

NARCISO GONÇALVES DA SILVA

**ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E
AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção de grau de Mestre,
pelo Programa de Pós-Graduação em
Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor
de Tecnologia, da Universidade Federal
do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Vicente Coney
Campiteli**

**CURITIBA
2006**

TERMO DE APROVAÇÃO

NARCISO GONÇALVES DA SILVA

**ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E
AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – UFPR

Prof. Dr. José Adelino Krüger
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – UFPR

Prof^a. Dr^a. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – UFPR

Prof. Dr. Vanderley Moacyr John
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Curitiba, 15 de março de 2006

À Deus, aos meus pais, Glicério e
Josélia, à Mara Lúcia e aos meus
filhos, Evelyn e Gustavo

AGRADECIMENTOS

Em especial agradeço ao Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli pela sua orientação, incentivo, conduta ética, pelo qual com dedicação, eficiência e presteza transmitiu seus conhecimentos e experiências.

Aos professores do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC pela colaboração na disponibilização de equipamentos para ensaios. Aos amigos do Departamento Acadêmico de Matemática – DAMAT da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR pelo incentivo e apoio.

Ao Prof. Vanderley M. John, Renata Monte e Reginaldo Mariano da Silva da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que viabilizaram a realização do ensaio de módulo de elasticidade e, também, a Prof^ª. Silvia Selmo, Pedro Bastos e Valéria pelos materiais de apoio.

Ao Prof. Paulo Chamecki, Douglas, João Bosco, Amauri, Eustáquio, Fabiano, Gilson, Marcelo, Zorzi, Anivo, João, estagiário Alan, todos do LAME/LACTEC e ao Celso e Valdevan do Laboratório de Solos.

Ao Paulo do laboratório da Universidade Estadual de Ponta Grossa que muito me ensinou e ajudou na realização dos ensaios.

Ao Luis Carlos e Jorge dos Santos pela confecção das paredes de alvenaria e revestimentos dos painéis.

Ao Prof. José Manoel dos Reis Neto do LAMIR/UFPR e seus funcionários pelo empréstimo de equipamentos e realização do ensaio de análise mineralógica.

A todos os professores e colegas do PPGCC da UFPR, em especial, ao Prof. Ney e Prof. Mauro Lacerda pela apoio para realização do estudo experimental.

Às secretárias, Ziza do PPGCC, Maristela do CESEC, Cris do LAME, Graça do DAMAT, Deise do setor de periódicos da UTFPR e às bibliotecárias da UFPR pela colaboração, incentivo e paciência com que me agüentaram todos esses meses.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente colaboraram e à minha família que rezaram e torceram pela realização deste trabalho.

“A experiência não falha nunca, falham somente os nossos juízos”

Leonardo da Vinci

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	01
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	04
1.2.1	Ambiental.....	04
1.2.2	Econômica.....	05
1.2.3	Tecnológica.....	07
1.3	OBJETIVO E HIPÓTESE.....	08
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	08
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	09
2.1	HISTÓRICO.....	09
2.2	CONCEITO DE ARGAMASSA E REVESTIMENTO.....	09
2.3	MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA MISTA.....	10
2.3.1	Cimento.....	11
2.3.2	Cal.....	11
2.3.3	Agregados Miúdos.....	14
2.4	FUNÇÕES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	18
2.5	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	18
2.5.1	Consistência.....	18
2.5.2	Trabalhabilidade.....	20
2.5.3	Coesão e Tixotropia.....	20
2.5.4	Plasticidade.....	21
2.5.5	Retenção de Água.....	21
2.5.6	Adesão Inicial.....	21
2.5.7	Aderência no Estado Endurecido.....	22
2.5.8	Elasticidade.....	23
2.6	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	25
2.6.1	Argamassa de Cal.....	26
2.6.2	Argamassa de Cimento.....	26
2.6.3	Argamassa Mista.....	26

2.7	DOSAGEM DAS ARGAMASSAS	27
2.8	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	28
2.8.1	Classificação MERUC	28
2.8.2	Classificação Segundo NBR 13281	29
2.9	CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	32
2.9.1	Emboço	33
2.9.2	Reboco.....	33
2.9.3	Massa Única.....	33
2.9.4	Chapisco.....	34
2.10	PATOLOGIAS DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	34
2.11	ALGUNS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NO SURGIMENTO DE FISSURAS NO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	37
2.11.1	Falta de Aderência do Revestimento.....	38
2.11.2	Retração.....	41
3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	44
3.1	OBJETIVO	44
3.2	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS EM VOLUME DE MATERIAIS SECOS	44
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	47
3.3.1	Cimento	47
3.3.2	Cal	47
3.3.3	Agregados Miúdos	48
3.4	CONFEÇÃO DAS PAREDES DE ALVENARIA E DOS PAINÉIS	50
3.5	TRANSFORMAÇÃO DE TRAÇO EM VOLUME PARA MASSA.....	51
3.6	PREPARO DAS ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS DOS PAINÉIS	53
3.7	ENSAIOS REALIZADOS.....	54
3.7.1	Argamassa no Estado Fresco	54
3.7.1.1	Teor de água e índice de consistência.....	54
3.7.1.2	Teor de ar aprisionado	55
3.7.1.3	Retenção de água	55
3.7.2	Argamassa no Estado Endurecido.....	56
3.7.2.1	Resistência à compressão.....	56
3.7.2.2	Resistência à tração na flexão	57
3.7.2.3	Densidade de massa no estado endurecido	58
3.7.2.4	Absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	58

3.7.2.5	Absorção de água por capilaridade	58
3.7.2.6	Módulo de elasticidade	59
3.7.3	Revestimentos	61
3.7.3.1	Resistência de aderência à tração	61
3.7.3.2	Absorção de água pelo método do cachimbo	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	63
4.2	DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO	66
4.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA FLEXÃO	69
4.4	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	74
4.5	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	78
4.6	MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	80
4.7	ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	86
4.8	ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO	89
4.9	AVALIAÇÃO DA FISSURAÇÃO	91
4.10	RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS	94
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
5.1	CONCLUSÕES DOS ENSAIOS REALIZADOS	95
5.2	CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL	96
5.2.1	Quanto ao Tipo de Areia.....	96
5.2.2	Quanto ao Teor de Água	98
5.2.3	Quanto ao Teor de Material Pulverulento	98
5.3	VALIDAÇÃO DA HIPÓTESE	98
5.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	112
	APÊNDICE B - ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA.....	116
	APÊNDICE C - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS.....	119
	APÊNDICE D - DOSAGEM DAS ARGAMASSAS.....	120
	APÊNDICE E - RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO E TEOR DE AR APRISIONADO.....	122
	APÊNDICE F - RESULTADOS DO ENSAIO DE RETENÇÃO DE ÁGUA.....	125
	APÊNDICE G - RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	127

APÊNDICE H	- RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRACÇÃO NA FLEXÃO.....	130
APÊNDICE I	- RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRACÇÃO.....	131
APÊNDICE J	- RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	133
APÊNDICE K	- RESULTADOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DA ONDA ULTRASSÔNICA E DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	137
APÊNDICE L	- RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	140
APÊNDICE M	- RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA – NBR 9778.....	148
APÊNDICE N	- RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....	155
APÊNDICE O	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	161

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	BALANÇO DO CONSUMO-PRODUÇÃO DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (FONTE: ANEPAC – DNPM/DIRIN).....	01
FIGURA 2	ZONA UTILIZÁVEL INFERIOR – FORNECE LIMITES INFERIOR E SUPERIOR PARA AGREGADOS MIÚDOS COM MÓDULO DE FINURA QUE VARIA DE 1,55 A 2,20.....	16
FIGURA 3	ZONA ÓTIMA – FORNECE LIMITES INFERIOR E SUPERIOR PARA AGREGADOS MIÚDOS COM MÓDULO DE FINURA QUE VARIA DE 2,20 A 2,90.....	16
FIGURA 4	ZONA UTILIZÁVEL SUPERIOR – FORNECE LIMITES INFERIOR E SUPERIOR PARA AGREGADOS MIÚDOS COM MÓDULO DE FINURA QUE VARIA DE 2,90 A 3,50.....	17
FIGURA 5	DIAGRAMA DOS ENSAIOS NO ESTADO FRESCO, ENDURECIDO E NO REVESTIMENTO.....	46
FIGURA 6	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA BRITADA E OS LIMITES INFERIOR E SUPERIOR PARA AREIA COM MÓDULO DE FINURA ENTRE 1,55 E 2,20 CONFORME NBR 7211 (ABNT, 2005).....	48
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA NATURAL E OS LIMITES INFERIOR E SUPERIOR PARA AREIA COM MÓDULO DE FINURA ENTRE 1,55 E 2,20 CONFORME NBR 7211 (ABNT, 2005).....	49
FIGURA 8	IMAGENS CAPTURADAS ATRAVÉS DA LUPA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 1,2 mm (A) AREIA BRITADA E (B) AREIA NATURAL.....	49
FIGURA 9	DISPOSIÇÃO DAS PAREDES NA SALA.....	50
FIGURA 10	PAREDES DE ALVENARIA DE 450 cm DE LARGURA POR 230 cm DE ALTURA SEM CHAPISCO.....	51
FIGURA 11	VISTA DOS PAINÉIS PRONTOS PARA O REVESTIMENTO.....	51
FIGURA 12	BETONEIRA DE EIXO INCLINADO COM CAPACIDADE DE 120 LITROS.....	53
FIGURA 13	(A) LANÇAMENTO DA ARGAMASSA, (B) SARRAFEAMENTO, (C) DESEMPENO.....	54
FIGURA 14	FUNIL DE BUCHNER MODIFICADO.....	56
FIGURA 15	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	56
FIGURA 16	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	57
FIGURA 17	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	59
FIGURA 18	DETERMINAÇÃO DO TEMPO QUE A ONDA ULTRA-SÔNICA PERCORRE O CORPO DE PROVA 50 mm X 100 mm UTILIZANDO O PUNDIT.....	60
FIGURA 19	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	61
FIGURA 20	ENSAIO DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....	62
FIGURA 21	DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO REALIZADO AOS 56 DIAS DE IDADE EM CORPOS DE PROVA 50 mm X 100 mm DE AREIA NATURAL E AREIA BRITADA, CONFORME NBR 13280 (ABNT, 1995).....	67
FIGURA 22	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE TEOR DE ÁGUA E DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO AOS 56 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA.....	68
FIGURA 23	RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO CONFORME NBR 13279 (ABNT, 1995) REALIZADO EM CORPOS DE PROVA 50 mm X 100 mm DE AREIA NATURAL AOS 7, 28 E 56 DIAS DE IDADE.....	70
FIGURA 24	RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO CONFORME NBR 13279 (ABNT, 1995) REALIZADO EM CORPOS DE PROVA 50 mm X 100 mm DE AREIA BRITADA AOS 7, 28 E 56 DIAS DE IDADE.....	70

FIGURA 25	RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO REALIZADO AOS 84 DIAS DE IDADE EM CORPOS DE PROVA 40 mm X 40 mm X 160 mm DE AREIA NATURAL E AREIA BRITADA, CONFORME NORMA DIN EN 1015 – PART 11 (1999).....	71
FIGURA 26	CORRELAÇÃO EXPONENCIAL ENTRE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E: (A) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NA IDADE DE 56 DIAS; (B) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NA IDADE DE 84 DIAS PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	72
FIGURA 27	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 56 DIAS DE IDADE E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 84 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	73
FIGURA 28	TIPOS DE RUPTURA NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTO (ADAPTADO DE CINCOTTO ET AL., 1995).....	74
FIGURA 29	CORRELAÇÃO EXPONENCIAL ENTRE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO AOS 84 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA.....	76
FIGURA 30	CORRELAÇÃO EXPONENCIAL ENTRE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO E: (A) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 56 DIAS DE IDADE; (B) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 84 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	77
FIGURA 31	COEFICIENTES DE CAPILARIDADE REALIZADOS EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS DE 40 mm X 40 mm X 160 mm, AOS 56 DIAS DE IDADE SEGUNDO A NORMA CSTB 2669-4 (1993).....	78
FIGURA 32	MÓDULO DE ELASTICIDADE REALIZADO AOS 371 DIAS DE IDADE NOS CORPOS DE PROVAS 50 mm X 100 mm PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	81
FIGURA 33	MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES AGREGADO/AGLOMERANTE E CAL/CIMENTO PARA AS ARGAMASSAS COM: (A) AREIA NATURAL E (B) AREIA BRITADA	81
FIGURA 34	CORRELAÇÃO ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE AOS 371 DIAS DE IDADE E: (A) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 56 DIAS DE IDADE; (B) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 84 DIAS DE IDADE; (C) RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO AOS 84 DIAS DE IDADE	83
FIGURA 35	CORRELAÇÃO EXPONENCIAL ENTRE TEMPO DE PROPAGAÇÃO DA ONDA ULTRA-SÔNICA COM: (A) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO; (B) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E (C) RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	84
FIGURA 36	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO E ÍNDICE DE VAZIOS APÓS IMERSÃO E FERVURA AOS 56 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA.....	88
FIGURA 37	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS IMERSÃO E FERVURA AOS 56 DIAS DE IDADE PARA AS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL E AREIA BRITADA	88
FIGURA 38	PAINÉIS DAS ARGAMASSAS T7 COM TRAÇO EM VOLUME 1 : 3 : 8 SENDO: (A) COM AREIA NATURAL E (B) COM AREIA BRITADA. AS FISSURAS FORAM REFORÇADAS COM LÁPIS PRETO PARA FACILITAR A VISUALIZAÇÃO	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	RESERVAS DE PEDRAS BRITADAS NA RMC EM 2000. FONTE: DNPM (2001).....	02
TABELA 2	RESERVAS DE AREIA NA RMC EM 2001 (m ³ E t). FONTE: DNPM (2001).....	03
TABELA 3	RESERVAS DE CALCÁRIO CALCÍTIICO E DOLOMÍTICO NA RMC EM 2000 – FONTE: DNPM (2001).....	04
TABELA 4	CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO (CSTB, 1993).....	28
TABELA 5	CLASSIFICAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005).....	30
TABELA 6	LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA EMBOÇO E CAMADA ÚNICA SEGUNDO A NORMA NBR 13749 (ABNT, 1996).....	31
TABELA 7	DEFINIÇÃO DA LEGENDA E PROPORCIONAMENTO DOS MATERIAIS PARA CADA TIPO DE AREIA.....	45
TABELA 8	TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR NA DATA DOS REVESTIMENTOS DOS PAINÉIS.....	63
TABELA 9	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO PRODUZIDAS COM AREIA NATURAL.....	64
TABELA 10	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO PRODUZIDAS COM AREIA BRITADA.....	64
TABELA 11	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005) – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	73
TABELA 12	RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO E LOCAL DE RUPTURA DE ACORDO COM A LEGENDA APRESENTADA NA FIGURA 28 NOS REVESTIMENTOS CONFORME NBR 13528 (ABNT, 1995) AOS 84 DIAS DE IDADE.....	75
TABELA 13	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005) – COEFICIENTE DE CAPILARIDADE.....	80
TABELA 14	ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA REALIZADOS AOS 56 DIAS DE IDADE EM CORPOS DE PROVA 50 mm X 100 mm DE AREIA NATURAL CONFORME A NORMA NBR 9778 (ABNT, 1987).....	86
TABELA 15	ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA REALIZADOS AOS 56 DIAS DE IDADE EM CORPOS DE PROVA 50 mm X 100 mm DE AREIA BRITADA CONFORME A NORMA NBR 9778 (ABNT, 1987).....	87
TABELA 16	TAXA MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS REVESTIMENTOS OBTIDA ATRAVÉS DO ENSAIO DO MÉTODO DO CACHIMBO.....	90
TABELA 17	RESULTADOS DA CONTAGEM E MEDIDA DO COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (EM cm) POR ÁREA (EM m ²) DAS FISSURAS VISÍVEIS NOS REVESTIMENTOS NA IDADE DE 84 DIAS.....	91
TABELA 18	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM AREIA NATURAL SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005).....	94
TABELA 19	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM AREIA BRITADA SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005).....	94

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A/C	-	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO
ABAI	-	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS
ABCP	-	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND
ABNT	-	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABPC	-	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE CAL
Abratec	-	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL
Anepac	-	ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL
ANTAC	-	ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
ASTM	-	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
BS	-	BRITISH STANDARDS
BSI	-	BRITISH STANDARDS INSTITUTION
Consitra	-	CONSÓRCIO SETORIAL PARA INOVAÇÃO EM TECNOLOGIA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSAS
CP	-	CORPO DE PROVA
CSTB	-	CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
DIN	-	DEUTSCHES INSTITUT FU NORMUNG
Dirin	-	DIRETORIA DE INFORMAÇÕES
DNPM	-	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
EUA	-	ESTADOS UNIDOS DAS AMÉRICAS
Ibama	-	INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS
IC	-	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA
IRS	-	INITIAL RATE OF SUCTION
ISO	-	INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION
Lactec	-	INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
Lame	-	LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS
Lamir	-	LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHA
Mas/PR	-	ASSOCIAÇÃO DOS MINERADORES DE AREIA E SAIBRO DO PARANÁ
Meruc	-	MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DE L'ENDUIT DURCI, MODULE D'ELASTICITÉ, RÉSISTANCE À LA TRACTION, RÉTENTION D'EAU, CAPILLARITÉ
MF	-	MÓDULO DE FINURA
NBR	-	NORMA BRASILEIRA
NM	-	NORMAS DO MERCOSUL
Rilem	-	REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATERIAUX ET LÈS CONSTRUCTIONS
RMC	-	REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
SBTA	-	SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS
UFPR	-	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
USGS	-	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
UTFPR	-	UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	- PORCENTAGEM
°C	- GRAUS CELSIUS
kg	- QUILOGRAMA
kg/m³	- QUILOGRAMA POR METRO CÚBICO
kg/dm³	- QUILOGRAMA POR DECÍMETRO CÚBICO
MPa	- MEGA PASCAL
GPa	- GIGA PASCAL
σ	- TENSÃO
ν	- COEFICIENTE DE POISSON
γ	- DENSIDADE DE MASSA
μs	- MICRO-SEGUNDOS
mm	- MILÍMETROS
cm	- CENTÍMETROS
m	- METROS
m²	- METROS QUADRADOS
m³	- METROS CÚBICOS
min	- MINUTOS
t	- TONELADAS
CaO	- ÓXIDO DE CÁLCIO
CO₂	- DIÓXIDO DE CARBONO
CSH	- SILICATO DE CÁLCIO HIDRATADO

RESUMO

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. A utilização de areia proveniente da britagem de rocha, utilizando procedimentos e equipamentos adequados, pode ser uma alternativa viável para substituição da areia proveniente dos depósitos aluvionares de rios na produção de argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias. Este trabalho teve por objetivo comparar o desempenho da argamassa de cimento, cal e areia proveniente da britagem de rocha calcária, com a argamassa de areia natural e, também, avaliar a influência do teor de material pulverulento e o teor de água nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Utilizou-se cimento CP II Z 32 e cal virgem moída. Produziu-se 22 argamassas, 13 com areia britada e 9 com areia natural, nos traços em volume de cimento, cal e areia, 1:1:4, 1:1:6, 1:1:8, 1:1:10, 1:2:6, 1:2:9, 1:2:12, 1:2:15, 1:3:8, 1:3:12 e 1:3:16, transformado para massa, com índice de consistência $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ na mesa (NBR 7215). Com as argamassas no estado fresco, foram determinados: a densidade de massa, o teor de ar incorporado e a retenção de água através do funil de Buchner modificado. Foram moldados corpos de provas cilíndricos de 50 mm x 100 mm, para determinação da resistência à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, absorção de água, índice de vazios e módulo de elasticidade. Moldaram-se, também, corpos de provas prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm para determinar o coeficiente de capilaridade e a resistência à tração na flexão. Com as argamassas produzidas foram revestidos painéis de 80 cm x 100 cm e espessura de 2 cm, para ensaios de resistência de aderência à tração, absorção de água pelo Método do Cachimbo e observações do surgimento de fissuras. As argamassas produzidas foram caracterizadas quanto aos requisitos da norma NBR 13281 (ABNT, 2005). Os resultados mostraram que as argamassas produzidas com areia britada são mais suscetíveis à fissuração, porém, possuem melhor trabalhabilidade, maiores resistências mecânicas e, na maioria dos traços, menor permeabilidade à água que as argamassas produzidas com areia natural, comparativamente ao mesmo proporcionamento de materiais. O teor de finos e o teor de água influenciaram nas propriedades das argamassas no estado fresco e, também, no estado endurecido.

ABSTRACT

The civil construction is one of the sectors that has provoked high ambient impact, due to the raised raw material consumption. The utilization of the sand which proceeds from the crushed rock, using adjusted procedures and equipment, can be a viable alternative to substitute the sand that is taken from the alluvium deposits of rivers, for being used in mortars production for nesting and covering the masonry. This work has had as objective to compare the performance of the mortar cement, lime and sand which proceeds from the limestone crushed and the natural sand mortar, as well as to evaluate the fine influence of the content in dust and in the water content in the properties of using the recent done mortars and in its hardened state. Cement CP II Z 32 and worn out virgin lime was used. It was produced 22 mortars, 13 with crushed rock sand and 9 with natural sand, in the proportions in volume of cement, whitewash and sand, 1:1:4, 1:1:6, 1:1:8, 1:1:10, 1:2:6, 1:2:9, 1:2:12, 1:2:15, 1:3:8, 1:3:12 and 1:3:16, transformed into mass, with consistency index $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ in the table (NBR 7215). Using the recent done mortars, they have determined: the density of mass, the incorporated air content and the water retention through the funnel of modified Buchner. Cylindrical specimens tests of 50 mm x 100 mm were molded to determinate the compressive strength, apparent mass density in the hardened state, water absorption, index of emptiness and modulus of elasticity. Prismatic specimens tests of 40 mm x 40 mm x 160 mm were also molded to determine the coefficient of capillarity and the tensile strength in the flexion. The mortars produced were used to coat panels of 80 cm x 100 cm and 2 cm of thickness, for assays of resistance of tack to the traction, absorption of water by the Method of the Pipe and comments of cracking sproutings. The produced mortars were characterized as the requisite of norm NBR 13281 (ABNT, 2005). The results have shown that mortars with crushed rock sand is more susceptible for cracking, however, they work better, have higher mechanical resistances and, in the majority of the traces, minor permeability of the water than the mortars produced with natural sand, comparatively in the same proportion of materials. The water and dust content have influenced the properties of mortars in fresh state and, also, in the hard state.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os agregados utilizados na construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo, conforme dados fornecidos pelos Anuários Minerais. De acordo com o Serviço Geológico Americano (USGS – United States Geological Survey) citado por VALVERDE (2001), nos EUA, em 2000, foram consumidos cerca de 7,5 t de agregados por habitante, enquanto que na Europa Ocidental o consumo de agregados por habitante variou de 5 t a 8 t. No Brasil, o consumo está um pouco acima de 2 t por habitante/ano, sendo que no Estado de São Paulo o consumo é de 4,5 t/hab/ano. Ainda segundo VALVERDE (2001), este baixo consumo no Brasil deve-se ao déficit habitacional, uma malha rodoviária que não suporta a crescente demanda e, em consequência, os altos custos de transporte.

No Brasil, a demanda de agregados para a construção civil vem aumentando a cada ano, como mostra a Figura 1.

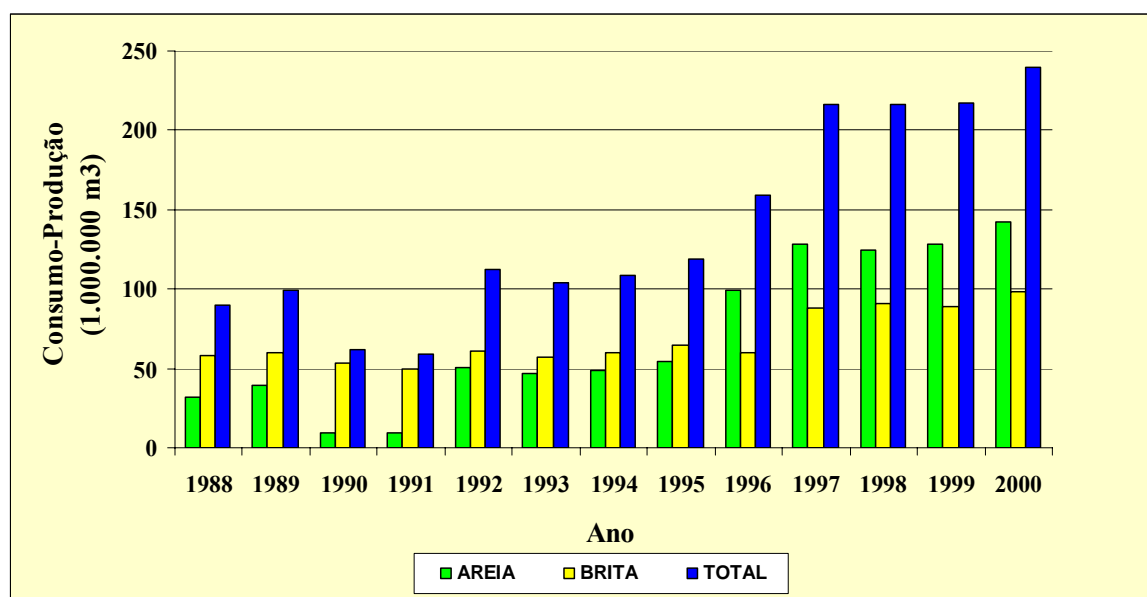


Figura 1 – Balanço do Consumo-Produção de Agregados para Construção Civil
(Fonte: ANEPAC – DNPM/DIRIN)

A pedra britada responde por 5% dos bens minerais produzidos na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) explorados oficialmente por cerca de 16 empresas, com aproximadamente 65 frentes de lavras ativas. A produção de brita no período de 1995 a 2000 foi de aproximadamente 560 toneladas/ano, oficialmente declarados pelas empresas produtoras. Isto representa um consumo *per capita* para a RMC de 0,2 t/ano. As principais rochas utilizadas na produção de brita são: o granito, que representa 78% da produção, o basalto e o diabásio com 12% e os gnaisses e os migmatitos com 10% da produção. Os principais municípios produtores de brita são: Colombo – 27%, Piraquara – 24% e Quatro Barras – 21%. A Tabela 1 apresenta as reservas de pedra britada na RMC em 2000, segundo dados do Plano Diretor de Mineração para a RMC do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2001).

Tabela 1 – Reservas de pedras britadas na RMC em 2000. Fonte: DNPM (2001)

Município	Reservas de pedras britadas na RMC (m ³)		
	Medida	Indicada	Inferida
Rio Branco do Sul	39.793.351	2.714.280	-
Almirante Tamandaré	38.158.418	-	-
São José dos Pinhais	25.249.539	28.778.987	-
Quatro Barras	18.832.068	17.808.108	-
Balsa Nova	14.531.250	-	-
Campo Largo	1.198.430	733.904	-
Colombo	563.798	650.799	556.992
Curitiba	441.324	-	-
Campina Grande do Sul	149.040	-	-
Total	138.917.218	50.686.078	556.992

Na RMC, a areia é quase que exclusivamente explorada nos depósitos aluvionares do Rio Iguçu. Segundo dados da Associação dos Mineradores de Areia e Saibro do Paraná – MAS/PR, o número de mineradores de areia da RMC é de 45 produtores, distribuídos da seguinte forma: Curitiba - 31%, São José dos Pinhais – 25%, Fazenda Rio Grande – 23%, Araucária – 16% e Balsa Nova – 4% e demais municípios registrando pequenas produções. A produção anual média na RMC, conforme declarada pelos mineradores no período de 1995 a 2000, foi de 962.140

toneladas/ano, o que corresponde a cerca de 641.427 m³, resultando num consumo *per capita* de aproximadamente 0,3 t/ano. A Tabela 2 apresenta as reservas de areia na RMC em 2001.

Tabela 2 – Reservas de areia na RMC em 2001 (m³ e t). Fonte: DNPM (2001)

Município	Reservas de areia (m ³ e t)	
	Medida (m ³)	Medida (t)
Lapa	739.233	1.108.850
Balsa Nova	669.785	1.004.678
São José dos Pinhais	575.881	863.822
Quatro Barra	262.836	394.254
Araucária	213.500	320.250
Total	2.461.235	3.691.854

Devido a imposições do Ministério Público, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) suspendeu a liberação de licenças ambientais para a exploração de areia nos aluviões do rio Iguaçu, pois o Código Florestal considera como áreas de preservação permanente as florestas e demais vegetações naturais situadas ao longo dos rios. Várias alternativas de jazidas foram avaliadas para o abastecimento de areia para a RMC, porém distanciadas do centro urbano. Com isso, a areia que abastece a construção civil vem, cada vez mais, de regiões mais afastadas, ocasionando um aumento no preço do agregado.

Alternativas viáveis para o abastecimento de areia para o setor da construção civil da RMC e para substituição das areias extraídas dos rios podem ser a utilização dos resíduos e a produção de areia proveniente de britagem de rochas calcárias, abundantes na RMC, como pode ser observado na Tabela 3.

Segundo dados da Minerais do Paraná S.A. (MINEROPAR, 2004), as rochas calcárias representam 73% dos bens minerais explorados na RMC. O calcário calcítico é utilizado quase que na sua totalidade na produção de cimento (99,2%) sendo apenas 0,2% destinados para *petit-pavé*, cal, ração e outros usos; o calcário dolomítico é utilizado, essencialmente, para fabricação da cal e uso em corretivos agrícolas, quando apropriado. Oficialmente, a RMC possui 104 empresas mineradoras de rochas

calcárias, que foram responsáveis pela produção média anual no período de 1995 a 2000 de 8,6 milhões de toneladas. Ainda segundo MINEROPAR (2004), o município de Rio Branco do Sul é responsável pela produção de 68,1% de calcário; 13,5 % são produzidos em Campo Largo, 13,2% em Almirante Tamandaré , 4,6% em Colombo e 0,6% nos demais municípios. A Tabela 3 apresenta as reservas de calcário calcítico e dolomítico em 2000 na RMC, de acordo com os dados do Plano Diretor de Mineração do DNPM (2001).

Tabela 3 – Reservas de calcário calcítico e dolomítico na RMC em 2000
Fonte: DNPM (2001)

Município	Reservas de calcário medida (t)	
	Calcítico	Dolomítico
Adrianópolis	1.005.246.302	3.264.000
Campo Largo	945.739.878	4.929.538
Rio Branco do Sul	882.136.542	120.603.387
Bocaiúva do Sul	234.229.470	77.094.079
Cerro Azul	136.262.776	201.015
Almirante Tamandaré	119.721.073	150.166.315
Tunas	47.873.807	-
Campo Magro	19.920.296	3.166.501
Itaperuçu	11.356.472	8.475.900
Colombo	11.351.124	16.395.006
Balsa Nova	1.656.822	3.657.510
Total	3.415.494.562	387.953.251

1.2 JUSTIFICATIVAS

1.2.1 Ambiental

Muitas empresas vêm investindo cada vez mais em equipamentos e formação de quadros técnicos para eliminar a cultura do desperdício e consolidar a cultura da redução de perdas, reciclagem e reutilização de resíduos. Segundo MOURA (2000), os resíduos não só provocam o impacto ambiental, como também a sua redução e o seu

aproveitamento podem minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos, o que implica, muitas vezes, num menor dispêndio econômico.

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com SJOSTROM, citado por JOHN (2000), a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos da terra. Segundo estimativa feita pelo autor, o consumo de agregado para concreto e argamassa, no Brasil, é em torno de 210 milhões de toneladas por ano.

Segundo ALMEIDA (2000), atualmente grande parte do agregado miúdo natural (areia) é extraída de leitos de rios, provocando a retirada da cobertura vegetal e a degradação dos cursos d'água, causando grande impacto ao meio ambiente. Órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, como o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), vêm coibindo esta prática. Com isso, os mineradores são forçados a extrair esses agregados em locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, o que onera o preço final do produto.

Nas pedreiras, a britagem das rochas (basaltos, calcários, granitos, gnaisses, entre outras) gera basicamente cinco tipos de produtos: pó de pedra, brita 0, brita 1, brita 2 e brita 3. Destes produtos, os únicos que encontram aplicações nobres na construção civil são as britas 1, 2 e 3, sendo a brita 0 e o pó de pedra utilizados apenas em aplicações marginais, sem muito valor comercial. Desta maneira, esses finos ficam estocados em pilhas nas pedreiras e acabam provocando graves problemas ambientais, como assoreamento dos rios, poluição visual e gerando, principalmente, muita poeira. Estes finos, devidamente processados, podem vir a substituir a areia natural (ALMEIDA, 2000).

1.2.2 Econômica

Os recursos de agregados para a construção civil no Brasil são abundantes e localizados próximos aos grandes centros consumidores, com grandes reservas e de boa qualidade. Foram produzidos no Brasil, no ano de 2000, 238.400 toneladas de agregados para construção civil e, deste total, 141.100 toneladas foram de agregados

miúdos naturais (areia), segundo ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil). Ainda, do consumo total de areia para a construção civil no Brasil, em 2000, 50% destinaram-se para argamassas em geral, enquanto que os outros 50% destinaram-se para concretos usinados ou não. O Estado do Paraná produziu, neste mesmo ano, aproximadamente 1.966 toneladas de areia, segundo dados da MINEROPAR (2004).

No Brasil, são freqüentes os processos construtivos de edifícios que empregam paredes de alvenaria revestidas com argamassas, tanto no sistema de vedação interna, como externa. Isto ocorre, principalmente, em habitações de média e baixa renda, onde os conglomerados à base de cimento e agregados minerais perfazem 20% do custo médio das obras (SANTIN, 1996). Também evidenciando o elevado consumo de argamassas, os dados de CAPOZZI (1996) indicam que 37% dos edifícios em obra, na cidade de São Paulo, usam revestimentos de argamassa com acabamento de pintura em fachadas.

Dados medidos por LICHTENSTEIN (1986) mostram que o consumo de argamassas nas obras brasileiras chega a $0,137 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construído, incluindo o desperdício, que é bastante elevado para este tipo de material. Mais recentemente, SOUZA & FRANCO (1997) chegaram ao valor de $0,13 \text{ m}^3$ de argamassa por m^2 de construção, sendo $0,035 \text{ m}^3$ para revestimento interno, $0,04 \text{ m}^3$ para contrapiso e $0,05 \text{ m}^3$ para revestimento externo.

Segundo CINCOTTO et al. (1995), as propriedades físicas e químicas dos agregados e das argamassas, tanto de assentamento quanto de revestimentos de alvenarias, são essenciais para a vida útil das obras em que são utilizadas. São inúmeros os exemplos de falências das estruturas, e concluíram que a causa foi a seleção ou o uso inadequados dos agregados.

A substituição da areia natural pela areia artificial na indústria da construção civil foi a solução encontrada pelos principais países do mundo. Nestes países o processo de substituição iniciou-se há mais de 30 anos. Hoje há uma tendência mundial no uso da areia artificial, com produção em alta escala. Várias são as

vantagens na utilização da areia artificial; entre elas destacam-se (ALMEIDA & BISPO, 2003):

- aproveitamento integral das pedreiras;
- obtenção de areia com características físicas e químicas constantes;
- teor de umidade praticamente zero;
- solução de problemas ambientais.

1.2.3 Tecnológica

Segundo ALMEIDA & BISPO (2003), a substituição da areia natural pela areia artificial deve ser feita de modo a não causar prejuízo à qualidade do produto, satisfazendo certos requisitos tecnológicos, tais como:

- forma e textura das partículas;
- resistência mecânica e estabilidade das partículas;
- adequação da distribuição granulométrica;
- ausência de impurezas, entre outras.

As areias naturais extraídas de rios são, geralmente, de natureza quartzosa rolada, de origem fluvial ou eólica (SBRIGHI NETO, 1999). Quando comparadas aos agregados provenientes de britagem de rocha, as diferenças quanto à distribuição granulométrica, à forma, à textura e à resistência mecânica das partículas são evidentes. Há necessidade, então, de adequação desses agregados, de modo a satisfazer as necessidades específicas para sua aplicação.

Uma das dificuldades da utilização da areia artificial na argamassa de revestimento é devida ao formato inadequado das partículas, normalmente lamelar ou alongado, dificultando a trabalhabilidade. Para tornar as partículas mais esféricas, existem no mercado novos equipamentos de britagem, como por exemplo os britadores de eixo vertical (VSI), que proporcionam a fragmentação por meio de impacto, rocha contra rocha, sendo o produto final composto de partículas equidimensionais (ALMEIDA & BISPO, 2003).

1.3 OBJETIVOS E HIPÓTESE

O objetivo geral deste trabalho é verificar se o agregado miúdo proveniente de britagem de rocha calcária pode substituir o agregado miúdo de origem natural na confecção de argamassas mistas de revestimento e classificar as argamassas produzidas segundo os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*.

O objetivo específico é avaliar a influência do teor de água e do teor de material pulverulento da areia proveniente de britagem de rocha nas propriedades das argamassas no estado fresco, endurecido e no revestimento.

Este trabalho visa responder à seguinte questão: “É viável a substituição da areia natural por areia proveniente de britagem de rocha calcária para a produção de argamassas mistas de revestimento?”

A hipótese para responder a essa questão é que argamassas de cimento, cal e areia proveniente de britagem de rocha, com proporcionamento adequado, têm desempenho igual ou superior às argamassas produzidas com areia proveniente dos depósitos aluvionares de rios, na maioria dos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005).

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura deste trabalho é composta por cinco capítulos, sendo que no primeiro foi colocada a importância do tema, as justificativas, os objetivos e a hipótese da pesquisa.

No Capítulo dois está apresentada uma revisão bibliográfica sobre revestimentos de argamassa.

O Capítulo três descreve o programa experimental e os ensaios realizados.

Em seguida, no Capítulo quatro, são analisados e discutidos os resultados dos ensaios.

O Capítulo cinco apresenta as conclusões dos ensaios realizados e do projeto experimental e, também, sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO

Segundo SELMO (1989) nos livros de BOLTSHAUER (1963) constam, que na Grécia, no período micênio (por volta de 2000 a.C.), a argila crua foi empregada em construções de taipa ou pau-a-pique, envolvendo as estruturas resistentes de madeira. Técnica idêntica foi utilizada pela arquitetura romana etrusca (séculos VII ao VI a.C). Nas construções egípcias modestas, de 1600 a 1100 a.C., a argila em pasta era utilizada envolvendo a armação estrutural das casas, feita de caules de plantas ou de tronco de palmeiras. A argila cozida em placas molduradas e com baixos relevos foi também empregada na arquitetura grega, para revestir os paramentos de pedra das fachadas. Os gregos e os romanos preparavam misturas de cal, areia e água, ou adicionavam gesso para obter o estuque, que constitui uma especialidade para revestimentos internos. Em certos casos, adicionavam também na mistura o pó de mármore. Os romanos fizeram uso amplo das argamassas, tanto no assentamento das alvenarias, como nos revestimentos de seus edifícios. Portanto, há mais de 2.000 anos, a argamassa vem sendo utilizada para assentamento e revestimento dos blocos de pedra que constituem as paredes das edificações.

De acordo com WESTPHAL (2004), no Brasil, a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século para assentamento de alvenaria de pedra (largamente utilizada na época). A cal utilizada na argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado como aglomerante.

2.2 CONCEITO DE ARGAMASSA E REVESTIMENTO

A argamassa, segundo SABBATINI (1986), pode ser conceituada como um

material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes¹ de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Nesta mesma norma brasileira são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação. Podem-se encontrar definições como:

- adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento;
- argamassa de cal: argamassa preparada com cal como único aglomerante;
- argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento como único aglomerante;
- Revestimento: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA MISTA

A argamassa mista é constituída essencialmente de agregados miúdos e de aglomerantes, que em geral são cimento Portland, cal (que pode ser substituída por aditivos) e/ou gesso.

¹ Materiais inertes são os agregados miúdos que não sofrem reações químicas, enquanto que os materiais ativos (cimento e cal) sofrem reações químicas de endurecimento.

2.3.1 Cimento

O engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções. Entretanto, foi o pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, quem patenteou a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos (TAYLOR, 1967).

Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de material carbonático – filer).

2.3.2 Cal

a) Histórico

Segundo GUIMARÃES (2002) o homem conheceu a cal provavelmente nos primórdios da Idade da Pedra (período Paleolítico), ao final do Pliocênico. Ainda, segundo o autor, por volta de 3000 a.C. foram achadas ruínas cujo solo argiloso foi estabilizado com cal para a construção da Pirâmide de Shersi, na região de Tibet. Análises feitas nos materiais utilizados na vedação das câmaras da pirâmide de Quéops (2614-2591 a.C.) e nas juntas dos blocos de calcário e granito da pirâmide de Quéfrem (2590-2568 a.C.) revelaram a presença da cal.

b) Cal virgem e cal hidratada

Os calcários e os dolomitos quando calcinados² à temperatura próxima de 1000° C, produzem a *cal virgem*, pela perda de parte dos seus constituintes (anidrido carbônico – CO₂).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó seco obtido pela hidratação adequada da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésios, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. De acordo com CARASEK et al. (2001) as cales podem ser classificadas, segundo a sua composição química em:

- cálcica: teor de CaO $\geq 90\%$ em relação aos óxidos totais;
- magnesianas: $65\% < \text{CaO} < 90\%$;
- dolomítica: teor de CaO $\leq 65\%$.

c) Aplicações

Tradicionalmente, sempre se utilizou cal como um dos constituintes das argamassas. Atualmente, com o uso de aditivos cada vez mais difundido, a cal tem sido abandonada em muitos casos. No entanto, sabe-se que essa prática afeta a durabilidade do revestimento, como já observado em alguns países da Europa, como por exemplo a França, que tem a cal como um dos vários constituintes das argamassas (RAGO & CINCOTTO, 1999).

