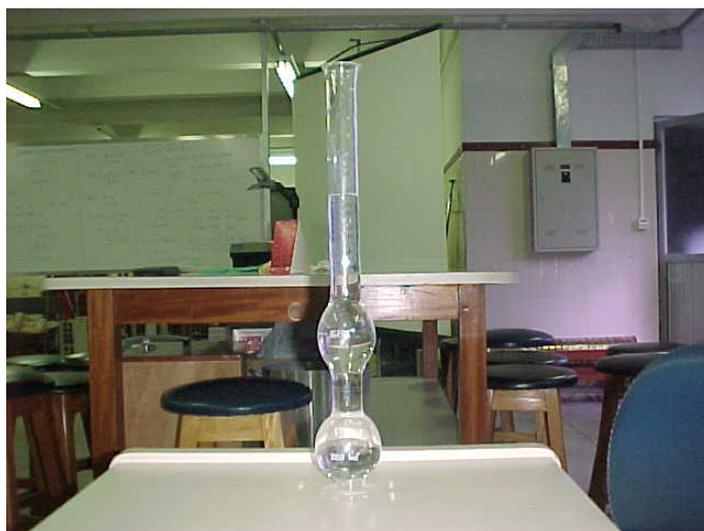


Figura 3. 3 - Frasco de Chapman

3.2.5 - Ensaio do teor de materiais pulverulentos

Os materiais pulverulentos (argilas e siltes) recobrem os grãos dos agregados prejudicando a aderência e, como tem grande superfície específica exigem muita água, aumentando assim, o fator A/C, acarretando a diminuição da resistência de concretos e argamassas. Por definição, materiais pulverulentos são constituídas de partículas com diâmetros menores que 0,075 mm.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UNICAP. O processo de ensaio das amostras, que tem seu resultado apresentado na Tabela 3.5, seguiu os seguintes passos:

secagem em estufa (110 ± 5)° C até constância de peso, o material foi pesado (m_1);

colocado num recipiente e recoberto com água em excesso;

agitado vigorosamente, substituída a água e repetido a operação até que a água saia completamente limpa.

No ensaio, foram utilizadas as peneiras com aberturas de malha de 1,2 mm e 0,075 mm para evitar a perda do material. Ele foi seco em estufa (110 ± 5)° C até a constância de massa, pesou-se o material (m₂) e obteve-se o teor de materiais pulverulentos.

Tabela 3. 5 - Ensaio do teor de Materiais Pulverulentos

Amostra	Massa inicial do agregado (g)	Massa final do agregado (g)	Teor de materiais pulverulentos (%)
1	500	486,6	2,68
2	500	487,2	2,56

$$\text{Teor de materiais pulverulentos} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

3.2.6 - Ensaio de inchamento do agregado miúdo NBR-6467

Os agregados miúdos têm grande capacidade de retenção de água. A areia, quando utilizada em obra, apresenta-se mais ou menos úmida, o que se reflete de forma considerável sobre a massa unitária. A experiência mostra que a água livre aderente aos grãos provoca afastamento entre eles, resultando no inchamento do conjunto. São caracterizados por dois índices: umidade crítica onde o teor de umidade acima do qual o inchamento permanece praticamente constante e o coeficiente médio do inchamento em que a média dos coeficientes de inchamento nos pontos de umidade crítica e máxima observada.

O ensaio foi efetuado no Laboratório de Materiais de Construção da UINICAP de acordo com a NBR-6467. A amostra a ensaiar foi de 0,02 m³ e secou em estufa (110 ± 5)° C até constância de massa. Determinou-se a massa unitária para os seguintes teores de umidade 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5%, ver Tabela 3.6.

Tabela 3. 6 - Determinação do inchamento do agregado miúdo NBR - 6467

h %	Pb (kg)	$\gamma_s = \frac{Pb - T}{V}$	$\frac{\gamma_s}{\gamma_h}$	CI
0	40	1500	1,00	1,00
1	36,1	1300	1,15	1,16
2	34,3	1220	1,23	1,25
3	33,6	1180	1,27	1,31
4	34,8	1240	1,21	1,28
5	35,5	1280	1,17	1,23

Pb = 40 kg
 T = 10 kg
 V = 0,02 m³

Coef. Inch. Médio = 1,30
 Umidade Crítica = 2,3%

3.2.7 - Cálculo do teor de umidade:

$$\gamma_s = \frac{Pb - T}{V}$$

Onde:

γ_s - Massa unitária da amostra coletada, em kg/m³;

Pb - Massa da amostra mais a do recipiente, em kg;

T - Massa do recipiente, em kg;

V - Volume do recipiente, em m³.

Cálculo do coeficiente de inchamento:

$$CI = \frac{Vh}{V0} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \frac{(100 + h)}{100}$$

Onde:

V_h - Volume do agregado com h% de umidade, em dm^3

V_0 - Volume do agregado seco em estufa, dm^3

CI - Coeficiente de inchamento

γ_s - Massa unitária do agregado seco em estufa, em kg/dm^3

γ_h - Massa unitária do agregado com h% de umidade, em kg/dm^3

h - Teor de umidade do agregado, em %

3.2.8 - Ensaio de absorção dos blocos de concreto

Os blocos de concreto tinham dimensões 90 mm x 190 mm x 390 mm, largura, altura e comprimento respectivamente, dotados de furos na vertical e concebidos para vedação.

O ensaio de absorção e teor de umidade em blocos de concreto simples de 02 (dois) furos na vertical foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UNICAP de acordo com a MB-3459. Os corpos-de-prova foram pesados em seu estado natural, sendo a massa anotada como m_3 . Depois foram levados à estufa, Figura 3.4, onde passaram 24 horas a temperatura de $110\text{ }^\circ\text{C}$. Após alguns procedimentos foi medida a massa seca m_1 . Depois de deixá-los esfriar e imergi-los por mais 24 horas em água, Figura 3.5, chegou-se então a sua massa saturada, m_2 . Logo, obtiveram-se os resultados numéricos apresentados na Tabela 3.7.



Figura 3. 4 - Blocos de concreto em estufa a 110 °C



Figura 3. 5 - Blocos de concreto submerso em água por 24 horas

Tabela 3. 7 - Resultados numéricos do ensaio de absorção e teor de umidade

Número	m_3 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	Umidade do bloco (%)	Absorção de água(%)
01	8,9	8,8	9,6	12,5	9,1
02	8,3	8,2	9,2	10,0	12,2
03	8,7	8,5	9,5	20,0	11,8
Média				14,2	11,0

a) Porcentagem de umidade de cada bloco de concreto no estado natural

Umidade do bloco:

$$u\% = \frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$$

b) Absorção expressa em porcentagem, de cada bloco

Absorção de água:

$$a\% = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$

Onde:

$u\%$ - umidade do bloco

$a\%$ - absorção de água

$m1$ - massa seca do bloco de concreto após a estufa, em kg

$m2$ - massa aturada do bloco de concreto, em kg

$m3$ - massa do bloco de concreto no estado natural, em kg

3.2.9 - Ensaio IRA (*Initial Rate of Absortion ou índice de absorção inicial*)

Como foi colocado por Roman et al (199?), a absorção inicial é fator determinante da resistência de aderência da argamassa/bloco, logo é importante ter esse valor para que esses dados também possam servir de fonte de pesquisas nesse sentido.

O ensaio foi realizado em blocos de concreto de 02 furos com base na norma americana ASTM-C67. Os blocos de concreto foram colocados em estufa durante 24 horas a uma temperatura de 110 °C e depois de medida a sua massa seca, foi imerso em água a uma altura de 3 mm durante 01 (um) minuto, Figura 3.6, e pesado obedecendo as regras da ASTM-C67. Assim, foram obtidos os resultados da tabela 3.8.



Figura 3. 6 - Imersão em água do bloco de concreto a uma altura de 3 mm durante 1 minuto

Tabela 3. 8 - Resultados numéricos do índice de absorção inicial (IRA)

Nº	Tipo do Bloco	Peso no estado natural (g)	Peso seco (g) após estufa	Peso úmido (g) após imersão	IRA (g/cm ² /min)
01	Concreto	8500	8300	8400	0,28
02		7900	7800	7900	0,28
03		8300	8200	8300	0,28

3.2.10 - Ensaio de compressão axial dos blocos de concreto, NBR 6136 / MB 116

Os ensaios se referem a blocos estruturais, não obstante os blocos são para utilização como elemento de vedação. Esses blocos são destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio e cargas de ocupação (armários, pias, lavatórios). Os ensaios foram feitos pela TECOMAT. Os resultados encontram-se na Tabela 3.9.

Tabela 3. 9 - Resistência à compressão axial dos blocos de concreto

Amost. n°	Dimensões da peça			Leitura manométrica kgf	Data ruptura	Resistência MPa	
	Comp. mm	Largura mm	Altura mm				área mm ²
1	390	90	185	35100	11.400	29/7/2005	3,2
2	390	91	190	35490	10.200	29/7/2005	2,9
3	390	91	189	35490	10.700	29/7/2005	3,0
4	390	90	180	35100	13.000	29/7/2005	3,7
5	390	90	183	35100	11.600	29/7/2005	3,3
6	390	90	186	35100	11.400	29/7/2005	3,2
7	390	90	180	35100	9.100	29/7/2005	2,6
8	390	90	184	35100	13.800	29/7/2005	3,9
9	390	91	190	35490	9.600	29/7/2005	2,7
10	390	90	185	35100	9.300	29/7/2005	2,6
11	390	90	185	35100	11.000	29/7/2005	3,1
12	390	90	190	35100	10.500	29/7/2005	3,0
						fbk est.	2,5

É importante lembrar que a NBR 6136 especifica uma resistência característica mínima de 4,5 MPa para blocos estruturais. Os blocos utilizados na pesquisa apresentaram uma resistência de 2,5 MPa, comprovando a finalidade não estrutural deles.

Com o intuito de se verificar uma possível influência da resistência da argamassa de revestimento no desempenho do prisma, foram usados 2 traços de argamassa de cimento, cal e areia, batizados de fraco (1:2:9) e médio (1:1:6). Para o assentamento dos blocos foi utilizado o traço médio.

3.2.11 - Ensaio de absorção nos CP's de argamassa de traço fraco e médio

Foram ensaiados 3 corpos de prova (50 x 100 mm) de cada traço, todos com 28 dias. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UNICAP. Os resultados se encontram na Tabela 3.10.

Tabela 3. 10 - Resultados do ensaio de absorção dos CP's de argamassa

Nº do CP	Traço	Peso (g)	Tempo (horas)	Água
01	1 : 2 : 9	354,4	0	0
02	1 : 2 : 9	346,2	0	0
03	1 : 2 : 9	355,7	0	0
04	1 : 1 : 6	361,4	0	0
05	1 : 1 : 6	357,7	0	0
06	1 : 1 : 6	361,2	0	0
01	1 : 2 : 9	401,7	4 h após	Com 1/3
02	1 : 2 : 9	397,4	4 h após	Com 1/3
03	1 : 2 : 9	409,8	4 h após	Com 1/3
04	1 : 1 : 6	383,9	4 h após	Com 1/3
05	1 : 1 : 6	385,5	4 h após	Com 1/3
06	1 : 1 : 6	387,3	4 h após	Com 1/3
01	1 : 2 : 9	407,6	8 h após	Com 2/3
02	1 : 2 : 9	399,4	8 h após	Com 2/3
03	1 : 2 : 9	410,3	8 h após	Com 2/3
04	1 : 1 : 6	401,5	8 h após	Com 2/3
05	1 : 1 : 6	401,5	8 h após	Com 2/3
06	1 : 1 : 6	408,4	8 h após	Com 2/3
01	1 : 2 : 9	409,2	72 h após	Imerso
02	1 : 2 : 9	400,8	72 h após	Imerso
03	1 : 2 : 9	411,7	72 h após	Imerso
04	1 : 1 : 6	409,9	72 h após	Imerso
05	1 : 1 : 6	408,2	72 h após	Imerso
06	1 : 1 : 6	412,5	72 h após	Imerso

3.2.12 - Ensaio de compressão axial dos CP's de argamassa fraca e média

Foram ensaiados 4 corpos de prova (50 x 100 mm) de cada traço, todos com 28 dias. Os corpos de prova foram rompidos pela TECOMAT. Os resultados foram organizados na Tabela 3.11:

Tabela 3. 11 - Resultados dos ensaios de compressão axial dos CP's de argamassa

Traço	1:2:9	1:1:6
CP 1	925 Kgf – 4,7 Mpa	2000 Kgf – 10,2 MPa
CP 2	625 Kgf – 3,2 MPa	1875 Kgf – 9,6 MPa
CP 3	800 Kgf – 4,1 MPa	1900 Kgf – 9,7 MPa
CP 4	775 Kgf – 4,0 MPa	1325 Kgf – 6,8 MPa

3.2.13 - Ensaio de compressão diametral dos CP's de argamassa fraca e média

Foram ensaiados 3 corpos de prova (50 x 100 cm) de cada traço, todos com 28 dias. Os corpos de prova foram rompidos pela TECOMAT. Os resultados estão na Tabela 3.12:

Tabela 3. 12 - Resultados dos ensaios de compressão diametral dos CP's de argamassa

Traço	1:2:9	1:1:6
CP 1	500 Kgf	690 Kgf
CP 2	340 Kgf	720 Kgf
CP 3	230 Kgf	770 Kgf

3.2.14 - Granulometria das argamassas

As granulometrias das argamassas média e fraca estão apresentadas nas Tabelas 3.13 e 3.14, respectivamente. Os ensaios foram realizados pela Quartzolit.

Tabela 3. 13 - Granulometria da argamassa 1:1:6

	Peneira					
	#14	#28	#48	#100	#200	PRATO
% Retido	14,1	18,8	30,3	14,1	4,6	17,8

Tabela 3. 14 - Granulometria da argamassa 1:2:9

	Peneira					
	#14	#28	#48	#100	#200	PRATO
% Retido	15,7	19,7	31,3	14,5	4,7	13,8

3.2.15 - Variação dimensional das argamassas

As variações dimensionais das argamassas média e fraca estão apresentadas nas tabelas 3.15 e 3.16, respectivamente. Ensaios realizados pela Quartzolit.

Tabela 3. 15 - Variação dimensional da argamassa 1:1:6

Variações dimensionais (mm)						
CP	Inicial	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1	1,675		1,591	1,576	1,637	1,619
2	1,66		1,571	1,545	1,614	1,602
3	1,181		1,10	1,087	1,137	1,130
Variações 28 dias			-0,22 mm/m			

Tabela 3. 16 - Variação dimensional da argamassa 1:2:9

Variações dimensionais (mm)						
CP	Inicial	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1	*		*	*	*	*
2	1,393		1,592	1,534	1,549	1,508
3	1,580		1,866	1,803	1,841	1,867
Variações 28 dias			0,80 mm/m			

*Houve um problema com o CP 1 e seus resultados foram descartados.

3.2.16 - Variação de massa das argamassas

As variações de massa das argamassas média e fraca estão apresentadas nas Tabelas 3.17 e 3.18 respectivamente. Ensaio feito pela Quartzolit.

Tabela 3. 17 - Variação de massa da argamassa 1:1:6

Variações de massa (g)						
CP	Inicial	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1	349,3		336,66	336,5	337,24	338,75
2	346,9		335,900	335,77	337,57	338,06
3	346,7		334,98	334,88	335,54	337,00
Variações 28 dias-2,79		%	Dens. End. (g/cm ²):			2,16

Tabela 3. 18 - Variação de massa da argamassa 1:2:9

Variações de massa (g)						
CP	Inicial	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1						
2	346,3		330,800	331,23	332,08	333,72
3	344,4		323,90	324,35	325,28	327,13
Variações 28 dias -4,32		%	Dens. End. (g/cm ²):			2,11

3.2.17 - Densidade aparente das argamassas

As densidades aparentes das argamassas média e fraca, em estado de pó e fresca, estão apresentadas nas Tabelas 3.19 e 3.20, respectivamente. Ensaio efetuado pela Quartzolit.

Tabela 3. 19 - Densidade aparente da argamassa 1:1:6

Densidade aparente				
	Massa (g)	Tara (g)	Volume (cm ³)	Dens. (g/ cm ³)
Pó	1366,8	878,1	402,3	1,21
Fresca	$\frac{1}{2}$ 1672,2	878,1	402,3	1,97

Tabela 3. 20 - Densidade aparente da argamassa 1:2:9

Densidade aparente				
	Massa (g)	Tara (g)	Volume (cm ³)	Dens. (g/ cm ³)
Pó	1365	878,1	402,3	1,21
Fresca	$\frac{1}{2}$ 1671	878,1	402,3	1,97

3.2.18 - Retenção de água das argamassas

A retenção de água das argamassas média e fraca estão apresentadas nas tabelas 3.21 e 3.22 respectivamente. Ensaio realizado pela Quartzolit.

Tabela 3. 21 - Retenção de água da argamassa 1:1:6

Retenção de água			
Tara (g)	Arg.+Tara Inicial (g)	Arg.+Tara Final (g)	Retenção (g/ cm ³)
1324,8	2532,6	2465,6	93,66

Tabela 3. 22 - Retenção de água da argamassa 1:2:9

Retenção de água			
TARA (g)	Arg.+Tara Inicial (g)	Arg.+Tara Final (g)	Retenção (g/ cm ³)
1328,2	2497,9	2425,2	92,78

3.3 - Prismas

3.3.1 – *Confecção dos prismas*

Como o objetivo do experimento foi reproduzir o que é feito nas construções, os prismas foram confeccionados por um pedreiro com experiência e um ajudante. Foi reproduzida uma prática comum na construção de edifícios tipo caixão, o revestimento foi aplicado um dia após a aplicação do chapisco e a segunda camada do revestimento 3 dias após aplicação da primeira. Nem chapisco nem revestimento tiveram qualquer tipo de cura. A confecção e armazenagem foram realizadas em um anexo da Universidade Católica de Pernambuco, onde os prismas ficaram protegidos por uma coberta, sem paredes, até completar os 28 dias Figura 3.7.



Figura 3. 7 - Armazenamento dos prismas

Para garantir o máximo de precisão possível na execução dos revestimentos em relação à espessura, foram utilizados gabaritos de madeira. Para uma melhor identificação, foram marcadas as letras “F” para argamassa fraca e “M” para argamassa média, como mostra a figura 3.8. Os revestimentos de 3,0 cm foram executados em 2 camadas, pois quando executada em camada única esta se desprendia do prisma.