A cal, dentre todos os produtos de origem mineral, tem muitas aplicações tais como, na construção civil, na indústria, nos serviços públicos, na proteção do meio ambiente, nas comunicações, nos lares, nos escritórios, e também na obtenção de outros materiais (GUIMARÃES, 2002).

Segundo RAGO & CINCOTTO (1999), a cal no estado fresco propicia

² Calcinar significa transformar o carbonato de cálcio (CaCO₃), a uma temperatura elevada, em óxido de cálcio (CaO).

maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor trabalhabilidade e, conseqüentemente, maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante no estado fresco da cal é a retenção de água, por não permitir a sucção excessiva de água pela base.

A adição de cal hidratada em argamassas de cimento CP I reduz significativamente o módulo de elasticidade, sem afetar na mesma proporção a resistência à tração, que em última análise é a máxima resistência de aderência da argamassa e, assim, tende a aumentar a vida útil do revestimento (JOHN, 2003).

Segundo CARASEK et al. (2001), diversos estudos indicam que à medida que se aumenta a percentagem de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, há também um aumento na capacidade de aderência da argamassa.

A cal tem importante função como material constituinte da argamassa, porém, devidos ao grande número de cales hidratadas fornecidas ao mercado consumidor com problemas de qualidade (apesar da Norma Brasileira NBR 7175 (ABNT, 2003), especificar os requisitos a serem atendidos pelas cales hidratadas), muitos produtos colocados no mercado não atendiam a este documento publicado pela ABNT (CUKIERMAN et al., 2003).

d) Programa da qualidade da cal

O Programa de Garantia da Qualidade da Cal para a Construção Civil foi implementado em Novembro de 1995, motivado pela falta de qualidade do grande número de cales que abastece o mercado consumidor, o que vinha abalando a isonomia competitiva do setor e prejudicando a imagem do produto junto aos usuários. O consumidor estava deixando de acreditar na cal como aglomerante e principalmente como bactericida e, com isso, estava colocando-o em descrença, tendo em vista as inúmeras patologias verificadas quando da sua aplicação. Para corrigir esta situação, a Associação Brasileira de Produtores de Cal – ABPC, implementou o plano de qualidade.

2.3.3 Agregados Miúdos

a) Conceito

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), agregados miúdos são “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”.

b) Caracterização do agregado miúdo

A distribuição granulométrica da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco; no revestimento acabado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM et al., 2003).

Segundo CINCOTTO & CARNEIRO (1999), foram os trabalhos de FÜLLER & TROMPSON (1907), FURNAS (1931) e de ANDEREGG (1931) que embasaram o desenvolvimento de curvas granulométricas de argamassas, para ser estudada a influência do agregado nas suas propriedades, ressaltando-se que nestes estudos a dosagem do aglomerante e do agregado foi realizada a partir da curva.

Em geral, a areia é caracterizada pelo seu módulo de finura, especificações de faixas granulométricas, ou selecionada a partir de normas, as quais especificam a granulometria dentro de certas faixas. Não existe um consenso entre os autores nacionais, pois curvas granulométricas distintas podem levar ao mesmo módulo de finura. Algumas vezes utiliza-se também o coeficiente de uniformidade. O coeficiente de uniformidade traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia. É definida como sendo a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60% e 10% em massa de areia (CARNEIRO, 1999).

TRISTÃO (1995) estudou a influência da composição granulométrica da

areia, recomendada em diferentes especificações, nas propriedades de argamassas de revestimento, cujos resultados foram obtidos através da utilização do módulo de finura. Ainda, segundo o mesmo autor, não existe qualquer relação significativa entre módulo de finura de diferentes composições granulométricas originárias de uma mesma areia e o desempenho das argamassas.

De acordo com SELMO (1989), os intervalos adotados para o módulo de finura (MF) para classificação das areias são:

- $MF < 2.0$ - areia fina;
- $2.0 < MF < 3.0$ - areia média;
- $MF > 3.0$ - areia grossa.

A areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, interferindo no estado fresco pela composição granulométrica; o formato dos grãos influencia na trabalhabilidade e na retenção de água; no estado endurecido, influencia nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade (CARNEIRO & CINCOTTO, 1999).

Segundo CARNEIRO et al. (1997), a areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Há um conseqüente enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos da areia entre si, com demanda de um maior consumo de pasta.

CARNEIRO et al. (1997) utilizaram em seu trabalho a massa unitária da areia, definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário. Salientam os autores ser um importante instrumento na seleção da granulometria das areias. Neste trabalho concluiu-se que a massa unitária da areia é um parâmetro relevante no estudo do desempenho da argamassa. Porém, sugerem os autores que estudos mais aprofundados das curvas granulométricas da areia sejam realizados, a fim de se estabelecerem melhores correlações com as propriedades das argamassas.

É importante ressaltar que o módulo de finura, a distribuição granulométrica e o coeficiente de uniformidade desconsideram a forma dos grãos que, evidentemente,

tem grande influência no empacotamento dos grãos.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) – *Agregados para concreto – Especificações*, que passou a vigorar a partir de 29/04/2005, criou novos limites de utilização para agregados miúdos. Anteriormente esta norma classificava o agregado miúdo em muito fino (zona 1), fino (zona 2), médio (zona 3) e grosso (zona 4). Agora, conforme o módulo de finura (MF), classifica em zona utilizável inferior (MF varia de 1,55 a 2,20), zona ótima (MF varia de 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF varia de 2,90 a 3,50). Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentados os limites inferior e superior para a zona utilizável inferior, zona ótima e zona utilizável superior, respectivamente.

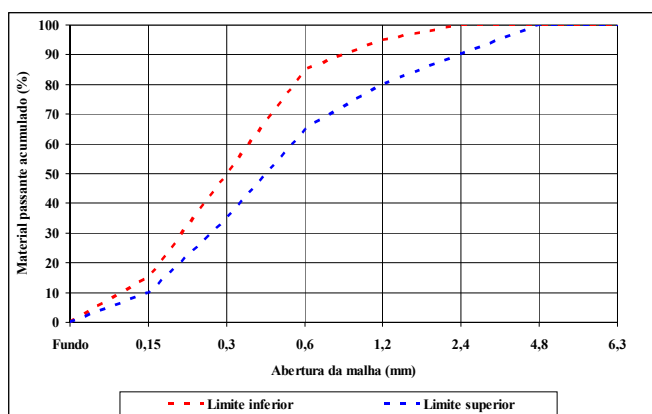


Figura 2 – Zona utilizável inferior – fornece limites inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia de 1,55 a 2,20

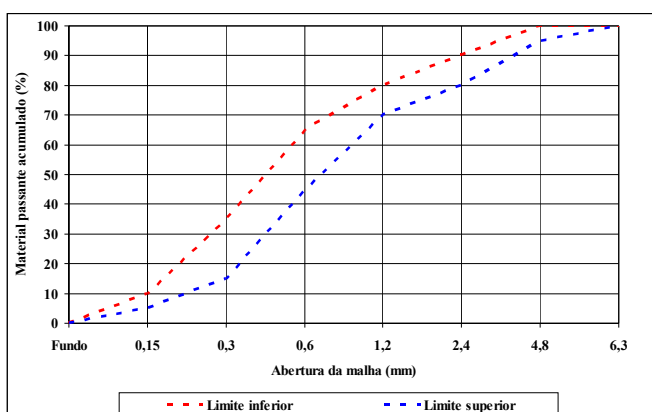


Figura 3 – Zona ótima – fornece limites inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia de 2,20 a 2,90

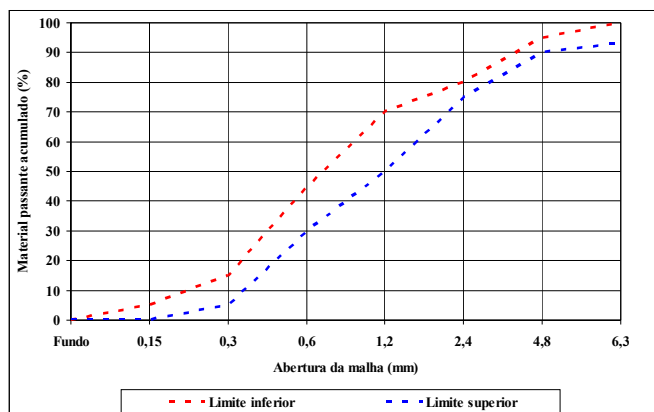


Figura 4 – Zona utilizável superior – fornece limites inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia de 2,90 a 3,50

De acordo com a classificação de SELMO (1989), o agregado miúdo que se encontra na zona utilizável inferior pode ser considerado como areia fina; aquele que se encontra na zona ótima é uma areia média e aquele que se encontra na zona utilizável superior é uma areia grossa.

c) Função dos agregados miúdos

Segundo MINEROPAR (2004) os agregados tem três funções principais:

- prover o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico;
- prover a pasta de partículas adaptadas para resistir às cargas aplicadas, ao desgaste mecânico e à percolação da intempérie;
- Reduzir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água.

d) Classificação dos Agregados Miúdos

De acordo com MINEROPAR (2004), quanto à origem os agregados são classificados em:

- naturais: já encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio);

- artificiais: são os que necessitam de modificação textural para chegar à condição apropriada ao seu uso, como é o caso da areia de origem da britagem das rochas como basaltos, calcários, sílex, pórfiros, arenitos quartzitos e gnaisses.

2.4 FUNÇÕES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Segundo SABBATINI (1984), os revestimentos de argamassas têm, em geral, as seguintes funções:

- proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;
- auxiliar as vedações a cumprirem com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;
- estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

2.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

2.5.1 Consistência

Segundo CINCOTTO et al. (1995) é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação. Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em *secas* (a pasta preenche os vazios entre os grãos), *plásticas* (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e *fluidas* (os grãos ficam imersos na pasta). A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Em geral, nas argamassas de consistência plástica a fluida pode se manifestar a exsudação de água, que é uma propriedade que também interfere na trabalhabilidade, exigindo misturas freqüentes para homogeneização do material e pode interferir na capacidade de adesão da argamassa ao ser lançada contra a base (SELMO, 1989).

Para a avaliação da consistência da argamassa é utilizada tradicionalmente no Brasil a mesa de consistência (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e são realizados procedimentos de ensaio para determinação do índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Entretanto, apesar da grande utilização, este é um dos ensaios mais criticados, pois vários são os autores que comentam que a mesa não tem sensibilidade para medir a reologia da argamassa (GOMES et al., 1995; YOSHIDA & BARROS, 1995; CAVANI et al., 1997; PILLEGI, 2001; JOHN, 2003; NAKAKURA, 2003; BAUER et al., 2005; ANTUNES, 2005).

Existem outros métodos utilizados para avaliar a consistência: o método da penetração do cone preconizado pela ASTM C 780 (1996); o método *vane test* (ensaio de palheta); ensaio de *dropping ball* (BS 4551), e mais recentemente, vem sendo empregado o método *squeeze flow*, devido, principalmente, à grande sensibilidade às variações do comportamento reológico da argamassa. Este ensaio é baseado na metodologia proposta por OSHAN et al. (1999) e POLITO (2003) citados por SILVA et al (2005), que consiste basicamente em medir o esforço necessário para comprimir uma suspensão entre duas placas paralelas.

Segundo BAUER et al. (2005), atualmente existem equipamentos sofisticados que permitem uma avaliação mais ampla do comportamento reológico de argamassas, fornecendo inclusive os parâmetros fundamentais (viscosidade e tensão de escoamento). Estes equipamentos não são amplamente utilizados nos laboratórios de tecnologia das argamassas, devido, em primeiro lugar, ao seu elevado custo e, em segundo lugar, a algumas dificuldade operacionais.

2.5.2 Trabalhabilidade

Esta propriedade relaciona-se principalmente à consistência. Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, quando ela distribui-se facilmente ao ser assentada, não gruda na ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada (SABBATINI, 1984).

De acordo com o documento MR-3 da RILEM (1982) trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, endurecimento sob sucção e tixotropia.

Avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito difícil, uma vez que ela depende não só das características intrínsecas da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que esta executando o serviço e de várias propriedades do substrato, além da técnica de aplicação (CASCUDO et al., 2005).

2.5.3 Coesão e Tixotropia

A coesão, segundo CINCOTTO et al. (1995), refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante. Ainda, segundo os autores, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado.

A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas e reversíveis do estado sólido para o estado gel (SELMO, 1989). O estado gel, no caso das argamassas, diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação (CINCOTTO et al., 1995).

2.5.4 Plasticidade

É a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), a plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, e são influenciadas pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas.

Segundo CASCUDO et al. (2005), a plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água a qual significa uma consistência ótima, sendo esta função do proporcionamento e natureza dos materiais.

2.5.5 Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (CINCOTTO et al, 1995).

Segundo ROSELLO citado por SELMO (1989) as argamassas tendem a conservar a água necessária para molhar as partículas dos aglomerantes e do agregado miúdo e a água em excesso é cedida facilmente, devido à absorção do substrato.

ROBINSON et al. citados por CARASEK (1996) constataram em seus experimentos utilizando argamassas com diferentes retenções de água aplicadas em diferentes tipos de substratos, que aquelas com menores capacidades de retenção de água produziam maior resistência de aderência do revestimento.

2.5.6 Adesão Inicial

A adesão inicial da argamassa no estado fresco ao substrato é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO et al., 1995).

Segundo ROSELLO (1976) citada por SELMO (1989), a adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir deve-se, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante; a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo.

São fatores essenciais para uma boa aderência inicial da argamassa as condições de limpeza do substrato, isentos de poeiras, partículas soltas e gorduras.

2.5.7 Aderência no Estado Endurecido

Segundo SABBATINI (1984), aderência da argamassa ao substrato pode ser definida como sendo a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se. Ainda, segundo o autor, não existe uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência. Por exemplo, aumentando o teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência, dependendo das características do substrato.

TAHA & SHRIVE (2001) citados por CARVALHO JR et al. (2005) descrevem que a aderência à alvenaria se desenvolve segundo dois mecanismos:

- aderência química: a resistência de aderência advém de forças covalentes ou forças de Van der Waals, desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento;
- aderência mecânica: formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros dos blocos de alvenarias devido ao efeito da sucção ou absorção capilar.

Patologias, tais como o descolamento em placas que ocorre junto à interface argamassa/substrato, podem ser relacionadas com a inadequada condição do substrato para possibilitar a penetração da pasta de aglomerante em seus poros, como por exemplo, base impregnada com pulverulência e com gordura (CARVALHO JR et al.,

2005).

De acordo com GONÇALVES (2004), fatores como processo de execução do revestimento, materiais utilizados e condições climáticas respondem por uma variabilidade de até 33% nos resultados do ensaio de aderência. Ainda, segundo o autor, os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração devem ser analisados em relação ao tipo de ruptura ocorrido, visto que tanto o fato de romper na interface argamassa/substrato (aderência pura) quanto no interior dos materiais (falha de estruturação interna) representam fraturas no sistema de revestimento.

A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e a absorção de água, a resistência mecânica, a textura superficial e pelas condições de execução do revestimento. A capacidade de aderência da interface argamassa/substrato depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar aprisionado da argamassa. Segundo SILVA (2005b), a aderência é influenciada favoravelmente pelo teor de finos do agregado miúdo.

A NBR 15258 (ABNT, 2005), vigente a partir de Outubro de 2005, propõe procedimentos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração. Esta norma introduz o conceito de *aderência potencial*, estabelecendo um substrato-padrão para a aplicação das argamassas de modo a minimizar a influência da base na aderência, buscando assim avaliar apenas a contribuição da argamassa na resistência de aderência à tração (ANTUNES 2005).

2.5.8 Elasticidade

Segundo SABBATINI (1984), elasticidade é a capacidade que a argamassa no estado endurecido apresenta em se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão original inicial quando cessam estas solicitações. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), a elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

A capacidade do revestimento de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

Segundo GOMES (1997), graças aos estudos realizados por inúmeros pesquisadores como Boyle, Mersenne, Arago, Humboldt, Gay Lussac, Kundt, entre outros, Lord Rayleigh em 1877 correlacionou a velocidade de propagação de onda sonora que se propaga através de um determinado corpo com o módulo de elasticidade do material que o constitui. O emprego de ultra-sonografia para avaliar a qualidade do concreto, porém, só teve início a partir de estudos realizados por Leslie & Cheesman, em 1949 no Canadá (COUTINHO, 1973; GOMES, 1997).

As normas que descrevem procedimentos para realização dos ensaios para determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica para avaliação da qualidade do concreto são a NBR 8802 (ABNT, 1994) – *Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica* e a NM 58 (ABNT, 1996) de mesmo título.

O método e os procedimentos de ensaios mais adequados para determinação do módulo de elasticidade vêm sendo amplamente discutidos por diversos pesquisadores (GODOY & BARROS, 1999; GOMES, 1997; BASTOS, 2001; NAKAKURA, 2003).

Em 23/09/2005 realizou-se em São Paulo-SP, na sede da Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP) e da Associação Brasileira de Argamassas Industrializadas (ABAI) o I WORKSHOP para apresentação de resultados de pesquisas sobre módulo de elasticidade, realizado por pesquisadores do Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa (CONSITRA). Este consórcio foi criado em Maio de 2004, com o objetivo de desenvolver, no âmbito dos revestimentos, novas tecnologias pautadas por atributos como confiabilidade, produtividade, durabilidade e custo compatível com o mercado nacional. São integrantes do consórcio a Associação Brasileira de Argamassa Industrializadas (ABAI), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o Sindicato da

Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (Sinduscon-SP), a Associação Brasileira das Empresas de Tecnologia da Construção Civil (Abratec), a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Goiás. Neste encontro definiu-se que o método que será adotado para obtenção do módulo de elasticidade é o dinâmico, baseado na determinação da velocidade de onda ultrassônica. Esse tipo de ensaio, por não ser destrutivo e de fácil execução, vem sendo utilizado em muitos países do mundo.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A NBR 13530 (ABNT, 1995) descreve a classificação das argamassas segundo vários critérios:

- quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea e hidráulica;
- quanto ao número de aglomerantes: argamassa simples e mista;
- quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento e de cimento e cal;
- quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço e de reboco;
- quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semipronta para argamassa;
- quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termoisolante.

Usualmente nas obras utilizam-se as argamassas de cal, argamassas de cimento e areia e as argamassas de cimento, cal e areia, mais conhecidas como argamassas mistas.

2.6.1 Argamassa de Cal

Este tipo de argamassa é composta por cal, agregado miúdo e água. A pasta de cal preenche os vazios entre os grãos do agregado miúdo, melhorando a plasticidade e a retenção de água. A argamassa de cal recebe usualmente o nome de argamassa intermediária, pois quando se utiliza a cal virgem este tipo de argamassa é utilizado para a maturação da cal, para posteriormente ser misturado o cimento.

2.6.2 Argamassa de Cimento

A argamassa de cimento Portland é composta, essencialmente, por cimento, agregado miúdo e água. Adquire elevada resistência mecânica em pouco tempo, porém, tem pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água. Este tipo de argamassa tem emprego específico para certas situações, como por exemplo na confecção de pisos como argamassa armada, sendo raramente utilizadas em revestimentos de alvenaria. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassas mistas.

2.6.3 Argamassa Mista

Este tipo de argamassa utiliza basicamente cimento, cal, agregado miúdo e água. Segundo SABBATINI (1984), os ingleses utilizam a proporção 1 : 3 (aglomerante : areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que com esta proporção os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante (cimento e cal). Esta proporção é muito utilizada também no Brasil, como os tradicionais traços em volume 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia) para revestimentos externos e 1 : 2 : 9 para revestimentos internos.

2.7 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

O adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento, cujas operações são denominadas de dosagem (LARA et al., 1995).

Segundo CARNEIRO (1999), usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e cadernos de encargos. De acordo com o mesmo autor, para argamassas de revestimentos tem-se adotado com mais freqüência os traços de dosagem 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia) e 1 : 2 : 9, em volume, numa proporção aglomerante : agregado de 1 : 3 ou 1 : 4. A escolha de um desses traços está de acordo com o desempenho esperado da argamassa ao longo do tempo, ou seja sua durabilidade. No entanto, na prática identifica-se o emprego de traços mais pobres, como 1 : 4 a 1 : 9 (aglomerante : agregado), como constataram CAMPITELI et al. (1995), não dando qualidade ao revestimento.

Embora na presente década os textos normativos sobre revestimentos de argamassa tenham passado por uma grande evolução, constata-se que a NBR 7200 (ABNT, 1998) suprimiu toda e qualquer indicação de traços ou consumos empíricos para a produção de argamassas de revestimentos (MIRANDA, 2000).

As perspectivas são de mudança quanto aos procedimentos para a dosagem de argamassas e as publicações nacionais são ainda divergentes, como se constata pela análise dos trabalhos de SABBATINI et al. (1988), MARTINELLI (1989), SELMO (1989), CAMPITELI et al. (1995), LARA et al. (1995), entre outros.

2.8 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

2.8.1 Classificação MERUC

A França é um dos países mais desenvolvidos no setor da construção civil, tem seus processos construtivos industrializados, possui mais de 200 tipos de argamassas industrializadas homologadas pelo Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB). O CSTB criou a classificação MERUC, com base nas seguintes propriedades:

M – densidade de massa no estado endurecido (kg/dm^3);

E – módulo de deformação (MPa);

R – resistência à tração na flexão (MPa);

U – retenção de umidade (%);

C – coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2/\text{min}^{1/2}$).

Cada propriedade da argamassa industrializada possui critérios de desempenho que são divididos em seis classes, prescritas segundo o *Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en oeuvre – Cahier 2669-2* (CSTB, 1993), conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das características de argamassas para revestimento (CSTB, 1993)

Classes	M	E	R	U	C
	kg/dm^3	MPa	MPa	%	$\text{g}/\text{dm}^2/\text{min}^{1/2}$
1	< 1,2	< 5.000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1,0 a 1,4	3.500 a 7.000	1,2 a 2,0	75 a 85	1,0 a 2,5
3	1,2 a 1,6	5.000 a 10.000	1,5 a 2,5	82 a 90	2,0 a 4,0
4	1,4 a 1,8	7.500 a 14.000	2,0 a 3,2	88 a 94	3,0 a 7,0
5	1,6 a 2,0	12.000a 20.000	2,7 a 4,0	92 a 97	5,0 a 12,0
6	> 2,0	> 16.000	> 3,4	96 a 100	> 10,0

Assim, as argamassas são formuladas para diferentes tipos de exposição da parede, condições atmosféricas e utilização do revestimento. Segundo NAKAKURA

(2003) e BLANCHARD (2003) as condicionantes e os requisitos para as argamassas são:

- a) tipo de exposição da parede
 - forte exposição à chuva: C1 ou C2
 - exposição a choques e deterioração: $E \geq 3$ e $R \geq 3$
 - parede enterrada: $M \geq 4$, $R \geq 3$ e $C \leq 2$
- b) condições atmosféricas
 - clima quente ou vento: U5 ou U6
 - clima frio: M5 ou M6
- c) utilização do revestimento
 - cerâmica: $E \geq 4$ e $R \geq 4$

Conforme salientam NAKAKURA & CINCOTTO (2003), estes critérios do CSTB 2669-2/1993 relacionam-se às condições próprias da França.

2.8.2 Classificação Segundo NBR 13281

A norma NBR 13281 (ABNT, 1995) – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*, estabelecia exigências mecânicas e reológicas para as argamassas dosadas em obra ou industrializadas, a saber:

- resistência à compressão aos 28 dias (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 1995);
- capacidade de retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 1995);
- teor de ar incorporado – NBR 13278 (ABNT, 1995).

A partir de 31 de Outubro de 2005, a norma reformulada NBR 13281 (ABNT, 2005) com o mesmo título, entrou em vigor, ampliando para sete os requisitos para as argamassas:

- P – resistência à compressão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);
- M – densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m^3) – NBR 13280 (ABNT, 2005);
- R – resistência à tração na flexão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);

- C – coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2/\text{min}^{1/2}$) – NBR 15259 (ABNT, 2005);
- D – densidade de massa no estado fresco (kg/m^3) – NBR 13278 (ABNT, 2005);
- U – retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 2005);
- A – resistência potencial de aderência à tração (MPa) – NBR 15258 (ABNT, 2005).

Cada requisito foi subdividido em 6 classes, exceto a resistência potencial de aderência à tração, que foi subdividida em 3 classes. As argamassas são classificadas conforme as características e propriedades apresentadas na Tabela 5. Caso haja sobreposição entre faixas, deve ser considerado o desvio de cada ensaio e, caso o valor fique no meio de duas faixas, adota-se a maior como classificação.

A norma NBR 13279 (ABNT, 2005) passou a adotar o corpo de prova prismático 40 mm x 40 mm x 160 mm e incluiu o ensaio de resistência à tração na flexão. A NBR 13277 (ABNT, 2005), que anteriormente utilizava o papel filtro para a realização do ensaio de retenção de água passou a utilizar o Funil de Buchner modificado. O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade utiliza a NBR 15259 (ABNT, 2005) cujos procedimentos de ensaios são semelhantes ao descrito pela norma CSTB 2669-4 (1993).

Tabela 5 – Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005)

Classes	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	kg/m³	MPa	g/dm²/min^{1/2}	kg/m³	%	MPa
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	≤ 0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10,0	> 2000	95 a 100	-

Uma argamassa, por exemplo, poderá ter a seguinte designação: P3, M4, R5, C3, D4, U3, A4.

Comparando com a classificação MERUC, a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005) não incluiu o ensaio de módulo de elasticidade, pois ainda não existe norma brasileira e por estarem em discussão os procedimentos de ensaios, conforme foi apresentado no item 2.5.8. Observa-se também que os requisitos da norma brasileira possuem as faixas para cada classe muito similares às faixas da classificação MERUC.

Apesar da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) exigir que venha impressa nas embalagens das argamassas industrializadas a indicação do tipo de argamassa (revestimento interno, revestimento externo, assentamento de alvenaria de vedação, etc.) não deixa claro o requisito e a classe que deve ser exigida para cada utilização.

A norma NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece os limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única, conforme estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única segundo a norma NBR 13749 (ABNT, 1996)

Local		Acabamento	Resistência de aderência à tração (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

2.9 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Segundo a NBR 13530 (ABNT, 1995), os revestimentos são considerados como sistemas constituídos de uma ou mais camadas de argamassa, podendo cada uma delas ter uma função característica; são aplicadas sobre paredes ou tetos, objetivando uma aparência desejada. Em casos específicos, atendem às exigências de conforto térmico e de proteção conta radiação e umidade. Esta norma classifica os revestimentos de argamassa de acordo com os seguintes critérios:

a) quanto ao número de camadas de aplicação:

- revestimento de camada única;
- revestimento de duas camadas;

b) quanto ao ambiente de exposição:

- revestimentos de paredes internas;
- revestimentos de paredes externas;
- revestimento com contato com o solo;

c) quanto ao comportamento à umidade:

- revestimento comum;
- revestimento de permeabilidade reduzida;
- revestimento hidrófugo;

d) quanto ao comportamento à radiação:

- revestimento de proteção radiológica;

e) quanto ao comportamento ao calor:

- revestimento termoisolante;

f) quanto ao acabamento de superfície:

- camurçado;
- chapiscado;
- desempenado;
- sarrafeado;
- imitação travertino;
- lavado;

- raspado.

As camadas de argamassas de revestimentos, segundo SABBATINI (1984), recebem as seguintes denominações:

2.9.1 Emboço

O emboço, também conhecido por massa grossa, é uma camada cuja principal função é a regularização da superfície de alvenaria, devendo apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm. É aplicado diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e se destina a receber as camadas posteriores do revestimento (reboco, cerâmica, ou outro revestimento final). Para tanto, deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com a capacidade de aderência do acabamento final previsto. Ambas são características determinadas pela granulometria dos materiais e pela técnica de execução.

2.9.2 Reboco

O reboco, ou massa fina, é a camada de acabamento dos revestimentos de argamassa. É aplicada sobre o emboço, e sua espessura é apenas o suficiente para constituir uma película contínua e íntegra sobre o emboço, com no máximo 5 mm de espessura.

É o reboco que confere a textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas, sendo a pintura, em geral, aplicada diretamente sobre o mesmo. Portanto, não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações.

2.9.3 Massa Única

A massa única, ou emboço paulista, é o revestimento com acabamento em pintura executado em uma única camada. Neste caso, a argamassa utilizada e a técnica de execução deverão resultar em um revestimento capaz de cumprir as funções tanto

do emboço quanto do reboco, ou seja, regularização da base e acabamento.

2.9.4 Chapisco

O chapisco não é considerado como uma camada de revestimento. É um procedimento de preparação da base, de espessura irregular, sendo necessário ou não, conforme a natureza da base.

O chapisco tem por objetivo melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento ao substrato, em situações críticas basicamente vinculadas a dois fatores:

- limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada, por exemplo concreto ou substrato com capacidade de sucção incompatíveis com a aderência do revestimento;
- revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto.

2.10 PATOLOGIAS DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Em qualquer parte do Brasil podem ser encontrados sinais claros de manifestações patológicas em revestimentos de argamassas simples ou mistas, na forma de fissuras, descolamentos e problemas de umidade, que facilmente comprometem o desempenho das edificações (MEDEIROS & SABBATINI, 1994).

SABBATINI (1986) classifica as patologias em revestimentos de argamassa de acordo com suas origens:

- aderência insuficiente;
- inadequada capacidade de acomodação plástica (quando endurecida);
- deficiência na resistência mecânica.

Segundo CINCOTTO (1997), os problemas observados com maior frequência nos revestimentos de argamassas no país são a fissuração e o descolamento.

Já de acordo com THOMAZ (1989), as fissuras com origens associadas à base dos revestimentos são as mais comuns e têm também origem em falhas de projeto, execução ou manutenção dos edifícios.

A fissuração em revestimentos de argamassa é, sem dúvida, uma das patologias que mais podem causar desconforto e prejuízo econômico aos usuários. Até o momento é precário o domínio técnico sobre as causas que intervêm nessa patologia e suas conseqüências na durabilidade das vedações, não havendo sequer critérios que estabeleçam limites de fissuração para a aceitação de revestimentos, em rotinas de controle deste serviço (MIRANDA, 2000).

A fissuração nos revestimentos é um fenômeno complexo, pois pode ter origem nos procedimentos de projeto e/ou de execução, na seleção dos materiais constituintes e até mesmo no proporcionamento dos materiais.

O Anexo A da norma NBR 13749 (ABNT, 1996) descreve os seguintes tipos de patologias em revestimentos:

- a) fissuras mapeadas: podem se formar por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, quer sejam de aglomerantes, quer sejam de finos no agregado, ou por excesso de desempenamento. Em geral, apresentam-se em forma de mapa;
- b) fissuras geométricas: quando acompanham o contorno do componente da base, podem ser devidas à retração da argamassa de assentamento. Fissuras na vertical podem ser devidas à retração higrotérmica do componente, interfaces da base constituída de materiais diferentes, locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação;
- c) vesículas: as principais causas do surgimento de vesículas são:
 - hidratação retardada do óxido de cálcio não hidratado, presente na cal (o interior da vesícula é branco);
 - presença de concreções ferruginosas no agregado miúdo (o interior da vesícula é vermelho);
 - presença de matéria orgânica ou pirita no agregado miúdo (o interior da vesícula é preto).

- d) pulverulência: pode ser causada por:
- excesso de finos no agregado miúdo;
 - traço pobre em aglomerantes;
 - carbonatação insuficiente da cal, em argamassa de cal, dificultada por clima seco e temperatura elevada ou por ação do vento.
- e) empolas pequenas: oxidação da pirita presente como impureza no agregado, resultando na formação de gipsita, acompanhada de expansão (o agregado apresenta pontos pretos).

De acordo com os estudos de MORAIS & SELMO (1999) e com os testes preliminares de MIRANDA (2000), os revestimentos cujas argamassas foram aplicadas sobre chapisco sofreram menor fissuração do que aquelas aplicadas diretamente sobre o bloco de concreto.

Segundo SABBATINI (1986), o grau de fissuração é função dos seguintes parâmetros:

- a) teor e natureza dos aglomerantes: deveriam, para diminuir o potencial de fissuração, ser de baixa a média reatividade, pois nos revestimentos endurecidos a resistência à tração, sendo elevada, diminui sua capacidade de deformação;
- b) teor e natureza dos agregados: a granulometria deve ser contínua e com o teor adequado de finos, uma vez que o excesso destes irá aumentar o consumo de água de amassamento e, com isto, induzir a uma maior retração de secagem do revestimento. A recomendação da granulometria contínua prende-se ao fato de que, gerando um menor volume de vazios no agregado, menor será o volume de pasta, e por conseqüência, menor a retração. O mesmo raciocínio se aplica para o aumento do teor de agregado no traço, sem prejuízo da trabalhabilidade, que também deve diminuir o volume de pasta e os efeitos da retração de secagem do revestimento;
- c) capacidade de absorção de água da base: as condições ambientais e a capacidade de retenção de água da argamassa podem regular a perda de umidade do revestimento durante seu endurecimento e desenvolvimento inicial de resistência à tração;
- d) técnicas de execução: estabelecem o grau de compactação do revestimento e os

momentos de sarrafeamento e desempenho. Estes parâmetros determinam o teor de umidade remanescente no revestimento e a capacidade de retração subsequente a tais operações.

Segundo CINCOTTO et al. (1995), a ocorrência de fissuras no revestimento de argamassa decorre da elasticidade e da resistência à tração inadequada diante das tensões de tração resultantes da retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento. A adequação da elasticidade e da resistência à tração não significa a total inexistência de fissuras, mas sim a ocorrência de fissuras microscópicas e com pequeno distanciamento entre si, de modo a não se propagarem por efeitos térmico ou higroscópico, não sendo assim prejudiciais à estanqueidade e à durabilidade do revestimento. A resistência ao cisalhamento da interface substrato/argamassa condiciona o espaçamento entre as fissuras, sendo que diante do aumento desse espaçamento cresce o risco de descolamento do revestimento. Dessa maneira, a resistência de aderência por cisalhamento deve se apresentar em mesma ordem de grandeza que a resistência à tração, a fim de garantir que as fissuras mantenham-se em condições não prejudiciais (SELMO, 1989).

Nas argamassas ditas fracas, as ligações internas são menos resistentes. As tensões podem ser dissipadas na forma de micro-fissuras, à medida que surgem nas interfaces microscópicas entre os grãos do agregado e a pasta aglomerante. Nas argamassas fortes, com maior limite de resistência, as tensões vão se acumulando e a ruptura, quando sobrevém, já ocorre na forma de fissuras macroscópicas (SABBATINI, 1986).

2.11 ALGUNS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NO SURGIMENTO DE FISSURAS NO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Vários são os fatores que provocam o surgimento de patologias no revestimento de argamassa, alguns agindo isoladamente e outros através de combinações de fatores. Porém, a grande maioria das patologias é devida à falta de aderência da argamassa ao substrato e/ou devido aos efeitos da retração.

2.11.1 Falta de Aderência do Revestimento

A aderência entre a argamassa e o substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido à penetração da pasta aglomerante nos poros e na rugosidade da base de aplicação. Assim, torna-se fator importante na aderência a transferência de água que ocorre entre a argamassa e o substrato. Isto porque esta água, que conduz em dissolução ou estado coloidal componente do aglomerante, ao penetrar pelos poros e cavidades do substrato leva à precipitação de produtos de hidratação do cimento no interior destes poros, exercendo ação de ancoragem da argamassa à base (CARASEK et al., 2001 e SCARTEZINI et al., 2002).

A absorção excessiva de água das argamassas pelo substrato pode provocar uma hidratação do cimento localmente retardada, podendo formar regiões com materiais de diferentes características e ocasionar grande retração (DETRICHÉ & MASO, 1986). De acordo com GROOT (1988), a quantidade de água removida e a que ficou na argamassa exercem influência significativa nas propriedades do revestimento endurecido, pois o aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água resultante após a sucção.

SCARTEZINI & CARASEK (2003) em suas pesquisas tiveram como objetivo avaliar a perda de água da argamassa fresca para o substrato poroso por sucção e a sua relação com a resistência de aderência, sendo também avaliada a influência da granulometria da areia e da taxa de sucção de água dos blocos cerâmicos e de concreto constituintes da base. Estes autores chegaram às seguintes conclusões:

- os blocos de concreto, em média, proporcionaram uma perda de água da argamassa, medida na camada mais próxima da interface com o substrato, cerca de 50% maior do que os blocos cerâmicos. No entanto, ALMEIDA DIAS & CARASEK (2003) observaram nas suas pesquisas que, ao longo do tempo, esta posição se inverteu, e o bloco cerâmico absorveu uma maior quantidade de água do que o bloco de concreto;
- verificou-se que a maioria dos blocos cerâmicos ou de concreto, que tem maior taxa inicial de sucção de água IRS (*Initial Rate of Suction*), terá também maior

- perda de água da argamassa para o substrato;
- argamassas com areia fina perdem menos água por sucção para o substrato do que argamassas com areia de granulometria mais grossa. De acordo com DETRICHE et al. (1985) e DUPIN et al. (1988) citados por CARASEK et al. (2001), isto pode ser explicado pela teoria dos poros ativos que estabelece que quanto mais fina a areia, maior é a quantidade de poros de pequeno diâmetro no interior da argamassa que ajudam a reter mais água no seu interior. O aumento do tamanho dos grãos da areia conduz a um aumento da resistência de aderência. Isto porque quanto maior for o tamanho dos grãos, menor é a quantidade de poros finos no interior da argamassa que concorrerão com os poros do substrato durante o processo de transporte de água no sistema. Ou seja, maior é a quantidade de poros ativos do substrato que absorvem água e, conseqüentemente, promovem uma maior deposição de produtos de hidratação na região de interface, contribuindo para uma maior ancoragem da argamassa;
 - não foi observada uma clara relação entre a perda de água da argamassa para o substrato e a resistência de aderência dos revestimentos em blocos de concreto, uma vez que a perda de água variou muito pouco. Porém, nos blocos cerâmicos foi observada uma leve tendência de aumento da resistência de aderência com o aumento da perda de água da argamassa para o substrato, o que faz sentido, de acordo com a teoria dos poros ativos;
 - para blocos cerâmicos não foi verificada uma relação clara entre o IRS e a resistência de aderência. Para blocos de concreto, a relação entre a resistência de aderência e o IRS dos blocos se torna mais evidente. Percebe-se que à medida que aumenta a taxa de sucção dos blocos tem-se uma diminuição da resistência de aderência da argamassa. Blocos cerâmicos possuem maior quantidade de poros com menores diâmetros do que blocos de concretos. Desta forma, o aumento da quantidade destes poros conduz a um aumento do IRS, levando provavelmente a um aumento da capacidade de aderência no sistema;
 - durante a realização dos ensaios de avaliação da perda de água da argamassa,

observou-se que a camada de argamassa mais próxima da interface com o substrato perde mais água do que a camada superficial. Verificou-se também que a sucção exercida pelo bloco influencia a perda de água de toda a espessura do revestimento. Em seu trabalho ALMEIDA DIAS & CARASEK (2003) chegaram à mesma conclusão de que a absorção capilar dos diferentes substratos exerce ação determinante no processo em questão e, conseqüentemente, no desempenho dos revestimentos.

O fato da camada de revestimento trabalhar sempre aderida ao substrato e ser exposta, muitas vezes, diretamente às condições severas do meio ambiente, conduz ao surgimento de tensões de tração e de cisalhamento na interface substrato/revestimento, como conseqüência dos movimentos diferenciais ocorridos entre a camada de revestimento e o substrato, causadas por essa exposição. Esses movimentos diferenciais são os que degradam a ligação na interface substrato/argamassa, portanto afetam a durabilidade de aderência dos revestimentos, principalmente externos. Para minimizar essa degradação, é necessário que exista uma boa aderência da argamassa ao substrato (CANDIA & FRANCO, 1998).

A cura úmida do revestimento influencia na resistência de aderência dos revestimentos, mas possui dependência com o tipo de preparo do substrato. Tal influência pode estar associada com a diminuição dos efeitos da retração da argamassa de revestimento nas primeiras idades, bem como da melhoria das condições de hidratação do cimento (SCARTEZINI & CARASEK, 2003).