Figura 3. 8 - Aplicação do revestimento com o gabarito

Pereira (1995), mostrou em seu trabalho que argamassas apresentaram resistências de aderência superiores a 10% e 25%, respectivamente para cura úmida aos 3 dias e 7 dias, em relação à cura ao ar.

Para se ter uma idéia da cura que os prismas tiveram, tendo em vista que a mesma foi feita ao natural, foram obtidas as médias da temperatura e umidade da região através do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados obtidos estão condensados nos gráficos das Figuras: 3.9 e 3.10 para o mês de maio, 3.11 e 3.12 para o mês de junho e, 3.13 e 3.14 para o mês de Julho. Todos os gráficos foram fornecidos pelo Instituto.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
TEMPERATURAS DIÁRIAS

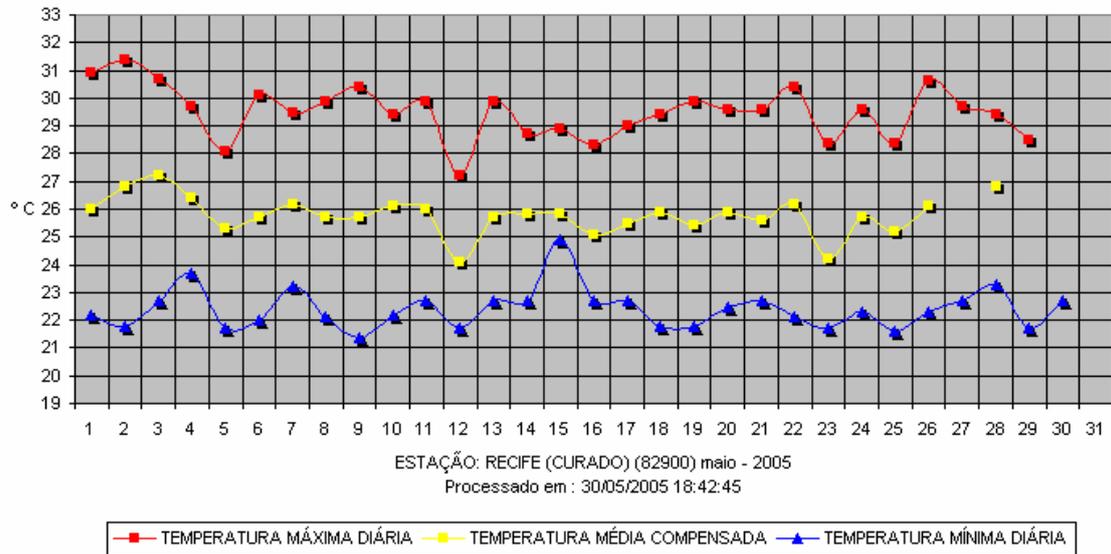


Figura 3. 9 - Temperaturas diárias do mês de maio de 2005

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
UMIDADE RELATIVA DO AR DIÁRIA X UMIDADE RELATIVA DO AR (NORMAL CLIMATOLÓGICA 61-90)

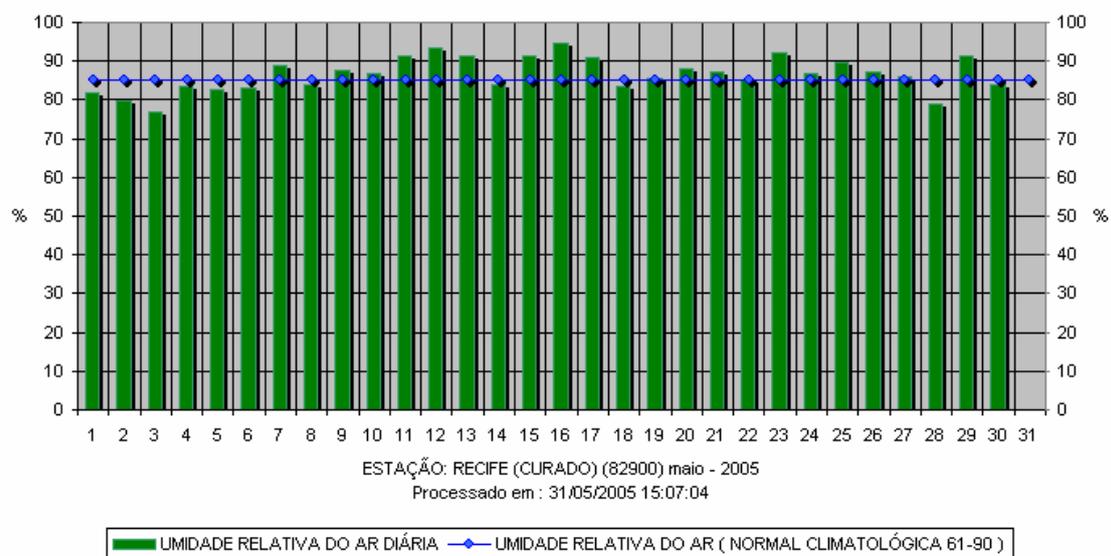


Figura 3. 10 - Umidades relativas do ar diária do mês de maio de 2005

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
TEMPERATURAS DIÁRIAS

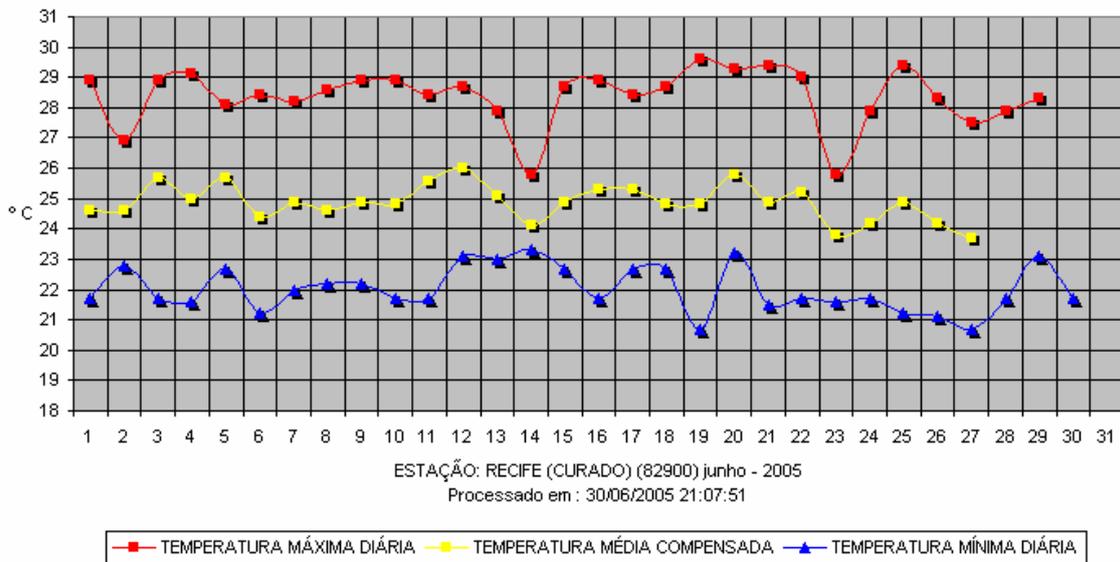


Figura 3. 11 - Temperaturas diárias de junho de 2005

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
UMIDADE RELATIVA DO AR DIÁRIA X UMIDADE RELATIVA DO AR (NORMAL CLIMATOLÓGICA 61-90)

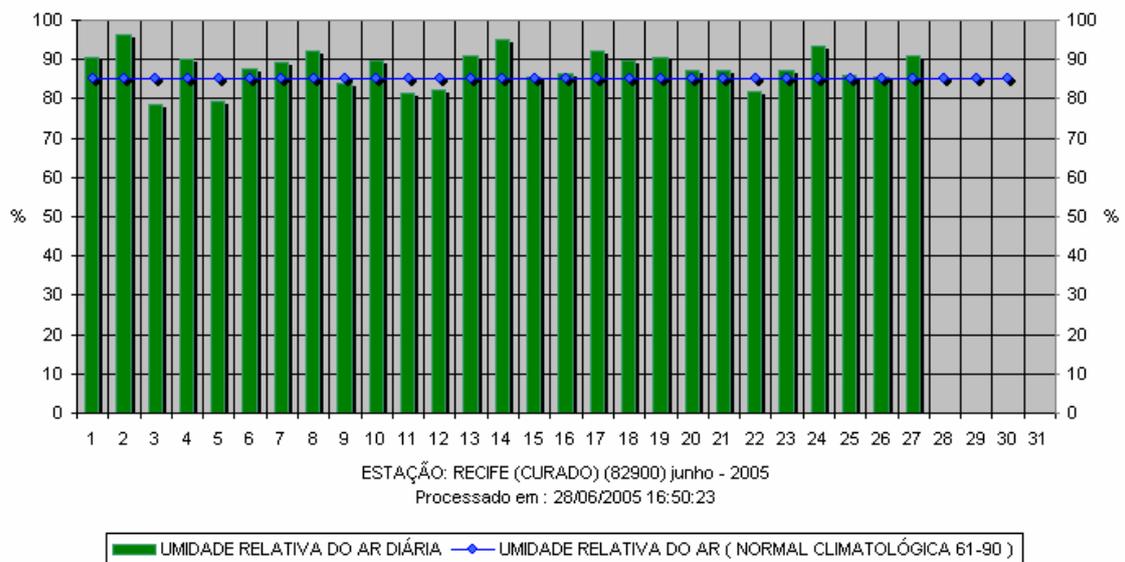


Figura 3. 12 - Umidades relativas do ar diária do mês de junho de 2005

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
TEMPERATURAS DIÁRIAS

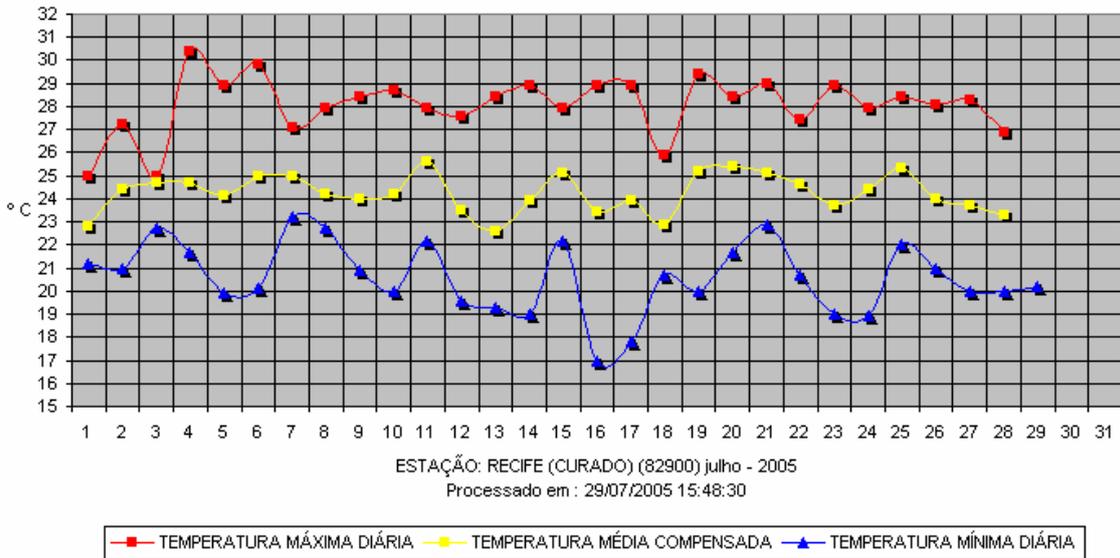


Figura 3. 13 - Temperaturas diárias de julho de 2005

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
UMIDADE RELATIVA DO AR DIÁRIA X UMIDADE RELATIVA DO AR (NORMAL CLIMATOLÓGICA 61-90)

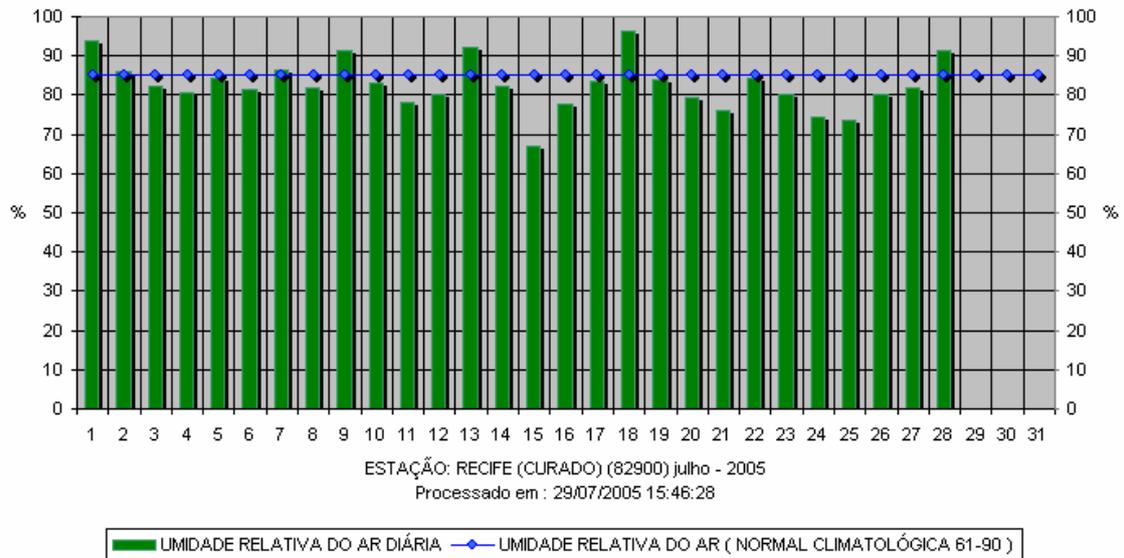


Figura 3. 14 - Umidades relativas do ar diária do mês de julho de 2005

3.3.2 - Transporte dos prismas

Os prismas, depois de passarem pelo menos 28 dias sem serem manuseados, foram levados ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Católica de Pernambuco um por um, como recomenda a norma NBR 8215 e como mostra a Figura 3.15.



Figura 3. 15 - Prisma pronto para ser transportado -

3.3.3 - Ensaio de compressão axial dos prismas

Os prismas foram capeados com pasta de cimento, numa superfície plana e impermeável como mostra a Figura 3.16.



Figura 3. 16 - Capeamento dos prismas

Para a transmissão de esforços da prensa para o prisma foram usadas 2 chapas de aço com espessura de 50 mm cada e dimensões que deixavam todo o prisma apoiado, para uma posterior identificação foi usada uma pequena chapa de madeira onde o número do prisma era indicado como mostra a Figura 3.17.



Figura 3. 17 – Chapas de aço usadas para transmissão de esforços na prensa

Os prismas foram ensaiados e todos os ensaios foram filmados e fotografados. Os prismas que não “desmoronaram” foram guardados como mostra a Figura 3.18 e depois cuidadosamente desmontados no intuito de tentar observar as fissuras internamente, como mostra a Figura 3.19. O procedimento gerou um acervo 398 fotos e 86 vídeos dos ensaios.



Figura 3. 18 - Prismas ensaiados armazenados



Figura 3. 19 - Prisma ensaiado "desmontado"

Como foi previsto, houve acidentes no transporte e armazenagem, fazendo com que descartássemos alguns prismas. Mesmo com as perdas, a amostra mais prejudicada ficou com 13 réplicas, número suficiente para assegurar um nível de significação superior a 95%. Para igualar o número de réplicas das amostras, foi calculada a média aritmética e descartados os valores mais afastados dela até que ficassem 13 réplicas. Na ocasião da confecção dos prismas com revestimento de 1,5 cm de argamassa fraca foram confeccionados 2 a mais por segurança, posto que eles ficaram durante os 28 primeiros dias mais expostos a acidentes, felizmente nenhum deles foi perdido e resolveu-se que todos seriam rompidos.

Capítulo 4

Ensaio

4.1 - Ensaio de resistência de aderência à tração

A aderência tem grande influência no comportamento do prisma sob compressão axial. Dela vai depender a maneira de interação entre bloco e emboço. O ensaio foi realizado para avaliação de possíveis influências nos resultados (Figura 4.1). A Tabela 4.1 mostra os resultados do ensaio de arrancamento feito no revestimento dos prismas.



Figura 4. 1 - Ensaio de arrancamento do revestimento dos prismas

Tabela 4. 1 - Resultados dos ensaios de arrancamento do revestimento dos prismas

Bloco	Esp. (cm)	Traço	Forma do Romp.	Res. (MPa)	Obs.
Concreto	1,5	Fraço	Emboço	0,28	
Concreto	1,5	Fraço	Emboço	0,31	
Concreto	1,5	Fraço	Emboço	0,23	
Concreto	1,5	Médio	Romp. o Bloco	0,55	
Concreto	1,5	Médio	Romp. o Bloco	0,34	
Concreto	1,5	Médio	Romp. o Bloco	0,47	
Concreto	3,0	Médio	Emboço	0,32	Entre Cam.
Concreto	3,0	Médio	Emboço	0,21	Entre Cam.
Concreto	3,0	Médio	Emboço	0,37	Entre Cam.
Concreto	3,0	Fraço	Emboço	0,21	Entre Cam.
Concreto	3,0	Fraço	Emboço	0,26	Entre Cam.
Concreto	3,0	Fraço	Emboço	0,26	Entre Cam.

Observou-se uma fragilidade na aderência entre camadas nos revestimentos de 3,0 cm, pois todos romperam nesse encontro. A aderência bloco x emboço foi maior que a resistência da argamassa fraça, fazendo com que a ruptura se desse no emboço. Nos prismas revestidos com argamassa média a ruptura se deu no bloco.

4.2 - Ensaio de compressão axial dos prismas

Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos citados na metodologia, as Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam os resultados das amostras.