Uma forma de melhorar a capacidade de aderência da argamassa aplicada ao substrato é a execução de pré-tratamentos da base, com o objetivo de aumentar a rugosidade superficial e regularizar a absorção de água, uniformizando-a. O chapisco é o pré-tratamento mais conhecido e utilizado nas obras, uma vez que promove bons resultados de aderência do revestimento aplicado (SCARTEZINI & CARASEK, 2003). No entanto, observam SCARTEZINI et al. (2002), existem no mercado novos produtos, como as resinas sintéticas, que modificam as características do chapisco convencional de cimento Portland e areia, com o intuito de melhorar sua capacidade de

aderência.

No trabalho realizado por SCARTEZINI et al. (2002), na qual a base foi preparada em cinco condições diferentes, para o estudo da relação à aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassas aplicados sobre blocos cerâmicos, os autores chegaram às seguintes conclusões:

- os diferentes preparos da base alteram as características do substrato com relação à absorção de água, o que se traduz em uma mudança no comportamento quanto ao mecanismo de aderência dos revestimentos de argamassa;
- as juntas de assentamento da alvenaria possuem características diferentes dos blocos, como estrutura e tamanho dos poros, o que influi nas características de absorção de água do substrato, principalmente quando o substrato não é tratado, sendo que o chapisco ajuda parcialmente na homogeneização, diminuindo as diferenças de absorção entre o bloco e a junta;
- o preparo da base não altera a permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa, mesmo com o uso de polímeros no preparo dos chapiscos, sendo registrada pequena diferença entre os resultados obtidos sobre o bloco e as juntas de assentamento;
- o uso da camada de chapisco é favorável ao desenvolvimento da resistência de aderência, mas a sua modificação com polímeros não resulta necessariamente em melhoria desta propriedade, podendo inclusive prejudicar o desempenho;
- quanto maior o coeficiente de absorção de água da base preparada (bloco cerâmico com chapisco), maior a resistência de aderência alcançada pelo revestimento.

2.11.2 Retração

A retração é um fenômeno que ocorre pela diminuição do volume da argamassa quando da perda de água para o substrato por sucção, por evaporação ou pela reação química dos componentes do cimento e da cal.

Segundo BASTOS (2001), quanto ao estado físico da argamassa a retração pode ser classificada em:

- retração plástica: é a retração por perda de água da argamassa que ocorre antes da pega do cimento, quando a fração sólida da mistura dispõe de mobilidade de umas partículas em relação às outras. A diminuição do volume do sistema corresponde ao volume de água perdida;
- retração no estado endurecido: é a retração que ocorre após a pega do cimento. É conhecida por *retração por secagem* quando é causada pela perda de água. Depende do tamanho e do tipo de vazios que perde água e da forma como a água está ligada às superfícies sólidas da pasta endurecida: se livre, se adsorvida nas paredes internas de sua estrutura, se entre as camadas do silicato de cálcio hidratado (CSH) ou se combinada quimicamente. Considera-se que a magnitude da retração total da pasta endurecida depende diretamente do grau de dificuldade encontrado para a remoção da água e das propriedades mecânicas do compósito.

Além da perda da água, a retração pode ter outras causas, tais como retração térmica, retração por carbonatação, retração por hidratação do cimento e retração autógena, que podem ocorrer ao mesmo tempo ou em fases diferentes da vida útil da argamassa de revestimento (BUIL & BARON, 1980).

Vários são os fatores que influenciam na retração tais como: tipos de aglomerantes, temperatura, incidência do sol, umidade relativa do ar, velocidade do vento, etc.

As fissuras por retração plástica podem aparecer logo após o acabamento do revestimento ou até mesmo durante a fase de desempenho. Podem ou não ser do tipo mapeada, visíveis ou em microfissuras, atingindo ou não toda a espessura do revestimento. Sua largura é maior na superfície, diminuindo rapidamente com a profundidade.

Não existe um consenso sobre o limite onde termina a retração plástica e começa a retração por secagem. Segundo AÏTCIN et al. (1997), a retração plástica termina com o início da pega do cimento.

A perda de água é uma das principais causas da retração em compósitos à base de cimento. No estado saturado após a mistura, estes materiais normalmente são

expostos a ambiente de umidade relativa abaixo de 100% e perde-se água por secagem. A sucção de água por um substrato poroso também pode ocorrer, como por exemplo nas argamassas de revestimento aplicadas diretamente sobre componentes de alvenaria (BASTOS, 2001).

A retração por secagem das argamassas de revestimento muitas vezes é a principal causa de fenômenos patológicos (BORTOLUZZO & LIBORIO, 1999). Segundo os autores, os fatores que influenciam a retração são basicamente:

- a) condições externas, que podem ser entendidas como:
 - perda de água para a base onde é aplicada a argamassa, por sucção, que depende do grau de absorção da mesma;
 - condições climáticas de irradiação solar, temperatura, umidade relativa e vento.
- b) características inerentes à própria argamassa, destacando a granulometria, a finura e a forma geométrica do agregado, as quais irão determinar a quantidade de água ou pasta aglomerante necessária na dosagem. Quanto maior o teor de água e aglomerantes e menor o teor de agregados, maior será a variação volumétrica durante a retração;
- c) capacidade de retenção de água da argamassa, a qual pode diminuir os efeitos negativos de uma secagem acelerada. Com isso, observa-se a importância da cal no processo de retração, sendo ela grande retentora de água. Os aditivos incorporadores de ar também apresentam esta capacidade de retenção de água.

De acordo com ANGELIM et al. (2003), a adição de finos (dimensões inferiores a 0,075 mm) pode aumentar a incidência de fissuras por retração. No entanto, esta influência, segundo o autor, varia de acordo com a natureza mineralógica da adição.

SILVA et al. (2005b) concluíram em suas pesquisas que o aumento do teor de finos proveniente de areia britada de rocha calcária calcítica na confecção de argamassa mista no traço em volume 1 : 2 : 9 (cimento : cal : areia) provoca no revestimento um número consideravelmente maior de fissuras visíveis, possivelmente devido à retração.

3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

3.1 OBJETIVO

O planejamento experimental desta pesquisa foi desenvolvido de modo a verificar as influências das areias, do proporcionamento dos materiais constituintes, do teor de finos das areias (material pulverulento passante na peneira de malha 0,075 mm) e do teor de água nas propriedades das argamassas no estado fresco, endurecido e no revestimento.

3.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS EM VOLUME DE MATERIAIS SECOS

Adotaram-se para este projeto experimental quatro relações aglomerante/areia seca (cimento + cal : areia seca), em volume:

- 1 : 2
- 1 : 3
- 1 : 4
- 1 : 5

A relação 1 : 5 foi utilizada apenas para as argamassas com areia britada, para verificar se o aumento de agregado miúdo diminuiria a incidência de fissuras visíveis.

Normalmente, o proporcionamento dos materiais no canteiro de obra é feito utilizando-se medida de volume, através de caixa de madeira cujas medidas são definidas de modo a conter um saco de cimento de 50 kg.

A Tabela 7 mostra as legendas adotadas e as proporções em materiais secos, em volume, de cimento, cal hidratada e areia.

Tabela 7 – Definição da legenda e proporcionamento dos materiais para cada tipo de areia

Argamassa	Proporções em materiais secos, em volume (cimento : cal hidratada : areia)		Relação aglomerante /areia (cimento + cal : areia)
	Areia natural	Areia britada	
T1	1 : 1 : 4	1 : 1 : 4	1 : 2
T2	1 : 1 : 6	1 : 1 : 6	1 : 3
T3	1 : 1 : 8	1 : 1 : 8	1 : 4
T4	1 : 2 : 6	1 : 2 : 6	1 : 2
T5	1 : 2 : 9	1 : 2 : 9	1 : 3
T6	1 : 2 : 12	1 : 2 : 12	1 : 4
T7	1 : 3 : 8	1 : 3 : 8	1 : 2
T8	1 : 3 : 12	1 : 3 : 12	1 : 3
T9	1 : 3 : 16	1 : 3 : 16	1 : 4
T10	-	1 : 1 : 10	1 : 5
T11	-	1 : 2 : 15	1 : 5
T6b ³	-	1 : 2 : 12	1 : 4
T2b ⁴	-	1 : 1 : 6	1 : 3

A Figura 5 mostra o diagrama dos ensaios para as argamassas no estado fresco e endurecido e os ensaios a serem realizados no revestimento.

³ A argamassa T6b tem o mesmo proporcionamento de materiais que a argamassa T6 de areia britada, porém com índice de consistência menor, ou seja, com menor teor de água.

⁴ A areia britada da argamassa T2b foi lavada para retirada do material pulverulento (material passante na peneira de malha 0,075 mm) e tem o mesmo proporcionamento de materiais que a argamassa T2.

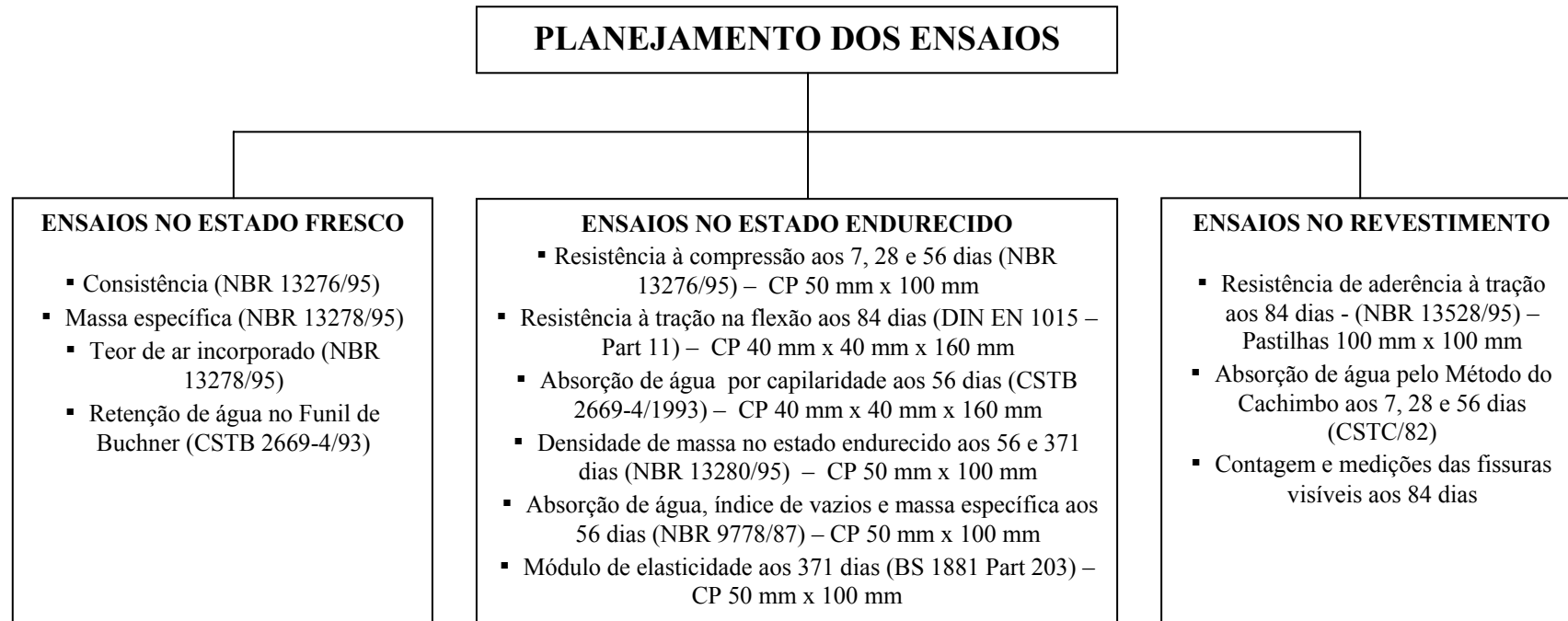


Figura 5 – Diagrama dos ensaios no estado fresco, endurecido e no revestimento

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As argamassas mistas foram produzidas utilizando cimento, cal em pasta (obtida através da maturação da cal virgem moída conforme é descrito no item 3.3.2), areia proveniente de britagem de rocha calcária (areia britada) e areia de origem quartzosa proveniente da bacia do rio Iguaçu (areia natural).

3.3.1 Cimento

Para a realização do programa experimental foi utilizado o cimento Portland CII Z 32, de um mesmo lote, adquirido no mercado varejista em sacos de 50 kg, por ser o cimento mais utilizado em obra da região. A caracterização física e química do cimento consta no Apêndice A nas Tabelas A 1 e A 2.

3.3.2 Cal

Utilizou-se a cal virgem moída CV-C de um único fabricante e de um mesmo lote. No estado do Paraná é comum a utilização de cal virgem moída na preparação de uma mistura com areia e água, conhecida por argamassa intermediária, para posteriormente se fazer a mistura com cimento.

Para a preparação das argamassas mistas utilizou-se a cal em pasta, fazendo a hidratação da cal virgem moída em betoneira de eixo inclinado de capacidade de 320 litros sob agitação contínua por 20 minutos. A pasta ficou em processo de maturação por aproximadamente 30 dias em recipiente fechado e vedado com lona plástica. Para cada saco de 20 kg de cal virgem moída adicionaram-se 30 litros de água. Após a maturação, colocaram-se 10 amostras da pasta de cal (2500 gramas cada amostra) em estufa a 105° C por aproximadamente 96 horas para desidratação e determinação do teor de água da pasta (75,44%). Destorroou-se a cal hidratada seca das amostras e com o pó, após peneiramento (malha 0,6 mm), determinou-se a massa unitária e a massa específica. Na definição dos proporcionamentos dos materiais, utiliza-se massa de cal

hidratada em pó, porém, no preparo das argamassas utilizou-se massa de pasta em cal conforme está descrito no item 3.5. A caracterização física da cal hidratada em pó e a caracterização química da cal virgem moída encontram-se no Apêndice A nas Tabelas A 3 e A 4.

3.3.3 Agregados Miúdos

A areia britada de rocha calcária é proveniente de pedreira do município de Rio Branco do Sul(PR), Região Metropolitana de Curitiba(PR), produzida através de moinho de bola. A análise mineralógica da areia britada apresentou procedência de calcário calcítico, constituído essencialmente por calcita, conforme mostra o laudo de análise química fornecido pelo Lamir – Laboratório de Análise de Minerais e Rochas que se encontra no Apêndice A na Tabela A 7. As Tabelas A 5 e A 6 do Apêndice A fornecem os resultados da análise granulométrica e os resultados da caracterização física da areia britada, respectivamente, e a Tabela A 8 do mesmo Apêndice fornece a caracterização física da areia britada sem finos. O Apêndice B apresenta os resultados dos ensaios físico-químicos de caracterização da rocha calcária. A Figura 6 mostra a distribuição granulométrica da areia britada, executada conforme NBR 7217 (ABNT, 1982).

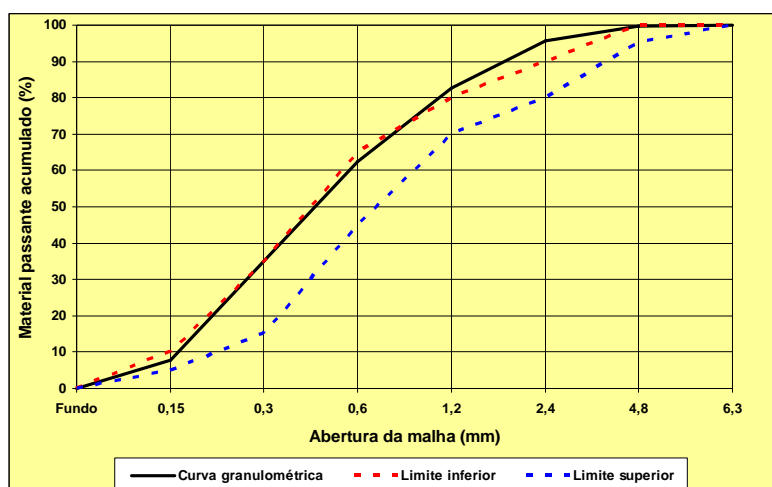


Figura 6 – Distribuição granulométrica da areia britada e os limites inferior e superior para areia com módulo de finura entre 1,55 e 2,20 conforme NBR 7211 (ABNT, 2005)

A areia natural é proveniente da bacia do Rio Iguaçu, na cidade de Curitiba(PR). É constituída essencialmente por quartzo, conforme comprova o laudo de análise química apresentado na Tabela A 11, do Apêndice A. A areia natural foi preparada por peneiramento para obter uma aproximação da granulometria da areia britada. As Tabelas A 9 e A 10 do Apêndice A fornecem os resultados da análise granulométrica e os resultados da caracterização física da areia natural, respectivamente. A Figura 7 apresenta a distribuição granulométrica da areia natural.

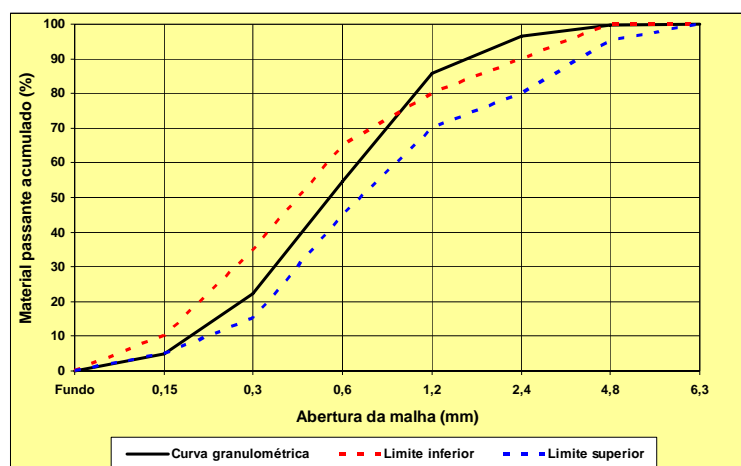


Figura 7 – Distribuição granulométrica da areia natural e os limites inferior e superior para areia com módulo de finura entre 1,55 e 2,20 conforme NBR 7211 (ABNT, 2005)

As partículas da areia britada são mais angulosas e menos esféricas do que as partículas da areia natural (SILVA et al., 2005a). A Figura 8 mostra as imagens capturadas através da lupa das frações de areia britada e areia natural retidas na peneira de malha 1,2 mm.

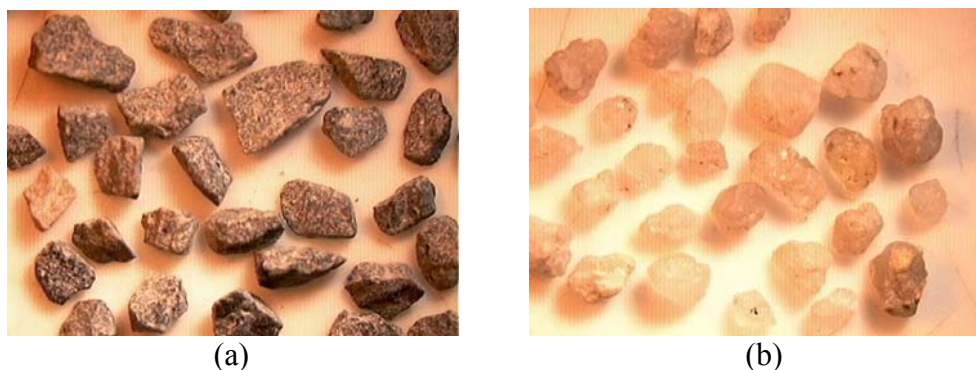


Figura 8 – Imagens capturadas através da lupa da fração retida na peneira de malha 1,2 mm (a) areia britada e (b) areia natural

3.4 CONFECÇÃO DAS PAREDES DE ALVENARIA E DOS PAINÉIS

Foram confeccionadas numa sala localizada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná três paredes de alvenaria de 450 cm de largura por 240 cm de altura utilizando blocos cerâmicos de 6 furos, assentados com a argamassa T5 de areia britada, sobre uma viga de concreto armado impermeabilizada e chapiscada utilizando peneira de malha 4,8 mm, com argamassa de cimento e areia britada no traço 1 : 3, em volume de material seco. A junta de assentamento foi de aproximadamente um centímetro. Os resultados dos ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos estão apresentados no Apêndice C.

A Figura 9 mostra a disposição das paredes dentro da sala cujas dimensões internas são 810 cm por 700 cm com pé-direito de 430 cm. A janela J1 foi vedada com chapas de compensado para evitar a incidência do sol proveniente de leste. Nenhum dos painéis foi atingido pelo sol durante a execução dos ensaios.

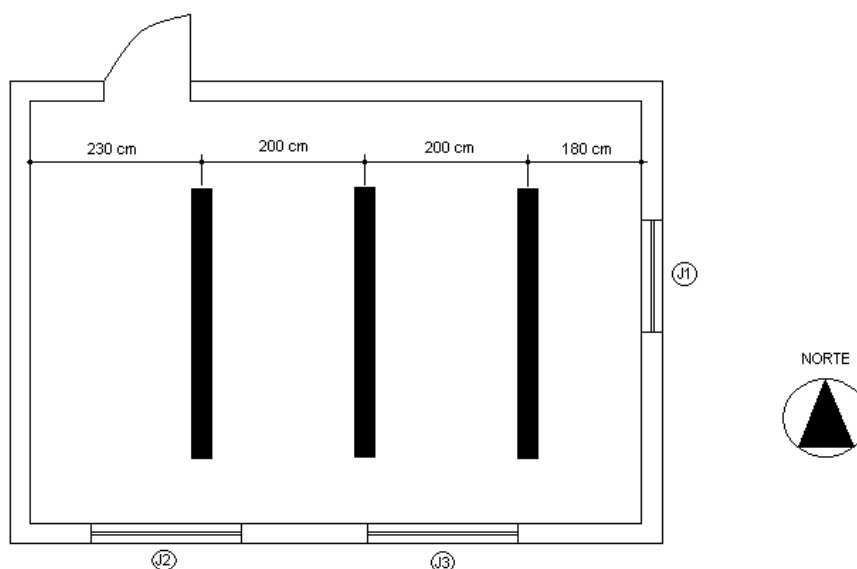


Figura 9 – Disposição das paredes na sala

A Figura 10 mostra as paredes finalizadas sem chapisco com colunas de tijolos nas duas extremidades, para aumentar a rigidez.



Figura 10 – Paredes de alvenaria de 450 cm de largura por 230 cm de altura sem chapisco

Cada parede foi dividida em oito painéis de 80 cm de largura por 100 cm de altura, com ripas de madeira cambará com espessura de dois centímetros. Para evitar que as ripas absorvessem a água das argamassas, estas foram impermeabilizadas com duas demãos de verniz marítimo. Os painéis com argamassas com areia natural e areia britada de mesmo traço foram dispostos lado a lado, para minimizar a influência da temperatura da sala, como pode ser observado na Figura 11.



Figura 11 – Vista dos painéis prontos para o revestimento

3.5 TRANSFORMAÇÃO DE TRAÇO EM VOLUME PARA MASSA

Os proporcionamentos dos materiais, em massa, foram definidos a partir da determinação da massa unitária do cimento, da cal hidratada em pó e das areias.

A equação 1 apresenta o proporcionamento: uma unidade de volume de cimento, “ a ” unidades de volume de cal e “ b ” unidades de volume de areia.

$$1 : a : b \quad \text{equação 1}$$

A NBR 7251 (ABNT, 1982) define massa unitária de um agregado no estado solto com sendo o quociente da massa do agregado lançado em recipiente (definido conforme as dimensões do agregado) e o volume desse recipiente. Logo, transformando o proporcionamento de volume da equação 1 para massa, utilizando-se as massas unitárias de cada material, ficará com o proporcionamento apresentado na equação 2.

$$1.m_{uc} : a.m_{uk} : b.m_{ua} \quad \text{equação 2}$$

Onde:

m_{uc} = massa unitária do cimento (g/cm^3);

m_{uk} = massa unitária da cal (g/cm^3);

m_{ua} = massa unitária da areia (g/cm^3).

Dividindo-se a equação (2) pela massa unitária do cimento (m_{uc}) de modo a obter uma unidade de massa de cimento, ficará com o proporcionamento apresentado na equação (3).

$$1 : \frac{a.m_{uk}}{m_{uc}} : \frac{b.m_{ua}}{m_{uc}} \quad \text{equação 3}$$

Por exemplo, a argamassa de areia britada T1 tem proporcionamento em volume 1 : 1 : 4 (cimento : cal hidratada em pó : areia seca). Utilizando a equação 3 e as massas unitárias apresentadas no Apêndice A, o proporcionamento em massa da argamassa T1 passa a ser 1 : 0,58 : 5,32.

Os proporcionamentos dos materiais em massa foram definidos para massa de cal hidratada em pó, porém, na preparação das argamassas utilizaram-se massa de pasta de cal que contém 75,44% de água. A massa de cal hidratada em pó é igual a massa de pasta de cal subtraída da massa de água contida na pasta. Logo, conforme mostra a Tabela D 2 do Apêndice D, a argamassa T1 de areia britada utilizou 6500,00 gramas de cimento, sendo que 3741,44 gramas de cal hidratada em pó correspondem a 6563,98 gramas de pasta de cal, onde 2822,54 gramas (75,44% de 3741,44) é a quantidade de água contida na pasta. Como a pasta ficou em processo de maturação por aproximadamente 30 dias, a água da pasta juntamente com a água adicionada hidratou o cimento.

Os proporcionamentos em volume e em massa, as quantidades de materiais e os índices de consistência para cada argamassa estão apresentados no Apêndice D.

3.6 PREPARO DAS ARGAMASSAS E REVESTIMENTO DOS PAINÉIS

As argamassas foram preparadas fazendo a mistura em massa de cimento, pasta de cal e areia em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 120 litros (Figura 12), utilizando a seguinte seqüência: areia, em seguida cimento e depois a pasta de cal. Foi adicionada água na mistura para se obter um índice de consistência na mesa $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$, durante 10 minutos.



Figura 12 – Betoneira de eixo inclinado com capacidade de 120 litros

Após trinta dias da realização do chapisco, foram revestidos os painéis (dois por dia, um com argamassa de areia britada e outro de areia natural). Todos os painéis foram revestidos pelo mesmo oficial pedreiro, obedecendo à seguinte seqüência: lançamento da argamassa, após 5 minutos fez-se o sarrafeamento e esperou-se 15 minutos para execução do desempeno, conforme mostra a Figura 13.

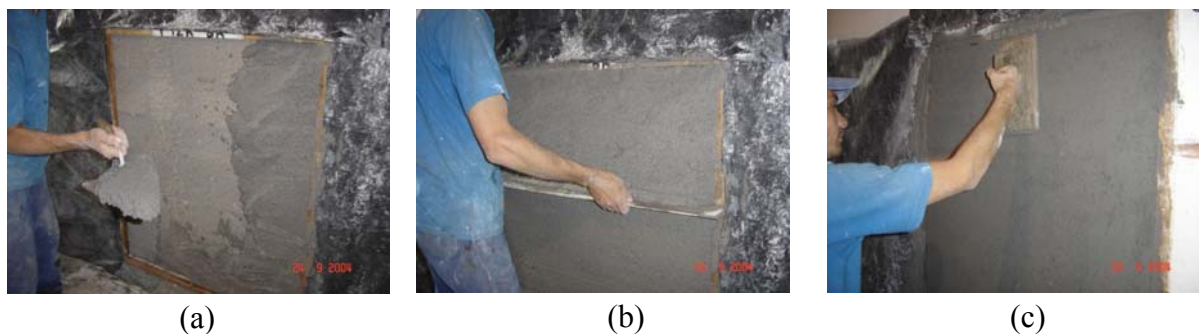


Figura 13 – (a) lançamento da argamassa, (b) sarrafeamento, (c) desempeno

Foram moldados 40 corpos de prova 50 mm x 100 mm de uma porção da argamassa de cada betonada, conforme procedimentos da norma NBR 7215 (ABNT, 1996), para ensaios de resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica, densidade de massa aparente no estado endurecido e módulo de elasticidade. Também foram moldados 9 corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm para ensaios de tração na flexão e permeabilidade por capilaridade. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e mantidos no ambiente de laboratório até a idade de ensaio.

3.7 ENSAIOS REALIZADOS

3.7.1 Argamassa no Estado Fresco

3.7.1.1 Teor de água e índice de consistência

O teor de água e o índice de consistência foram determinados utilizando os

procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 1995) com utilização da mesa de consistência descrita pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996). O índice de consistência-padrão proposto pela norma NBR 13276 (ABNT, 1995) é $255 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$, porém foi adotado o índice de consistência de $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ para provocar a incidência de fissuras por retração.

3.7.1.2 Teor de ar aprisionado

O ensaio de teor de ar aprisionado foi determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme procedimentos da norma NBR 13278 (ABNT, 1995). Foram feitas três determinações para cada traço e os resultados estão apresentados no Apêndice E.

3.7.1.3 Retenção de água

A retenção de água das argamassas foi determinada conforme a norma CSTB 2669-4/1993 e procedimentos descritos por DO Ó (2004), utilizando o Funil de Buchner modificado (descrito pela ASTM C 91-99), também utilizado para o ensaio de retenção de consistência (Figura 14). A norma NBR 13277 (ABNT, 1995) prescreve procedimentos para determinar a retenção de água de argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos utilizando papel filtro, porém, diversos autores como NAKAKURA (2003), TRISTÃO & MACHADO (2003), DO Ó (2004), entre outros, constataram que este método não é eficaz. Os resultados individuais de retenção de água estão apresentados no Apêndice F.



Figura 14 – Funil de Buchner modificado

3.7.2 Argamassa no Estado Endurecido

3.7.2.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada nas idades de 7, 28 e 56 dias, utilizando 6 corpos de prova 50 mm x 100 mm para cada idade, em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 1995), utilizando uma prensa EMIC DL10000 com velocidade de carregamento de 100 N/s. A Figura 15 mostra a execução do ensaio e a prensa utilizada.



Figura 15 – Ensaio de resistência à compressão

Os resultados individuais, média, desvio-padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice G.

3.7.2.2 Resistência à tração na flexão

Foram utilizados 6 corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada argamassa para realização do ensaio de resistência a tração na flexão na idade de 84 dias, conforme a norma DIN EN 1015 – Part 11 (1999), numa prensa EMIC DL10000 com velocidade de carregamento de 13 N/s, conforme mostra a Figura 16.



Figura 16 – Ensaio de resistência à tração na flexão

Aplicou-se uma carga no centro do corpo de prova bi-apoiado e a tensão de tração na flexão foi obtida através da Equação 4.

$$\sigma = \frac{1,5PL}{bh^2} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

σ = tensão de tração na flexão (MPa);

P = carga aplicada no meio do corpo de prova (N);

L = distância entre os apoios (100 mm);

b = maior dimensão da seção transversal do corpo de prova (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

Os resultados individuais, média, desvio-padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice H.

3.7.2.3 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido foi realizado na idade de 56 dias em 4 corpos de prova 50 mm x 100 mm, para cada argamassa, conforme procedimentos descritos na norma NBR 13280 (ABNT, 1995). Os resultados individuais encontram-se no Apêndice J.

3.7.2.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica foi realizado nos mesmos 4 corpos de prova utilizados no ensaio de densidade de massa aparente, aos 56 dias de idade, utilizando a norma NBR 9778 (ABNT, 1987). Os resultados individuais estão apresentados no Apêndice M.

3.7.2.5 Absorção de água por capilaridade

O ensaio para determinar o coeficiente de capilaridade foi realizado em corpos de prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm, aos 56 dias de idade, utilizando a norma CSTB 2669-4 (1993). O coeficiente de capilaridade é o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas a raiz quadrada dos tempos de 10 minutos e 90 minutos e no eixo das ordenadas as absorções de água correspondentes a estes tempos. A Figura 17 ilustra a execução do ensaio.

A norma NBR 9779 (ABNT, 1987) menciona que as leituras devem ser feitas nas idades de 3, 6, 24, 48 e 72 horas e a mancha de água não pode alcançar a face superior do corpo de prova. Como a mancha de água atingiu a face superior, em alguns corpos de prova, com menos de 4 horas após o contato com a água, não se utilizou esta norma.

TRISTÃO & ROMAN (1997) propuseram uma metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade para corpos de prova 50 mm x 100 mm ajustando os tempos de absorção de água da norma NBR 9779 (ABNT, 1995) para cada 10 minutos, até completar 100 minutos. Em seguida, a cada 20 minutos, até que

as manchas de água se tornem visíveis na superfície superior.

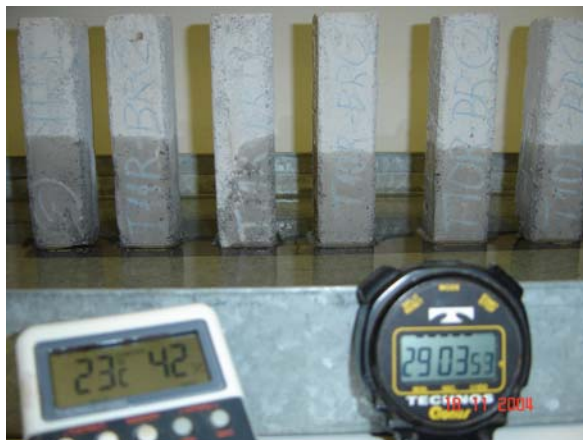


Figura 17 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

Os resultados individuais, média, desvio padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice L, bem como as medidas das alturas da mancha de água.

3.7.2.6 Módulo de elasticidade

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade foi realizado no laboratório da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, utilizando três corpos de prova 50 mm x 100 mm para cada argamassa, na idade de 371 dias.

O módulo de elasticidade (E_d) foi determinado através do método dinâmico, utilizando a Equação 5, de acordo com a norma BS-1881 Part 203/1986.

$$E_d = \gamma \cdot v^2 \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

γ = densidade de massa no estado endurecido em kg/m^3 ;

v = velocidade com que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova no sentido longitudinal (em km/s);

ν = Coeficiente de Poisson que, segundo CALLISTER (2002), é a razão entre a deformação transversal e a razão longitudinal quando um corpo de prova é

submetido a uma carga de compressão axial. Segundo CARNEIRO (1999), para argamassas o coeficiente varia de 0,10 a 0,20, sendo tanto menor quanto menor for a capacidade de deformação da argamassa. Foi adotado o valor de 0,2.

A velocidade da onda ultra-sônica foi obtida utilizando a Equação 6.

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

d = altura do corpo de prova (em km);

t = tempo (em segundos) que a onda ultra-sônica percorre a distância d , obtido através do equipamento PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester*) com a utilização de transdutores de 54 kHz, conforme está ilustrado na Figura 18.

As Tabelas J 3 e J 4 do Apêndice J apresentam os resultados da densidade de massa no estado endurecido para a areia natural e areia britada, respectivamente, aos 371 dias de idade, que foram utilizados para a determinação do módulo de elasticidade. No Apêndice K, as Tabelas K 1 e K 2 apresentam os resultados médios do tempo de propagação da onda ultra-sônica e as Tabelas K 3 e K 4 apresentam os resultados médios do módulo de elasticidade.



Figura 18 – Determinação do tempo em que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova 50 mm x 100 mm utilizando o PUNDIT

3.7.3 Revestimentos

3.7.3.1 Resistência de aderência à tração

O ensaio para determinação da resistência de aderência foi realizado nos revestimentos na idade de 84 dias, seguindo os procedimentos descritos na norma NBR 13528 (ABNT, 1995). Utilizou-se um macaco hidráulico de comando manual da marca Enerpac com capacidade de 10.000 psi, ao qual foi adaptado um manômetro com capacidade de 850 psi. Em cada revestimento realizaram-se no mínimo 6 ensaios utilizando pastilhas de ferro quadradas de 10 cm de lado. A Figura 19 ilustra o ensaio.

Os resultados individuais com média, desvio padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice I.



Figura 19 – Ensaio de resistência de aderência à tração

3.7.3.2 Absorção de água pelo método do cachimbo

O ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, que não é normalizado no Brasil, determina a absorção de água e também a permeabilidade do revestimento. O procedimento de ensaio é proposto pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC, 1982) e pela *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et lês Constructions*

(RILEM, 1982). Alguns autores nacionais desenvolveram trabalhos utilizando o Método do Cachimbo, entre eles POLISSENI (1986), SELMO (1989) e ALMEIDA DIAS & CARASEK (2003).

O ensaio foi realizado nas idades de 7, 28 e 56 dias, ajustando os tempos de leitura a cada minuto até completar 15 minutos. Utilizaram-se dois cachimbos que foram fixados nos revestimentos com silicone e massa de calafetar conforme pode ser observado na Figura 20. Algumas medidas tiveram alta absorção de água, que foram desconsideradas, devido provavelmente ao cachimbo ter sido colocado sobre alguma fissura não visível. As medidas que foram consideradas são aquelas que obtiveram duas medições de absorção de água após 15 minutos com menores dispersões. Procurou-se fixar os cachimbos em locais que aparentemente não apresentavam fissuras, porém sem se preocupar se era sobre o bloco ou sobre juntas de assentamento, pois segundo ALMEIDA DIAS & CARASEK (2003) isto não influencia nos resultados de permeabilidade.



Figura 20 – Ensaio de permeabilidade e absorção de água pelo Método do Cachimbo

Estão apresentados no Apêndice N os valores individuais da absorção de água (ml) e a taxa de absorção de água (ml/min) a cada minuto para duas determinações, bem como a taxa média de absorção de água para cada revestimento nas idades de 7, 28 e 56 dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Registrou-se a temperatura e a umidade relativa do ar na data do revestimento dos painéis. Foram revestidos dois painéis por dia, o primeiro com argamassa de areia britada e o segundo com areia natural, exceto nos dias 23/09/04 e 24/09/04, em que foram revestidos os dois painéis em cada dia com areia britada. Entre as duas betonadas transcorreram aproximadamente duas horas. A temperatura e a umidade relativa do ar no momento em que os painéis foram revestidos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Temperatura e umidade relativa do ar na data dos revestimentos dos painéis

Argamassa	Data	Temperatura (°C)		Umidade relativa do ar (%)	
		Areia natural	Areia britada	Areia natural	Areia britada
T1	10/09/2004	18,4	21,7	72,6	66,4
T2	13/09/2004	14,2	17,2	96,1	84,5
T3	14/09/2004	16,5	13,1	82,5	95,9
T4	15/09/2004	14,6	20,3	56,2	36,2
T5	16/09/2004	16,4	20,5	65,4	56,4
T6	17/09/2004	15,1	17,7	81,1	71,4
T7	20/09/2004	22,8	29,5	59,6	35,6
T8	21/09/2004	21,9	28,9	60,7	31,8
T9	22/09/2004	26,0	30,4	44,0	33,3
T10	23/09/2004	-	19,3	-	81,4
T11	23/09/2004	-	20,4	-	74,7
T6b	24/09/2004	-	16,3	-	91,8
T2b	24/09/2004	-	25,3	-	55,2

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resumos das caracterizações das argamassas no estado fresco com areia natural e areia britada, respectivamente.

Tabela 9 – Resumo das características das argamassas no estado fresco produzidas com areia natural

Arg	Relação água/cimento	Teor de água ⁵ (%)	Teor de ar aprisionado (%)	Retenção de água ⁶ (%)	Densidade de massa (kg/m ³)
T1	1,58	24,05	0,26	61,80	2001
T2	2,16	23,89	1,04	46,80	1986
T3	2,74	23,77	2,53	40,15	1957
T4	2,74	28,45	0,05	58,71	1929
T5	3,38	25,26	2,48	53,63	1928
T6	4,45	25,99	2,37	49,13	1920
T7	3,88	30,55	0,38	64,38	1889
T8	4,92	27,81	1,40	54,02	1909
T9	6,12	27,01	1,47	50,58	1920

Legenda

Traço em volume

(cimento : cal hidratada : areia seca)

T1 → 1 : 1 : 4

T8 → 1 : 3 : 12

T2 → 1 : 1 : 6

T9 → 1 : 3 : 16

T3 → 1 : 1 : 8

T10 → 1 : 1 : 10

T4 → 1 : 2 : 6

T11 → 1 : 2 : 15

T5 → 1 : 2 : 9

T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor)

T6 → 1 : 2 : 12

T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

T7 → 1 : 3 : 8

Tabela 10 – Resumo das características das argamassas no estado fresco produzidas com areia britada

Arg	Relação água/cimento	Teor de água ⁵ (%)	Teor de ar aprisionado (%)	Retenção de água ⁶ (%)	Densidade de massa (kg/m ³)
T1	1,56	22,58	0,21	69,68	2080
T2	2,23	23,34	0,33	64,03	2066
T3	2,63	21,57	1,44	53,70	2076
T4	2,68	26,42	0,42	66,94	2000
T5	3,42	24,19	0,71	53,70	2036
T6	4,23	23,36	2,01	51,53	2026
T7	3,78	28,28	0,08	62,90	1973
T8	4,92	26,34	0,50	54,30	2001
T9	6,02	25,08	0,66	47,89	2022
T10	3,32	22,29	1,41	ND*	2065
T11	5,32	24,06	1,08	ND*	2035
T6b	4,10	22,62	1,92	68,68	2041
T2b	2,23	22,68	0,76	ND*	2069

*ND = não determinado

⁵ Teor de água, segundo a norma NBR 13276 (ABNT, 1995), é a relação água/materiais secos multiplicado por 100, expresso em porcentagem.⁶ Retenção de água após 15 minutos de sucção no Funil de Buchner modificado.

Foi adicionada água para se obter um índice de consistência de $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ na mesa, descrita pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996). Observando os resultados das Tabelas 9 e 10, constata-se que:

- à medida que aumenta a relação cal/cimento, aumenta sensivelmente a quantidade de água para manter o índice de consistência definido.

Isso se deve ao aumento da área superficial da fração aglomerante das argamassas, pois a cal é mais fina do que o cimento.

- nos traços que possuem a mesma relação cal/cimento, à medida que aumenta a relação agregado/aglomerante, diminui o teor de água, diminui a retenção de água e aumenta o teor de ar aprisionado.

Com o aumento da relação agregado/aglomerante, a área superficial da argamassa diminui devido, à redução da fração fina dos aglomerantes, e com isto a exigência de água para o mesmo índice de consistência diminui. Devido, também, à redução da fração fina de aglomerantes, ocorre a redução da retenção de água, já que a retenção de água das argamassas se deve, principalmente, à adsorção de água à superfície das partículas. O aumento do teor de ar aprisionado com o aumento do teor de agregado ocorre durante as operações de mistura dos materiais no preparo e na moldagem das argamassas para a realização do ensaio. Como os procedimentos de mistura e moldagem foram mantidos constantes para todas as argamassas, a maior retenção de ar se deve, provavelmente, a uma relação entre a viscosidade da pasta e o arraste das partículas dos agregados. A variação da viscosidade da pasta com o aumento da relação agregado/aglomerante ocorre para a manutenção do índice de consistência constante para todas as argamassas.

- as argamassas produzidas com areia britada apresentaram teor de água e teor de ar aprisionado menores, e retenção de água maior do que as argamassas produzidas com areia natural, na maioria dos traços com o mesmo proporcionamento de materiais.

O menor teor de água exigido para as argamassas com areia britada se deve, principalmente, à maior massa específica deste agregado ($2,778 \text{ g/cm}^3$) em relação à

areia natural ($2,632 \text{ g/cm}^3$). Como o ensaio de consistência na mesa mede deformações decorrentes da força da gravidade nas argamassas cujas pastas apresentam viscosidades aproximadamente iguais, pois as granulometrias são aproximadamente iguais para os dois agregados (diferentes no teor de material pulverulento e na forma e textura das partículas), as deformações serão maiores para maiores massas específicas dos componentes. A redução do teor de ar aprisionado das argamassas produzidas com areia britada com relação às argamassas produzidas com areia natural, provavelmente se deve ao maior teor de material pulverulento dos agregados britados em relação aos naturais, e que também deve ser a causa do aumento da retenção de água.

A mobilidade e a interação entre as partículas com diâmetros menores do que $0,075 \text{ mm}$ se deve, principalmente, às cargas de superfícies. Portanto, com o aumento do teor material pulverulento da areia e do teor de cal na argamassa, é necessária maior quantidade de água de amassamento para obter o mesmo índice de consistência na mesa, devido, também, ao fato de a cal e os materiais pulverulentos possuírem a propriedade de aumentar a retenção de água.

De acordo com a classificação da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) apresentada na Tabela 5, quanto ao requisito retenção de água, todas as argamassas com areia natural e areia britada são da classe U1, retenção de água inferior a 78% e quanto à densidade de massa no estado fresco todas as argamassas são da classe D5, exceto T7 de areia natural, que é da classe D4.

4.2 DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO

A Figura 21 apresenta os resultados médios da densidade de massa no estado endurecido realizado em corpos de prova $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ aos 56 dias de idade conforme norma NBR 13280 (ABNT, 1995).

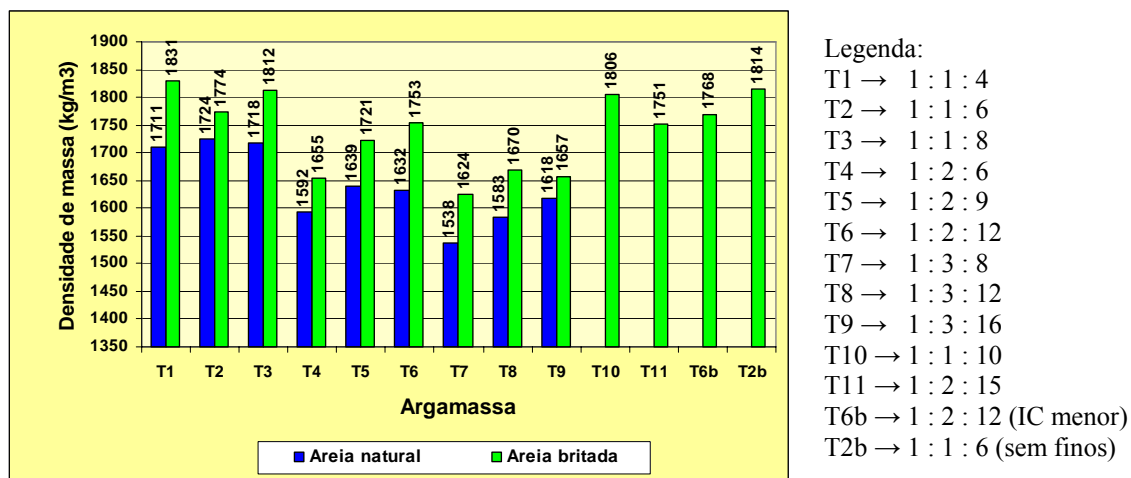


Figura 21 – Densidade de massa no estado endurecido realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural e areia britada, conforme NBR 13280 (ABNT, 1995)

Constatou-se que, à medida que aumenta a relação cal/cimento, diminui a densidade de massa para ambas as areias. As argamassas produzidas com areia natural e areia britada, que possuem mesma relação agregado/aglomerante, à medida que aumenta o teor de cal, diminui a densidade de massa. Como já foi descrito no item anterior, o aumento do teor de cal produz um aumento no consumo de água. A água da mistura que hidrata o cimento, não participa das reações químicas com os componentes da cal, já que a pasta de cal ficou maturando por aproximadamente 30 dias e os grãos de areia são materiais inertes com baixa absorção de água (Tabelas A 6 e A 10 do Apêndice A). Conforme mostra os resultados da Tabelas 14 e 15, com o aumento do teor de cal, aumentam o índice de vazios e a absorção de água no estado endurecido, devido, principalmente, a perda de água que ficou adsorvida às partículas no estado fresco, ocasionando, assim, a diminuição da densidade de massa no estado endurecido. Este fato pode ser constatado pela correlação linear entre o teor de água e densidade de massa no estado endurecido aos 56 dias de idade, para as argamassas produzidas com areia natural e areia britada, apresentado na Figura 22.

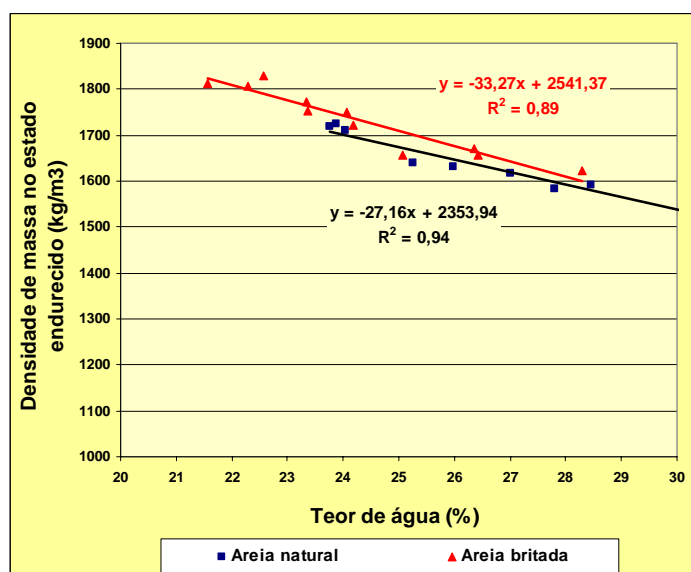


Figura 22 – Correlação linear entre teor de água e densidade de massa no estado endurecido aos 56 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

A argamassa T2, produzida com areia britada com teor de material pulverulento menor do que a argamassa T2b, apresentou menor densidade de massa. Estes resultados demonstram que, possivelmente, o aumento dos teores de finos (cal e material pulverulento) na produção da argamassa aumenta o grau de empacotamento do conjunto agregado e aglomerante, conforme foi constatado por SILVA et al. (2005b), pois, segundo McGEARY (1961) citado por PILEGGI (2001), o empacotamento está relacionado com a correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente. O menor teor de água da argamassa T6b em relação à argamassa T6 pouco influenciou no resultado da densidade de massa.

Todas as argamassas produzidas com areia britada apresentaram densidade de massa maior do que aquelas produzidas com areia natural, comparativamente ao mesmo traço. Isto pode ser explicado pelo fato de que a areia britada possui maior teor de material pulverulento e, também, maior massa específica do que a areia natural. Os finos ocupam os vazios entre os grãos de areia, aumentando assim a compacidade do conjunto.

A massa específica de um agregado, segundo a NBR 9776 (ABNT, 1987), é a relação entre massa do agregado seco em estufa (100°C a 110°C) até a constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis e, de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982), massa unitária aparente de um agregado em estado solto é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente normalizado e o volume desse recipiente. A diferença entre a massa específica e a massa unitária, com relação à massa específica, é o índice percentual de vazios do agregado. A massa específica da areia natural é 2,632 g/cm³ e a massa unitária no estado solto é 1,492 g/cm³, o que produz para este agregado um índice de vazios de 43,31%. A massa específica da areia britada é 2,778 g/cm³ e a massa unitária no estado solto é 1,592 g/cm³, tendo, então, 42,69% de vazios. O teor de material pulverulento não altera a massa específica do agregado, logo a massa específica da areia britada sem finos é, também, 2,778 g/cm³, enquanto que a massa unitária no estado solto é 1,643 g/cm³ e possui 40,86% de vazios. Analisando estes resultados, constata-se que quanto maior o teor de material pulverulento do agregado, maior será a massa específica (para agregados de naturezas diferentes) e quanto menor o índice de vazios dos agregados, maior a densidade de massa no estado endurecido, aumentando, assim, o empacotamento das partículas, conforme já foi discutido anteriormente.

Quanto ao requisito densidade de massa no estado endurecido, segundo a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005), apresentado na Tabela 5, as argamassas com areia natural T1, T2 e T3 são da classe M5 e as demais são da classe M4. As argamassas T4, T7, T8 e T9 de areia britada são da classe M4 e as demais são da classe M5.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA FLEXÃO

O ensaio para determinar a resistência à compressão foi realizado em corpos de prova 50 mm x 100 mm nas idades de 7, 28 e 56 dias, conforme a NBR 13279 (ABNT, 1995). Os resultados médios para cada tipo de areia estão apresentados nas Figuras 23 e 24.

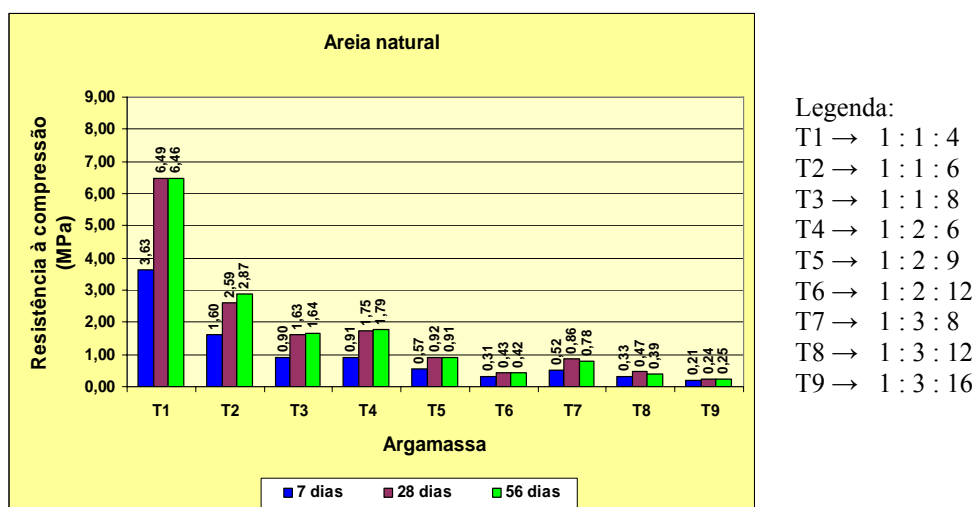


Figura 23 – Resultados médios da resistência à compressão conforme NBR 13279 (ABNT, 1995) realizado em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural aos 7, 28 e 56 dias de idade

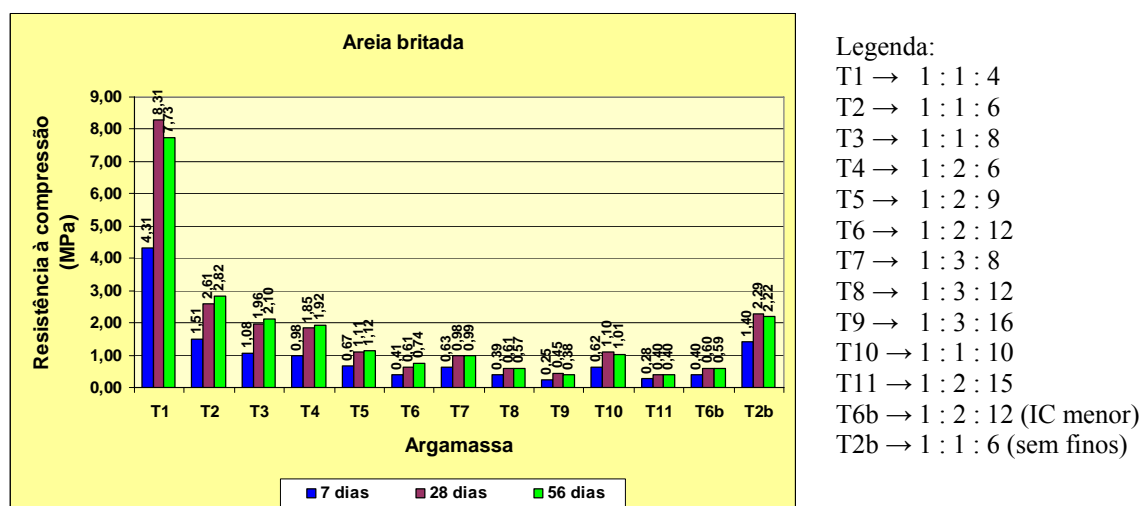


Figura 24 – Resultados médios da resistência à compressão conforme NBR 13279 (ABNT, 1995) realizado em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada aos 7, 28 e 56 dias de idade

Analisando os resultados das Figuras 23 e 24 constata-se que à medida que aumentam as relações cal/cimento e agregado/aglomerante, diminui a resistência à compressão para as argamassas produzidas tanto com areia natural quanto com areia britada. Após a idade de 28 dias, houve pouco acréscimo nas resistências à compressão.

Os revestimentos de argamassa estão mais associados à resistência à tração na flexão do que a resistência à compressão e, muitas vezes, a baixa resistência à tração na flexão não permite ao revestimento suportar os esforços de tensões, provocando assim as patologias nos revestimentos.

A Figura 25 apresenta os resultados médios da resistência à tração na flexão realizados em corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm na idade de 84 dias, conforme foi descrito no item 3.7.2.2.

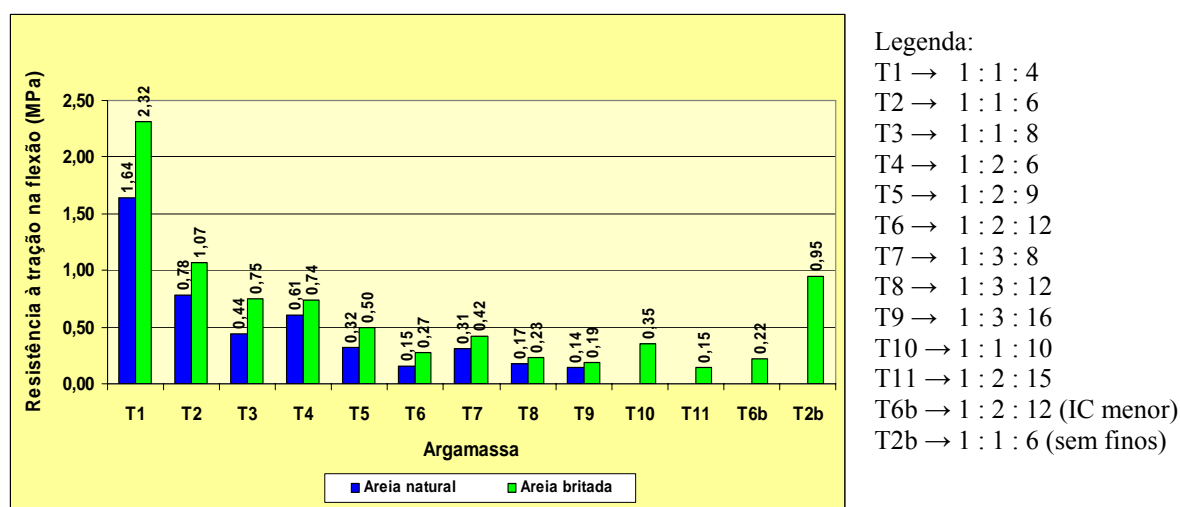


Figura 25 – Resultados médios da resistência à tração na flexão realizado aos 84 dias de idade em corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia natural e areia britada, conforme norma DIN EN 1015 – Part 11 (1999)

Os proporcionamentos dos materiais influenciaram na resistência à tração na flexão para as argamassas produzidas com os dois tipos de areia de forma similar à resistência à compressão. A diminuição nas resistências à compressão e à tração na flexão é mais acentuada quando há um aumento na relação agregado/aglomerante para os traços com relação cal/cimento = 1.

A argamassa T6 de areia britada, com maior teor de água, apresentou resistência à compressão e à tração maiores do que a argamassa T6b, conforme pode ser observado nos resultados das Figuras 24 e 25. O teor de material pulverulento maior na areia britada da argamassa T2 produziu resistências tanto de compressão quanto de tração na flexão maiores do que a argamassa T2b, de mesmo traço e mesmo agregado.

A equação de Abrams⁷ é muito utilizada como função entre a resistência à compressão e a relação água/cimento em concretos. Neste estudo experimental constatou-se que para argamassas de cimento, cal e areia, há também uma correlação exponencial entre a relação água/cimento e a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão, conforme mostra a Figura 26.

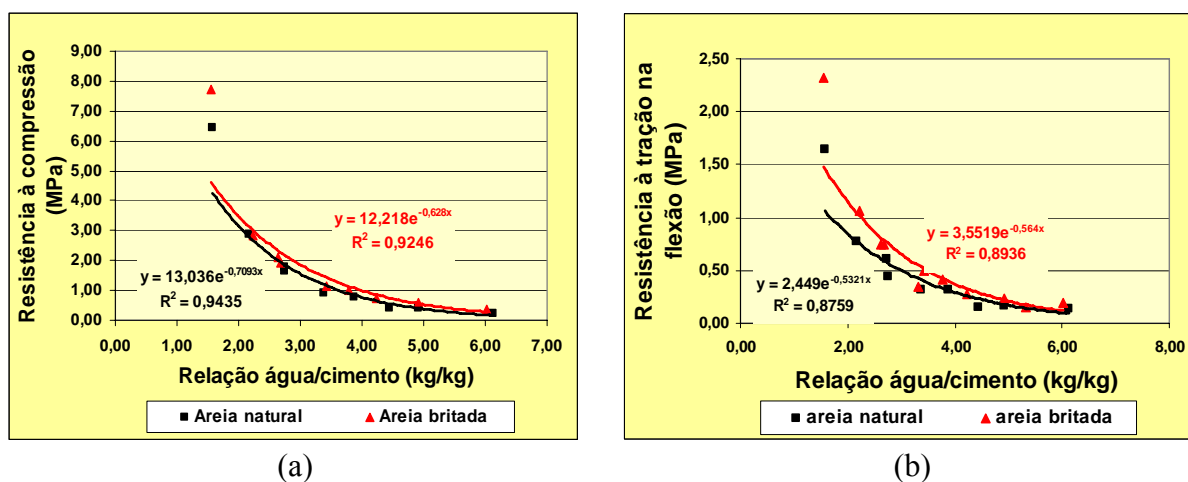


Figura 26 – Correlação exponencial entre relação água/cimento e: (a) resistência à compressão na idade de 56 dias; (b) resistência à tração na flexão na idade de 84 dias para as argamassas com areia natural e areia britada

O aumento do teor de água, diminui a resistência à compressão e, também, a resistência à tração na flexão para os dois tipos de areia, devido, provavelmente, ao aumento do índice de vazios (conforme já foi comentado no item 4.2).

Constatou-se que há correlação linear entre a resistência à compressão na idade de 56 dias e a resistência à tração na flexão na idade de 84 dias, conforme mostram os resultados da Figura 27, com expressivo coeficiente de determinação.

⁷ De acordo Duff Andrew Abrams (1918), a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades do concreto endurecido são inversamente proporcionais à relação água/cimento (a/c), segundo a equação $f_{cj} = \frac{A}{B^{a/c}}$. Onde: f_{cj} é a resistência à compressão na idade de j dias, A e B são constantes que dependem da natureza dos materiais, da idade e das condições de cura.

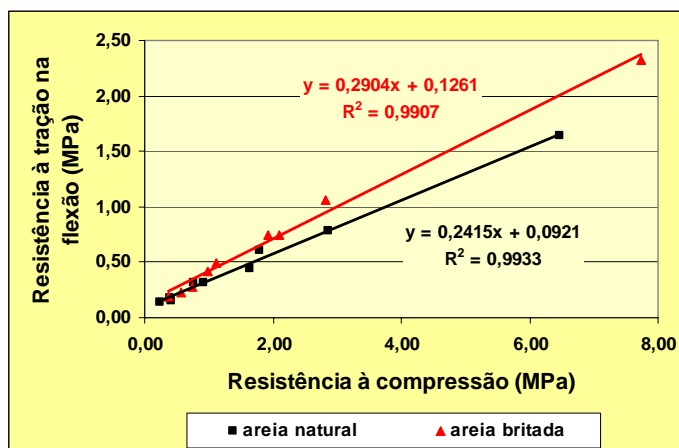


Figura 27 – Correlação linear entre resistência à compressão aos 56 dias de idade e resistência à tração na flexão aos 84 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

Em praticamente todos os traços, as argamassas com areia britada apresentaram resistências à compressão e à tração na flexão maiores do que as argamassas com areia natural, provavelmente devido ao fato de possuírem maior densidade de massa no estado endurecido, consequência da maior quantidade de material pulverulento, fato já discutido no item 4.2 e, também, possivelmente pelo menor teor de ar aprisionado.

A Tabela 11 apresenta a classificação das argamassas para o requisito resistência à compressão aos 28 dias de idade, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 11 – Classificação segundo NBR 13281 (ABNT, 2005) – Resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Argamassa	
		Areia natural	Areia britada
P1	≤ 2,0	T3, T5, T6, T7, T8, T9	T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T6b
P2	1,5 a 3,0	T2, T4	T2, T3, T4, T2b
P3	2,5 a 4,5	-	-
P4	4,0 a 6,5	-	-
P5	5,5 a 9,0	T1	T1
P6	>8,0	-	-

Quanto ao requisito resistência à tração na flexão da NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa com areia natural T1 é da classe R2 e as demais são da classe R1. A argamassa com areia britada T1 é da classe R3 e as demais são da classe R1.

4.4 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A Figura 28 apresenta os diversos locais onde ocorrem as rupturas nos revestimentos de argamassas quando é executado o ensaio de resistência de aderência à tração em pastilhas circulares de 10 cm de diâmetro ou em pastilhas quadradas de 10 cm de lado.

Segundo CINCOTTO et al. (1995) somente no caso da ruptura apresentada na Figura 28(A), o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio. Nos casos das rupturas (B), (C) e (D) da Figura 28, a resistência de aderência não foi determinada e, no mínimo, é maior do que o valor obtido no ensaio. A ruptura na cola, conforme ilustra a Figura 28(E), indica imperfeições na colagem da pastilha ao revestimento e o resultado deve ser desprezado.

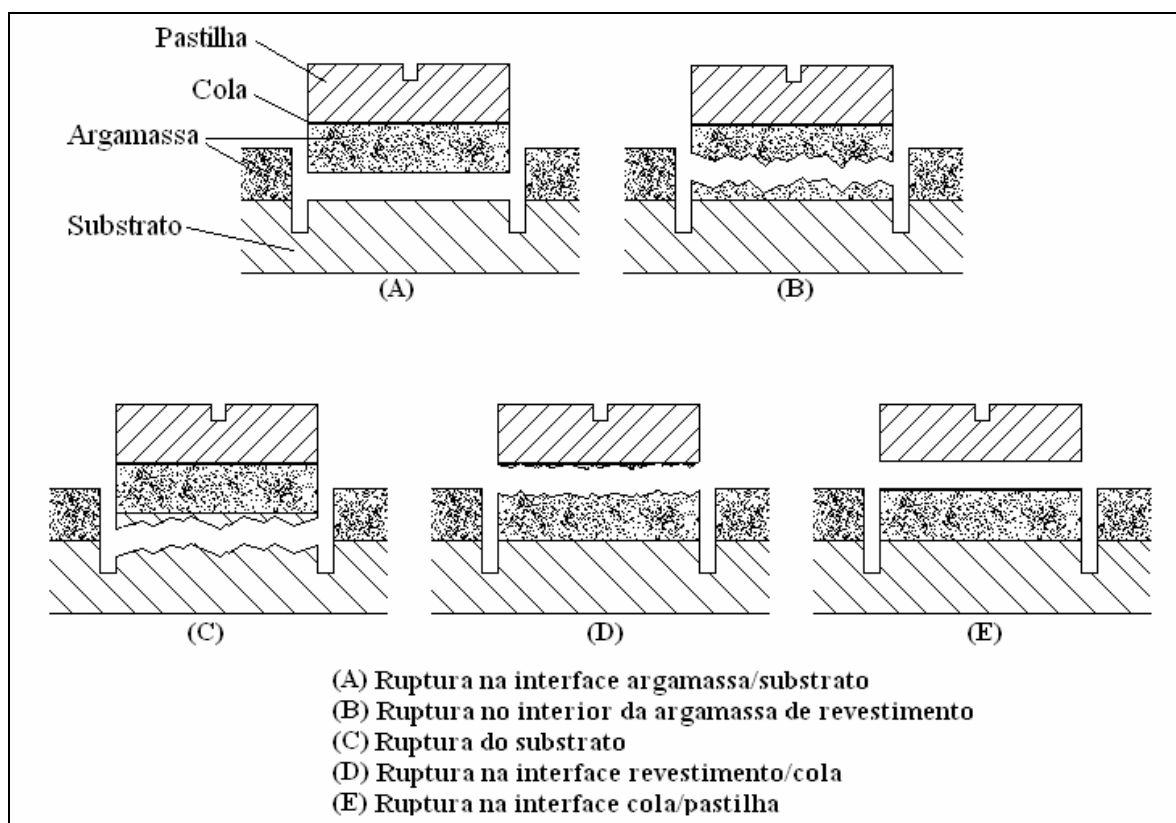


Figura 28 – Tipos de ruptura no ensaio de determinação de resistência de aderência à tração de revestimento (Adaptado de CINCOTTO et al., 1995)

A Tabela 12 apresenta os resultados médios da resistência de aderência à tração e o local de ruptura executados nos revestimentos de argamassas com areia natural e areia britada na idade de 84 dias, conforme ensaio descrito no item 3.6.3.1.

Tabela 12 – Resultados médios da resistência de aderência à tração e local de ruptura de acordo com a legenda apresentada na Figura 28 nos revestimentos conforme NBR 13528 (ABNT, 1995) aos 84 dias de idade

Argamassa	Resistência de aderência e local de ruptura			
	Areia natural		Areia britada	
	Ra ⁸	Local de ruptura	Ra ⁸	Local de ruptura
T1	0,28	C	0,29	C
T2	0,27	B	0,25	B
T3	0,18	A	0,20	B
T4	0,20	B	0,22	C
T5	0,18	B	0,19	A/B
T6	0,12	A	0,16	A
T7	0,13	A	0,16	A
T8	0,09	A	0,12	A
T9	0,10	A/B	0,11	A
T10	-	-	0,21	B
T11	-	-	0,12	A
T6b	-	-	0,13	A
T2b	-	-	0,24	C

Legenda:

T1 → 1 : 1 : 4

T2 → 1 : 1 : 6

T3 → 1 : 1 : 8

T4 → 1 : 2 : 6

T5 → 1 : 2 : 9

T6 → 1 : 2 : 12

T7 → 1 : 3 : 8

T8 → 1 : 3 : 12

T9 → 1 : 3 : 16

T10 → 1 : 1 : 10

T11 → 1 : 2 : 15

T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor)

T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

Constatou-se que tanto para a areia natural quanto para a areia britada, à medida que aumentam a relação cal/cimento e a relação agregado/aglomerante, diminui a resistência de aderência à tração, e para os traços com mesma relação agregado/aglomerante, o aumento do teor de cal diminui sensivelmente a resistência de

⁸ Resistência de aderência à tração em MPa.

aderência à tração.

O revestimento de argamassa T6 de areia britada, com maior teor de água com relação à argamassa T6b, apresentou resistência de aderência maior, e o revestimento de argamassa T2 de areia britada, com maior teor de material pulverulento com relação à argamassa T2b, apresentou resistência de aderência um pouco maior, fato este já constatado por SILVA et al. (2005b).

Todas as argamassas produzidas com areia britada apresentaram resistência de aderência maior do que aquelas produzidas com areia natural, exceto a argamassa T2, comparativamente ao mesmo traço.

O estudo experimental desenvolvido por SELMO (1989) constatou que a relação água/cimento das argamassas no estado fresco, em massa, pode ser tomada como variável determinante na resistência de aderência à tração. A autora constatou que ocorre decréscimo da resistência de aderência à tração com o aumento da relação água/cimento. Conforme mostra a Figura 29, este fato também ocorreu neste estudo experimental, assim como também se verificou para as resistências à compressão e à tração na flexão (Figura 26).

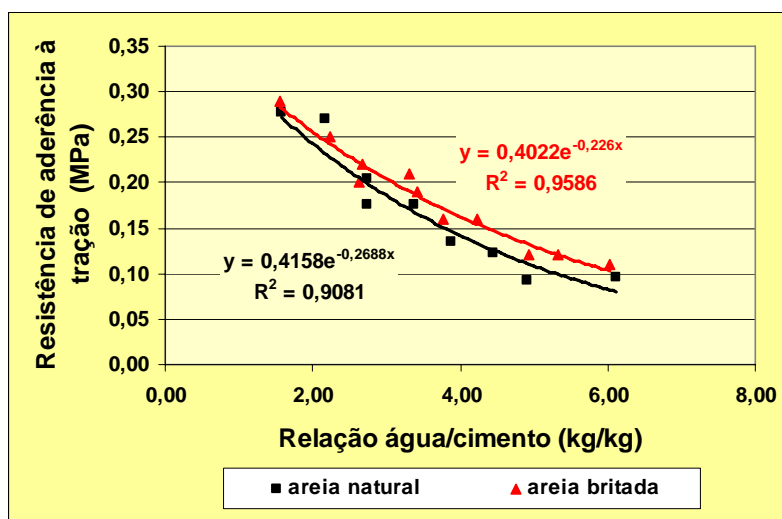


Figura 29 – Correlação exponencial entre relação água/cimento e resistência de aderência à tração aos 84 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

CARASEK (1996) detectou a influência da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão na resistência de aderência à tração, a qual atribuiu às variações nos teores de cimento das argamassas. Conforme os resultados da Figura 30, constatou-se que realmente há uma correlação exponencial entre a resistência de aderência à tração e a resistência à compressão e, também, entre resistência de aderência à tração e a resistência à tração na flexão das argamassas produzidas neste estudo experimental.

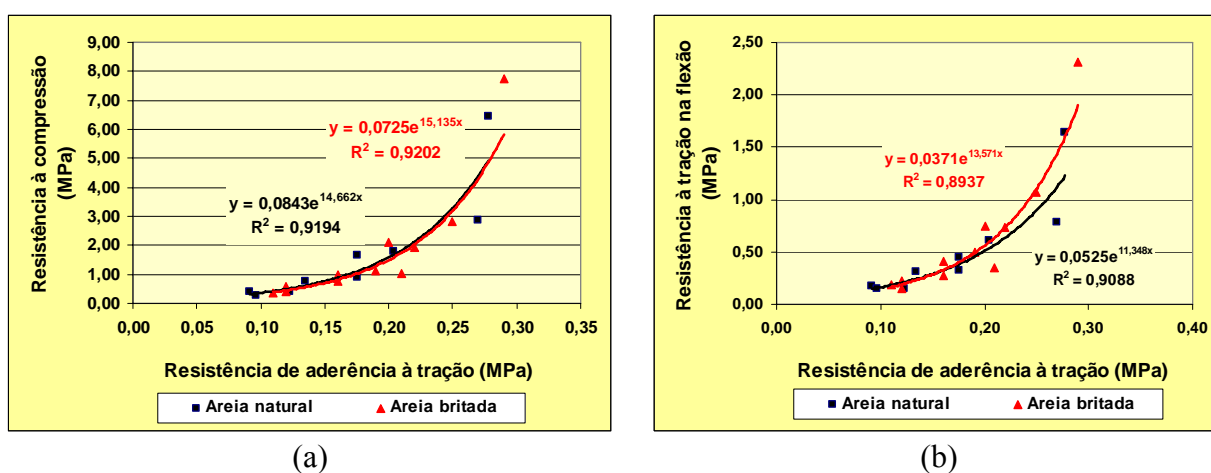


Figura 30 – Correlação exponencial entre resistência de aderência à tração e: (a) resistência à compressão aos 56 dias de idade; (b) resistência à tração na flexão aos 84 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

As argamassas de areia natural T1, T2 e T4 são da classe A2, segundo o requisito resistência potencial de aderência à tração da NBR 13281 (ABNT, 2005), podendo ser utilizadas para revestimentos de paredes internas e tetos, segundo as recomendações da NBR 13749 (ABNT, 1996); as demais argamassas com areia natural são da classe A1. As argamassas T1, T2, T3, T4, T10 e T2b de areia britada são da classe A2 e as demais são da classe A1. No entanto, nenhuma das argamassas, seja com areia natural ou com areia britada, pode ser utilizada para revestimento externo ou para revestimento interno com acabamento para cerâmica ou laminado, segundo os limites da norma NBR 13749 (ABNT, 1996), pois possuem resistência de aderência à tração inferior a 0,30 MPa.

4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os revestimentos de argamassa têm como função primordial numa edificação, entre outras, a impermeabilidade à água, principalmente se for externo. Este fenômeno pode ser compreendido através da movimentação da água pelos capilares do revestimento de argamassa utilizando o coeficiente de capilaridade.

A norma CSTB 2669-4 (1993) preconiza que o ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade deve ser realizado aos 28 dias de idade. Porém, devido ao grande número de ensaios realizados nesta idade, o coeficiente de capilaridade foi obtido na idade de 56 dias em corpos de prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm e estão apresentados na Figura 31.

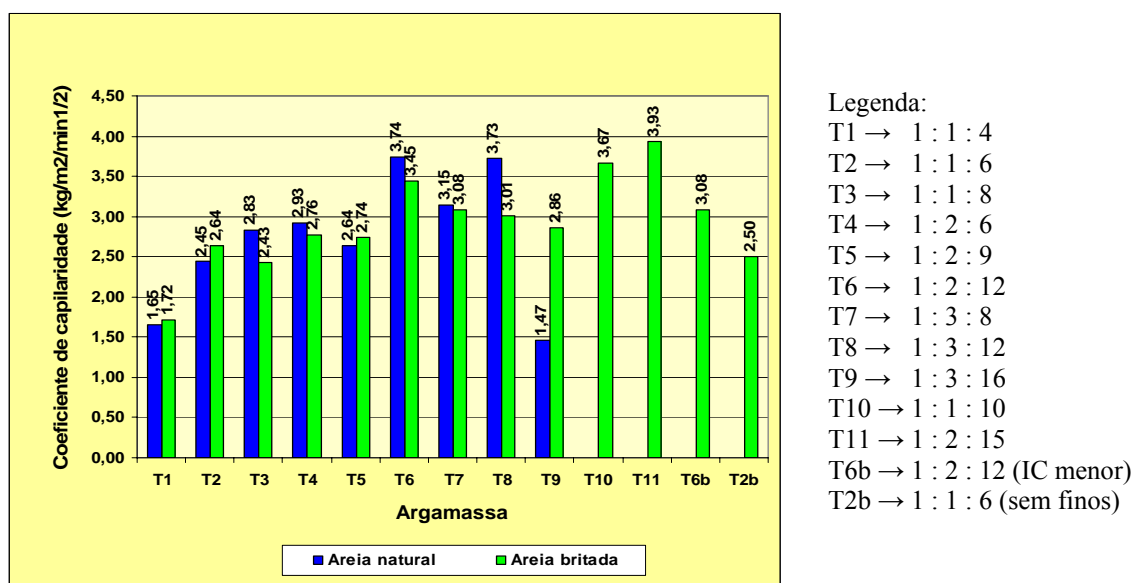


Figura 31 – Coeficientes de capilaridade realizados em corpos de prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia natural e areia britada, aos 56 dias de idade segundo a norma CSTB 2669-4 (1993)

A movimentação da água através dos capilares é determinada pela tensão superficial da água e a altura da penetração está relacionada aos capilares (LEVY, 2001) segundo a *Lei de Jurin*, apresentada pela Equação 7.

$$h = \frac{2\sigma}{r\gamma} \quad \text{equação 7}$$

Onde:

h = altura da penetração da água no capilar;

ν = tensão superficial da água;

r = raio dos capilares;

γ = massa específica da água.

A altura da penetração da água é inversamente proporcional ao raio dos capilares, conforme mostra a Equação 7, ou seja, quanto menor o raio dos capilares, maior será a altura que a água atingirá no corpo de prova. Observando os resultados da Figura 30, na maioria dos traços que possuem a mesma relação agregado/aglomerante, à medida que aumenta a relação cal/cimento, aumenta o coeficiente de capilaridade para os dois tipos de areia, devido, provavelmente, à diminuição do raio dos capilares pelo aumento do teor de material fino. O teor de material pulverulento maior na argamassa com areia britada T2 com relação à argamassa T2b, possivelmente, também provocou a diminuição do raio dos capilares. Com isso, a argamassa T2 apresentou coeficiente de capilaridade maior do que a argamassa T2b.

Não se constatou que o tipo de agregado influenciou nos resultados da absorção de água por capilaridade, pois, provavelmente, devido à retração, há fissuras no interior dos corpos de prova prismáticos, prejudicando, assim, os resultados do ensaio.

A Tabela 13 apresenta a classificação das argamassas para o requisito coeficiente de capilaridade segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005). A classe C3 foi a que apresentou a maior frequência de argamassas produzidas tanto com areia natural quanto com areia britada.

Tabela 13 – Classificação segundo NBR 13281 (ABNT, 2005) – Coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² /min ^{1/2})	Argamassa	
		Areia natural	Areia britada
C1	≤ 1,5	-	-
C2	1,0 a 2,5	T1, T9	T1
C3	2,0 a 4,0	T2, T3, T4, T5, T7	T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T6b, T2b
C4	3,0 a 7,0	T6, T8	T10, T11
C5	5,0 a 12,0	-	-
C6	> 10,0	-	-

4.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O ensaio de módulo de elasticidade utilizando o método dinâmico foi realizado no laboratório de argamassa da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com temperatura ambiente de 20° C e umidade relativa do ar de 70%, na idade de 371 dias com relação à argamassa T1. Os corpos de prova após desmoldados foram guardados em ambiente de laboratório até a data do ensaio, quando foram embalados em plástico e papel e transportados da cidade de Curitiba(PR) para São Paulo(SP). O ensaio foi realizado num único dia, pois devido ao longo tempo de cura, as diferenças de idades das argamassas não influenciariam significativamente nos resultados.

Os procedimentos de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade estão apresentados no item 3.7.2.6. A Figura 32 apresenta os resultados médios dos módulos e os resultados individuais para cada tipo de areia constam das Tabelas K 3 e K 4 do Apêndice K.