Tabela 4. 2 - Resultados dos ensaios de compressão axial das amostras

Resultados dos ensaios de compressão axial					
Sem revestimento		Chapisco		F (1:2:9) / 1,5 cm	
Amostra	Carga de Ruptura (kgf)	Amostra	Carga de Ruptura (kgf)	Amostra	Carga de Ruptura (kgf)
68	9255	53	11293	31	17083
69	6638	54	9030	32	17731
70	10375	55	7802	33	18143
71	6477	56	13472	34	19245
72	10007	57	13087	35	19613
73	6941	58	10797	39	15355
74	11283	59	10797	40	21143
75	7339	60	11213	41	20886
76	8730	61	8136	42	16554
77	8712	62	10025	43	16893
78	9427	63	8248	45	18046
79	10613	64	10330	47	13243
80	7670	65	6015	48	19507
81	9118	66	9019	49	22871
82	11269	67	14775	50	16562
-	-	-	-	51	23234
-	-	-	-	52	19807
Média	8930,31		9882,08		18554,85
Desvio padrão	1453,59		2130,15		1586,75
Coef. de variação	0,16		0,22		0,09

Tabela 4. 3 - Resultados dos ensaios de compressão axial das amostras

Resultados dos ensaios de compressão axial					
M (1:1:6) / 1,5 cm		F (1:2:9) / 3,0 cm		M (1:1:6) / 3,0 cm	
Amostra	Carga de Ruptura (kgf)	Amostra	Carga de Ruptura (kgf)	Amostra	Carga de Ruptura (kgf)
23	24184	1	19368	3	22655
24	24100	2	20760	6	20454
25	25427	4	20976	13	23316
26	25741	5	17725	14	22134
27	23484	7	20454	15	22741
28	28205	8	19555	16	25634
29	22852	9	19989	17	26915
30	19708	10	17007	19	20569
37	22458	11	17675	21	17070
38	24792	12	19231	22	22167
44	25634	18	22201	83	31956
46	30747	20	21959	84	27070
87	24679	36	18895	85	25279
-	-	-	-	86	25328
-	-	-	-	88	*
Média	24770,08		19676,54		23179,38
Desvio padrão	2688,67		1607,47		2862,28
Coef. de variação	0,11		0,08		0,12

Os prismas destacados em laranja tiveram seus valores descartados segundo critério explicado na metodologia.

É pertinente chamar a atenção ao fato dos coeficientes de variação das amostras com revestimento variarem pouco e que para um mesmo tipo de argamassa são praticamente iguais mesmo que em espessuras diferentes. Isso comprova que as amostras foram feitas sob controle semelhante, não apresentando disparidades nas intensidades de variação.

Ocorreram dois problemas durante a execução dos ensaios: o prisma 59 teve resultado idêntico ao anterior e após desconfiança de que o marcador não havia sido zerado, o resultado foi descartado; por acidente o marcador foi zerado antes da leitura do prisma 88 e esse foi anulado.

A Figura 4.2 mostra as médias das cargas e a Tabela 4.4 mostra os incrementos verificados numa comparação simples das médias.

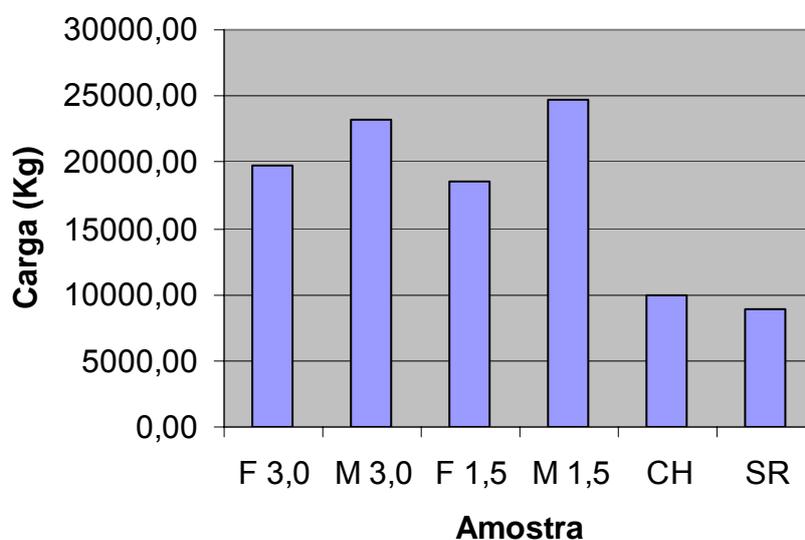


Figura 4. 2 - Médias das cargas de ruptura

Tabela 4. 4 - Comparação simples das médias

Comparação	Acréscimo (%)
Sem revestimento p/ CH	10,66
Sem revestimento p/ F 1,5 cm	107,77
Sem revestimento p/ F 3,0 cm	120,33
Sem revestimento p/ M 1,5 cm	177,37
Sem revestimento p/ M 3,0 cm	159,56
F 1,5 cm p/ F 3,0 cm	6,05
M 1,5 cm p/ M 3,0 cm	-6,42
F 1,5 cm p/ M 1,5 cm	33,50
F 3,0 cm p/ M 3,0cm	17,80

Para facilitar a comparação com pesquisas que utilizem tensão de ruptura como o valor comparativo, a Tabela 4.5 mostra as médias das tensões de ruptura.

Tipode revestimento	Média (kg/cm ²)	Desvio padrão	Coef. De variação
SR	25,42	4,63	0,18
Ch	27,72	6,33	0,23
F 1,5	37,35	5,09	0,14
F 3,0	32,06	3,03	0,09
M 1,5	49,57	5,37	0,11
M3,0	37,53	5,48	0,14

Tabela 4. 5 - Médias das tensões de ruptura

Os fatores de eficiência das amostras foram calculados, e apresentados na Tabela 4.6, para se ter mais um valor comparativo. Porém é importante salientar que, por se tratar de um bloco de vedação com baixa resistência à compressão esses valores serão mais altos que o comum. Nos casos em que o prisma tem revestimento, trata-se de uma extensão do conceito de eficiência, pois a eficiência é medida com prismas sem revestimento.

Amostra	Fator de eficiência
F 3,0	1,03
M 3,0	1,23
F 1,5	1,19
M 1,5	1,61
CH	0,90
SR	0,81

Tabela 4. 6 - Fatores de eficiência

Os fatores de eficiência acima de 1 provam que a resistência dos blocos foi alcançada, justificando algumas rupturas no bloco. Dois fatores contribuíram para esses valores altos, a baixa resistência dos blocos e o acréscimo de carga suportado pela argamassa de revestimento.

Capítulo 5

Análise e interpretação dos resultados

5.1 - Análise estatística

5.1.1 - Análise de variância

Utilizou-se a análise de variância para testar a hipótese de que diferentes revestimentos não afetam a resistência média à compressão dos prismas, Tabela 5.1.

As hipóteses são:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ para no mínimo um } i.$$

Em outras palavras, a hipótese testada (hipótese nula) é que independente do tratamento, entenda-se por tratamentos os tipos de revestimentos testados e a ausência deles, a resistência à compressão axial do prisma não varia.

Nesse caso, rejeita-se H_0 se $f_0 > f_{\alpha; a-1; a(n-1)}$. Sendo f_0 calculado e $f_{\alpha; a-1; a(n-1)}$ tabelado.

$$f_{0,01; 5; 72} \approx 3,33$$

Tabela 5. 1 - Análise de variância para os dados da resistência à compressão

Fonte de Variação	soma quadrática	Graus de liberdade	Médias quadráticas	F_0
Revestimento	2891613644,10	5	578322728,82	127,69
Erro	326085552,62	72	4528966,01	
Total	3217699196,72	77		

$f_0 = 127,69$, logo, rejeita-se H_0 e conclui-se que o revestimento afeta significativamente a resistência à compressão dos prismas.

A análise de variância foi o primeiro procedimento realizado, pois, poderia indicar que os tratamentos analisados não demonstraram influência na resistência dos prismas descartando a hipótese mestra do trabalho. Para isso o f_0 calculado teria que ter um valor menor ou igual ao $f_{0,01; 5; 72}$ encontrado numa tabela de estatística f. Quanto mais afastado do valor da tabela, maior a influência dos tratamentos sobre a variável analisada. O resultado corroborou com a hipótese da pesquisa provando através da estatística a grande influência do revestimento na resistência do prisma.

5.1.2 - Método de Fisher da Mínima Diferença Significativa. (MDS)

O método MDS de Fisher compara todos os pares de médias com as hipóteses nulas $H_0: \mu_i = \mu_j$, (para todo $i \neq j$), usando a estatística t, Montgomery (2001).

$$t_0 = \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_j}{\sqrt{\frac{2MQ_e}{n}}}$$

Onde:

t_0 – estatística t calculada

\bar{y}_i – média do i-ésimo tratamento

\bar{y}_j – média do j-ésimo tratamento

MQ_e – Média quadrática do erro

n – Número total de réplicas

O par de médias μ_i e μ_j será declarado significativamente diferente se:

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > \text{MDS}$$

em que MDS, a mínima diferença significativa, é

$$MDS = t_{\alpha/2, a(n-1)} \sqrt{\frac{2MQ_e}{n}}$$

onde:

$t_{\alpha/2, a(n-1)}$ - É a estatística t tabelada

α - É o mesmo definido para o experimento (significância)

a - É o número de tratamentos

n - É o número total de réplicas no experimento

A Tabela 5.2 apresenta as comparações das médias das amostras e estão em destaque as comparações nas quais não se pôde detectar uma diferença significativa, onde:

M 3 - Prismas com revestimento de 3 cm de espessura e traço médio;

F 3 - Prismas com revestimento de 3 cm de espessura e traço fraco;

M 1,5 - Prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e traço médio;

F 1,5 - Prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e traço fraco

CH - Prismas com chapisco;

SR – Sem revestimento.