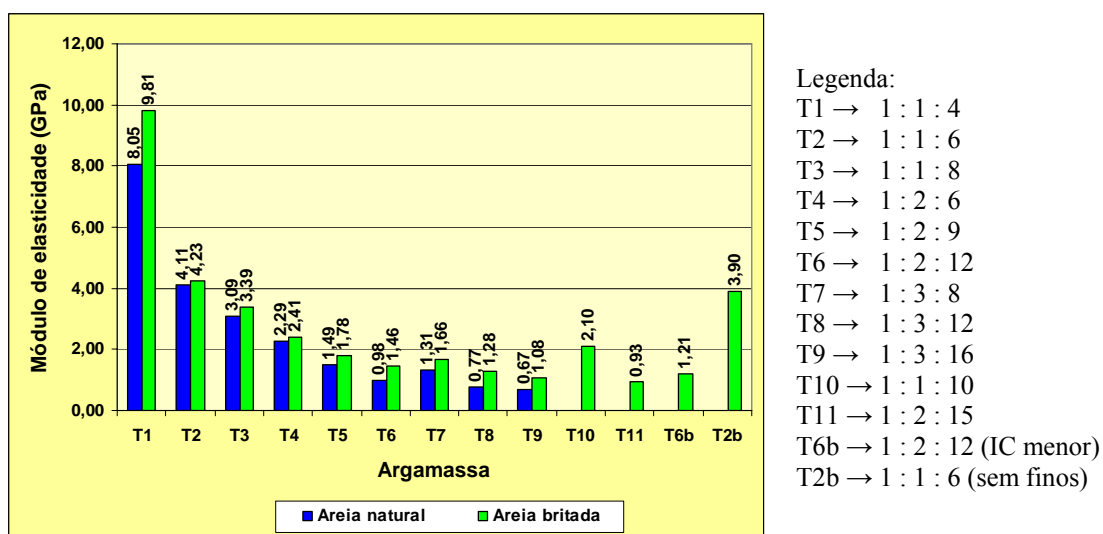


Figura 32 – Módulo de elasticidade realizado aos 371 dias de idade nos corpos de provas 50 mm x 100 mm para as argamassas com areia natural e areia britada

Para melhor visualização, as Figuras 33(a) e 33(b) apresentam os resultados médios do módulo de elasticidade em função das relações agregado/aglomerante e cal/cimento, para as argamassas produzidas com areia natural e areia britada, respectivamente.

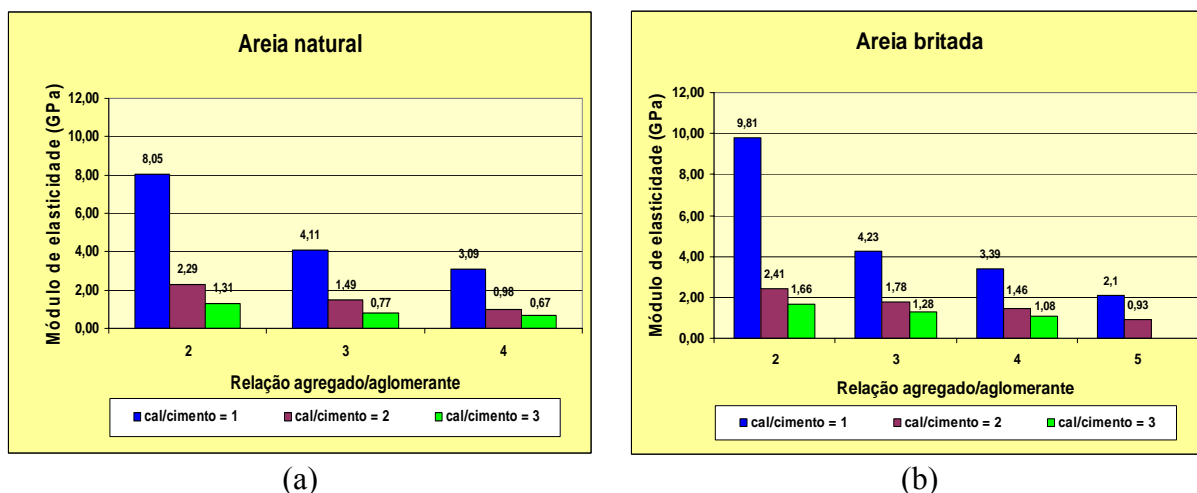


Figura 33 – Módulo de elasticidade em função das relações agregado/aglomerante e cal/cimento para as argamassas com: (a) areia natural e (b) areia britada

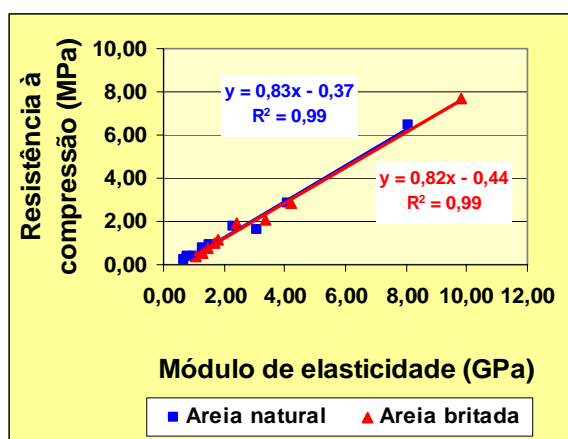
O módulo de elasticidade é uma expressão da rigidez da argamassa no estado endurecido, que é proporcionado pelo cimento hidratado (conforme já foi constatado

pelas Figuras 26 e 29, a resistência à compressão, a resistência à tração na flexão e a resistência de aderência à tração dependem da relação água/cimento), pelo embricamento entre as partículas dos agregados devido à forma e às rugosidades dos grãos e pelo teor de material pulverulento.

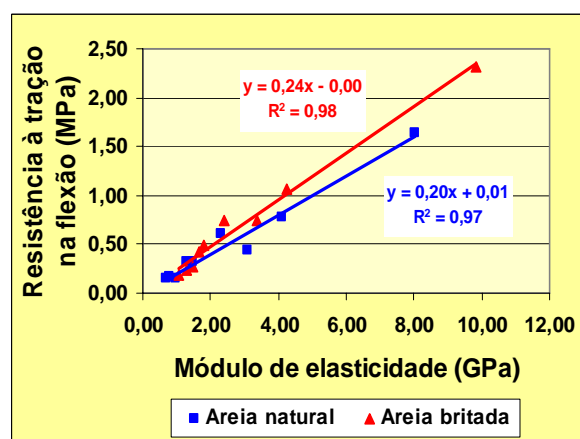
Observando os resultados apresentados nas Figuras 32 e 33, constata-se que:

- à medida que aumentam as relações cal/cimento e agregado/aglomerante, diminui o módulo de elasticidade para as argamassas produzidas com areia natural e, também, com areia britada. A diminuição no valor do módulo de elasticidade é mais acentuada para a relação agregado/aglomerante = 2, quando o teor de cimento é maior. Todas as argamassas produzidas com areia britada possuem módulo de elasticidade maior do que aquela produzida com areia natural, com o mesmo proporcionamento de materiais, conforme mostra a Figura 32, cujas resistências mecânicas também se apresentaram maiores;
- a argamassa T6 com areia britada, que tem o mesmo proporcionamento de materiais e maior teor de água que a argamassa T6b, apresentou módulo de elasticidade aproximadamente 17% maior;
- a argamassa T2 apresentou módulo 7,8% maior do que a argamassa T2b, ambas de areia britada e mesmo proporcionamento de materiais, porém, a segunda com menor teor de finos.

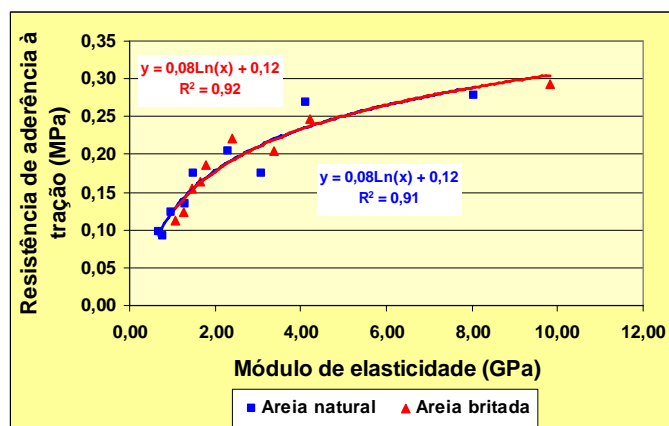
A Figura 34 mostra a correlação entre o módulo de elasticidade e as resistências mecânicas para as argamassas produzidas com areia natural e areia britada.



(a)



(b)



(c)

Figura 34 – Correlação entre módulo de elasticidade aos 371 dias de idade e: (a) resistência à compressão aos 56 dias de idade; (b) resistência à tração na flexão aos 84 dias de idade; (c) resistência de aderência à tração aos 84 dias de idade

Observa-se nas Figuras 34(a) e 34(b) que há correlação linear entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão e entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão. Há, também, correlação logarítmica entre o módulo de elasticidade e a resistência de aderência à tração, conforme mostra a Figura 34(c). O proporcionamento dos materiais e a relação água/cimento das argamassas influenciam na resistência à compressão, na resistência à tração na flexão e na resistência de aderência à tração, conforme mostram os resultados nas Figuras 23, 24, 25, 26 e 29 e na Tabela 12.

A Figura 35 apresenta a correlação entre o tempo de propagação da onda ultra-sônica com a resistência à compressão aos 56 dias de idade, com a resistência à tração na flexão e com a resistência de aderência à tração aos 84 dias de idade.

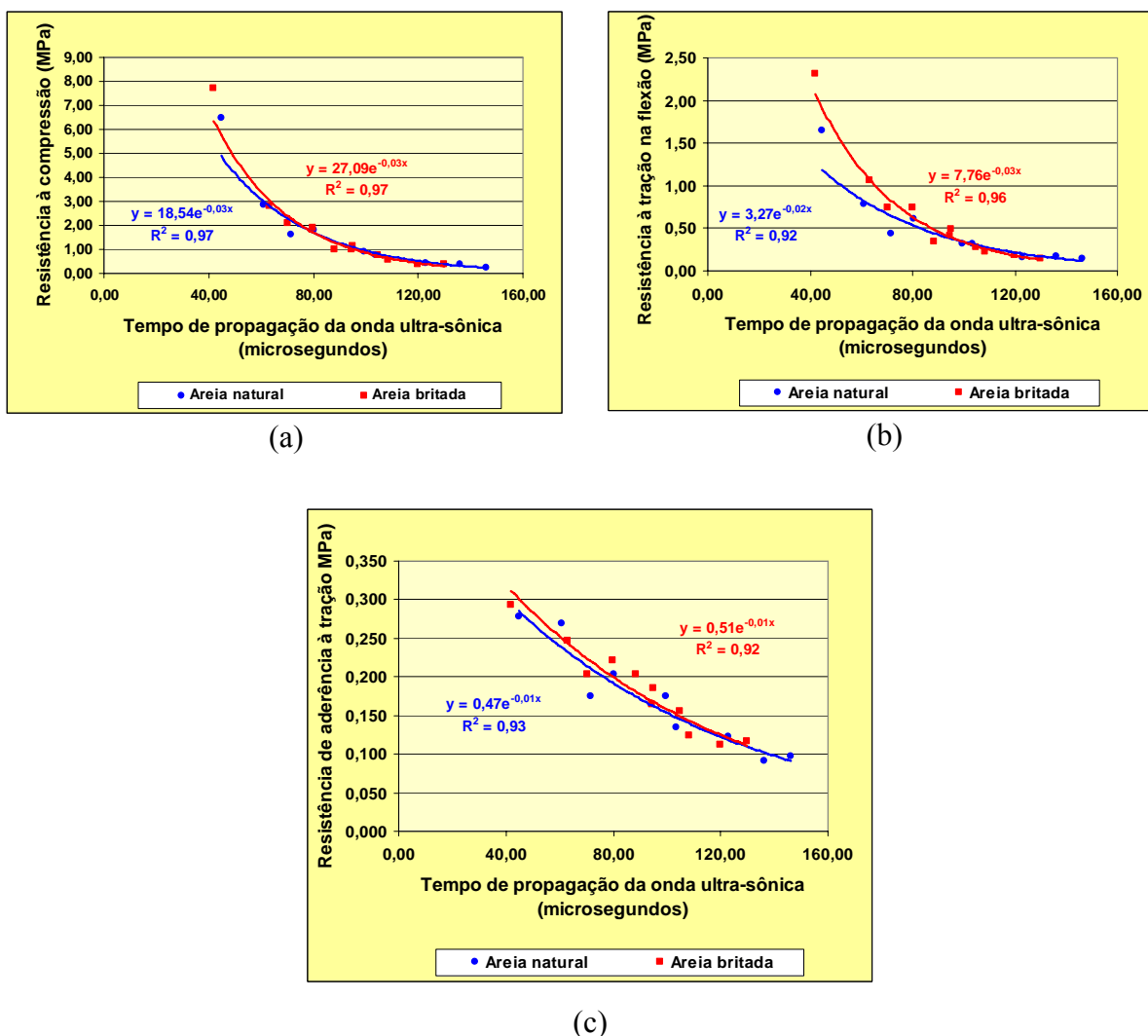


Figura 35 – Correlação exponencial entre tempo de propagação da onda ultra-sônica e: (a) resistência à compressão; (b) resistência à tração na flexão; (c) resistência de aderência à tração para as argamassas com areia natural e areia britada

Com a diminuição do teor de cimento ocasionado pelo aumento das relações cal/cimento e agregado/aglomerante, diminuem a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão (Figuras 23 e 24) e, também, diminui a resistência de aderência à tração (Tabela 12) e, conseqüentemente, diminui o módulo de elasticidade, pois conforme mostra a Figura 34 estas resistências são diretamente proporcionais ao módulo de elasticidade.

O tempo de propagação da onda ultra-sônica é diretamente proporcional às relações cal/cimento e agregado/aglomerante, conforme pode ser constatado pelos resultados apresentados nas Tabelas K 1 e K 2 no Apêndice K. Com o aumento da

compacidade do conjunto aglomerante e agregado, devido, principalmente, ao aumento do teor de finos (cal e material pulverulento), aumenta a velocidade de propagação da onda ultra-sônica e, conseqüentemente, diminui o tempo de propagação da onda, aumentando, assim, o módulo de elasticidade.

O fato de o módulo de elasticidade ser maior para as argamassas com areia britada e para a argamassa T2 possivelmente é devido ao maior teor de material pulverulento; com isso, apresenta um grau de empacotamento maior e, conseqüentemente, maior densidade de massa. O teor de água nas argamassas com areia britada foi menor e isso pode ter favorecido o aumento do módulo de elasticidade nas argamassas produzidas com este agregado, já que as resistências mecânicas são inversamente proporcionais à relação água/cimento (Figuras 26 e 29), porém, o menor teor de água nas argamassas T6b e T2b não foi a causa que provocou o aumento do módulo nas argamassas T6 e T2, respectivamente.

GOMES (1997) desenvolveu uma pesquisa na qual utilizou o tempo de propagação de onda ultra-sônica para avaliar as condições de revestimentos de argamassas de cimento, cal e areia com relação às resistências mecânicas. Ensaios realizados em diversos tipos de revestimentos e em corpos de prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm constataram que o tempo de propagação da onda em revestimentos com mau estado de conservação é maior do que naqueles em bom estado de conservação. Fazendo a correlação entre tempo de propagação da onda e resistências mecânicas, foram ajustadas curvas de regressão com expressivos coeficientes de determinação.

Observando os resultados apresentados na Figura 35, constatou-se que realmente existe correlação entre o tempo de propagação da onda ultra-sônica e as resistências mecânicas. É possível, então, a partir do tempo de propagação da onda ultra-sônica estimar valores para as resistências mecânicas de uma argamassa, dentro de um certo índice de confiabilidade, desde que conhecidos o proporcionamento e os materiais constituintes.

4.7 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados de absorção de água, índice de vazios e massa específica realizados em corpos de prova 50 mm x 100 mm aos 56 dias de idade conforme a NBR 9778 (ABNT, 1987) para as argamassas produzidas com areia natural e areia britada.

Os resultados individuais das massas obtidas para cada corpo de prova de areia natural constam das Tabelas M 1 à M 5 do Apêndice M e estão apresentados nas Tabelas M 6 à M 10 os resultados individuais da areia britada.

Tabela 14 – Índice de vazios, absorção de água e massa específica realizados aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 1987)

Arg	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Absorção após imersão em água (%)	Absorção após imersão e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica da amostra após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
T1	31,65	32,05	18,31	18,55	1,721	2,037	2,041	2,529
T2	31,52	32,38	18,22	18,70	1,716	2,029	2,037	2,527
T3	30,83	33,19	17,82	19,08	1,693	1,995	2,016	2,501
T4	36,22	36,95	22,46	22,86	1,602	1,962	1,968	2,528
T5	33,08	35,74	19,97	21,49	1,616	1,939	1,963	2,475
T6	30,59	34,03	18,15	20,32	1,626	1,921	1,956	2,428
T7	35,02	39,33	22,13	25,08	1,512	1,847	1,891	2,436
T8	31,83	37,47	19,63	23,15	1,534	1,835	1,889	2,379
T9	31,70	30,44	19,18	17,88	1,689	2,013	1,991	2,420

Legenda:

T1 → 1 : 1 : 4

T2 → 1 : 1 : 6

T3 → 1 : 1 : 8

T4 → 1 : 2 : 6

T5 → 1 : 2 : 9

T6 → 1 : 2 : 12

T7 → 1 : 3 : 8

T8 → 1 : 3 : 12

T9 → 1 : 3 : 16

Tabela 15 - Índice de vazios, absorção de água e massa específica realizados aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 1987)

Arg	Índice de vazios após saturação em água (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)	Absorção após imersão em água (%)	Absorção após imersão e fervura (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
T1	30,16	30,69	16,29	16,60	1,841	2,141	2,146	2,650
T2	32,89	33,48	18,47	18,77	1,772	2,099	2,104	2,654
T3	31,24	32,39	17,15	17,74	1,802	2,111	2,121	2,648
T4	36,29	36,89	21,68	21,99	1,665	2,026	2,032	2,628
T5	33,63	35,19	19,34	20,18	1,713	2,045	2,059	2,619
T6	30,92	34,87	17,27	19,73	1,715	2,011	2,053	2,591
T7	35,68	36,73	21,40	21,55	1,663	2,019	2,021	2,592
T8	31,88	36,29	18,49	21,26	1,646	1,950	1,996	2,531
T9	32,07	34,33	18,95	20,01	1,663	1,978	1,995	2,492
T10	31,44	32,66	17,24	17,88	1,803	2,114	2,125	2,660
T11	31,30	31,99	17,60	17,71	1,775	2,087	2,089	2,588
T6b	32,46	34,42	18,33	19,34	1,740	2,059	2,076	2,622
T2b	31,76	32,50	17,43	17,83	1,809	2,124	2,131	2,670

Legenda:

T1 → 1 : 1 : 4

T2 → 1 : 1 : 6

T3 → 1 : 1 : 8

T4 → 1 : 2 : 6

T5 → 1 : 2 : 9

T6 → 1 : 2 : 12

T7 → 1 : 3 : 8

T8 → 1 : 3 : 12

T9 → 1 : 3 : 16

T10 → 1 : 1 : 10

T11 → 1 : 2 : 15

T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor)

T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

À medida que aumenta a relação cal/cimento, aumentam o índice de vazios e a absorção de água e diminui a massa específica real para as argamassas produzidas com areia natural e, também, com areia britada, na maioria dos traços, conforme mostram as Tabelas 14 e 15, devido, possivelmente, ao aumento do consumo de água, pois, o volume de água adsorvida às partículas transformam-se em vazios, como já foi comentado no item 4.2.

A densidade de massa no estado endurecido e o índice de vazios são inversamente proporcionais, ou seja, com a diminuição do índice de vazios ocorre o aumento da densidade de massa, conforme pode ser observado na Figura 36.

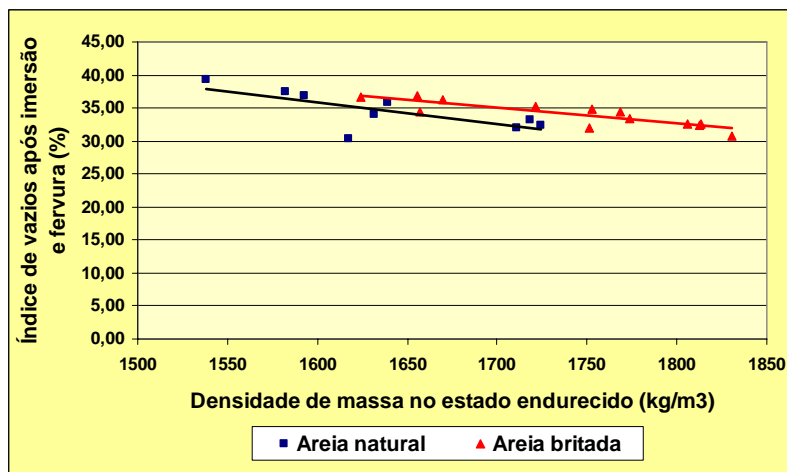


Figura 36 – Correlação linear entre densidade de massa no estado endurecido e índice de vazios após imersão e fervura aos 56 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

A Figura 37 mostra a correlação linear, com expressivo coeficiente de determinação, entre índice de vazios e absorção de água após saturação e fervura aos 56 dias de idade.

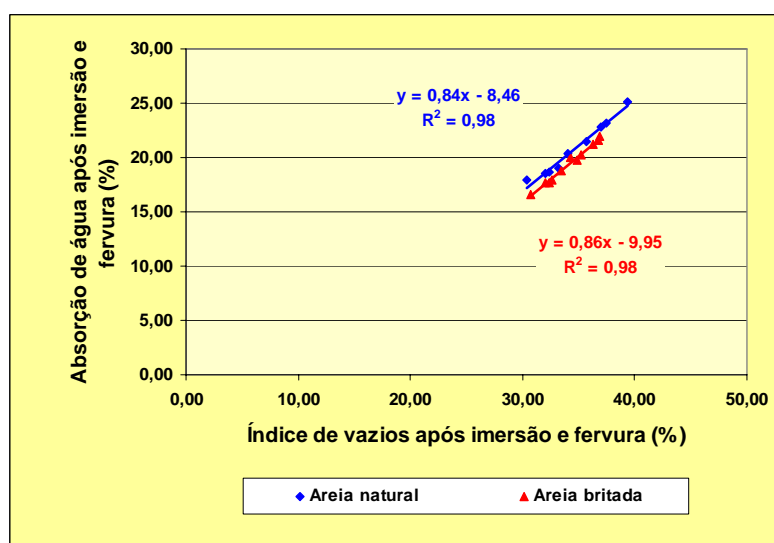


Figura 37 – Correlação linear entre índice de vazios e absorção de água após imersão e fervura aos 56 dias de idade para as argamassas com areia natural e areia britada

Conforme mostra os resultados das Tabelas 14 e 15, as argamassas produzidas com areia britada apresentaram maiores índices de vazios do que as argamassas produzidas com areia natural, comparativamente ao mesmo traço, devido, possivelmente, às partículas da areia britada serem mais angulosas e menos esféricas do que as partículas da areia natural, fato que foi constatado por SILVA et al. (2005a).

4.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO

O ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo também avalia a permeabilidade do revestimento. Enquanto o ensaio de absorção de água segundo a NBR 9778 (ABNT, 1987) e o ensaio que avalia a permeabilidade de acordo com a norma CSTB 2669-4 (1993) utilizam corpos de provas cilíndricos 50 mm x 100 mm e prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm, respectivamente, o ensaio de absorção de água utilizando o Método do Cachimbo é realizado no revestimento, onde vários fatores podem influenciar nos resultados. Com o aumento da relação cal/cimento, aumenta a quantidade de água de amassamento para se obter o índice de consistência de 270 mm \pm 10 mm (Tabelas 9 e 10); com isso, diminui a quantidade de argamassa na colher do pedreiro, alterando, assim, a energia de lançamento o que irá, certamente, influenciar no resultado do ensaio de permeabilidade e absorção de água.

A Tabela 16 apresenta os resultados médios da taxa de absorção de água dos revestimentos realizados através do ensaio do Método do Cachimbo nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados individuais constam do Apêndice N.

Tabela 16 – Taxa média de absorção de água dos revestimentos de areia natural e areia britada obtida através do ensaio do Método do Cachimbo

Arg	Taxa média de absorção de água dos revestimentos (ml/min)					
	Aos 7 dias de idade		Aos 28 dias de idade		Aos 56 dias de idade	
	Areia natural	Areia britada	Areia natural	Areia britada	Areia natural	Areia britada
T1	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11
T2	0,18	0,19	0,21	0,15	0,15	0,14
T3	0,24	0,19	0,23	0,21	0,17	0,18
T4	0,19	0,20	0,30	0,18	0,21	0,33
T5	0,23	0,24	0,24	0,21	0,24	0,20
T6	0,36	0,24	0,34	0,30	0,25	0,24
T7	0,34	0,12	0,44	0,19	0,25	0,14
T8	0,25	0,24	0,32	0,31	0,26	0,33
T9	0,54	0,24	0,53	0,35	0,55	0,31
T10	-	0,38	-	0,32	-	0,33
T11	-	0,55	-	0,60	-	0,39
T6b	-	0,64	-	0,52	-	0,47
T2b	-	0,30	-	0,25	-	0,23

Legenda:

T1 → 1 : 1 : 4

T2 → 1 : 1 : 6

T3 → 1 : 1 : 8

T4 → 1 : 2 : 6

T5 → 1 : 2 : 9

T6 → 1 : 2 : 12

T7 → 1 : 3 : 8

T8 → 1 : 3 : 12

T9 → 1 : 3 : 16

T10 → 1 : 1 : 10

T11 → 1 : 2 : 15

T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor)

T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

Conforme SELMO (1989) constatou em seu estudo experimental e pelos resultados da Tabela 16, observa-se a grande influência que a dosagem dos aglomerantes provoca na absorção de água. A relação agregado/aglomerante e a relação cal/cimento influenciaram na absorção de água dos revestimentos, para os dois tipos de areia. Constata-se, também, que o teor maior de finos na areia britada da argamassa T2 produziu uma menor permeabilidade com relação à argamassa T2b devido, possivelmente, à diminuição do raio dos capilares do revestimento. A

argamassa T6 de areia britada com maior teor de água e mesmo proporcionamento de materiais que a argamassa T6b apresentou uma taxa de absorção de água bem menor.

Não se verificou que o tipo de agregado tenha influenciado nos resultados dos ensaios de absorção de água pelo Método do Cachimbo. Provavelmente a variação de temperatura e da umidade relativa ar no momento da realização dos ensaios, os procedimentos de execução e também o grande número de fissuras nos revestimentos deve ter influenciado nos resultados, havendo necessidade de maiores estudos considerando estas variáveis.

4.9 AVALIAÇÃO DA FISSURAÇÃO

Na idade de 84 dias, antes da execução do ensaio de resistência de aderência à tração, foi contado o número de fissuras visíveis em cada revestimento de argamassa. Utilizando barbante foi determinado o comprimento linear total das fissuras e dividido pela área do painel, cujas dimensões são 0,80 m de largura por 1,00 m de altura. Os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados da contagem e medida do comprimento linear total (em cm) por área (em m²) das fissuras visíveis nos revestimentos de argamassas de areia natural e areia britada na idade de 84 dias

Arg	Areia natural		Areia britada	
	quantidade	cm/m ²	quantidade	cm/m ²
T1	25	287,5	70	1005,0
T2	1	32,5	15	177,5
T3	0	-	1	15,0
T4	20	237,5	83	1140,0
T5	0	-	27	262,5
T6	0	-	7	65,0
T7	43	493,8	107	1437,5
T8	1	6,3	20	170,0
T9	0	-	11	100,0
T10	-	-	0	-
T11	-	-	0	-
T6b	-	-	9	90,0
T2b	-	-	0	-

Legenda:

T1 → 1 : 1 : 4
 T2 → 1 : 1 : 6
 T3 → 1 : 1 : 8
 T4 → 1 : 2 : 6
 T5 → 1 : 2 : 9
 T6 → 1 : 2 : 12
 T7 → 1 : 3 : 8
 T8 → 1 : 3 : 12
 T9 → 1 : 3 : 16
 T10 → 1 : 1 : 10
 T11 → 1 : 2 : 15
 T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor)
 T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

Os resultados da Tabela 17 mostram que nos traços com mesma relação cal/cimento, à medida que aumenta a relação agregado/aglomerante diminui a incidência de fissuras visíveis para as argamassas produzidas com areia natural e com areia britada. Para as argamassas produzidas com areia britada, à medida que aumenta a relação cal/cimento, nos traços com mesma relação agregado/aglomerante, aumenta, também, a incidência de fissuras, fato que não ocorre nas argamassas com areia natural. A argamassa T6 de areia britada e com maior teor de água do que a argamassa T6b de mesmo traço e mesmo agregado, apresentou um número um pouco menor de fissuras, enquanto a argamassa T2b, com menor teor de material pulverulento, menor consumo de água e mesmo proporcionamento e agregado que a argamassa T2, não apresentou incidência de fissuras visíveis. SILVA et al. (2005b) utilizando os mesmos aglomerantes e o mesmo agregado britado e traço 1 : 2 : 9 de cimento, cal e areia, em volume, revestiram painéis com dimensões de 150 cm x 150 cm, constataram que a presença maior de finos (material passante na peneira de malha 0,075 mm) aumenta consideravelmente a incidência de fissuras visíveis no revestimento.

As argamassas produzidas com areia britada apresentaram baixa retenção de água, conforme mostra a Tabela 10. Portanto, os revestimentos de argamassa no estado fresco devido à sucção do substrato e por evaporação fissuram, possivelmente, devido à retração plástica. Porém, esta patologia não é explicada somente por este fenômeno, uma vez que as argamassas com areia natural apresentaram retenção de água ainda menor, na maioria dos traços, e a incidência de fissuras não foi maior.

Observou-se que o número maior de fissuras surgiu até duas horas após o desempenho, e que a maior incidência de fissuras ocorre nas argamassas com maior teor de cal. BASTOS (2001) constatou em seu projeto experimental que a variação dimensional linear das placas de 400 mm x 150 mm e 15 mm de espessuras até a idade de 28 dias foi maior na argamassa com cal que na argamassa de cimento e areia, devido à retração livre. Constatou ainda que a maior parcela de retração ocorreu até o 2º dia após a desforma e destacou que a retração ainda continuou após o 14º dia de leitura, quando as argamassas apresentaram ganho de massa devido a carbonatação.

As argamassas produzidas com areia britada possuem maiores módulos de elasticidade do que as argamassas com areia natural, conforme mostra a Figura 32. Este fato explica o maior número de fissuras nos revestimentos de areia britada, com relação ao revestimento de areia natural, que possui o mesmo proporcionamento de materiais. Constatou-se, também, que a incidência maior de fissuras ocorreu nos revestimentos de argamassa com maior módulo de elasticidade, independentemente do tipo de areia, pois quanto menor o módulo de elasticidade, maior será a capacidade do revestimento de absorver as deformações.

A Figura 38(a) mostra o painel de revestimento da argamassa T7 com areia natural de traço em volume 1 : 3 : 8 (cimento : cal : areia) e a Figura 38(b), o mesmo traço com argamassa produzida com areia britada. Com este proporcionamento de materiais, os pedreiros costumam classificar a argamassa de “gorda”, devido ao elevado teor de cal.



Figura 38 – Painéis das argamassas T7 com traço em volume 1 : 3 : 8 sendo: (a) com areia natural e (b) com areia britada. As fissuras foram reforçadas com lápis preto para facilitar a visualização e a medição

4.10 RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

As Tabelas 18 e 19 apresentam um resumo dos resultados dos ensaios realizados no estado fresco, estado endurecido e nos revestimentos e a classificação segundo os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) das argamassas produzidas com areia natural e areia britada, respectivamente.

Tabela 18 – Classificação das argamassas com areia natural segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005)

Arg	Resultados dos ensaios							Classificação segundo NBR 13281						
	P	M	R	C	D	U	A	P	M	R	C	D	U	A
T1	6,49	1711	1,64	1,65	2001	61,8	0,28	P5	M5	R2	C2	D5	U1	A2
T2	2,59	1724	0,78	2,45	1986	46,8	0,27	P2	M5	R1	C3	D5	U1	A2
T3	1,63	1718	0,44	2,83	1957	40,2	0,18	P1	M5	R1	C3	D5	U1	A1
T4	1,75	1592	0,61	2,93	1929	58,7	0,20	P2	M4	R1	C3	D5	U1	A2
T5	0,92	1639	0,32	2,64	1928	53,6	0,18	P1	M4	R1	C3	D5	U1	A1
T6	0,43	1632	0,15	3,74	1920	49,1	0,12	P1	M4	R1	C4	D5	U1	A1
T7	0,86	1538	0,31	3,15	1889	64,4	0,13	P1	M4	R1	C3	D4	U1	A1
T8	0,47	1583	0,17	3,73	1909	54,0	0,09	P1	M4	R1	C4	D5	U1	A1
T9	0,24	1618	0,14	1,47	1920	50,6	0,10	P1	M4	R1	C2	D5	U1	A1

Legendas:

T1 → 1 : 1 : 4

T2 → 1 : 1 : 6

T3 → 1 : 1 : 8

T4 → 1 : 2 : 6

T5 → 1 : 2 : 9

T6 → 1 : 2 : 12

T7 → 1 : 3 : 8

T8 → 1 : 3 : 12

T9 → 1 : 3 : 16

T10 → 1 : 1 : 10

T11 → 1 : 2 : 15

T6b → 1 : 2 : 12 (IC menor).

T2b → 1 : 1 : 6 (sem finos)

P = resistência à compressão (MPa)

M = densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³)

R = resistência à tração na flexão (MPa)

C = coeficiente de capilaridade (g/dm²/min^{1/2})

D = densidade de massa no estado fresco (kg/m³)

U = retenção de água (%)

A = resistência potencial de aderência à tração (MPa)

Tabela 19 - Classificação das argamassas com areia britada segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005)

Arg	Resultados dos ensaios							Classificação segundo NBR 13281						
	P	M	R	C	D	U	A	P	M	R	C	D	U	A
T1	8,31	1831	2,32	1,72	2080	69,7	0,29	P5	M5	R3	C2	D5	U1	A2
T2	2,61	1774	1,07	2,64	2066	64,0	0,25	P2	M5	R1	C3	D5	U1	A2
T3	1,96	1812	0,75	2,43	2076	53,7	0,20	P2	M5	R1	C3	D5	U1	A2
T4	1,85	1655	0,74	2,76	2000	66,9	0,22	P2	M4	R1	C3	D5	U1	A2
T5	1,11	1721	0,50	2,74	2036	53,7	0,19	P1	M5	R1	C3	D5	U1	A1
T6	0,61	1753	0,27	3,45	2026	51,5	0,16	P1	M5	R1	C3	D5	U1	A1
T7	0,98	1624	0,42	3,08	1973	62,9	0,16	P1	M4	R1	C3	D5	U1	A1
T8	0,61	1670	0,23	3,01	2001	54,3	0,12	P1	M4	R1	C3	D5	U1	A1
T9	0,45	1657	0,19	2,86	2022	47,9	0,11	P1	M4	R1	C3	D5	U1	A1
T10	1,10	1806	0,35	3,67	2065	-	0,21	P1	M5	R1	C4	D5	-	A2
T11	0,40	1751	0,15	3,93	2035	-	0,12	P1	M5	R1	C4	D5	-	A1
T6b	0,60	1768	0,22	3,08	2041	68,7	0,13	P1	M5	R1	C3	D5	U1	A1
T2b	2,29	1814	0,95	2,50	2069	-	0,24	P2	M5	R1	C3	D5	-	A2

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES DOS ENSAIOS REALIZADOS

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade, em conformidade com a norma CSTB 2669-4 (1993) e NBR 15259 (ABNT, 2005), utilizando os tempos de 10 minutos e 90 minutos para obtenção da absorção de água, mostrou-se prático, rápido e eficiente, se comparado aos procedimentos da norma NBR 9779 (ABNT, 1995).

O procedimento de ferver os corpos de prova por 5 horas, conforme descreve a norma NBR 9778 (ABNT, 1987), para retirada do ar, não aumentou significativamente a absorção de água, índice de vazios e a massa específica para argamassas de cimento, cal e areia com baixo teor de ar aprisionado. Porém, em ensaios realizados com argamassas produzidas com aditivos incorporadores de ar, o índice de vazios chega a quase dobrar com a fervura dos corpos de prova.

A absorção de água e a permeabilidade de um revestimento podem ser avaliadas utilizando o Método do Cachimbo no próprio local da obra; além de ser de fácil execução e não destrutível, é barato e rápido. Em revestimento com grande incidência de fissuras e coeficiente de variação elevado, o ensaio deverá ser reavaliado.

O ensaio de retenção de água utilizando o Funil de Buchner modificado, normalizado pela reformulada NBR 13277 (ABNT, 2005), demonstrou que os resultados estão mais próximos do que realmente ocorre com as argamassas quando da sucção de água pelo substrato, comparado ao antigo procedimento da NBR 13277 (ABNT, 1995) que utiliza papel filtro, conforme já constatou DO Ó (2004).

O tempo de propagação da onda ultra-sônica em corpos de prova demonstrou ser uma variável importante para avaliar a qualidade e durabilidade dos revestimentos em função do proporcionamento dos materiais e também para obter informações importantes quanto às resistências mecânicas.

O módulo de elasticidade obtido através do método dinâmico é importante na caracterização da argamassa para avaliar a capacidade de deformação do revestimento. Porém, há necessidade de regulamentação do ensaio pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e inclusão como requisito na norma NBR 13281 (ABNT, 2005).

5.2 CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL

5.2.1 Quanto ao Tipo de Areia

a) Argamassa no estado fresco

Há necessidade de maiores avaliações quanto a utilização da mesa de consistência descrita pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996) na determinação da quantidade de água de mistura.

As argamassas produzidas com areia britada apresentaram baixos teores de ar aprisionado com relação às argamassas de areia natural, possivelmente, devido ao maior teor de material pulverulento. O teor de ar aprisionado é inversamente proporcional ao teor de água. A trabalhabilidade da argamassa melhora à medida que aumenta o teor de ar aprisionado.

As argamassas produzidas com areia britada apresentaram baixa retenção de água, porém, com maior retenção de água do que as argamassas produzidas com areia natural, na maioria dos traços.

b) Argamassa no estado endurecido

Comparativamente, a densidade de massa no estado endurecido das argamassas com areia britada foi maior do que das argamassas de areia natural, utilizando-se o mesmo proporcionamento de materiais. Esta propriedade pode ser utilizada para caracterização das argamassas relacionadas à presença de vazios e às resistências mecânicas.

As resistências de aderência à tração, de compressão e de tração na flexão apresentaram-se maiores nas argamassas com areia britada, em praticamente todos os traços, quando comparadas com as argamassas produzidas com areia natural, devido, principalmente, ao menor consumo de água.

O módulo de elasticidade determinado pelo método dinâmico com a utilização do tempo de onda ultra-sônica, obtido através do PUNDIT, é uma propriedade importante para o controle da fissuração e avaliação do desempenho do revestimento.

Os proporcionamentos dos materiais das argamassas de areia natural e de areia britada influenciaram nas propriedades das argamassas no estado fresco e, também, no estado endurecido.

O maior consumo de aglomerantes, principalmente com o aumento do teor de cal, aumenta consideravelmente o consumo de água, que essencialmente será utilizada na hidratação do cimento. O excesso de água que ficou adsorvida às partículas dos agregados, após a secagem, transformou-se em vazios, diminuindo assim, a densidade de massa no estado endurecido e as resistências mecânicas. A principal consequência do aumento do consumo de água foi o surgimento de fissuras provocado pela retração.

Vários são os fatores que podem ter provocado a fissuração no revestimento de argamassa com areia britada:

- proporcionamento dos materiais;
- teor de aglomerantes;
- tipo e qualidade dos aglomerantes;
- teor de água;
- teor de material pulverulento;
- forma das partículas;
- procedimentos de execução dos revestimentos.

5.2.2 Quanto ao Teor de Água

O teor de água na argamassa produzida com areia britada influenciou no coeficiente de capilaridade, no teor de ar aprisionado e nas resistências mecânicas. O maior consumo de água produziu menor retenção de água, módulo de elasticidade e incidência de fissuras nos revestimentos de argamassas produzidas tanto com areia britada quanto com areia natural.

5.2.3 Quanto ao Teor de Material Pulverulento

O estudo experimental constatou a grande influência do teor de material pulverulento (material passante na peneira de malha 0,075 mm) nas diversas propriedades da argamassa, no estado fresco e no estado endurecido, concluindo que:

- o aumento do teor de material pulverulento melhora a trabalhabilidade e diminui o teor de água e o teor de ar aprisionado da argamassa no estado fresco;
- a composição do material pulverulento influencia no índice de vazios, na resistência de aderência à tração e nas resistências de compressão e de tração na flexão das argamassas no estado endurecido, bem como na permeabilidade do revestimento;
- o teor de material pulverulento é responsável, em parte, pela incidência de fissuras ocorridas nos revestimentos, devido às alterações que provoca nas propriedades das argamassas.

5.3 VALIDAÇÃO DA HIPÓTESE

Um revestimento de argamassa terá um bom desempenho e durabilidade, conforme a exposição e finalidade, com base nos requisitos da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) se apresentar:

- resistência à compressão, resistência à tração na flexão, retenção de água e resistência potencial de aderência à flexão nas classes mais altas;

- densidade de massa no estado fresco, densidade de massa no estado endurecido e coeficiente de capilaridade e nas classes mais baixas.

Portanto, avaliando os resultados apresentados nas Tabelas 18 e 19 pode-se validar a hipótese de que argamassas de cimento, cal e areia proveniente de britagem de rocha, com proporcionamento adequado, têm desempenho igual ou superior ao das argamassas mistas produzidas com areia proveniente dos depósitos aluvionares de rios na maioria dos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), com restrição à fissuração, o que exige maior aprofundamento nas pesquisas.