Tabela 5. 2 - Comparações das médias dos ensaios de compressão dos prismas

Comparações	Diferença
M 3 vs. F 3	3502,85 > 2212,02
M 3 vs. M 1,5	-1590,69 < 2212,02
M 3 vs. F 1,5	4624,54 > 2212,02
M 3 vs. Ch	13297,31 > 2212,02
M 3 vs. SR	14249,08 > 2212,02
F 3 vs M 1,5	-5093,54 > 2212,02
F 3 vs. F 1,5	1121,69 < 2212,02
F 3 vs. Ch	9794,46 > 2212,02
F 3 vs. SR	10746,23 > 2212,02
M 1,5 vs. F 1,5	6215,23 > 2212,02
M 1,5 vs. Ch	14888,00 > 2212,02
M 1,5 vs. SR	15839,77 > 2212,02
F 1,5 vs. Ch	8672,77 > 2212,02
F 1,5 vs. SR	9624,54 > 2212,02
Ch vs. SR	951,77 < 2212,02

O método de Fisher, em outras palavras, verifica se o acréscimo detectado no tratamento é significativo ou pode ter sido gerado por uma dispersão de uma mesma população, assim sendo, obteve-se os seguintes resultados através do método supracitado:

a) a resistência da argamassa influenciou significativamente à resistência à compressão dos prismas independentemente da espessura do revestimentos, nas hipóteses de traços fraco e médio;

b) o chapisco não apresentou acréscimo significativo na resistência à compressão do prisma em relação ao prisma sem revestimento;

c) A espessura do revestimento não se mostrou influenciador da resistência à compressão dos prismas nas condições do experimento.

d) Não obstante, todos os tratamentos geraram acréscimo na resistência à compressão dos prismas como foi verificado no capítulo 4 na Tabela 4.4.

Nos prismas o revestimento de 1,5 cm teve desempenho semelhante ao de 3,0 cm, porém há de se levar em consideração que alguns parâmetros, contemplados pela norma NBR 10837, não estão computados nesses resultados. Como exemplo pode-se fazer uma simulação de cálculo da resistência da alvenaria à compressão usando os dados das amostras de tratamentos nu, com 1,5 cm de argamassa fraca e com 3,0 cm de argamassa fraca. O cálculo dessa resistência se dá pela seguinte fórmula:

$$P_{alv} = 0,20f_{pm} \left[1 - \left(\frac{h}{40t} \right)^3 \right] A$$

$$f_{pm}A = P_{up}$$

Onde:

P_{alv} – Carga admissível da parede de alvenaria;

f_{pm} – Resistência média dos prismas (nu);

h – Altura da parede;

t – Espessura da parede.

P_{up} - Carga de ruptura do prisma

Supondo uma parede de 280 cm de altura, e usando a média da amostra de prismas nus temos:

$$P_{up} = 8930,31\text{kg}$$

$$h = 280\text{cm}$$

$$t = 9\text{cm}$$

$$P_{alv} = 0,20 \times 8930,31 \times 0,53 = 946,61\text{kg}$$

Agora usando a média da amostra de prismas com revestimento de 1,5 cm de argamassa fraca:

$$P_{up} = 18554,85\text{kg}$$

$$h = 280\text{cm}$$

$$t = 12\text{cm}$$

$$P_{alv} = 0,20 \times 18554,85 \times 0,80 = 2968,78\text{kg}$$

Com a média da amostra de prismas com revestimento de 3,0 cm de argamassa fraca obtém-se:

$$P_{up} = 19676,54\text{kg}$$

$$h = 280\text{cm}$$

$$t = 15\text{cm}$$

$$P_{alv} = 0,20 \times 19676,54 \times 0,90 = 3541,78\text{kg}$$

Houve um incremento na carga de ruptura de mais de 213% em ambas as simulações com utilização de argamassa. Nesse caso o revestimento de 3,0 cm teve maior eficiência, com resultado 19,3% maior que o de 1,5 cm.

5.2 – Análise física

5.2.1 – tipos característicos de ruptura

Foram identificados 5 tipos de ruptura dos blocos e 4 tipos da argamassa, para identificar cada tipo de ruptura serão usados números representa-los e assim, condensar a informação em gráficos para cada amostra.

Os números que representarão os tipos de ruptura serão:

Tipo 1 – Ruptura do bloco em “v” por cisalhamento, Figura 5.1.



Figura 5. 1 - Ruptura do bloco em "V" (Tipo 1)

Tipo 2 – Ruptura do bloco por múltiplas fraturas em diversas direções, Figura 5.2.



Figura 5. 2 - Ruptura do bloco por múltiplas fraturas em diversas direções (Tipo 2)

Tipo 3 – Ruptura do bloco com fissura diagonal, por cisalhamento, Figura 5.3.



Figura 5. 3 – Ruptura do bloco com fissura diagonal, por cisalhamento (Tipo 3)

Tipo 4 – Ruptura com fissura vertical no meio do bloco, Figura 5.4.



Figura 5. 4 - Ruptura com fissura vertical no meio do bloco (Tipo 4)

Tipo 5 – Ruptura com fissuras mínimas e sem direção definida nos blocos,
Figura 5.5.



Figura 5. 5 - - Ruptura com fissuras mínimas e sem direção definida nos blocos (Tipo 5)

Tipo X.1 – Ruptura tipo X nos blocos e revestimento com fissura diagonal e descolamento, por exemplo: 4.1 = ruptura com fissura vertical no meio do bloco e revestimento com fissura diagonal e descolamento, Figura 5.6.



Figura 5. 6 - Ruptura com fissura vertical no meio do bloco e revestimento com fissura diagonal e descolamento (Tipo 4.1)

Tipo X.2 – Ruptura tipo X no bloco e descolamento entre camadas da argamassa, por exemplo: 4.2 = ruptura com fissura vertical no meio do bloco e descolamento entre camadas da argamassa, Figura 5.7.



Figura 5. 7 - Ruptura com fissura vertical no meio do bloco e descolamento entre camadas da argamassa (Tipo 4.2)

Tipo X.3 - Ruptura tipo X no bloco e descolamento do revestimento e ruptura do mesmo por flexo-compressão, por exemplo: 3.3 = ruptura com fissura diagonal, por cisalhamento e descolamento do revestimento e ruptura do mesmo por flexo-compressão, Figura 5.8.



Figura 5. 8 - Ruptura com fissura diagonal, por cisalhamento e descolamento do revestimento e ruptura do mesmo por flexo-compressão (Tipo 3.3)

Tipo X.4 - Ruptura tipo X no bloco e descolamento entre camadas da argamassa, com ruptura por flexo-compressão, por exemplo: 5.4 = ruptura com fissuras mínimas e sem direção definida nos blocos e com descolamento entre camadas da argamassa, com ruptura por flexo-compressão, Figura 5.9.



Figura 5. 9 - Ruptura com fissuras mínimas e sem direção definida nos blocos e com descolamento entre camadas da argamassa, com ruptura por flexo-compressão (Tipo 5.4)

A representatividade de cada tipo de ruptura nas amostras está apresentada na Figura 5.10

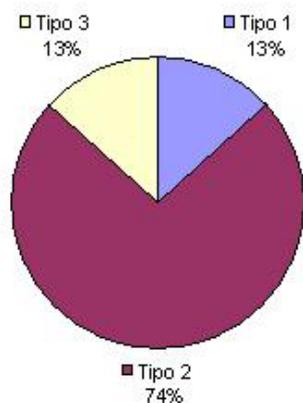
É importante salientar que:

o agrupamento dos tipos de ruptura teve o intuito de melhor visualizar como se comportaram os prismas, mas as rupturas aconteceram das mais diversas formas, sendo agrupadas por características em comum;

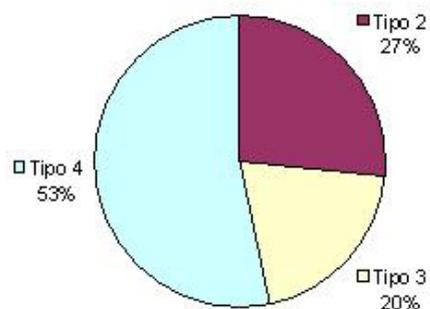
os descolamentos ocorreram algumas vezes na interface chapisco/revestimento, Figura 5.11;

Assistindo algumas vezes aos vídeos dos ensaios, observou-se que apesar dos prismas de 1,5 e 3,0 cm de revestimento haverem apresentado em muitos casos rupturas que envolvem o descolamento do revestimento, essas aconteceram de formas diferentes. Nos prismas de 1,5 cm eram mais rápidas e aparentemente o descolamento que havia era decorrente do esforço gerado pela ruptura de cisalhamento, Figura 5.12. Nos de 3,0 cm era gradativa e o descolamento em alguns casos se mostrava antes da ruptura por cisalhamento, Figura 4.13.