As Tabelas O 1 à O 11 do Apêndice O apresentam os resultados da análise de variância ao nível de confiança de 95%, onde buscou verificar se o tipo de areia influenciou nos resultados das diversas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Conforme pode ser observado nos resultados apresentados, a areia britada influenciou apenas na densidade de massa no estado fresco e no estado endurecido. Com isso, conclui-se que é viável a substituição da areia natural pela areia britada na confecção de argamassas sem comprometer o desempenho dos revestimentos, desde que controlada a incidência de fissuras.

Atualmente, argamassa com areia proveniente de britagem de rocha, tanto para assentamento quanto para revestimento de alvenarias, é muito pouco confeccionada em canteiro de obra na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), devido, principalmente, à falta de agregados miúdos com granulometria adequada e, também, por desconhecimento da existência de tal produto. As reservas de rochas calcárias são abundantes na RMC e com a produção da areia britada pelas mineradoras existentes na região, localizadas próximas ao centro consumidor, utilizando equipamentos adequados, tenderá a diminuir o custo deste insumo. Devido a pouca oferta da areia natural, cuja tendência é desaparecer do mercado, e, conseqüentemente, a elevação do custo deste insumo, há necessidade de viabilizar a utilização da areia britada de rocha na confecção de argamassas para suprir a grande demanda, de modo a obter revestimentos de boa qualidade e durabilidade.

5.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a influência da temperatura e da umidade relativa do ar na absorção de água e na permeabilidade do revestimento utilizando o Método do Cachimbo;
- Avaliar os efeitos da retração plástica da argamassa no estado fresco, utilizando os procedimentos propostos por BASTOS (2001), e a retração por secagem da argamassa no estado endurecido, utilizando a NBR 15261 (ABNT, 2005), na incidência de fissuras nos revestimentos;
- Avaliar a influência da granulometria, forma e textura do agregado miúdo nas propriedades da argamassa produzidas com areia proveniente de britagem de rocha;
- Avaliar a possibilidade de substituição da cal por aditivos plastificantes, incorporadores de ar e retentores de água na produção de argamassa de cimento e areia britada de rocha;
- Avaliar o desempenho do revestimento de argamassa de areia britada de rocha com adição de fibras de polipropileno;
- Verificar a influência da diminuição dos poros da argamassa devido a diferentes teores de material pulverulento e como conseqüência na movimentação da água e no surgimento de fissuras;
- Aprofundar estudos para verificar a correlação entre módulo de elasticidade com resistências de compressão, de tração na flexão e de aderência à tração no controle de fissuração em revestimentos de argamassa;
- Verificar a influência na retração plástica e por secagem e, conseqüentemente, no surgimento de fissuras no revestimento de argamassa com areia britada devido à sucção de diferentes tipos e preparo do substrato;
- Propor proporcionamentos de cimento, cal (ou aditivos) e areia proveniente da britagem de rocha, de modo a obter revestimentos de argamassa com desempenho, durabilidade e baixo custo, satisfazendo os requisitos da norma NBR 13281 (ABNT, 2005).

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C.; NEVILLE, A. M.; ACKER, P. Integrated view of shrinkage deformation. **Concrete International**, p. 35-41, sept. 1997.

ALMEIDA DIAS, L.; CARASEK, H.. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimento de argamassa pelo método do cachimbo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 519-544.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. São Paulo, 2000. 118 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia e Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ALMEIDA, S. L. M.; BISPO, L. H. O. **Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras – análises de ensaios**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Boletim Técnico.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Brasília, 2002. 175 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM C 780. **Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry**. Philadelphly, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM C 91-90. **Standard specification for masonry cement**. EUA, 1999.

ANDEREGG, F. O. Grading aggregates, II – the applection of mathematical formulas to mortars. **Industrial and Engineering Chemistry**. USA, v. 23, n. 9, p. 1058-1064, set. 1931.

ANGELIM, R. R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimentos**. Goiânia, 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. 156 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, G. S.; BICALHO, K. V.; TRISTÃO, F. A. Determinação da forma das areias através da análise de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 121-130.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimentos. Rio de Janeiro, 1998.

- _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 7215**: Cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 7217**: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. **NBR 7218**: Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 7219**: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. **NBR 7251**: Agregados em estado solto – determinação de massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. **NBR 8490**: Argamassa endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 8802**: Concreto endurecido – determinação da velocidade de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **NBR 9776**: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9777**: Determinação de absorção de água em agregados miúdos. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9779**: Argamassas e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13530**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13749**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificações. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 58**: Concreto endurecido – determinação da velocidade de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 1996.

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

BASTOS, P. K. X.; DETRICHE, C.; BALAYSSAC, J.; CINCOTTO, M. A. Método de ensaio para medida da retração de argamassas de revestimento no estado fresco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2001. p. 131-143.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

BLANCHARD, N. La classification française des enduits monocouches d'imperméabilisation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 13-25.

BOLTSHAUSER, J. **História da arquitetura**. v. 1. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 1963.

BORTOLUZZO, C. W.; LIBORIO, J. B. L.. Determinação das tensões devidas à retração impedida em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 125-136.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) – BS 4551. **Methods of testing mortar, screeds and plasters.** London, 1975. p. 43.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) – BS 1881 Part 203. **Recommendations for measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete.** London, 1986.

BUIL, M; BARON, J. Le retrait autogène de la pâte de ciment durcissante. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 7., 1980, Paris **Anais...** Paris, 1980. v. 3, p. 37-42.

CALLISTER, W. D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução.** 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 589 p.

CAMARINI, G.; ISHIKAWA, P. H.. Propriedade de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, X., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. Boletim técnico n. 223.

CAMPITELI, V. C.; MASSARETTO, R.; RODRIGUES, P. T. Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995, p. 73-82.

CAPOZZI, S. Materiais: fachada paulistana. **Construção**, São Paulo, v. 49, n. 2540, p.18-9, 1996.

CARASEK, H. **Aderência de argamassa à base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** São Paulo, 1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

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

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, VANDERLEY M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 37-44, jul/dez. 1997.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** São Paulo, 1999. 203 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Boletim Técnico n. 237.

CARVALHO JR., A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 518-529.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94.

CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 110-119.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. **Certification des enduits monocouches d'imperméabilisation.** Modalités d'essais. Cahiers du CSTB, Paris, Livrasion 341, n. 2669-4, juillet-août, 1993.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION - CSTC. **Hydrofuges de surface: choix et mise em oeuvre.** Bruxelles, 1982. 24 p. (Note D'Information Technique – NIT n. 140).

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

CINCOTTO, M. A. Alguns pontos para reflexão e debate. **Obra**, São Paulo, n. 96, p. 19-20, nov. 1997.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 3-26.

COLONTUONO, A.; DAL VECCHIO, S.; MASCOLO, G.; VITALE, A. Cement-line mortars joining porous stones of masonries able to stop the capillary rise of water. **Cement and Concrete Research**, v. 26, p. 861-868, june. 1996.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão.** Lisboa: LNEC, 1973. 2 v.

CUKIERMAN, J.; COSTA, M. R. M. M.; SEABRA, M. Programa de qualidade da cal hidratada para a construção civil – histórico do setor e avanço conquistados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003, p. 177-189.

CULLEN, W. C.; SNECK, T. The evaluation of external vertical surfaces of buildings. **Matériaux et Constructions**, v. 13, p.323-330, 1980.

D'AGOSTINO, L. Z.; SOARES, L.. Preparo de argamassas com emprego de finos de pedra. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, PRÁTICAS RECOMENDÁVEIS, IV., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001.

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

DETRICHÉ, C. H.; GALLIAS, J. L.; GRANDET, J.; MASO, J. C. Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. **Matériaux et Constructions**, v. 18, n. 105, p. 193-200, 1985.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba**. Brasília: DNPM, 2001.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 1015 Part 11**: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar (FOREIGN STANDARD). Berlin, 1999.

DO Ó, S. W.. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Brasília, 2004. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

DUPIN, L.; DETRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Accrochage direct d'un sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'estérieur. **Matériaux et Constructions**, v. 21, p. 370-378, 1988.

FÜLLER, W. B.; THOMPSON, S. E. The laws of proportioning concrete. **Proceedings of American Society of Civil Engineers**, USA, v. 33, n. 3, p. 223-298, mar. 1907.

FURNAS, C. C. Grading aggregates, I – mathematical relations for beds of broken solids of maximum density. **Industrial and Engineering Chemistry**. USA, v. 23, n. 9, p. 1052-1058, set. 1931.

GENESTAR, C.; PONS, C.. Ancient covering plaster mortars from several convents and islamic and gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). **Journal of Cultural Heritage**, Palma de Mallorca, v. 4, p. 291-298.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 159-167.

GOMES, A. M.; NERO, J. M. G.; APPLETON, J. A. S. Novo método para a avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 83-91.

GOMES, A. M. A utilização da ultrasonografia na avaliação das propriedades mecânicas dos revestimentos de paredes através de ensaios "in situ". In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 445 – 456.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. Brasília, 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

GROOT, C. J. W. P. Aspect of mortar – brick on. In: INTERNATIONAL BRICKLAND BLOCK MASONRY CONFERENCE 8 th., 1988, Elsevier. **Proceedings...** Elsevir, 1988 v. 1, p.175-181.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 6240: **Performance standards in building – contents and presentation**. Geneva, 1980.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102 p. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 47-63.

KIATTIKOMOL, K.; JATURAPITAKKUL, C.; TANGPAGASIT, J. Effect of insoluble residue on properties of portland cement. **Cement and Concrete Research**. Bangkok, v. 30, p. 1209-1214, 2000.

KRONLOF, A.; LEIVO M.; SIPARI, P. Experimental study on basic phenomena of shrinkage and cracking of fresh mortar. **Cement and Concrete Research**. Bangkok, v. 25, n. 8, p. 1747-54, 1995.

KUDO, E. K.; MARTINS NETO, M. L. Estudo dos métodos de determinação do módulo de deformação estático e dinâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2001.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E.. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 63-72.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. São Paulo, 2001. 194 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. São Paulo, 1986. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

McGEARY, R. K. Mechanical packing of spherical particles. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 44, p. 513-522, 1961.

MARTINELLI, F. A. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo, 1989. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1994. p. 594-607.

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: MINEROPAR, 2004. 288 p.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimento de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MORAIS, F. L.; SELMO, S. M. S. **Estudo comparativo de fatores intervenientes na fissuração de revestimentos de argamassa de cimento e cal**. São Paulo, 1999. 89 p. Relatório final (Iniciação Científica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MOURA, W. A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Porto Alegre, 2000. 232 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NAKAKURA, E. H.. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a meruc**. São Paulo, 2003. 198 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo NBR 13281 e a meruc. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 129-136.

OSHAN, N.; OYSU, C; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. Rheological analysis of ceramic pastes. **Journal of the European Society**, v. 19, 1999. p. 2883-2891.

PAROIS et murs en maçonnerie. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. L. 193, C. 1530, oct. 1978.

PERA, J. State of the art report – use of waste materials in construction in Western Europe. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1996. p. 1-20.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. São Carlos, 2001. 187 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede: método do cachimbo**. Porto Alegre, 1986. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

POLITO, W. L. **Aspectos introdutórios sobre reologia e sua aplicação em materiais de revestimento**. In: SEMANA PROF. DR. EDSON RODRIGUES. São Carlos. Universidade de São Paulo, 2003. p. 109.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Boletim Técnico n. 233.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX. **RILEM Recommendations MR 1-21: Testing methods of mortars and rendering**, 1 st. ed. France, RILEM, 1982.

ROSELLO, M. T. V. **Morteros de cemento para albanileria**. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1976. 55 p.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. São Paulo. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.

SABBATINI, F. H.; SELMO, S. M. S.; ARAÚJO, M. S. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1988. Relatório Técnico.

SABBATINI, F. H. Tecnologia de execução de revestimento de argamassas. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 13., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Concrelix, 1992.

SALLES, F. M.; ANDRIOLO, F. R.; OLIVEIRA, P. J. R.. Uso de finos de britagem como redutores da expansão devida à reação álcali-agregado. **World TecNet - Tecnologia do Concreto**. São Paulo, v. 1, p 52-67, 1997.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M.. **Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciências e Tecnologia, 2002. Relatório Técnico.

SANTIN, E. Tijolo por tijolo, num desenho mágico. **Téchne**, São Paulo, v. 4, n. 23, p. 18-24, jul./ago., 1996.

SBRIGHI NETO, C. A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos. **Areia e Brita**, São Paulo, n. 12, p. 26-28, 1999.

SCARTEZINI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 85-92, 2002.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Avaliação da perda de água da argamassa fresca para o substrato por sucção capilar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003, p. 233-246.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. São Paulo, 1989. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005a, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 11-22

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. In: Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem II., 2005b, São Paulo. **Anais...** p. 1-12.

SILVA, R. P.; BARROS, M. M. S. B.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 106-120.

SOUZA, U. E. L.; FRANCO, L. S. **Subsídios para a opção entre: elevador ou grua, andaime fachadeiro ou balancim, argamassa industrializada ou produzida em obra**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997. Boletim Técnico n. 176.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares – propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1980.

TAHA, M. M. R.; SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th., 2001, Fredericton. **Proceedings...** Fredericton: University of New Brunswick, 2001.

TAYLOR, H.F.W. **Enciclopedia de la química industrial - la química de los cementos**. v. 1. Bilbao-Espanha: URMO, 1967.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

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

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. Proposta de metodologia de ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 435-442.

TRISTÃO, F. A.; MACHADO, V. K. C B. L. Análise de métodos de retenção de água e consistência em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 233-242.

TURATSINZE A.; BASCOUL, A.; Restrained crack widening in mode I crack propagation for mortar and concrete. **Elsevier Science Inc**. New York, v. 4, p. 77-92, 1996.

VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. **Balanço Mineral Brasileiro**. São Paulo: DNPM, 2001. 15 p.

VEIGA, M. R. Influence of application conditions on the cracking susceptibility of renderings. **Concrete Science and Engineering**. Lisboa, v. 2, p. 134-140, 2000.

WESTPHAL, E. H. **Argamassas**. Florianópolis: UFSC. Disponível em www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/argamassas. Acesso em novembro de 2004.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridade na análise de argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 53-62.

APÊNDICES

APÊNDICE A

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Tabela A 1 – Caracterização física do cimento CII Z 32 utilizado na preparação das argamassas mistas

Ensaio	Método	Resultados
Massa unitária no estado solto (g/cm³)	NBR 7251/82	1,197
Massa específica (g/cm³)	NBR 6474 /84	2,946

Tabela A 2 – Caracterização química do cimento CII Z 32 utilizado na preparação das argamassas mistas

Ensaio	Resultados (%)
Dióxido de silício (SiO₂)	22,91
Óxido de alumínio (Al₂O₃)	7,25
Óxido de ferro (Fe₂O₃)	3,18
Óxido de cálcio (CaO)	52,29
Óxido de magnésio (MgO)	5,56
Óxido de potássio (K₂O)	1,04
Óxido de sódio (Na₂O)	0,18
Trióxido de enxofre (SO₃)	2,82
Anidrido carbônico (CO₂)	4,23
Resíduo insolúvel	12,91
Perda ao fogo	4,97

Tabela A 3 - Caracterização física da cal hidratada em pó e teor de umidade da pasta de cal utilizada na preparação da argamassa mista

Ensaio	Método	Resultados
Massa unitária no estado solto (g/cm³)	NBR 7251/82	0,689
Massa específica (g/cm³)	NBR 6474 /84	2,393
Teor de umidade da pasta de cal (%)	-	75,44

Tabela A 4 – Caracterização química da cal virgem moída CV-C utilizada na preparação da pasta de cal

Ensaio	Resultados (%)
Óxido de cálcio (CaO)	51,0
Óxido de magnésio (MgO)	35,6
Óxido totais	91,4
Água combinada	1,7
Carbonato residual	4,6
Anidrido carbônico (CO₂)	3,6
Resíduo insolúvel	6,3
Perda ao fogo	5,3

Tabela A 5 – Análise granulométrica da areia britada – NBR 7217/83

Abertura da malha (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa retida	
		individual	Acumulada
4,8	2,7	0,27	0,27
2,4	41,0	4,10	4,37
1,2	130,8	13,10	17,47
0,6	199,5	19,97	37,44
0,3	276,8	27,71	65,15
0,15	270,4	27,07	92,22
Fundo	77,6	7,78	100,00
Total	998,8	100,00	-

Tabela A 6 – Caracterização física da areia britada

Propriedade	Método	Resultado Médio	Limites NBR 7211/2005
Módulo de finura	NBR 7217/83	2,17	-
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7217/83	2,4	-
massa específica (g/cm ³)	NBR 9776/87	2,778	-
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	NBR 7251/82	1,592	-
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	NBR 7218/87	isento	< 3,0
Absorção de água dos grãos (%)	NBR 9777/87	0,74	-
Teor de material pulverulento (%)	NBR 7219/87	5,95	< 12,0

Tabela A 7 – Análise química⁹ da areia britada

Parâmetro	Resultados (%)
CaO	40,38
MgO	5,07
Fe₂O₃	2,45
SiO₂	11,60
Al₂O₃	1,69
MnO	0,04
TiO₂	0,10
Na₂O	0,07
K₂O	0,39
P₂O₅	0,03
Perda ao Fogo	37,11
Soma	98,93

Tabela A 8 – Caracterização física da areia britada sem finos¹⁰

Propriedade	Método	Resultado Médio	Limites NBR 7211/2005
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7217/83	2,4	-
massa específica (g/cm ³)	NBR 9776/87	2,778	-
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	NBR 7251/82	1,643	-
Teor de material pulverulento (%)	NBR 7219/87	1,32	< 12,0

Tabela A 9 – Análise granulométrica da areia natural - NBR 7217/83

Abertura da malha (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa retida	
		individual	Acumulada
4,8	2,2	0,22	0,22
2,4	32,0	3,20	3,42
1,2	107,2	10,72	14,14
0,6	312,1	31,22	45,36
0,3	324,5	32,46	77,82
0,15	172,1	17,21	95,03
Fundo	49,7	4,97	100,00
Total	999,8	100,00	-

⁹ A análise química foi executada a partir de pérola fundida e analisada através do método de fluorescência de raios X em equipamento da PHILIPS, Modelo PW 2400. A análise de perda ao fogo foi realizada em mufla, ficando a amostra exposta por três horas a 1000°C.

¹⁰ Finos são considerados o material passante na peneira de malha 0,075 mm por lavagem.

Tabela A 10 – Caracterização física da areia natural

Propriedade	Método	Resultado Médio	Limites NBR 7211/2005
Módulo de finura	NBR 7217/83	2,36	-
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7217/83	2,4	-
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776/87	2,632	-
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	NBR 7251/82	1,492	-
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	NBR 7218/87	Isento	< 3,0
Absorção de água dos grãos (%)	NBR 9777/87	0,81	-
Teor de material pulverulento (%)	NBR 7219/87	2,10	< 5,0

Tabela A 11 – Análise química da areia natural

Parâmetro	Resultados (%)
SiO₂	96,76
CaO	0,04
MgO	0,07
Fe₂O₃	0,48
Al₂O₃	1,03
MnO	0,003
TiO₂	0,20
Na₂O	0,05
K₂O	0,09
P₂O₅	0,03
P.F.	0,32
Soma	99,07

APÊNDICE B

ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA

Para o programa de fomento ao segmento de produção de calcário no Estado do Paraná, a Mineropar – Minerais do Paraná S/A procedeu à coleta de amostras representativas das rochas carbonáticas explotadas no Estado, encaminhando-as ao laboratório BIANCO, de reconhecida competência técnica, para ensaios físico-químicos.

CERTIFICADO N° 0395/2000

Interessado: Mineropar - Minerais do Paraná S/A
Programa Fomento Industrial
Projeto Prodecap

Tipo de Ensaio:

- composição química
- apreciação petrográfica
- massa específica real (NBR 9937)
- abrasão "Los Angeles" (NBR 6465)
- adsorção (ASTM C-128)
- durabilidade - sanidade ao ataque com solução de sulfato de sódio (ASTM C-88)
- reatividade potencial álcalis / carbonato (NBR 10340 / ASTM C-586)
- resistência mecânica (potencial de resistência)

Amostra / Identificação:

- AM. n°01 (ACL 175) = CC-01 (Calcário calcítico)

RESULTADOS:

1 - Análise Macroscópica / Classificação mineralógica:

Amostra n°1 = CC-01 (Calcário calcítico)

Características:

- Rocha homogênea de cor cinza-escuro, sem estrutura aparente e baixa porosidade (maciça). Apresenta como principais características a cor, granulometria muito fina (<0,1mm), e seu grau de fraturamento. O resultado da análise química define essa rocha como sendo constituída essencialmente por carbonato de cálcio. Os valores de sílica e alumina permitem avariar a existência de quartzo e, provavelmente feldspato ou epidoto.

Estrutura:

- A rocha apresenta estrutura maciça.

Estado microfissural:

- Importante fraturamento que se encontra preenchido por calcita, consequência de processos de remobilização de carbonato de cálcio.

Classificação:

- Rocha calcária de origem sedimentar que, em função do estágio atual de litificação, pode-se admitir a influência de forte diagênese e/ou um incipiente processo de metamorfismo (anquimetamorfismo).

Nome da rocha:

- Metacalcário calcítico.

2 - Composição (material reduzido a pó e homogeneizado):

Preparadas e submetidas à análise em equipamento de fluorescência de raio-x, obteve-se para as amostras, as seguintes composições:

Análise química:

Parâmetro	% da massa total
Perda ao fogo	38,69
Cálcio (CaO)	44,86
Magnésio (MgO)	3,13
Sílica (SiO₂)	5,59
Alumínio (Al₂O₃)	1,12
Ferro (Fe₂O₃)	0,63
Potássio (K₂O)	0,16
Sódio (Na₂O)	-
Enxofre (SO₃)	-
Teor de cálcio em relação à base não volátil (%)	92,6

3 - Massa específica real = 2,70 t/m³ (ABNT NBR 9937)

4 - Índice de absorção d'água = 0,14% (ASTM C-128)

5 - Ensaio de durabilidade sob ação de solução de sulfato de sódio (Na₂SO₄) - ASTM C-88 ME-089/94 (limite máximo permitido = 18% de perda de massa)

6 - Abrasão "Los Angeles" - ABNT NBR 6465 / DNER ME-35-64 (limite máximo permitido < 50%)

- Graduação para ensaio = Faixa "B" - Material britado e classificado em peneiras 3/4 a 3/8"
 - Carga abrasiva = 11 esferas

Ensaio de Abrasão "Los Angeles" - quadro de resultados:

Faixa	% de perda de massa verificada
"B"	16,4

7 - Resistência mecânica (Ensaio comparativo de resistência - concreto experimental com relação Água/Cimento = 0,34):

Resistência à compressão (MPa) obtida em corpos de prova de concreto com A/C = 0,34		
3 dias	7 dias	28 dias
48,8	50,1	63,1

Resistência à tração do concreto aos 28 dias = 4,6 MPa :

8 - Reatividade potencial álcalis /carbonato (método / ABNT NBR 10340) (minitestemunho cilíndrico de 9mm de diâmetro x 35mm de altura - limite máximo permitido = 0,10% após 28 dias de cura na solução alcalina)

- Calcário calcítico CC-01 = 0,007%

Interpretação dos resultados:

A análise dos resultados caracteriza a rocha em questão como de boa resistência mecânica e estabilidade química. Trata-se de material com excelente resistência ao intemperismo.

APÊNDICE C

RESULTADOS DO ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Tabela C 1 – Resultados do ensaio de caracterização dos blocos cerâmicos utilizados na construção das paredes

Característica determinada	Método	Nº de CPs	Resultado médio	Coefficiente de Variação (%)
Absorção total de água	NBR 12118/91	12	22,3%	4,7
Absorção de água inicial (IRS)	RILEM LUM A 5 (1988)	12	15,3 g/200cm ² /min	19,5
Resistência à compressão	NBR 7184/92	12	2,2 MPa	30,2
Dimensões	Medidas individuais	12	a = 187,4 mm	0,7
			b = 91,4 mm	1,1
			c = 139,6 mm	0,7

APÊNDICE D

DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

Tabela D 1 – Quantidade de materiais para produção da argamassa com areia natural

Argamassa	Proporções		Massa (g)				I.C. (mm)	
	Em volume	Em massa	Cimento	Cal em pó	Areia seca	Água		Total
T1 NAT	1 : 1 : 4	1 : 0,58 : 4,99	10200,00	5871,18	50855,14	16097,22	83023,54	260,00
T2 NAT	1 : 1 : 6	1 : 0,58 : 7,48	6000,00	3453,63	44872,18	12976,74	67302,56	270,00
T3 NAT	1 : 1 : 8	1 : 0,58 : 9,97	5000,00	2878,03	49857,98	13723,85	71459,86	265,00
T4 NAT	1 : 2 : 6	1 : 1,15 : 7,48	5500,00	6331,66	41132,83	15070,00	68034,49	265,00
T5 NAT	1 : 2 : 9	1 : 1,15 : 11,22	4200,00	4835,09	47115,79	14182,86	70333,74	270,00
T6 NAT	1 : 2 : 12	1 : 1,15 : 14,96	3300,00	3799,00	49359,40	14673,60	71131,99	280,00
T7 NAT	1 : 3 : 8	1 : 1,73 : 9,97	4200,00	7252,63	41880,70	16291,54	69624,87	270,00
T8 NAT	1 : 3 : 12	1 : 1,73 : 14,96	3100,00	5353,13	46367,92	15247,79	70068,84	265,00
T9 NAT	1 : 3 : 16	1 : 1,73 : 19,94	2500,00	4317,04	49857,98	15310,63	71985,65	260,00

* I.C. = Índice de consistência na mesa (NBR 7215/1982)

Tabela D 2 – Quantidade de materiais para produção de argamassa com areia britada

Argamassa	Proporções		Massa (g)					I.C. (mm)
	Em volume	Em massa	Cimento	Cal em pó	Areia seca	Água	Total	
T1 BR	1 : 1 : 4	1 : 0,58 : 5,32	6500,00	3741,44	34579,78	10118,84	54940,06	260,00
T2 BR	1 : 1 : 6	1 : 0,58 : 7,98	5700,00	3280,95	45485,71	12713,57	67180,23	270,00
T3 BR	1 : 1 : 8	1 : 0,58 : 10,64	5000,00	2878,03	53199,67	13172,95	74250,65	265,00
T4 BR	1 : 2 : 6	1 : 1,15 : 7,98	6000,00	6907,27	47879,70	16059,09	76846,06	265,00
T5 BR	1 : 2 : 9	1 : 1,15 : 11,97	4400,00	5065,33	52667,67	15029,50	77162,50	270,00
T6 BR	1 : 2 : 12	1 : 1,15 : 15,96	3500,00	4029,24	55859,65	14808,83	78197,72	280,00
T7 BR	1 : 3 : 8	1 : 1,73 : 10,64	4400,00	7597,99	46815,71	16634,20	75447,90	270,00
T8 BR	1 : 3 : 12	1 : 1,73 : 15,96	3300,00	5698,50	52667,67	16245,65	77911,81	265,00
T9 BR	1 : 3 : 16	1 : 1,73 : 21,28	2600,00	4489,72	55327,65	15652,81	78070,18	260,00
T10 BR	1 : 1 : 10	1 : 0,58 : 13,30	4000,00	2302,42	53199,67	13260,36	72762,45	265,00
T11 BR	1 : 2 : 15	1 : 1,15 : 19,95	2700,00	3108,27	53864,66	14356,49	74029,42	268,00
T6b BR	1 : 2 : 12	1 : 1,15 : 15,96	3500,00	4029,24	55859,65	14337,83	77726,72	235,00
T2b BR	1 : 1 : 6	1 : 0,58 : 8,24	5700,00	3280,95	46942,86	12683,37	68607,18	275,00

* I.C. = Índice de consistência na mesa (NBR 7215/1982)

APÊNDICE E

RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO E TEOR DE AR APRISIONADO

Tabela E 1 – Resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco das argamassas de areia natural, conforme NBR 13278/1995

Argamassa	massa (g)			Massa específica (kg/m ³)
	1	2	3	
T1 NAT	3330,0	3310,0	3350,0	2001
T2 NAT	3300,0	3300,0	3320,2	1986
T3 NAT	3263,1	3262,8	3237,2	1957
T4 NAT	3211,6	3212,4	3201,8	1929
T5 NAT	3209,8	3217,6	3198,0	1928
T6 NAT	3196,4	3186,9	3924,2	1920
T7 NAT	3147,8	3143,9	3139,5	1889
T8 NAT	3192,6	3165,7	3170,0	1909
T9 NAT	3192,0	3188,2	3208,4	1920

Tabela E 2 – Resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco das argamassas de areia britada, conforme NBR 13278/1995

Argamassa	massa (g)			Massa específica (kg/m ³)
	1	2	3	
T1 BR	3470,0	3450,0	3461,2	2080
T2 BR	3438,6	3435,1	3436,1	2066
T3 BR	3459,6	3450,0	3454,0	2076
T4 BR	3326,9	3327,8	3328,0	2000
T5 BR	3388,5	3385,7	3385,9	2036
T6 BR	3375,5	3365,0	3372,7	2026
T7 BR	3289,3	3276,6	3383,5	1973
T8 BR	3333,8	3324,3	3328,7	2001
T9 BR	3365,0	3363,0	3366,8	2022
T10 BR	3430,0	3440,0	3437,7	2065
T11 BR	3390,0	3382,4	3386,6	2035
T6b BR	3395,6	3397,5	3394,7	2041
T2b BR	3442,4	3441,8	3444,2	2069

Tabela E 3 – Densidade de massa calculada com os resultados das Tabela D 1 e D 2

Arg	Areia natural			Areia britada		
	Massa total (g)	Volume total (cm ³)	Massa específica (kg/m ³)	Massa total (g)	Volume total (cm ³)	Massa específica (kg/m ³)
T1	83023,54	41375,77	2007	54940,06	26362,49	2084
T2	67302,56	33529,38	2007	67180,23	32415,85	2072
T3	71459,86	35586,80	2008	74250,65	35243,24	2107
T4	68034,49	35253,64	1930	76846,06	38264,22	2008
T5	70333,74	35562,87	1978	77162,50	37632,88	2050
T6	71131,99	36160,57	1967	78197,72	37815,76	2068
T7	69624,87	36708,66	1897	75447,90	38206,02	1975
T8	70068,84	36189,90	1936	77911,81	38744,13	2011
T9	71985,65	36935,18	1949	78070,18	38357,98	2035
T10	-	-	-	72762,45	34746,66	2094
T11	-	-	-	74029,42	35982,64	2057
T6b	-	-	-	77726,72	37344,76	2081
T2b	-	-	-	68607,18	32910,18	2085

Tabela E 4 – Teor de ar aprisionado das argamassas de areia natural utilizando os resultados das Tabelas E 1 e E 3, conforme NBR 13278/1995

Argamassa	Relações			Teor de ar aprisionado (%)
	Água / cimento	Água / mat. secos	Agregado / aglomerante	
T1 NAT	1,58	0,24	3,16	0,26
T2 NAT	2,16	0,24	4,75	1,04
T3 NAT	2,74	0,24	6,33	2,53
T4 NAT	2,74	0,28	3,48	0,05
T5 NAT	3,38	0,25	5,21	2,51
T6 NAT	4,45	0,26	6,95	2,37
T7 NAT	3,88	0,31	3,66	0,38
T8 NAT	4,92	0,28	5,49	1,40
T9 NAT	6,12	0,27	7,31	1,47

Tabela E 5 – Teor de ar aprisionado das argamassas de areia britada utilizando os resultados das Tabelas E 2 e E 3, conforme NBR 13278/1995

Argamassa	Relações			Teor de ar aprisionado (%)
	Água / cimento	Água / mat. secos	Agregado / aglomerante	
T1 BR	1,56	0,23	3,38	0,21
T2 BR	2,23	0,23	5,06	0,33
T3 BR	2,63	0,22	6,75	1,44
T4 BR	2,68	0,26	3,71	0,42
T5 BR	3,42	0,24	5,56	0,71
T6 BR	4,23	0,23	7,42	2,01
T7 BR	3,78	0,28	3,90	0,08
T8 BR	4,92	0,26	5,85	0,50
T9 BR	6,02	0,25	7,80	0,66
T10 BR	3,32	0,22	8,44	1,41
T11 BR	5,32	0,24	9,27	1,08
T6b BR	4,10	0,23	7,42	1,92
T2b BR	2,23	0,23	5,23	0,76

APÊNDICE F

RESULTADOS DO ENSAIO DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Tabela F 1 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas de areia natural no estado fresco

Arg	a/a _f	M _{f_v} (g)	M _{f_c} (g)	M _{f_i} (g) em função do tempo (min)						Retenção de água (%) em função do tempo (min)					
				1,0	1,5	3,0	5,0	10,0	15,0	1,0	1,5	3,0	5,0	10,0	15,0
T1 NAT	0,17	1286,9	2459,9	2439,9	2426,3	2410,3	2391,9	2385,6	2383,2	90,0	83,3	75,3	66,1	63,0	61,8
T2 NAT	0,18	1291,1	2433,3	2391,8	2379,3	2360,5	2347,9	2331,4	2322,9	79,8	73,7	64,5	58,4	50,4	46,2
T3 NAT	0,17	1288,1	2430,0	2384,4	2374,3	2357,0	2342,4	2325,3	2314,9	76,3	71,0	62,0	54,5	45,6	40,2
T4 NAT	0,18	1290,8	2460,9	2439,4	2424,8	2401,5	2387,9	2377,4	2372,4	90,0	83,2	72,3	65,9	61,0	58,7
T5 NAT	0,18	1285,4	2410,2	2372,9	2358,8	2341,2	2332,4	2322,6	2315,3	81,8	74,9	66,3	62,0	57,2	53,6
T6 NAT	0,19	1289,7	2431,6	2388,3	2370,5	2352,5	2342,9	2330,2	2320,4	80,2	72,0	63,8	59,4	53,6	49,1
T7 NAT	0,18	1289,4	2411,9	2395,2	2381,5	2363,2	2350,9	2340,9	2338,3	91,9	85,3	76,4	70,5	65,6	64,4
T8 NAT	0,19	1290,7	2414,9	2379,1	2362,6	2342,5	2334,1	2326,5	2317,0	83,2	75,4	66,0	62,1	58,5	54,0
T9 NAT	0,19	1292,6	2406,1	2356,4	2339,0	2328,5	2320,4	2307,6	2299,5	77,0	68,9	64,0	60,3	54,3	50,6

Legenda:

a/a_f = relação água/argamassa fresca

M_{f_v} = massa do funil vazio e filtro

M_{f_c} = massa do funil cheio e filtro

M_{f_i} = massa do funil para o tempo “i” de sucção

Tabela F 2 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas de areia britada no estado fresco

Arg	a/a _f	M _{f_v} (g)	M _{f_c} (g)	M _{f_i} (g) em função do tempo (min)						Retenção de água (%) em função do tempo (min)					
				1,0	1,5	3,0	5,0	10,0	15,0	1,0	1,5	3,0	5,0	10,0	15,0
T1 BR	0,16	1288,2	2499,0	2471,4	2466,2	2452,0	2447,0	2443,3	2441,8	85,4	82,6	75,1	72,4	70,5	69,7
T2 BR	0,15	1289,2	2470,7	2440,7	2428,2	2414,6	2410,5	2407,4	2405,3	83,5	76,6	69,1	66,9	65,2	64,0
T3 BR	0,16	1289,6	2497,3	2462,4	2444,6	2430,5	2424,4	2409,1	2405,1	82,5	73,5	66,5	63,4	55,7	53,7
T4 BR	0,17	1288,3	2463,3	2446,3	2433,0	2420,4	2410,6	2400,8	2397,5	91,5	84,8	78,4	73,5	68,6	66,9
T5 BR	0,17	1291,6	2491,6	2459,0	2449,6	2428,9	2418,0	2402,8	2396,4	84,1	79,6	69,5	64,2	56,8	53,7
T6 BR	0,18	1287,7	2468,8	2433,6	2411,9	2394,8	2386,7	2373,3	2367,7	83,1	72,7	64,5	60,6	54,2	51,5
T7 BR	0,18	1290,1	2437,6	2416,3	2403,6	2387,3	2379,8	2364,7	2359,9	89,8	83,8	76,0	72,4	65,2	62,9
T8 BR	0,18	1288,1	2492,6	2462,1	2442,1	2418,2	2413,8	2403,1	2393,3	86,0	76,8	65,8	63,7	58,8	54,3
T9 BR	0,18	1290,3	2468,6	2426,0	2402,4	2387,4	2377,4	2368,4	2358,8	79,8	68,6	61,5	56,7	52,4	47,9
T6b BR	0,16	1288,8	2476,0	2449,5	2439,7	2422,6	2414,5	2407,1	2402,6	90,9	86,3	78,2	74,3	70,8	68,7

Legenda:

a/a_f = relação água/argamassa fresca

M_{f_v} = massa do funil vazio e filtro

M_{f_c} = massa do funil cheio e filtro

M_{f_i} = massa do funil para o tempo “i” de sucção

APÊNDICE G

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela G 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 7 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 NAT	3,62	3,69	3,64	3,56	3,61	3,69	3,63	0,05	1,37
T2 NAT	1,63	1,73	1,66	1,44	1,49	1,64	1,6	0,11	6,76
T3 NAT	0,84	0,93	0,95	0,85	0,90	0,91	0,90	0,04	4,74
T4 NAT	0,92	0,90	0,96	0,86	0,87	0,95	0,91	0,04	4,58
T5 NAT	0,57	0,57	0,55	0,57	0,56	0,58	0,57	0,01	1,70
T6 NAT	0,33	0,31	0,30	0,29	0,32	0,27	0,31	0,02	6,97
T7 NAT	0,53	0,53	0,52	0,50	0,53	-	0,52	0,01	2,49
T8 NAT	0,32	0,34	0,32	0,33	0,33	-	0,33	0,01	1,86
T9 NAT	0,19	0,20	0,18	0,27	-	-	0,21	0,04	19,32

Tabela G 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 7 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 BR	4,23	4,96	4,13	4,24	4,27	4,04	4,31	0,33	7,64
T2 BR	1,55	1,44	1,57	1,48	1,41	1,58	1,51	0,07	4,78
T3 BR	1,01	1,04	1,13	1,19	1,12	0,97	1,08	0,08	7,66
T4 BR	0,97	1,04	0,99	1,01	1,04	0,85	0,98	0,07	6,99
T5 BR	0,69	0,67	0,66	0,66	0,69	0,65	0,67	0,02	2,34
T6 BR	0,40	0,44	0,40	0,39	0,43	0,39	0,41	0,02	4,94
T7 BR	0,63	0,63	0,64	0,62	0,61	0,65	0,63	0,01	2,24
T8 BR	0,39	0,4	0,39	0,40	0,38	-	0,39	0,01	1,65
T9 BR	0,26	0,26	0,25	0,22	-	-	0,25	0,02	8,50
T10 BR	0,63	0,61	0,69	0,62	0,64	0,54	0,62	0,05	7,64
T11 BR	0,26	0,26	0,26	0,28	0,32	-	0,28	0,03	9,90
T6b BR	0,39	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,40	0,01	2,89
T2b BR	1,40	1,49	1,39	1,30	1,37	1,43	1,40	0,07	4,65

Tabela G 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 NAT	5,90	6,94	6,31	6,48	6,94	6,37	6,49	0,40	6,15
T2 NAT	2,85	2,56	2,73	2,47	2,59	2,37	2,59	0,17	6,68
T3 NAT	1,71	1,56	1,68	1,63	1,74	1,46	1,63	0,10	6,42
T4 NAT	1,67	1,83	1,71	1,75	1,71	1,83	1,75	0,07	3,82
T5 NAT	0,92	0,93	0,88	0,97	0,92	0,92	0,92	0,03	2,98
T6 NAT	0,43	0,48	0,43	0,42	0,36	-	0,43	0,04	10,01
T7 NAT	0,81	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,86	0,03	3,62
T8 NAT	0,47	0,45	0,48	0,45	-	-	0,47	0,01	2,82
T9 NAT	0,25	0,27	0,27	0,15	0,25	-	0,24	0,05	20,64

Tabela G 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 BR	7,98	8,55	8,09	8,10	8,24	8,91	8,31	0,35	4,25
T2 BR	2,72	2,63	2,54	2,49	2,66	-	2,61	0,09	3,60
T3 BR	1,80	2,02	1,85	1,93	2,18	1,95	1,96	0,13	6,87
T4 BR	1,89	1,94	1,70	1,76	1,85	1,98	1,85	0,11	5,70
T5 BR	1,08	1,05	1,16	1,21	1,16	1,02	1,11	0,08	6,77
T6 BR	0,57	0,69	-	0,60	0,58	0,59	0,61	0,05	7,95
T7 BR	0,96	1,01	1,00	0,96	0,90	1,03	0,98	0,05	4,76
T8 BR	0,67	0,61	-	-	0,58	0,57	0,61	0,04	7,17
T9 BR	0,50	0,45	0,39	0,50	0,39	-	0,45	0,05	12,34
T10 BR	1,09	1,07	0,99	1,10	1,24	1,13	1,10	0,08	7,42
T11 BR	0,43	0,36	0,39	0,38	0,49	0,36	0,40	0,05	12,50
T6b BR	0,56	0,58	0,59	0,61	0,70	0,58	0,60	0,05	8,06
T2b BR	2,27	2,27	2,48	2,09	2,32	2,32	2,29	0,13	5,49