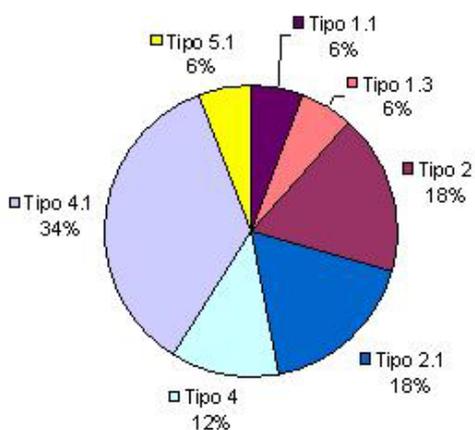
Tipos de ruptura dos prismas sem revestimento



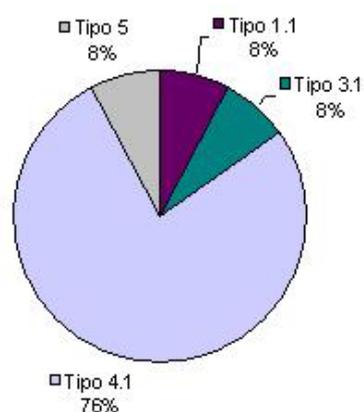
Tipos de ruptura dos prismas com chapisco



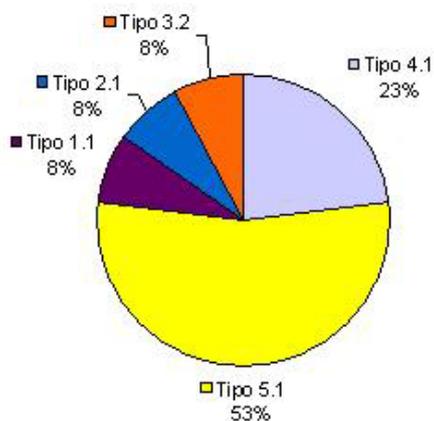
Tipos de ruptura dos prismas f 1,5



Tipos de ruptura dos prismas m 1,5



Tipos de ruptura dos prismas f 3,0



Tipos de ruptura dos prismas m 3,0

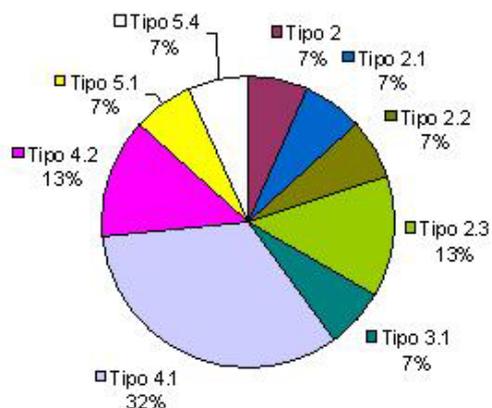


Figura 5. 10 - Gráficos de representatividade dos tipos de ruptura nas amostras



Figura 5. 11 - Descolamento revestimento/chapisco

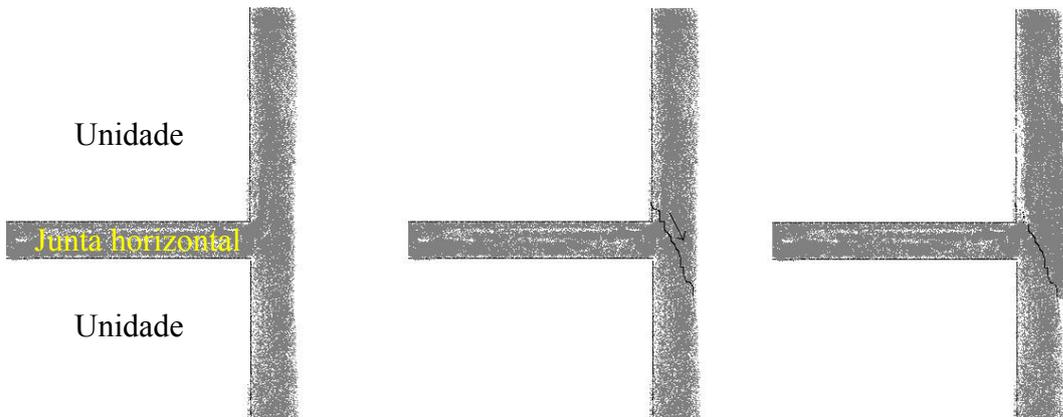


Figura 5. 12 - Descolamento típico nos prismas com 1,5 cm de revestimento

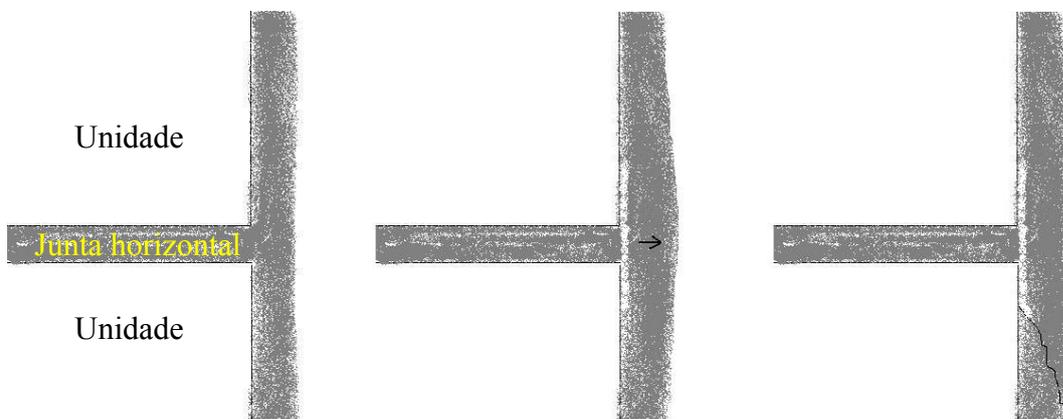


Figura 5. 13 - Descolamento típico dos prismas com 3,0 cm de revestimento

Quanto à forma que a ruptura se deu, a Figura 5.14 mostra a parcela relativa à rupturas bruscas em cada amostra com revestimento.

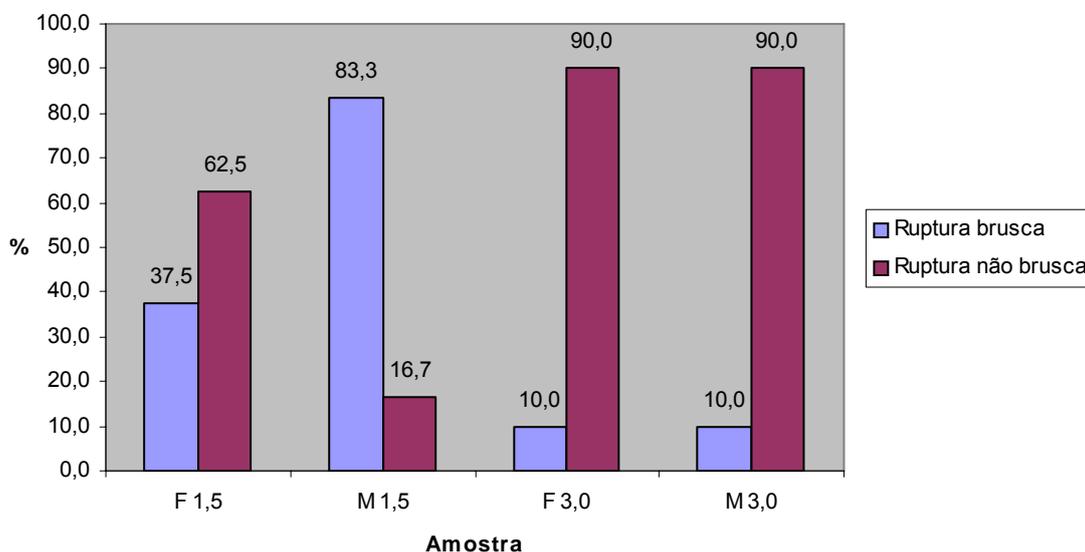


Figura 5. 14 - Modo de ruptura

Na “desmontagem” dos prismas foi detectado que na maioria das vezes as fissuras que se apresentavam na frente se estendiam pelo interior e inclusive no septo central, Figuras 5.15 e 5.16. Semelhante ao que Oliveira (2001) descreveu ter percebido em seu experimento, as fissuras atravessaram revestimento e blocos.



Figura 5. 15 - Prisma desmontado no qual as fissuras o atravessaram



Figura 5. 16 - Prisma desmontado com fissura propagada pelo bloco

Apesar de na verificação do método de Fisher não haver sido detectada diferença significativa na resistência à compressão entre as amostras com tratamento “sem revestimento” e “com chapisco”, o comportamento dos prismas no que diz respeito ao tipo mais comum de ruptura mudou. Na amostra de prismas sem revestimento 74% das rupturas foram decorrentes do “esmagamento do bloco” (ruptura tipo 2), enquanto na amostra de prismas chapiscados apenas 27% romperam desta maneira, sendo o “fendilhamento do bloco” (ruptura tipo 4) o tipo mais comum de ruptura, acontecendo em 56% das réplicas.

A resistência da argamassa de revestimento nos prismas também mudou o padrão de ruptura. Nos prismas com revestimento de 3,0 cm, a amostra com revestimento de argamassa fraca teve 53% dos prismas rompidos por esmagamento da argamassa, enquanto na de argamassa média foram 14% dos prismas. Na de argamassa fraca apenas 23% romperam por fendilhamento dos blocos e a de argamassa média teve 45% dos prismas rompidos assim. No caso das amostras de prismas com revestimento

de 1,5 cm também foi aumentada a incidência do fendilhamento dos blocos, passando de 46% na de argamassa fraca para 76% na de argamassa média.

A provável causa da menor aderência do revestimento de 3,0 cm é a maior dificuldade de se garantir a integridade da interface, visto que sua maior massa sob ação da gravidade compromete a aderência ainda no estado fresco. Como foi exposto anteriormente, esses foram confeccionados em duas camadas, pois numa só camada a massa descolava do bloco e caía, durante a execução. Mesmo confeccionados em duas camadas, a interface pode ter sido comprometida por propositalmente não ter sido respeitado um tempo mínimo entre aplicação das camadas, podendo dessa forma, a segunda camada ter sido aplicada num tempo tal que as reações já ocorridas na interface foram suficientes para segurar a massa, porém as que ainda aconteceriam foram comprometidas.

Apesar das amostras de maior resistência média apresentarem maior número de rupturas por fendilhamento do bloco (ruptura tipo 4), nas amostras as réplicas com maiores resistência não necessariamente romperam dessa forma, logo não fica claro se esse tipo de ruptura corresponderia às maiores resistências.

Quase a totalidade dos prismas apresentou sinais de dano antes da carga última, na maioria das vezes as fissuras surgiam e a medida que carga continuava a subir mais fissuras apareciam ou progrediam. O que deve ter ocorrido no edifício Ijuí e permitiu a saída dos ocupantes antes do colapso.

Os prismas com revestimento de 1,5 cm apresentaram maior incidência de rupturas bruscas.

Os padrões de ruptura foram semelhantes aos das paredinhas do trabalho de Oliveira (2001).

Capítulo 6

Conclusões

- O revestimento aumenta efetivamente a resistência à compressão dos prismas, como ficou comprovado no teste de análise de variância e no fato de todos os tratamentos com revestimento apresentarem um melhor desempenho dos prismas no ensaio;
- Quanto à espessura do revestimento, a de 1,5 cm foi mais eficiente que a de 3,0 cm no que se refere à contribuição para a resistência à compressão axial, decorrente da deficiência da aderência da argamassa de revestimento ao chapisco quando essa tinha 3,0 cm;
- Uma maior resistência da argamassa aumentou a probabilidade de acontecer uma ruptura por fendilhamento dos blocos nos prismas e elevou as suas resistências à compressão axial;
- A aderência da argamassa de revestimento se mostrou um ponto de fragilidade, principalmente nos prismas nos quais o revestimento tinha 3,0 cm de espessura;
- O controle na execução mostrou-se fator importante na qualidade da aderência do revestimento ao bloco, principalmente em revestimentos de maior espessura;
- Nos prismas com blocos de vedação utilizados nessa pesquisa ocorreu a ruptura por esmagamento dos blocos, mostrando que nesse caso a resistência à compressão do bloco foi alcançada;

- O revestimento de 3,0 cm mostrou-se mais seguro que o de 1,5 cm, com uma menor incidência de rupturas bruscas;
- Foram identificados os seguintes tipos de ruptura:
 - ruptura do bloco em “V”, por cisalhamento do prisma;
 - ruptura do bloco por múltiplas fraturas em diversas direções;
 - ruptura com fissura diagonal, por cisalhamento;
 - ruptura com fissura vertical no meio do bloco;
 - ruptura com fissuras mínimas e sem direção definida nos blocos.

Sugestões para futuros trabalhos

- Um complemento importante para a utilização prática dos conhecimentos gerados nesse trabalho é o estudo da transferência desses resultados dos prismas para paredes já executadas;
- Gomes et al (1995) desenvolveu procedimentos baseados em ensaios não destrutivos para avaliação das condições de revestimentos externos e os testou em edifícios em Lisboa obtendo bons resultados. No mesmo segmento, Gomes e Carvalho (1997) verificaram a utilização de microscopia eletrônica de varredura e Gomes (1997) a ultrasonografia, ambos se mostraram bons instrumentos de avaliação. Seria importante testar esses procedimentos nas condições brasileiras e adaptar ou comprovar sua eficácia para ter meios de mensurar as condições do revestimento e suas possíveis contribuições na ocasião de uma avaliação de um edifício tipo caixa;
- Tendo em vista que nesse experimento blocos e revestimento receberam carga simultaneamente e que na prática o revestimento é aplicado com os blocos já sob compressão, verificar a influência desse fato sobre a resistência em experimentos semelhantes;
- Estudo comparativo entre tipo de ruptura e resistência à compressão axial a fim de se verificar a existência de correlações entre esses;
- Analisar se existe uma espessura ótima de revestimento.
- Analisar a influencia do revestimento através de modelo teórico pelo método dos elementos finitos.

Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, ASTM C67 – 03a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR 7184 - *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). NBR 8215 – *Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 6467 – *Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). NBR 10837 – *Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) NBR 7222 – *Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). NBR 6136 – *Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995) NBR 13279 – *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995) NBR 13528 – *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995).NBR 13279 - *Argamassa - determinação da resistência à compressão - método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) NBR 9778 – *Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- BAUER, R. J. F. (1997). *Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica*. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador.

- CARASEK, H. (1997). *Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas*. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. (2001). *Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa*. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília.
- CARVALHO Jr., A. N.; SILVA, A. P. & FRANÇA, E. P. (1995). *Estudo comparativo entre argamassas de cimento e argamassas mistas de cimento e cal para uso em emboço*. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia.
- CASCUDO, O. & CARASEK, H. (1994). *O saibro nas argamassas de assentamento – estudo de trabalhabilidade e comportamento no estado endurecido – parte 1*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis.
- COSTA, M. R. M. M.; FRANCO, L.S.; BARROS, M. M. B. & SABBATINI, F. H. (1994). *Desenvolvimento de ensaios para avaliação do comportamento da alvenaria de blocos de concreto celular autoclavados em estruturas reticuladas*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis.
- GOMES, A. M. (1997). *a utilização da ultrassonografia na avaliação das propriedades mecânicas dos revestimentos de paredes através de ensaios “in situ”*. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador.
- GOMES, A. M.; APPLETON, J. A. S.; NERO, J. M. G. (1995). *Metodologia para diagnóstico de rebocos exteriores dos edifícios à base de ligantes hidráulicos através de ensaios “in situ”*. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia.
- GOMES, A. M.; CARVALHO JR., A. N. (1997). *Estudo de argamassas de revestimento ao microscópio eletrônico de varredura*. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador.
- GOMES, I. R. (2001). *Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface*. 160p. pós-graduação em engenharia civil. UFSC, Florianópolis.
- GUTIERREZ, N. H. M.; MARTINS, D. das N.; PIETROBON, C. E. & PIETROBON, C. L. da R. (1994). *Caracterização física de componente alternativo industrializado: bloco vazado auto-portante em solo-cimento*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis.
- HOROWITZ, B.; ARAÚJO, E. da R. & OLIVEIRA, R. A. (1981). *O processo da alvenaria estrutural aplicado à habitação popular do tipo multifamiliar*. Governo do estado de Pernambuco – Secretaria de Habitação.

INMET. <http://www.inmet.gov.br/produtos> . 28/10/2005.

MEDEIROS, J. S. & SABBATINI, F. H. (1994). *Estudo sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis.

MONTGOMERY, D. C. & RUNGER, G. C. (2003). *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2º ed. Rio de Janeiro, LTC.

MOTA J. M. F, et. al. (2005). *Análise das propriedades de concretos dosados com cimento Portland cinza e cimento branco, aditivo poliacarboxilatos e a fração graúda de uma composição granulométrica ternária*. In: Instituto Brasileiro do Concreto. Anais. Recife: IBRACON, Recife.

OLIVEIRA, F. L. & HANAI, J. B. (2002) *Análise do comportamento de paredes de alvenaria construídas com blocos cerâmicos de vedação*. VII International Seminar on structural masonry for developing countries, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, F. L. (2001). *Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada*. 203p. Tese de doutorado. EESC-USP, São Carlos.

OLIVEIRA, R. A. & PIRES SOBRINHO, C. W. A. (2005). *Acidentes com prédios em alvenaria resistente na região metropolitana do recife*. 6p. Dams Truc, João Pessoa.

PEREIRA, P. C.; CARASEK, H. & FRANCINETE JR., P. (2005). *Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas*. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis.

RAGO, F.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. C. & PASSOS GUIMARÃES, J. E. (1994). *Desempenho de argamassas de revestimento mistas e aditivadas – metodologia de avaliação*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis.

RAMALHO, M.A. & CORRÊA, M. R. S. (2003) *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1º ed. São Paulo, PINI.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. & FARIA, M.S. (199?). *Alvenaria estrutural – diretrizes básicas para projeto*. UFSC, Florianópolis.

SCARTEZINI, L. M. & CARASEK, H. (2003). *Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas*. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo.

SILVA, A. S. R.; SARAIVA, A. G.; AZEVEDO, M. T. & MOTA, R. M. (2001). *Avaliação da durabilidade de argamassa de revestimento – estudo comparativo*. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília.

SILVA, V.S.; LIBORIO, J. B. L. (2005). *Análise microestrutural da interface chapisco/argamassa*. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Florianópolis.