Tabela G 5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 56 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 NAT	6,45	6,56	6,53	6,27	6,42	6,54	6,46	0,11	1,66
T2 NAT	2,71	3,31	2,84	2,83	3,24	2,27	2,87	0,38	13,20
T3 NAT	1,62	1,57	1,53	1,62	1,86	-	1,64	0,13	7,78
T4 NAT	1,87	1,74	1,78	1,76	1,80	1,78	1,79	0,05	2,57
T5 NAT	0,92	0,92	0,87	0,97	0,91	0,85	0,91	0,04	4,76
T6 NAT	0,39	0,41	0,42	0,39	0,41	0,46	0,42	0,03	6,29
T7 NAT	0,84	0,86	0,75	0,79	0,71	0,69	0,78	0,07	9,13
T8 NAT	0,35	0,41	0,38	0,38	0,41	0,39	0,39	0,02	5,96
T9 NAT	0,20	0,29	0,27	0,23	0,24	-	0,25	0,04	14,58

Tabela G 6 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 56 dias em corpos de prova de 50 x 100 mm de areia britada, conforme NBR 13279/1995

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 BR	7,51	7,77	7,90	8,14	7,22	7,83	7,73	0,32	4,17
T2 BR	2,73	3,00	2,99	2,84	2,78	2,60	2,82	0,12	4,29
T3 BR	2,15	2,14	2,15	2,05	1,96	2,16	2,10	0,08	3,85
T4 BR	1,90	1,73	1,91	2,01	1,93	2,06	1,92	0,11	5,86
T5 BR	1,27	1,03	1,16	0,99	1,17	1,10	1,12	0,10	9,12
T6 BR	0,88	0,70	0,69	0,80	0,63	-	0,74	0,10	13,12
T7 BR	1,01	1,00	1,04	0,93	0,98	0,98	0,99	0,04	3,58
T8 BR	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58	0,61	0,57	0,02	4,12
T9 BR	0,35	0,39	0,40	0,39	0,37	0,36	0,38	0,02	4,71
T10 BR	1,12	0,94	1,01	1,08	0,99	0,92	1,01	0,08	7,76
T11 BR	0,37	0,42	0,38	0,33	0,39	0,48	0,40	0,05	12,60
T6b BR	0,58	0,59	0,57	0,55	0,57	0,65	0,59	0,03	5,87
T2b BR	2,07	2,18	2,18	2,32	2,31	2,23	2,22	0,09	4,21

APÊNDICE H

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Tabela H 1 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 84 dias em corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia natural, conforme DIN EN 1015 – Part 11 (1999)

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 NAT	0,73	1,65	1,83	1,87	2,13	-	1,64	0,54	32,67
T2 NAT	0,72	0,66	0,77	0,90	0,85	-	0,78	0,10	12,31
T3 NAT	0,41	0,38	0,55	0,48	0,46	0,38	0,44	0,07	15,01
T4 NAT	0,69	0,58	0,63	0,53	-	-	0,61	0,07	11,51
T5 NAT	0,36	0,26	0,33	0,29	0,36	-	0,32	0,04	13,40
T6 NAT	0,16	0,12	0,15	-	0,15	0,17	0,15	0,02	11,26
T7 NAT	0,36	0,28	0,24	0,41	0,33	0,26	0,31	0,07	21,51
T8 NAT	0,19	0,15	0,18	0,15	-	-	0,17	0,02	11,30
T9 NAT	0,09	0,20	-	-	-	-	0,14	0,08	56,34

Tabela H 2 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 84 dias em corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia britada, conforme DIN EN 1015 – Part 11 (1999)

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
T1 BR	2,09	1,75	2,44	2,18	3,13	-	2,32	0,52	22,27
T2 BR	0,99	1,05	0,93	1,14	1,22	-	1,07	0,12	10,99
T3 BR	0,65	0,63	0,63	0,80	0,91	0,85	0,75	0,12	16,63
T4 BR	0,89	0,74	0,65	0,61	0,67	0,89	0,74	0,11	14,91
T5 BR	0,48	0,42	0,47	0,57	0,47	0,56	0,50	0,06	11,76
T6 BR	0,31	0,23	0,24	0,31	-	-	0,27	0,04	15,43
T7 BR	0,42	0,32	0,46	0,42	0,52	0,35	0,42	0,07	17,49
T8 BR	0,27	0,21	0,20	0,23	0,23	-	0,23	0,03	11,42
T9 BR	0,20	0,18	0,10	0,25	0,24	0,17	0,19	0,06	32,31
T10 BR	0,32	0,29	-	0,44	0,35	0,35	0,35	0,07	19,19
T11 BR	0,14	0,15	0,15	0,15	-	-	0,15	0,01	5,27
T6b BR	0,22	0,24	0,19	-	-	-	0,22	0,02	11,36
T2b BR	1,02	0,76	1,07	1,04	0,99	0,80	0,95	0,14	15,02

APÊNDICE I

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Tabela I 1 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, realizado aos 84 dias nos painéis de areia natural – NBR 13528/1995

CP	Resistência de aderência à tração (MPa)																	
	T1 NAT		T2 NAT		T3 NAT		T4 NAT		T5 NAT		T6 NAT		T7 NAT		T8 NAT		T9 NAT	
	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR
1	0,33	C	0,28	B	0,21	A	0,24	B	0,18	B	0,12	A	0,14	A	0,08	A	0,09	B
2	0,30	C	0,24	B	0,17	A	0,18	B	0,16	B	0,12	B	0,14	B	0,09	A	0,09	A
3	0,17	C	0,27	B	0,17	C	0,20	A	0,20	B	0,11	A	0,13	A	0,11	A	0,11	A
4	0,35	C	0,20	C	0,14	A	0,20	B	0,15	B	0,12	A	0,13	A	0,09	A	0,12	B
5	0,24	C	0,31	B	0,20	A	0,20	B	0,18	B	0,13	B	0,14	B	0,09	A	0,09	B
6	-	-	0,33	B	0,16	A	0,20	B	0,19	B	0,15	A	0,12	A	0,09	A	0,09	A
Média (MPa)	0,28	-	0,27	-	0,18	-	0,20	-	0,18	-	0,12	-	0,13	-	0,09	-	0,10	-
DP (MPa)	0,07	-	0,05	-	0,03	-	0,02	-	0,02	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-
CV (%)	26,47	-	17,17	-	14,62	-	10,32	-	10,47	-	11,18	-	6,81	-	11,71	-	14,20	-

Legenda:

RA = resistência de aderência à tração (MPa)

LR = local de ruptura

DP = desvio-padrão

CV = coeficiente de variação

A = ruptura na interface revestimento/substrato

B = ruptura na argamassa de revestimento

C = ruptura no substrato

Tabela I 2 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, realizado aos 84 dias nos painéis de areia britada – NBR 13528/1995

CP	Resistência de aderência à tração (MPa)																										
	T1 BR		T2 BR		T3 BR		T4 BR		T5 BR		T6 BR		T7 BR		T8 BR		T9 BR		T10 BR		T11 BR		T6b BR		T2b BR		
	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA	LR	RA
1	0,32	C	0,23	C	0,20	B	0,23	C	0,19	A	0,16	A	0,15	A	0,13	A	0,13	A	-	-	0,10	A	0,13	A	0,27	C	
2	0,31	C	0,25	B	0,19	B	0,22	C	0,19	A	0,15	A	0,17	A	0,13	B	0,12	A	0,25	B	0,12	A	0,11	A	0,27	C	
3	0,26	C	0,25	B	0,21	B	0,25	B	0,20	B	0,16	B	0,16	A	0,14	A	0,12	B	0,22	B	0,13	A	0,15	A	0,21	C	
4	0,24	C	0,24	B	0,17	C	0,18	C	0,19	B	0,17	A	0,16	A	0,09	A	0,11	A	0,20	B	0,13	A	0,13	A	0,19	C	
5	0,34	C	-	-	0,21	B	0,25	B	0,19	A	0,15	A	0,17	B	0,12	A	0,09	A	0,22	A	0,09	A	0,14	A	0,28	B	
6	-	-	0,27	B	0,24	C	0,20	C	0,18	B	0,15	B	0,18	A	0,13	B	0,11	B	0,19	B	0,13	A	0,13	A	0,23	C	
Média (MPa)	0,29	-	0,25	-	0,20	-	0,22	-	0,19	-	0,16	-	0,16	-	0,12	-	0,11	-	0,21	-	0,12	-	0,13	-	0,24	-	
DP (MPa)	0,04	-	0,02	-	0,02	-	0,03	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,02	-	0,01	-	0,02	-	0,02	-	0,01	-	0,04	-	
CV (%)	14,96	-	6,21	-	10,60	-	12,98	-	4,07	-	5,89	-	7,387,38	-	13,50	-	9,53	-	11,43	-	13,08	-	10,23	-	15,81	-	

Legenda:

RA = resistência de aderência à tração (MPa)

LR = local de ruptura

DP = desvio-padrão

CV = coeficiente de variação

A = ruptura na interface revestimento/substrato

B = ruptura na argamassa de revestimento

C = ruptura no substrato

APÊNDICE J

RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela J 1 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente, realizado aos 56 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 13280/1995

Arg	CP	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade de massa (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Desvio padrão	CV (%)
T1 NAT	1	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	332,41	1694	1711	15,08	0,88%
	2	5,0	5,0	10,1	10,1	10,1	198,2	340,91	1720			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	334,06	1702			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	335,38	1726			
T2 NAT	1	5,0	5,0	10,0	10,0	9,9	195,6	338,67	1731	1724	12,42	0,72%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	333,08	1714			
	3	5,0	5,0	9,8	9,9	9,9	193,6	331,70	1713			
	4	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	341,07	1738			
T3 NAT	1	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	335,42	1721	1718	9,52	0,55%
	2	5,0	5,0	9,7	9,8	9,8	191,7	330,86	1726			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	334,47	1722			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	331,14	1704			
T4 NAT	1	5,0	5,0	9,9	10,0	10,1	196,3	314,39	1602	1592	8,60	0,54%
	2	5,0	5,0	10,1	10,1	10,1	198,2	315,49	1592			
	3	5,0	5,0	10,1	10,1	10,0	197,6	312,39	1581			
	4	5,0	5,0	9,9	10,0	10,0	195,6	311,92	1595			
T5 NAT	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	318,24	1638	1639	1,51	0,09%
	2	5,0	5,0	10,0	10,0	9,9	195,6	320,80	1640			
	3	-	-	-	-	-	-	-	-			
	4	-	-	-	-	-	-	-	-			
T6 NAT	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	315,53	1630	1632	11,89	0,73%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	316,35	1634			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	314,17	1617			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	319,77	1646			
T7 NAT	1	5,0	5,0	10,0	9,9	9,9	194,9	298,86	1533	1538	4,16	0,27%
	2	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	301,69	1537			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	299,24	1540			
	4	5,0	5,0	10,0	9,9	9,9	194,9	300,75	1543			
T8 NAT	1	5,0	5,0	9,8	9,9	10,0	194,3	307,35	1582	1583	5,52	0,35%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	309,02	1591			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	10,1	196,9	310,88	1579			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	306,75	1579			
T9 NAT	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	316,54	1629	1618	8,96	0,55%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	314,43	1618			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	312,35	1608			
	4	5,0	5,0	10,0	9,9	9,9	194,9	314,86	1615			

Tabela J 2 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente, realizado aos 56 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 13280/1995

Arg	CP	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade de massa (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Desvio padrão	CV (%)
T1 BR	1	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	365,39	1862	1831	29,92	1,63%
	2	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	362,80	1849			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	356,26	1815			
	4	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	352,60	1797			
T2 BR	1	5,0	5,0	10,0	10,0	9,9	195,6	346,22	1770	1774	7,12	0,40%
	2	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	349,36	1780			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	9,9	195,6	345,42	1766			
	4	5,0	5,0	10,0	9,9	9,9	194,9	346,97	1780			
T3 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	352,58	1815	1812	4,54	0,25%
	2	5,0	5,0	9,9	10,0	10,0	195,6	353,20	1806			
	3	5,0	5,0	9,9	10,0	10,0	195,6	354,78	1814			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	353,94	1816			
T4 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	322,45	1654	1655	0,99	0,06%
	2	5,0	5,0	10,0	10,1	10,0	196,9	326,16	1656			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	321,69	1656			
	4	5,0	5,0	10,1	10,1	10,0	197,6	327,03	1655			
T5 BR	1	5,0	5,0	10,1	10,2	10,1	198,9	339,81	1709	1721	9,78	0,57%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	337,73	1732			
	3	5,0	5,0	9,8	9,9	9,9	193,6	333,15	1721			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	333,68	1723			
T6 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	341,36	1757	1753	4,80	0,27%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	341,77	1753			
	3	5,0	5,0	9,9	9,8	9,8	193,0	336,98	1746			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	339,95	1756			
T7 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	315,90	1626	1624	7,48	0,46%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	315,08	1622			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	320,48	1633			
	4	5,0	5,0	10,0	9,9	9,9	194,9	314,87	1615			
T8 BR	1	5,0	5,0	9,8	9,9	9,9	193,6	323,27	1669	1670	3,28	0,20%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	324,45	1670			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	323,55	1665			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	324,01	1673			
T9 BR	1	5,0	5,0	9,9	10,0	10,1	196,3	316,14	1611	1657	64,26	3,88%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	309,75	1594			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,8	193,6	333,82	1724			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	331,39	1700			
T10 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	355,12	1828	1806	15,64	0,87%
	2	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	354,37	1806			
	3	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	349,31	1798			
	4	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	349,36	1792			
T11 BR	1	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	343,67	1763	1751	8,00	0,46%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	340,00	1750			
	3	5,0	5,0	9,9	10,0	10,1	196,3	342,82	1747			
	4	5,0	5,0	9,7	9,9	9,9	193,0	336,82	1745			
T6b BR	1	5,0	5,0	9,8	9,9	10,0	194,3	343,04	1766	1768	24,36	1,38%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	10,0	194,9	341,12	1750			
	3	5,0	5,0	9,9	10,1	10,0	196,3	353,94	1804			
	4	5,0	5,0	9,8	9,9	9,9	193,6	339,71	1754			
T2b BR	1	5,0	5,0	10,0	10,0	9,8	194,9	351,20	1802	1814	9,63	0,53%
	2	5,0	5,0	9,9	9,9	9,9	194,3	354,21	1823			
	3	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	357,06	1819			
	4	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	196,3	355,34	1811			

Tabela J 3 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 13280/1995

Arg	CP	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade de massa (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Desvio padrão	CV (%)
T1 NAT	1	5,0	5,0	9,95	10,00	10,00	195,9	350,65	1789,73	1789,44	0,58	0,03%
	2	5,0	5,0	9,90	10,00	10,00	195,6	350,08	1789,81			
	3	5,0	5,0	9,95	10,00	10,00	195,9	350,46	1788,76			
T2 NAT	1	5,0	5,0	10,00	9,90	10,00	195,6	347,72	1777,75	1774,75	21,92	1,23%
	2	5,0	5,0	9,95	10,05	10,00	196,3	343,73	1751,49			
	3	5,0	5,0	9,95	9,90	10,00	195,3	350,51	1795,01			
T3 NAT	1	5,0	5,0	10,00	9,95	9,90	195,3	343,30	1758,09	1764,00	5,22	0,30%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,95	194,6	344,07	1767,96			
	3	5,0	5,0	9,85	9,85	9,90	193,6	341,95	1765,97			
T4 NAT	1	5,0	5,0	9,95	9,95	10,00	195,6	321,34	1642,88	1648,83	5,18	0,31%
	2	5,0	5,0	9,95	9,90	9,90	194,6	321,37	1651,32			
	3	5,0	5,0	9,85	9,90	9,90	194,0	320,48	1652,30			
T5 NAT	1	5,0	5,0	9,90	9,90	9,95	194,6	326,38	1677,06	1670,54	13,72	0,82%
	2	5,0	5,0	9,85	9,95	10,00	194,9	327,46	1679,78			
	3	5,0	5,0	9,60	9,55	9,60	188,1	311,22	1654,78			
T6 NAT	1	5,0	5,0	9,95	10,05	10,10	196,9	326,00	1655,63	1657,15	7,54	0,46%
	2	5,0	5,0	9,90	9,95	10,00	195,3	325,19	1665,35			
	3	5,0	5,0	9,85	9,85	9,90	193,6	319,59	1650,49			
T7 NAT	1	5,0	5,0	9,80	9,85	9,90	193,3	302,65	1565,65	1578,78	13,99	0,89%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	306,43	1577,20			
	3	5,0	5,0	9,95	9,90	10,00	195,3	311,16	1593,50			
T8 NAT	1	5,0	5,0	9,95	9,80	10,00	194,6	317,23	1630,04	1609,96	17,47	1,09%
	2	5,0	5,0	10,00	9,90	9,80	194,3	311,17	1601,60			
	3	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	310,52	1598,25			
T9 NAT	1	5,0	5,0	9,80	9,80	9,80	192,3	309,30	1608,22	1604,08	5,85	0,36%
	2	5,0	5,0	10,00	10,00	10,00	196,3	313,99	1599,95			
	3	5,0	5,0	-	-	-	-	-	-			

Tabela J 4 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 13280/1995

Arg	CP	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade de massa (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Desvio padrão	CV (%)
T1 BR	1	5,0	5,0	10,00	10,00	10,00	196,3	367,18	1870,98	1898,89	25,87	1,36%
	2	5,0	5,0	9,95	9,95	9,95	195,3	375,32	1922,07			
	3	5,0	5,0	10,35	10,30	10,35	202,8	386,04	1903,63			
T2 BR	1	5,0	5,0	9,95	9,90	9,95	194,9	357,10	1831,83	1826,88	4,85	0,27%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	354,02	1822,15			
	3	5,0	5,0	9,90	9,95	10,00	195,3	356,69	1826,66			
T3 BR	1	5,0	5,0	9,95	9,95	10,00	195,6	361,60	1848,71	1849,97	4,61	0,25%
	2	5,0	5,0	10,15	10,15	10,20	199,5	368,34	1846,12			
	3	5,0	5,0	10,05	10,05	10,05	197,2	365,88	1855,08			
T4 BR	1	5,0	5,0	9,95	9,95	10,00	195,6	334,37	1709,49	1710,13	3,64	0,21%
	2	5,0	5,0	10,00	10,00	10,00	196,3	336,38	1714,04			
	3	5,0	5,0	9,90	9,85	9,90	194,0	331,06	1706,84			
T5 BR	1	5,0	5,0	10,25	10,30	10,35	202,1	352,27	1742,72	1751,45	7,57	0,43%
	2	5,0	5,0	10,10	10,10	10,20	198,9	349,27	1756,30			
	3	5,0	5,0	10,10	10,10	10,15	198,5	348,50	1755,32			
T6 BR	1	5,0	5,0	10,10	10,10	10,10	198,2	351,30	1772,34	1781,10	7,64	0,43%
	2	5,0	5,0	9,85	9,90	9,90	194,0	346,14	1784,59			
	3	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	347,07	1786,37			
T7 BR	1	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	323,19	1663,46	1670,67	15,43	0,92%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	322,55	1660,17			
	3	5,0	5,0	9,70	9,80	9,90	192,3	324,72	1688,39			
T8 BR	1	5,0	5,0	9,90	9,90	9,80	193,6	324,84	1677,60	1689,04	11,87	0,70%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	328,00	1688,22			
	3	5,0	5,0	9,80	9,80	9,85	192,7	327,76	1701,31			
T9 BR	1	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	333,49	1716,48	1728,29	13,39	0,77%
	2	5,0	5,0	10,00	10,00	9,90	195,6	340,89	1742,83			
	3	5,0	5,0	10,00	10,00	10,10	196,9	339,77	1725,56			
T10 BR	1	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	357,78	1841,50	1833,34	7,45	0,41%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	9,90	194,3	355,86	1831,62			
	3	5,0	5,0	9,90	9,95	9,95	194,9	356,14	1826,91			
T11 BR	1	5,0	5,0	9,80	9,80	9,85	192,7	342,10	1775,74	1779,80	12,61	0,71%
	2	5,0	5,0	9,75	9,70	9,80	191,3	343,26	1793,94			
	3	5,0	5,0	9,90	9,80	9,80	193,0	341,52	1769,72			
T6b BR	1	5,0	5,0	9,90	9,90	10,00	194,9	345,72	1773,45	1777,44	4,00	0,23%
	2	5,0	5,0	9,90	9,90	10,00	194,9	347,28	1781,46			
	3	5,0	5,0	9,90	9,90	10,00	194,9	346,49	1777,40			
T2b BR	1	5,0	5,0	9,90	9,95	10,00	195,3	361,23	1849,91	1857,09	6,24	0,34%
	2	5,0	5,0	9,95	9,95	10,00	195,6	363,83	1860,11			
	3	5,0	5,0	9,95	9,95	10,00	195,6	364,05	1861,24			

APÊNDICE K

RESULTADOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA E DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela K 1 – Resultados do ensaio de determinação do tempo de propagação de onda ultra-sônica com a utilização do PUNDIT, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 8802/1994

Arg	Tempo de propagação da onda ultra-sônica (μs)			Média (μs)	Desvio padrão (μs)	CV (%)
	1	2	3			
T1 NAT	43,7	45,7	44,7	44,7	1,0	2,24
T2 NAT	61,8	62,3	58,8	61,0	1,9	3,10
T3 NAT	71,8	71,9	70,5	71,4	0,8	1,09
T4 NAT	83,8	76,8	80,4	80,3	3,5	4,36
T5 NAT	97,7	100,8	99,8	99,4	1,6	1,59
T6 NAT	123,9	127,5	117,5	123,0	5,1	4,12
T7 NAT	99,5	103,9	107,5	103,6	4,0	3,87
T8 NAT	137,4	136,8	134,4	136,2	1,6	1,17
T9 NAT	144,4	147,9	-	146,2	2,5	1,69

Tabela K 2 – Resultados do ensaio de determinação do tempo de propagação de onda ultra-sônica com a utilização do PUNDIT, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 8802/1994

Arg	Tempo de propagação da onda ultra-sônica (μs)			Média (μs)	Desvio padrão (μs)	CV (%)
	1	2	3			
T1 BR	43,9	40	42,2	42,0	2,0	4,65
T2 BR	63,4	65,3	60,7	63,1	2,3	3,66
T3 BR	68,5	71,6	71	70,4	1,6	2,34
T4 BR	77,3	84	78,5	79,9	3,6	4,47
T5 BR	94,4	94,7	95,5	94,9	0,6	0,60
T6 BR	108,5	102,8	102,9	104,7	3,3	3,11
T7 BR	96,8	94	92,9	94,6	2,0	2,13
T8 BR	106,5	109,3	109,5	108,4	1,7	1,55
T9 BR	118,7	118,5	122,5	119,9	2,3	1,88
T10 BR	89,4	85,9	89,5	88,3	2,1	2,32
T11 BR	130,8	128,7	130,5	130,0	1,1	0,87
T6b BR	117,3	117,4	109,8	114,8	4,4	3,80
T2b BR	65,9	65,4	64,8	65,4	0,6	0,84

Tabela K 3 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural cujas medidas constam da Tabela J 3.

Arg	CP	Altura média (cm)	tempo (µs)	Velocidade ¹¹ (km/s)	Densidade de massa (kg/m ³)	Módulo (GPa)	Módulo Médio (GPa)	Desvio padrão (GPa)	CV (%)
T1 NAT	1	9,98	43,7	22,85	1789,734	8,41	8,03	0,37	4,64
	2	9,97	45,7	21,81	1789,813	7,66			
	3	9,98	44,7	22,33	1788,765	8,03			
T2 NAT	1	9,97	61,8	16,13	1777,747	4,16	4,28	0,30	7,03
	2	10,00	62,3	16,05	1751,490	4,06			
	3	9,95	58,8	16,92	1795,013	4,63			
T3 NAT	1	9,95	71,8	13,86	1758,090	3,04	3,06	0,05	1,5
	2	9,92	71,9	13,79	1767,956	3,03			
	3	9,87	70,5	14,00	1765,967	3,11			
T4 NAT	1	9,97	83,8	11,89	1642,878	2,09	2,27	0,19	8,56
	2	9,92	76,8	12,91	1651,315	2,48			
	3	9,88	80,4	12,29	1652,296	2,25			
T5 NAT	1	9,92	97,7	10,15	1677,058	1,56	1,47	0,09	6,20
	2	9,93	100,8	9,85	1679,785	1,47			
	3	9,58	99,8	9,60	1654,784	1,37			
T6 NAT	1	10,03	123,9	8,10	1655,628	0,98	0,98	0,07	6,88
	2	9,95	127,5	7,80	1665,346	0,91			
	3	9,87	117,5	8,40	1650,491	1,05			
T7 NAT	1	9,85	99,5	9,90	1565,650	1,38	1,30	0,08	5,90
	2	9,90	103,9	9,53	1577,199	1,29			
	3	9,95	107,5	9,26	1593,496	1,23			
T8 NAT	1	9,92	137,4	7,22	1630,042	0,76	0,77	0,01	1,69
	2	9,90	136,8	7,24	1601,596	0,75			
	3	9,90	134,4	7,37	1598,250	0,78			
T9 NAT	1	9,80	144,4	6,79	1608,215	0,67	0,66	0,01	0,89
	2	10,00	147,9	6,76	1599,949	0,66			
	3	-	-	-	-	-			

¹¹ A velocidade da onda ultra-sônica é igual à altura do corpo de prova dividido pelo tempo de propagação.

Tabela K 4 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade, realizado aos 371 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada cujas medidas constam da Tabela J 4

Arg	CP	altura (cm)	Tempo (μ s)	Velocidade (km/s)	Densidade de massa (kg/m^3)	Módulo (GPa)	Módulo Médio (GPa)	Desvio padrão (GPa)	CV (%)
T1 BR	1	10,00	43,9	22,78	1870,98	8,74	9,90	1,03	10,4
	2	9,95	40,0	24,88	1922,07	10,70			
	3	10,33	42,2	24,49	1903,63	10,27			
T2 BR	1	9,93	63,4	15,67	1831,83	4,05	4,08	0,33	7,97
	2	9,90	65,3	15,16	1822,15	3,77			
	3	9,95	60,7	16,39	1826,66	4,42			
T3 BR	1	9,97	68,5	14,55	1848,71	3,52	3,41	0,10	2,96
	2	10,17	71,6	14,20	1846,12	3,35			
	3	10,05	71,0	14,15	1855,08	3,35			
T4 BR	1	9,97	77,3	12,89	1709,49	2,56	2,39	0,19	7,91
	2	10,00	84,0	11,90	1714,04	2,19			
	3	9,88	78,5	12,59	1706,84	2,44			
T5 BR	1	10,30	94,4	10,91	1742,72	1,87	1,82	0,05	2,62
	2	10,13	94,7	10,70	1756,30	1,81			
	3	10,12	95,5	10,59	1755,32	1,77			
T6 BR	1	10,10	108,5	9,31	1772,34	1,38	1,45	0,06	4,14
	2	9,88	102,8	9,61	1784,59	1,48			
	3	9,90	102,9	9,62	1786,37	1,49			
T7 BR	1	9,90	96,8	10,23	1663,46	1,57	1,64	0,06	3,95
	2	9,90	94,0	10,53	1660,17	1,66			
	3	9,80	92,9	10,55	1688,39	1,69			
T8 BR	1	9,87	106,5	9,26	1677,60	1,30	1,26	0,03	2,71
	2	9,90	109,3	9,06	1688,22	1,25			
	3	9,82	109,5	8,96	1701,31	1,23			
T9 BR	1	9,90	118,7	8,34	1716,48	1,07	1,08	0,03	3,15
	2	9,97	118,5	8,41	1742,83	1,11			
	3	10,03	122,5	8,19	1725,56	1,04			
T10 BR	1	9,90	89,4	11,07	1841,50	2,03	2,08	0,09	4,46
	2	9,90	85,9	11,53	1831,62	2,19			
	3	9,93	89,5	11,10	1826,91	2,03			
T11 BR	1	9,82	130,8	7,51	1775,74	0,90	0,91	0,01	1,56
	2	9,75	128,7	7,58	1793,94	0,93			
	3	9,83	130,5	7,54	1769,72	0,90			
T6b BR	1	9,93	117,3	8,47	1773,45	1,14	1,20	0,09	7,84
	2	9,93	117,4	8,46	1781,46	1,15			
	3	9,93	109,8	9,05	1777,40	1,31			
T2b BR	1	9,95	65,9	15,10	1849,91	3,80	3,88	0,08	2,16
	2	9,97	65,4	15,24	1860,11	3,89			
	3	9,97	64,8	15,38	1861,24	3,96			

Tabela L 2 – Resultados médios de absorção de água realizado aos 56 dias de idade nos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia natural conforme norma CSTB 2669-4/1993

Arg	Resultados	Tempo (minutos)											
		0	10	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480
T1 NAT	Massa média (g)	452,67	464,64	470,49	476,62	481,34	485,15	490,77	495,62	499,49	502,95	505,92	508,13
	Desvio padrão (g)	3,89	3,71	3,57	3,19	3,14	2,97	2,93	2,82	2,78	2,76	2,74	2,73
	Coef. variação (%)	0,86	0,80	0,76	0,67	0,65	0,61	0,60	0,57	0,56	0,55	0,54	0,54
	Absorção (kg/m ²)	-	7,48	11,14	14,97	17,92	20,30	23,81	26,85	29,26	31,43	33,28	34,66
T2 NAT	Massa média (g)	443,83	460,09	469,21	477,94	484,89	490,36	499,86	507,62	514,06	-	-	-
	Desvio padrão (g)	2,46	2,15	2,47	2,88	3,18	3,46	3,87	4,21	4,45	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,55	0,47	0,53	0,60	0,66	0,71	0,77	0,83	0,87	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	10,16	15,86	21,32	25,66	29,08	35,02	39,87	43,90	-	-	-
T3 NAT	Massa média (g)	432,43	450,16	459,64	470,97	478,76	485,49	496,01	504,18	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	2,86	3,26	3,65	3,96	4,18	4,37	4,73	5,02	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,66	0,73	0,79	0,84	0,87	0,90	0,95	1,00	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	11,08	17,01	24,09	28,95	33,16	39,74	44,84	-	-	-	-
T4 NAT	Massa média (g)	412,52	430,30	442,01	451,98	459,92	466,48	477,23	486,81	493,57	-	-	-
	Desvio padrão (g)	0,45	0,93	0,96	0,94	0,97	0,99	0,96	1,00	0,99	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,11	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,21	0,20	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	11,11	18,43	24,66	29,62	33,73	40,44	46,43	50,65	-	-	-
T5 NAT	Massa média (g)	431,03	447,44	457,35	466,90	474,12	479,77	489,96	497,86	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	4,95	4,32	4,27	4,38	4,51	4,99	4,98	5,19	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,15	0,96	0,93	0,94	0,95	1,04	1,02	1,04	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	10,25	16,45	22,42	26,93	30,46	36,83	41,77	-	-	-	-
T6 NAT	Massa média (g)	415,22	436,30	450,73	463,85	474,15	481,98	489,27	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	5,17	5,34	5,42	5,65	5,70	5,70	5,80	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,25	1,22	1,20	1,22	1,20	1,18	1,19	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	13,17	22,19	30,39	36,83	41,72	46,28	-	-	-	-	-
T7 NAT	Massa média (g)	432,63	444,29	455,25	463,79	476,18	485,74	495,20	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	13,98	14,12	14,49	14,78	15,18	15,50	15,75	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	3,23	3,18	3,18	3,19	3,19	3,19	3,18	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	7,29	14,14	19,48	27,22	33,19	39,10	-	-	-	-	-
T8 NAT	Massa média (g)	427,88	441,64	454,63	464,98	479,34	489,44	489,44	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	4,00	3,97	4,12	4,17	4,23	4,39	4,39	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,93	0,90	0,91	0,90	0,88	0,90	0,90	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	8,60	16,72	23,19	32,17	38,48	38,48	-	-	-	-	-
T9 NAT	Massa média (g)	448,69	465,00	465,00	473,15	479,83	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	18,83	19,72	3,66	1,15	1,81	-	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	4,20	4,24	0,79	0,24	0,38	-	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	10,19	10,19	15,28	19,46	-	-	-	-	-	-	-

Tabela L 3 – Resultados do ensaio de determinação da massa dos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia britada realizado aos 56 dias de idade para determinação do coeficiente de capilaridade conforme norma CSTB 2669-4/1993

Arg	CP	Massa (g)											
		0'	10'	30'	60'	90'	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'
T1 BR	1	472,83	483,02	489,63	496,07	501,06	504,96	511,47	516,83	521,14	524,91	528,39	531,09
	2	476,21	486,22	492,08	497,83	502,30	506,00	511,58	516,23	519,95	523,20	526,14	528,38
	3	477,36	488,27	494,76	501,10	506,25	510,00	516,38	521,61	525,86	529,62	532,96	535,65
T2 BR	1	460,01	474,44	484,35	493,88	501,04	507,03	517,06	525,12	532,06	-	-	-
	2	463,26	478,79	489,29	498,80	505,92	511,94	521,80	529,65	536,30	-	-	-
	3	469,06	484,44	494,17	503,64	510,93	516,89	526,95	535,27	542,21	-	-	-
T3 BR	1	474,96	488,82	498,58	506,73	513,37	519,05	528,13	535,63	-	-	-	-
	2	472,52	486,35	496,11	504,27	510,84	516,45	525,08	533,11	-	-	-	-
	3	478,29	492,50	502,16	510,47	517,17	522,97	531,99	539,27	-	-	-	-
T4 BR	1	426,77	443,39	454,54	463,88	471,55	477,97	488,53	498,15	504,80	-	-	-
	2	430,35	447,85	459,21	468,24	475,96	482,28	492,69	502,19	508,84	-	-	-
	3	434,03	451,68	462,88	471,77	479,33	485,50	496,06	505,39	511,99	-	-	-
T5 BR	1	457,93	472,80	483,00	492,76	500,06	506,09	516,18	524,05	-	-	-	-
	2	460,74	475,95	486,29	496,60	504,39	511,03	521,93	530,59	-	-	-	-
	3	468,06	483,32	493,43	503,30	510,77	517,13	527,44	535,81	-	-	-	-
T6 BR	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	445,77	465,22	478,25	490,23	499,72	507,09	513,64	-	-	-	-	-
	3	458,51	477,75	491,22	503,49	513,06	520,51	527,06	-	-	-	-	-
T7 BR	1	445,30	456,41	467,20	475,58	487,48	496,94	505,89	-	-	-	-	-
	2	431,85	443,28	454,31	462,79	475,05	484,73	494,19	-	-	-	-	-
	3	453,58	464,42	474,89	483,13	495,11	504,40	513,54	-	-	-	-	-
T8 BR	1	451,43	463,85	475,20	484,66	497,63	506,95	-	-	-	-	-	-
	2	440,09	452,58	464,08	473,59	486,95	496,55	-	-	-	-	-	-
	3	455,98	469,04	482,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T9 BR	1	506,81	519,75	532,06	541,59	549,33	561,30	-	-	-	-	-	-
	2	455,55	468,20	480,30	489,65	497,70	509,68	-	-	-	-	-	-
	3	451,03	463,06	474,49	483,33	490,93	502,23	-	-	-	-	-	-
T10 BR	1	462,84	481,73	495,40	509,22	519,74	528,34	-	-	-	-	-	-
	2	472,36	491,11	504,75	518,65	528,89	537,24	-	-	-	-	-	-
	3	465,62	482,75	495,57	508,59	518,39	526,46	-	-	-	-	-	-
T11 BR	1	445,30	465,50	480,55	495,46	506,14	514,97	-	-	-	-	-	-
	2	450,23	469,68	484,30	498,62	508,67	517,06	-	-	-	-	-	-
	3	449,63	459,09	474,04	488,51	498,70	506,04	-	-	-	-	-	-
T6b BR	1	461,38	478,79	490,21	500,82	508,73	515,50	525,56	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	489,35	507,21	519,26	530,79	539,66	547,44	559,46	-	-	-	-	-
T2b BR	1	473,47	486,81	496,06	504,66	511,05	516,49	524,66	-	-	-	-	-
	2	515,11	528,91	538,82	548,25	555,47	561,60	571,35	-	-	-	-	-
	3	462,49	476,24	485,84	494,79	501,38	506,86	515,40	-	-	-	-	-

Tabela L 4 – Resultados médios de absorção de água realizado aos 56 dias de idade nos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia britada conforme norma CSTB 2669-4/1993

Arg	Resultados	Tempo (minutos)											
		0	10	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480
T1 BR	Massa média (g)	475,47	485,84	492,16	498,33	503,20	506,99	513,14	518,22	522,32	525,91	529,16	531,71
	Desvio padrão (g)	2,35	2,65	2,57	2,55	2,71	2,66	2,80	2,95	3,13	3,32	3,48	3,67
	Coef. variação (%)	0,50	0,54	0,52	0,51	0,54	0,52	0,55	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69
	Absorção (kg/m ²)	-	6,48	10,43	14,29	17,34	19,70	23,55	26,72	29,28	31,53	33,56	35,15
T2 BR	Massa média (g)	464,11	479,22	489,27	498,77	505,96	511,95	521,94	530,01	536,86	-	-	-
	Desvio padrão (g)	4,58	5,01	4,91	4,88	4,95	4,93	4,95	5,08	5,10	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,99	1,05	1,00	0,98	0,98	0,96	0,95	0,96	0,95	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	9,45	15,73	21,66	26,16	29,90	36,14	41,19	45,47	-	-	-
T3 BR	Massa média (g)	475,26	489,22	498,95	507,16	513,79	519,49	528,40	536,00	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	2,90	3,09	3,04	3,12	3,19	3,28	3,46	3,10	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,61	0,63	0,61	0,62	0,62	0,63	0,66	0,58	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	8,73	14,81	19,94	24,09	27,65	33,21	37,97	-	-	-	-
T4 BR	Massa média (g)	430,38	447,64	458,88	467,96	475,61	481,92	492,43	501,91	508,54	-	-	-
	Desvio padrão (g)	3,63	4,15	4,18	3,95	3,90	3,78	3,77	3,63	3,60	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,84	0,93	0,91	0,84	0,82	0,78	0,77	0,72	0,71	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	10,79	17,81	23,49	28,27	32,21	38,78	44,70	48,85	-	-	-
T5 BR	Massa média (g)	462,24	477,36	487,57	497,55	505,07	511,42	521,85	530,15	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	5,23	5,40	5,33	5,33	5,39	5,53	5,63	5,89	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,13	1,13	1,09	1,07	1,07	1,08	1,08	1,11	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	9,45	15,83	22,07	26,77	30,73	37,25	42,44	-	-	-	-
T6 BR	Massa média (g)	452,14	471,49	484,74	496,86	506,39	513,80	520,35	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	9,01	8,86	9,17	9,38	9,43	9,49	9,49	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,99	1,88	1,89	1,89	1,86	1,85	1,82	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	12,09	20,37	27,95	33,91	38,54	42,63	-	-	-	-	-
T7 BR	Massa média (g)	443,58	454,70	465,47	473,83	485,88	495,36	504,54	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	10,97	10,67	10,40	10,28	10,13	9,93	9,75	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	2,47	2,35	2,23	2,17	2,08	2,00	1,93	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	6,95	13,68	18,91	26,44	32,36	38,10	-	-	-	-	-
T8 BR	Massa média (g)	449,17	461,82	473,92	479,13	492,29	501,75	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	8,18	8,42	9,26	7,83	7,55	7,35	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,82	1,82	1,95	1,63	1,53	1,47	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	7,91	15,47	18,72	26,95	32,86	-	-	-	-	-	-
T9 BR	Massa média (g)	471,13	483,67	495,62	504,86	512,65	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	30,98	31,35	31,69	31,97	31,94	-	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	6,58	6,48	6,39	6,33	6,23	-	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	7,84	15,30	21,08	25,95	-	-	-	-	-	-	-
T10 BR	Massa média (g)	466,94	485,20	498,57	512,15	522,34	530,68	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	4,90	5,15	5,35	5,64	5,71	5,76	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	1,05	1,06	1,07	1,10	1,09	1,09	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	11,41	19,77	28,26	34,63	39,84	-	-	-	-	-	-
T11 BR	Massa média (g)	448,39	464,76	479,63	494,20	504,50	512,69	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	2,69	5,33	5,19	5,17	5,18	5,85	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	0,60	1,15	1,08	1,05	1,03	1,14	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	10,23	19,53	28,63	35,07	40,19	-	-	-	-	-	-
T6b BR	Massa média (g)	475,37	493,00	504,74	515,81	524,20	531,47	542,51	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	19,78	20,10	20,54	21,19	21,87	22,58	23,97	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	4,16	4,08	4,07	4,11	4,17	4,25	4,42	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	11,02	18,36	25,28	30,52	35,07	41,97	-	-	-	-	-
T2b BR	Massa média (g)	483,69	497,32	506,91	515,90	522,63	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (g)	27,76	27,86	28,11	28,45	28,85	-	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	5,74	5,60	5,54	5,51	5,52	-	-	-	-	-	-	-
	Absorção (kg/m ²)	-	8,52	14,51	20,13	24,34	-	-	-	-	-	-	-

Tabela L 6 – Resultados da medida da altura média da mancha de água realizado aos 56 dias de idade nos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia natural

Arg	Resultado	Tempo (minutos)											
		0	10	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480
T1 NAT	Altura média (mm)	0,0	28,3	40,0	55,0	65,3	74,7	88,0	98,7	107,0	116,0	122,7	130,0
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	0,0	1,0	0,6	0,6	1,0	1,2	1,7	0,0	0,6	0,0
	Coef. variação (%)	-	2,0	0,0	1,8	0,9	0,8	1,1	1,2	1,6	0,0	0,5	0,0
T2 NAT	Altura média (mm)	0,0	37,0	59,3	78,0	94,0	106,0	127,7	145,3	158,0	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,0	1,2	0,0	1,0	1,0	2,5	3,1	2,0	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	0,0	1,9	0,0	1,1	0,9	2,0	2,1	1,3	-	-	-
T3 NAT	Altura média (mm)	0,0	42,0	64,0	90,7	108,7	125,0	150,0	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,0	1,0	1,2	1,2	2,0	2,0	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	2,4	1,6	1,3	1,1	1,6	1,3	-	-	-	-	-
T4 NAT	Altura média (mm)	0,0	33,7	54,7	74,0	89,7	103,3	121,3	141,7	156,7	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	0,6	0,0	1,2	0,6	0,6	2,1	1,5	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	1,7	1,1	0,0	1,3	0,6	0,5	1,5	1,0	-	-	-
T5 NAT	Altura média (mm)	0,0	34,0	57,7	80,0	97,0	111,0	132,3	149,3	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,7	1,2	2,6	1,7	2,6	2,5	2,3	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	5,1	2,0	3,3	1,8	2,4	1,9	1,5	-	-	-	-
T6 NAT	Altura média (mm)	0,0	47,7	79,3	108,3	128,3	149,0	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	0,6	2,3	3,5	1,0	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	1,2	0,7	2,1	2,7	0,7	-	-	-	-	-	-
T7 NAT	Altura média (mm)	0,0	34,7	57,7	78,0	95,0	119,7	138,7	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,2	1,2	1,0	2,0	1,5	1,2	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	3,3	2,0	1,3	2,1	1,3	0,8	-	-	-	-	-
T8 NAT	Altura média (mm)	0,0	44,0	72,0	98,0	120,0	149,0	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,4	1,4	1,4	2,8	1,4	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	3,2	2,0	1,4	2,4	0,9	-	-	-	-	-	-
T9 NAT	Altura média (mm)	0,0	55,7	90,0	111,5	132,5	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,2	2,0	9,2	10,6	-	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	2,1	2,2	8,2	8,0	-	-	-	-	-	-	-

Tabela L 7 – Resultados da medida da altura da mancha de água realizado aos 56 dias de idade nos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia britada

Arg	CP	Altura da mancha de água (mm)											
		0'	10'	30'	60'	90'	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'
T1 BR	1	0	24	38	53	63	73	87	100	108	118	127	132
	2	0	24	37	51	60	67	80	90	100	110	115	114
	3	0	25	39	53	65	74	88	100	110	118	125	132
T2 BR	1	0	33	56	75	92	104	128	145	158	-	-	-
	2	0	35	58	80	93	108	128	145	158	-	-	-
	3	0	35	56	77	92	106	128	145	158	-	-	-
T3 BR	1	0	34	60	79	96	111	132	148	-	-	-	-
	2	0	34	57	77	92	105	126	142	-	-	-	-
	3	0	34	58	78	94	108	130	146	-	-	-	-
T4 BR	1	0	33	53	71	86	98	120	138	152	-	-	-
	2	0	35	55	73	87	100	120	138	151	-	-	-
	3	0	34	54	72	87	98	118	138	151	-	-	-
T5 BR	1	0	30	53	78	96	111	134	153	-	-	-	-
	2	0	33	54	79	97	112	134	152	-	-	-	-
	3	0	32	56	78	96	111	130	150	-	-	-	-
T6 BR	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0	43	71	98	118	132	151	-	-	-	-	-
	3	0	44	72	99	120	133	152	-	-	-	-	-
T7 BR	1	0	31	52	74	90	116	133	158	-	-	-	-
	2	0	32	55	77	94	119	138	155	-	-	-	-
	3	0	31	53	73	90	116	132	158	-	-	-	-
T8 BR	1	0	41	66	97	117	136	158	-	-	-	-	-
	2	0	42	72	102	122	142	-	-	-	-	-	-
	3	0	44	73	101	120	138	-	-	-	-	-	-
T9 BR	1	0	41	66	97	117	136	158	-	-	-	-	-
	2	0	42	72	102	122	142	-	-	-	-	-	-
	3	0	44	73	101	120	138	-	-	-	-	-	-
T10 BR	1	0	45	77	108	132	150	-	-	-	-	-	-
	2	0	45	75	105	130	149	-	-	-	-	-	-
	3	0	44	74	103	127	146	-	-	-	-	-	-
T11 BR	1	0	52	87	120	146	-	-	-	-	-	-	-
	2	0	52	86	118	153	-	-	-	-	-	-	-
	3	0	50	85	118	144	-	-	-	-	-	-	-
T6b BR	1	0	40	68	91	109	125	150	-	-	-	-	-
	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0	40	66	90	110	126	152	-	-	-	-	-
T2b BR	1	0	35	55	77	92	106	127	-	-	-	-	-
	2	0	35	54	75	91	104	125	-	-	-	-	-
	3	0	35	54	77	92	105	126	-	-	-	-	-

Tabela L 8 – Resultados da medida da altura média da mancha de água realizado aos 56 dias de idade nos corpos de prova 40 mm x 40 mm x 160 mm de areia britada

Arg	Resultado	Tempo (minutos)											
		0	10	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480
T1 BR	Altura média (mm)	0,0	24,3	38,0	52,3	62,7	71,3	85,0	96,7	106,0	115,3	122,3	126,0
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	1,0	1,2	2,5	3,8	4,4	5,8	5,3	4,6	6,4	10,4
	Coef. variação (%)	-	2,4	2,6	2,2	4,0	5,3	5,1	6,0	5,0	4,0	5,3	8,2
T2 BR	Altura média (mm)	0,0	34,3	56,7	77,3	92,3	106,0	128,0	145,0	158,0	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,2	1,2	2,5	0,6	2,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	3,4	2,0	3,3	0,6	1,9	0,0	0,0	0,0	-	-	-
T3 BR	Altura média (mm)	0,0	34,0	58,3	78,0	94,0	108,0	129,3	145,3	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,0	1,5	1,0	2,0	3,0	3,1	3,1	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	0,0	2,6	1,3	2,1	2,8	2,4	2,1	-	-	-	-
T4 BR	Altura média (mm)	0,0	34,0	54,0	72,0	86,7	98,7	119,3	138,0	151,3	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,0	1,0	1,0	0,6	1,2	1,2	0,0	0,6	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	2,9	1,9	1,4	0,7	1,2	1,0	0,0	0,4	-	-	-
T5 BR	Altura média (mm)	0,0	31,7	54,3	78,3	96,3	111,3	132,7	151,7	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,5	1,5	0,6	0,6	0,6	2,3	1,5	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	4,8	2,8	0,7	0,6	0,5	1,7	1,0	-	-	-	-
T6 BR	Altura média (mm)	0,0	43,5	71,5	98,5	119,0	132,5	151,5	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,7	0,7	0,7	1,4	0,7	0,7	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	1,6	1,0	0,7	1,2	0,5	0,5	-	-	-	-	-
T7 BR	Altura média (mm)	0,0	31,3	53,3	74,7	91,3	117,0	134,3	157,1	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	1,5	2,1	2,3	1,7	3,2	1,8	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	1,8	2,9	2,8	2,5	1,5	2,4	1,1	-	-	-	-
T8 BR	Altura média (mm)	0,0	42,3	70,3	100,0	119,7	138,7	158,0	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,5	3,8	2,6	2,5	3,1	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	3,6	5,4	2,6	2,1	2,2	-	-	-	-	-	-
T9 BR	Altura média (mm)	0,0	42,3	70,3	100,0	119,7	138,7	158,0	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,5	3,8	2,6	2,5	3,1	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	3,6	5,4	2,6	2,1	2,2	-	-	-	-	-	-
T10 BR	Altura média (mm)	0,0	44,7	75,3	105,3	129,7	148,3	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,6	1,5	2,5	2,5	2,1	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	1,3	2,0	2,4	1,9	1,4	-	-	-	-	-	-
T11 BR	Altura média (mm)	0,0	51,3	86,0	118,7	147,7	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	1,2	1,0	1,2	4,7	-	-	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	2,2	1,2	1,0	3,2	-	-	-	-	-	-	-
T6b BR	Altura média (mm)	0,0	40,0	67,0	90,5	109,5	125,5	151,0	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,0	1,4	0,7	0,7	0,7	1,4	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	0,0	2,1	0,8	0,6	0,6	0,9	-	-	-	-	-
T2b BR	Altura média (mm)	0,0	35,0	54,3	76,3	91,7	105,0	126,0	-	-	-	-	-
	Desvio padrão (mm)	0,0	0,0	0,6	1,2	0,6	1,0	1,0	-	-	-	-	-
	Coef. variação (%)	-	0,0	1,1	1,5	0,6	1,0	0,8	-	-	-	-	-

APÊNDICE M

RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA – NBR 9778

Tabela M 1 – Resultados da massa seca após permanência em estufa por 72 horas realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 NAT	332,41	340,91	334,06	-	335,79	4,51	1,34
T2 NAT	338,67	333,08	331,70	-	334,48	3,69	1,10
T3 NAT	335,42	330,86	334,47	-	333,58	2,41	0,72
T4 NAT	314,39	315,49	312,39	311,92	313,55	1,68	0,54
T5 NAT	318,24	319,86	326,95	320,80	321,46	3,81	1,18
T6 NAT	315,53	316,35	314,17	319,77	316,46	2,39	0,75
T7 NAT	298,86	301,69	299,24	300,75	300,14	1,32	0,44
T8 NAT	307,35	309,02	310,88	306,75	308,50	1,85	0,60
T9 NAT	316,54	314,43	312,35	314,83	314,54	1,72	0,55

Tabela M 2 – Resultados da massa saturada após imersão em água realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 NAT	393,79	403,06	394,98	-	397,28	5,04	1,27
T2 NAT	398,53	394,10	393,65	-	395,43	2,70	0,68
T3 NAT	395,95	389,01	394,12	-	393,03	3,60	0,92
T4 NAT	384,48	386,61	382,84	381,97	383,98	2,04	0,53
T5 NAT	382,26	383,76	391,48	385,08	385,65	4,06	1,05
T6 NAT	376,86	374,38	372,42	-	373,89	1,29	0,35
T7 NAT	366,12	368,92	364,58	-	366,54	2,20	0,60
T8 NAT	367,00	368,32	371,88	-	369,07	2,52	0,68
T9 NAT	375,98	375,50	373,81	374,20	374,87	1,03	0,28

Tabela M 3 – Resultados da massa obtida em balança hidrostática realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 NAT	201,30	206,30	201,50	-	203,03	2,83	1,39
T2 NAT	204,60	200,90	200,80	-	202,10	2,17	1,07
T3 NAT	201,20	198,60	200,80	-	200,20	1,40	0,70
T4 NAT	189,70	190,90	198,8	188,70	189,53	1,02	0,54
T5 NAT	189,40	190,60	195,30	191,10	191,60	2,57	1,34
T6 NAT	186,70	186,50	185,20	-	186,13	0,81	0,44
T7 NAT	176,80	177,80	176,20	-	176,93	0,81	0,46
T8 NAT	178,20	178,70	179,50	-	178,80	0,66	0,37
T9 NAT	185,50	184,80	183,30	184,60	184,55	0,92	0,50

Tabela M 4 – Resultados da massa saturada após imersão e fervura realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 NAT	394,41	403,84	396,03	-	398,09	5,04	1,27
T2 NAT	399,87	395,57	395,64	-	397,03	2,46	0,62
T3 NAT	399,78	393,76	398,13	-	397,22	3,11	0,78
T4 NAT	386,09	388,14	384,39	382,31	385,23	2,48	0,64
T5 NAT	386,91	389,22	396,51	389,51	390,54	4,15	1,06
T6 NAT	382,74	378,98	380,52	-	380,75	1,89	0,50
T7 NAT	374,60	377,72	373,90	-	375,41	2,03	0,54
T8 NAT	378,14	378,23	383,37	-	379,91	2,99	0,79
T9 NAT	375,42	363,91	373,00	-	370,78	6,07	1,64

Tabela M 5 – Resultados da massa obtida em balança hidrostática após imersão e fervura realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 NAT	201,80	206,80	202,60	-	203,73	2,69	1,32
T2 NAT	206,20	202,50	202,90	-	203,87	2,03	1,00
T3 NAT	206,10	205,00	205,40	-	205,50	0,56	0,27
T4 NAT	191,70	192,50	190,70	190,00	191,23	1,10	0,58
T5 NAT	194,90	196,80	200,80	196,60	197,28	2,50	1,27
T6 NAT	192,90	191,20	191,30	-	191,80	0,95	0,50
T7 NAT	183,50	185,10	183,50	-	184,03	0,92	0,50
T8 NAT	188,10	189,10	190,70	-	189,30	1,31	0,69
T9 NAT	189,70	182,80	185,50	-	186,00	3,48	1,87

Tabela M 6 – Resultados da massa seca após permanência em estufa por 72 horas realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 BR	365,39	362,80	356,26	-	361,48	4,71	1,30
T2 BR	346,22	349,36	345,42	-	347,00	2,08	0,60
T3 BR	352,58	353,20	354,78	-	353,52	1,13	0,32
T4 BR	322,45	326,16	321,69	327,03	324,33	2,65	0,82
T5 BR	339,81	337,73	333,15	333,68	336,09	3,21	0,96
T6 BR	341,36	341,77	336,98	339,95	340,02	2,17	0,64
T7 BR	315,90	315,08	320,48	314,87	316,58	2,64	0,83
T8 BR	323,27	324,45	323,55	324,01	323,82	0,52	0,16
T9 BR	316,14	309,75	333,82	331,39	322,78	11,69	3,62
T10 BR	355,12	354,37	349,31	349,36	352,04	3,14	0,89
T11 BR	343,67	340,00	342,82	336,82	340,83	3,10	0,91
T6b BR	343,04	341,12	343,94	339,71	341,95	1,90	0,56
T2b BR	351,20	354,21	357,06	355,34	354,45	2,46	0,70

Tabela M 7 – Resultados da massa saturada após imersão em água realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 BR	423,36	421,37	416,43	-	420,39	3,57	0,85
T2 BR	410,69	413,53	409,03	-	411,08	2,28	0,55
T3 BR	412,09	414,63	415,77	-	414,16	1,88	0,45
T4 BR	392,02	397,27	391,17	398,08	394,64	3,54	0,90
T5 BR	405,18	402,30	397,92	399,03	401,11	3,29	0,82
T6 BR	400,75	399,75	395,72	-	398,74	2,66	0,67
T7 BR	382,54	383,30	387,18	-	384,34	2,49	0,65
T8 BR	383,38	384,88	382,83	-	383,70	1,06	0,28
T9 BR	375,56	371,34	395,94	392,94	383,95	12,30	3,20
T10 BR	414,68	415,60	410,37	410,26	412,73	2,81	0,68
T11 BR	404,99	400,84	400,38	397,03	400,81	3,26	0,81
T6b BR	404,81	404,19	407,15	402,37	404,63	1,97	0,49
T2b BR	413,54	414,56	419,07	417,77	416,24	2,61	0,63

Tabela M 8 – Resultados da massa obtida em balança hidrostática realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 BR	228,00	226,10	221,20	-	225,10	3,51	1,56
T2 BR	215,70	217,70	215,40	-	216,27	1,25	0,58
T3 BR	219,00	220,20	220,90	-	220,03	0,96	0,44
T4 BR	199,60	202,00	199,50	202,60	200,93	1,61	0,80
T5 BR	209,40	209,20	206,00	206,50	207,78	1,77	0,85
T6 BR	210,10	209,70	206,60	-	208,80	1,92	0,92
T7 BR	193,80	193,50	196,00	-	194,43	1,37	0,70
T8 BR	196,00	196,90	194,80	-	195,90	1,05	0,54
T9 BR	184,50	182,30	204,00	202,10	193,23	11,41	5,90
T10 BR	221,50	221,10	218,50	217,70	219,70	1,88	0,86
T11 BR	212,00	208,90	208,70	207,00	209,15	2,08	1,00
T6b BR	212,00	211,10	212,90	210,10	211,53	1,20	0,57
T2b BR	219,70	221,70	223,40	222,00	221,70	1,53	0,69

Tabela M 9 – Resultados da massa saturada após imersão e fervura realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/1987

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 BR	424,37	422,47	417,58	-	421,47	3,50	0,83
T2 BR	411,66	414,55	410,14	-	412,12	2,24	0,54
T3 BR	414,32	416,82	417,59	-	416,24	1,71	0,41
T4 BR	393,24	398,27	391,92	399,24	395,67	3,63	0,92
T5 BR	408,60	404,96	400,44	401,73	403,93	3,65	0,90
T6 BR	408,38	408,93	404,04	-	407,12	2,68	0,66
T7 BR	389,62	389,98	374,81	-	384,80	8,66	2,25
T8 BR	392,08	393,63	392,24	-	392,65	0,85	0,22
T9 BR	375,57	374,27	401,15	398,51	387,38	14,43	3,73
T10 BR	417,55	417,84	412,28	412,20	414,97	3,15	0,76
T11 BR	407,58	402,43	395,39	399,35	401,19	5,14	1,28
T6b BR	408,78	407,32	410,94	405,24	408,07	2,40	0,59
T2b BR	414,55	415,70	420,68	419,68	417,65	2,98	0,71

Tabela M 10 – Resultados da massa obtida em balança hidrostática após imersão e fervura realizado aos 56 dias de idade em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/87

Argamassa	massa (g)				Média (g)	Desvio padrão (g)	CV (%)
	1	2	3	4			
T1 BR	228,70	226,90	222,50	-	226,03	3,19	1,41
T2 BR	217,00	219,10	216,80	-	217,63	1,27	0,59
T3 BR	221,80	223,00	223,00	-	222,60	0,69	0,31
T4 BR	201,00	203,50	200,50	204,20	202,30	1,82	0,90
T5 BR	213,70	212,50	209,10	209,40	211,18	2,28	1,08
T6 BR	215,50	215,80	212,80	-	214,70	1,65	0,77
T7 BR	198,40	197,60	201,20	-	199,07	1,89	0,95
T8 BR	202,80	203,60	202,60	-	203,00	0,53	0,26
T9 BR	189,00	188,40	210,50	209,00	199,23	12,17	6,11
T10 BR	224,40	223,70	220,80	220,30	222,30	2,05	0,92
T11 BR	216,50	212,80	209,10	211,70	212,53	3,07	1,44
T6b BR	216,70	215,30	217,60	214,40	216,00	1,43	0,66
T2b BR	221,00	223,10	225,00	223,60	223,18	1,66	0,74

Tabela M 11 – Resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica realizado aos 56 dias em corpos de prova 50 mm x 100 mm de areia natural, conforme NBR 9778/1987

Resultados	Argamassa								
	T1 NAT	T2 NAT	T3 NAT	T4 NAT	T5 NAT	T6 NAT	T7 NAT	T8 NAT	T9 NAT
Absorção após imersão em água (%)	18,31	18,22	17,82	22,46	19,97	18,15	22,13	19,63	19,18
Absorção após imersão e fervura (%)	18,55	18,70	19,08	22,86	21,49	20,32	25,08	23,15	17,88
Índice de vazios após saturação em água (%)	31,65	31,52	30,83	36,22	33,08	30,59	35,02	31,83	31,70
Índice de vazios após saturação e fervura (%)	32,05	32,38	33,19	36,95	35,74	34,03	39,33	37,47	30,44
Massa específica da amostra seca	1,721	1,716	1,693	1,602	1,616	1,626	1,512	1,534	1,689
Massa específica da amostra após saturação em água	2,037	2,029	1,995	1,962	1,939	1,921	1,847	1,835	2,013
Massa específica após saturação e fervura	2,041	2,037	2,016	1,968	1,963	1,956	1,891	1,889	1,991
Massa específica real	2,529	2,527	2,501	2,528	2,475	2,428	2,436	2,379	2,420

Tabela M 12 – Resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica, realizado aos 56 dias em corpos de prova de 50 mm x 100 mm de areia britada, conforme NBR 9778/1987

Resultado	Argamassa												
	T1 BR	T2 BR	T3 BR	T4 BR	T5 BR	T6 BR	T7 BR	T8 BR	T9 BR	T10 BR	T11 BR	T6b BR	T2b BR
Absorção após imersão em água (%)	16,29	18,47	17,15	21,68	19,34	17,27	21,40	18,49	18,95	17,24	17,60	18,33	17,43
Absorção após imersão e fervura (%)	16,60	18,77	17,74	21,99	20,18	19,73	21,55	21,26	20,01	17,88	17,71	19,34	17,83
Índice de vazios após saturação em água (%)	30,16	32,89	31,24	36,29	33,63	30,92	35,68	31,88	32,07	31,44	31,30	32,46	31,76
Índice de vazios após saturação e fervura (%)	30,69	33,48	32,39	36,89	35,19	34,87	36,73	36,29	34,33	32,66	31,99	34,42	32,50
Massa específica da amostra seca	1,841	1,772	1,802	1,665	1,713	1,715	1,663	1,646	1,663	1,803	1,775	1,740	1,809
Massa específica da amostra após saturação	2,141	2,099	2,111	2,026	2,045	2,011	2,019	1,950	1,978	2,114	2,087	2,059	2,124
Massa específica após saturação e fervura	2,146	2,104	2,121	2,032	2,059	2,053	2,021	1,996	1,995	2,125	2,089	2,076	2,131
Massa específica real	2,650	2,654	2,648	2,628	2,619	2,591	2,592	2,531	2,492	2,660	2,588	2,622	2,670

Tabela N 2 – Resultados do ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, realizado no revestimento de areia britada aos 7 dias de idade

Arg	CP	Absorção de água (ml) em função do tempo (min)															Taxa de absorção (ml/min)	Taxa média de absorção (ml/min)	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
T1 BR	1	0,00	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,40	1,60	1,70	1,80	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	-	0,19
	Taxa	-	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,17	
T2 BR	1	0,00	0,80	1,30	1,60	1,80	2,10	2,30	2,60	2,75	2,90	3,15	3,30	3,45	3,60	3,75	3,90	-	0,23
	Taxa	-	0,80	0,50	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,15	0,15	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,26	
T3 BR	1	0,00	1,30	1,60	1,80	2,00	2,25	2,45	2,65	2,85	3,00	3,20	3,40	3,55	3,70	3,80	3,90	-	0,25
	Taxa	-	1,30	0,30	0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,10	0,10	0,26	
T4 BR	1	0,00	1,00	1,35	1,65	1,90	2,10	2,35	2,50	2,70	2,90	3,10	3,20	3,35	3,50	3,65	3,80	-	0,25
	Taxa	-	1,00	0,35	0,30	0,25	0,20	0,25	0,15	0,20	0,20	0,20	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	
T5 BR	1	0,00	0,90	1,30	1,50	1,70	1,90	2,15	2,35	2,45	2,65	2,85	3,05	3,25	3,45	3,65	6,85	-	0,37
	Taxa	-	0,90	0,40	0,20	0,20	0,20	0,25	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	3,20	0,46	
T6 BR	1	0,00	0,55	0,90	1,70	1,95	2,20	2,45	2,65	2,85	3,05	3,25	3,45	3,65	3,80	3,95	-	-	0,28
	Taxa	-	0,55	0,35	0,80	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	-	0,28	
T7 BR	1	0,00	0,60	0,80	1,00	1,10	1,20	1,35	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	-	0,16
	Taxa	-	0,60	0,20	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	
T8 BR	1	0,00	1,30	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,25	3,50	3,70	3,90	-	-	-	-	-	-	0,35
	Taxa	-	1,30	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	-	-	-	-	-	0,39	
T9 BR	1	0,00	0,90	1,30	1,60	1,90	2,15	2,40	2,65	2,85	3,05	3,25	3,45	3,65	3,85	4,00	-	-	0,46
	Taxa	-	0,90	0,40	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	-	0,29	
T10 BR	1	0,00	1,10	1,60	2,00	2,30	2,60	2,90	3,20	3,45	3,65	3,85	4,00	-	-	-	-	-	0,38
	Taxa	-	1,10	0,50	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,20	0,20	0,15	-	-	-	-	0,36	
T11 BR	1	0,00	0,90	1,30	1,65	1,95	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,70	3,90	-	-	-	-	0,55
	Taxa	-	0,90	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	-	-	-	0,33	
T6b BR	1	0,00	1,50	2,20	2,80	3,30	3,70	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64
	Taxa	-	1,50	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	
T2b BR	1	0,00	0,90	1,30	1,60	1,90	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	-	-	-	0,30
	Taxa	-	0,90	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	0,29	
T2b BR	2	0,00	1,00	1,35	1,70	1,95	2,20	2,45	2,70	2,90	3,10	3,30	3,50	3,70	3,90	-	-	-	0,30
	Taxa	-	1,00	0,35	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	0,30	

Tabela N 4 – Resultados do ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, realizado no revestimento de areia britada aos 28 dias de idade

Arg	CP	Absorção de água (ml) em função do tempo (min)															Taxa de absorção (ml/min)	Taxa média de absorção (ml/min)	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
T1 BR	1	0,00	0,60	0,85	1,05	1,20	1,40	1,55	1,65	1,75	1,90	2,00	2,15	2,25	2,35	2,50	2,60	-	0,17
	Taxa	-	0,60	0,25	0,20	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,17	
2	0,00	0,55	0,85	1,10	1,25	1,40	1,55	1,70	1,80	1,95	2,05	2,15	2,25	2,35	2,45	2,55	-		
Taxa	-	0,55	0,30	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,17		
T2 BR	1	0,00	0,60	0,85	1,05	1,20	1,40	1,50	1,65	1,80	2,00	2,10	2,25	2,35	2,50	2,60	2,70	-	0,20
	Taxa	-	0,60	0,25	0,20	0,15	0,20	0,10	0,15	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,18	
2	0,00	0,65	1,00	1,25	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,45	2,60	2,75	2,90	3,05	3,20	3,35	-		
Taxa	-	0,65	0,35	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,22		
T3 BR	1	0,00	0,90	1,20	1,50	1,75	1,95	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,15	3,30	3,50	3,65	3,80	-	0,25
	Taxa	-	0,90	0,30	0,30	0,25	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,20	0,15	0,15	0,25	
2	0,00	0,70	1,10	1,40	1,65	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90	3,10	3,30	3,50	3,65	3,80	-		
Taxa	-	0,70	0,40	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,25		
T4 BR	1	0,00	0,40	0,80	1,05	1,30	1,55	1,70	1,90	2,05	2,15	2,30	2,45	2,60	2,70	2,80	2,90	-	0,28
	Taxa	-	0,40	0,40	0,25	0,25	0,25	0,15	0,20	0,15	0,10	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,19	
2	0,00	1,40	1,90	2,20	2,50	2,75	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,40	0,50	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	-	-	0,36		
T5 BR	1	0,00	0,85	1,15	1,40	1,65	1,85	2,00	2,20	2,40	2,60	2,75	2,90	3,05	3,20	3,35	3,50	-	0,25
	Taxa	-	0,85	0,30	0,25	0,25	0,20	0,15	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,23	
2	0,00	0,70	1,05	1,35	1,70	1,90	2,10	2,30	2,55	2,80	3,00	3,20	3,40	3,55	3,70	3,85	-		
Taxa	-	0,70	0,35	0,30	0,35	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,26		
T6 BR	1	0,00	1,30	1,95	2,45	2,90	3,30	3,65	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45
	Taxa	-	1,30	0,65	0,50	0,45	0,40	0,35	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	
2	0,00	0,75	1,20	1,60	1,95	2,25	2,55	2,80	3,05	3,30	3,55	3,80	4,00	-	-	-	-		
Taxa	-	0,75	0,45	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	-	-	-	0,33		
T7 BR	1	0,00	0,85	1,20	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,65	2,80	2,95	3,10	3,25	3,40	3,50	-	0,24
	Taxa	-	0,85	0,35	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,23	
2	0,00	0,70	1,10	1,40	1,70	2,00	2,20	2,40	2,60	2,75	2,90	3,05	3,20	2,35	3,50	3,60	-		
Taxa	-	0,70	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	-	1,15	0,10	0,24		
T8 BR	1	0,00	0,90	1,35	1,75	2,10	2,40	2,70	2,95	3,20	3,45	3,70	3,95	-	-	-	-	-	0,36
	Taxa	-	0,90	0,45	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	-	-	-	-	0,36	
2	0,00	1,00	1,50	1,90	2,20	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,00	0,50	0,40	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	-	-	-	-	0,36		
T9 BR	1	0,00	1,00	1,40	1,85	2,20	2,60	2,90	3,20	3,50	3,80	-	-	-	-	-	-	-	0,43
	Taxa	-	1,00	0,40	0,45	0,35	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	-	-	-	-	-	-	0,42	
2	0,00	1,10	1,50	1,90	2,30	2,70	3,05	3,40	3,70	4,00	-	-	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,10	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	-	-	-	-	-	-	0,44		
T10 BR	1	0,00	0,80	1,10	1,40	1,65	1,90	2,15	2,40	2,60	2,80	3,00	3,40	3,60	3,80	4,00	-	0,32	
	Taxa	-	0,80	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	-		
2	0,00	1,00	1,40	1,70	2,00	2,30	2,60	2,90	3,20	3,50	3,75	4,00	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,00	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	-	-	-	0,36		
T11 BR	1	0,00	1,10	1,80	2,30	2,70	3,10	3,50	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60
	Taxa	-	1,10	0,70	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	
2	0,00	1,20	1,90	2,50	3,00	3,40	3,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,20	0,70	0,60	0,50	0,40	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63		
T6b BR	1	0,00	1,60	2,00	2,40	2,70	3,00	3,30	3,55	3,80	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52
	Taxa	-	1,60	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,48	
2	0,00	1,30	2,00	2,50	3,00	3,30	3,60	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Taxa	-	1,30	0,70	0,50	0,50	0,30	0,30	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56		
T2b BR	1	0,00	1,25	1,50	1,75	1,95	2,10	2,25	2,40	2,55	2,70	2,85	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	-	0,25
	Taxa	-	1,25	0,25	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,23	
2	0,00	1,00	1,35	1,65	1,85	2,10	2,35	2,55	2,75	2,90	3,15	3,25	3,45	3,60	3,75	-	-		
Taxa	-	1,00	0,35	0,30	0,20	0,25	0,25	0,20	0,20	0,15	0,25	0,10	0,20	0,15	0,15	-	0,27		

Tabela N 6– Resultados do ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, realizado no revestimento de areia britada aos 56 dias de idade

Arg	CP	Absorção de água (ml) em função do tempo (min)															Taxa de absorção (ml/min)	Taxa média de absorção (ml/min)	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
T1 BR	1	0,00	0,60	1,10	1,40	1,60	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90	3,10	3,30	3,45	3,60	3,80	-	0,19
	Taxa	-	0,60	0,50	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,20	0,25	
T2 BR	2	0,00	0,40	0,60	0,75	0,85	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,85	1,95	-	0,18
	Taxa	-	0,40	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,10	0,13	
T3 BR	1	0,00	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25	2,35	2,45	2,55	2,70	2,80	-	0,23
	Taxa	-	0,70	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,19	
T4 BR	2	0,00	0,60	0,80	0,95	1,10	1,25	1,40	1,55	1,70	1,85	1,95	2,05	2,15	2,25	2,35	2,50	-	0,46
	Taxa	-	0,60	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,17	
T5 BR	1	0,00	0,60	0,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,05	2,25	2,40	2,55	2,70	2,85	3,00	3,15	-	0,26
	Taxa	-	0,60	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,21	
T6 BR	2	0,00	0,90	1,20	1,45	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,85	3,00	3,15	3,35	3,50	3,65	-	0,25
	Taxa	-	0,90	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,20	0,15	0,15	0,24	
T7 BR	1	0,00	1,20	1,90	2,30	2,70	2,90	3,10	3,40	3,60	3,80	-	-	-	-	-	-	-	0,20
	Taxa	-	1,20	0,70	0,40	0,40	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20	-	-	-	-	-	-	0,42	
T8 BR	2	0,00	1,10	1,60	2,10	2,50	3,15	3,50	3,80	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20
	Taxa	-	1,10	0,50	0,50	0,40	0,65	0,35	0,30	0,20	-	-	-	-	-	-	-	0,50	
T9 BR	1	0,00	0,80	1,15	1,45	1,75	2,00	2,25	2,50	2,70	2,90	3,15	3,35	3,55	3,75	3,95	-	-	0,25
	Taxa	-	0,80	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	-	0,28	
T10 BR	2	0,00	0,80	1,10	1,40	1,65	1,85	2,05	2,25	2,45	2,60	2,80	2,95	3,10	3,30	3,45	3,60	-	0,25
	Taxa	-	0,80	0,30	0,30	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,15	0,15	0,20	0,15	0,15	0,24	
T11 BR	1	0,00	0,60	1,00	1,30	1,50	1,75	2,00	2,25	2,45	2,70	2,90	3,10	3,30	3,50	3,70	3,90	-	0,20
	Taxa	-	0,60	0,40	0,30	0,20	0,25	0,25	0,25	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,26	
T12 BR	2	0,00	0,65	1,00	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90	3,10	3,30	3,50	3,70	-	0,20
	Taxa	-	0,65	0,35	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	
T13 BR	1	0,00	0,60	0,90	1,10	1,25	1,40	1,60	1,75	1,85	1,95	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	-	0,20
	Taxa	-	0,60	0,30	0,20	0,15	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,17	
T14 BR	2	0,00	0,70	1,00	1,30	1,50	1,75	1,95	2,10	2,30	2,50	2,65	2,80	2,95	3,10	3,25	3,40	-	0,20
	Taxa	-	0,70	0,30	0,30	0,20	0,25	0,20	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,23	
T15 BR	1	0,00	0,90	1,45	1,90	2,30	2,65	3,00	3,30	3,60	3,90	-	-	-	-	-	-	-	0,41
	Taxa	-	0,90	0,55	0,45	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	-	-	-	-	-	-	0,43	
T16 BR	2	0,00	0,90	1,30	1,70	2,05	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	3,85	-	-	-	-	-	-	0,41
	Taxa	-	0,90	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	-	-	-	-	-	0,39	
T17 BR	1	0,00	0,70	1,10	1,45	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	3,55	3,80	-	-	-	-	-	0,39
	Taxa	-	0,70	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	-	-	-	-	0,35	
T18 BR	2	0,00	0,80	1,40	1,80	2,20	2,60	3,00	3,35	3,70	4,00	-	-	-	-	-	-	-	0,39
	Taxa	-	0,80	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	-	-	-	-	-	-	0,44	
T19 BR	1	0,00	0,80	1,10	1,40	1,70	1,95	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,25	3,45	3,65	3,85	4,00	-	0,33
	Taxa	-	0,80	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,15	0,27	
T20 BR	2	0,00	1,20	1,60	2,00	2,35	2,65	2,95	3,20	3,50	3,75	4,00	-	-	-	-	-	-	0,33
	Taxa	-	1,20	0,40	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25	0,30	0,25	0,25	-	-	-	-	-	0,40	
T21 BR	1	0,00	0,80	1,20	1,55	1,90	2,20	2,50	2,80	3,10	3,30	3,55	3,80	4,00	-	-	-	-	0,39
	Taxa	-	0,80	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,25	0,25	0,20	-	-	-	0,33	
T22 BR	2	0,00	0,80	1,30	1,80	2,20	2,60	2,95	3,30	3,65	3,95	-	-	-	-	-	-	-	0,39
	Taxa	-	0,80	0,50	0,50	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,30	-	-	-	-	-	-	0,44	
T23 BR	1	0,00	0,90	1,45	1,90	2,30	2,60	3,00	3,35	3,70	4,00	-	-	-	-	-	-	-	0,47
	Taxa	-	0,90	0,55	0,45	0,40	0,30	0,40	0,35	0,35	0,30	-	-	-	-	-	-	0,44	
T24 BR	2	0,00	1,10	1,60	2,10	2,45	2,85	3,15	3,55	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47
	Taxa	-	1,10	0,50	0,50	0,35	0,40	0,30	0,40	0,35	-	-	-	-	-	-	-	0,49	
T25 BR	1	0,00	0,75	1,10	1,35	1,60	1,85	2,10	2,30	2,45	2,65	2,85	3,05	3,25	3,40	3,60	3,75	-	0,23
	Taxa	-	0,75	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,15	0,25	
T26 BR	2	0,00	0,55	0,85	1,10	1,30	1,45	1,60	1,80	2,00	2,10	2,30	2,40	2,60	2,70	2,80	3,00	-	0,23
	Taxa	-	0,55	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	

APÊNDICE O

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Tabela O 1 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na densidade de massa no estado fresco, utilizando os resultados das Tabelas E 1 e E 2 do Apêndice E

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	46458,2227	1	46458,227	36,77	4,41
Resíduo	22744,7273	18	1263,5960		
Total	69202,9500	19			

Conclusão: O tipo de areia influenciou no resultado da densidade de massa no estado fresco, pois $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$

Tabela O 2 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia no teor de ar aprisionado, utilizando os resultados das Tabelas E 4 e E 5 do Apêndice E

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	1,3899	1	1,3899	2,20	4,41
Resíduo	11,3817	18	0,6323		
Total	12,7716	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado do teor de ar aprisionado, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 3 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na retenção de água, utilizando os resultados das Tabelas F 1 e F 2 do Apêndice F

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	117,5556	1	117,5556	2,00	4,49
Resíduo	942,3044	16	58,8940		
Total	1059,8600	17			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado da retenção de água, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 4 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na resistência à compressão na idade de 56 dias, utilizando os resultados das Tabelas G 5 e G 6 do Apêndice G

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	0,0277	1	0,0277	0,07	4,41
Resíduo	75,6260	18	4,2014		
Total	75,6537	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado da resistência à compressão na idade de 56 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 5 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na resistência à tração na flexão na idade de 84 dias, utilizando os resultados das Tabelas H 1 e H 2 do Apêndice H

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	0,0821	1	0,0821	0,26	4,41
Resíduo	5,7517	18	0,3195		
Total	5,8338	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado da resistência à tração na flexão na idade de 84 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 6 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na resistência de aderência à tração na idade de 84 dias, utilizando os resultados das Tabelas I 1 e I 2 do Apêndice I

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	0,0008	1	0,0008	0,19	4,41
Resíduo	0,0712	18	0,0040		
Total	0,0720	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado da resistência de aderência à tração na idade de 84 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 7 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na densidade de massa no estado endurecido na idade de 56 dias, utilizando os resultados das Tabelas J 1 e J 2 do Apêndice J

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	42571,0914	1	42571,0914	8,90	4,41
Resíduo	86109,8586	18	4783,8810		
Total	128680,9500	19			

Conclusão: O tipo de areia influenciou no resultado da densidade de massa no estado endurecido na idade de 56 dias, pois $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$

Tabela O 8 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia no módulo de elasticidade na idade de 371 dias, utilizando os resultados das Tabelas K 3 e K 4 do Apêndice K

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	0,1854	1	0,1854	0,03	4,41
Resíduo	111,3765	18	6,1876		
Total	111,5619	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado do módulo de elasticidade na idade de 371 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 9 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia no coeficiente de capilaridade na idade de 56 dias, utilizando os resultados da Figura 31

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	0,2270	1	0,2270	0,47	4,41
Resíduo	8,7678	18	0,4871		
Total	8,9948	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado do coeficiente de capilaridade na idade de 56 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 10 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia na absorção de água após imersão e fervura na idade de 56 dias, utilizando os resultados das Tabelas M 11 e M 12 do Apêndice M

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	9,5389	1	9,5389	2,10	4,41
Resíduo	81,7860	18	4,5437		
Total	91,3249	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado da absorção de água após imersão e fervura na idade de 56 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$

Tabela O 11 – Resultado da análise de variância ao nível de confiança de 95% da influência do tipo de areia no índice de vazios após imersão e fervura na idade de 56 dias, utilizando os resultados das Tabelas M 11 e M 12 do Apêndice M

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Médias quadradas	F calc	F tab
Tratamento	1,1535	1	1,1535	0,19	4,41
Resíduo	111,2558	18	6,1809		
Total	112,4093	19			

Conclusão: O tipo de areia não influenciou no resultado do índice de vazios após imersão e fervura na idade de 56 dias, pois $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$