



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
– PPGE**

BIANCA RAFAELA DA SILVA CALDERÓN MORALES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS FRAÇÕES DE
AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**FLORIANÓPOLIS, SC
2015**

Bianca Rafaela da Silva Calderón Morales

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS FRAÇÕES DE
AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Janaide Cavalcante Rocha

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Morales, Bianca Rafaela da Silva Calderón

Avaliação da Influência das Frações de Agregado Reciclado nas Propriedades das Argamassas de Revestimento / Bianca Rafaela da Silva Calderón Morales; orientadora, Janaide Cavalcante Rocha – Florianópolis, SC, 2015

201 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referência

1. Engenharia Civil. 2. agregado reciclado. 3. argamassa de revestimento. 4. retração por secagem. I. Rocha, Janaide Cavalcante. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Bianca Rafaela da Silva Calderón Morales

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS FRAÇÕES DE
AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 20 de Março de 2015.

Prof^ª. Dr^ª. Janaide Cavalcante Rocha

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Este trabalho é dedicado à minha
Mãe Elenir, ao Tio João, a Tia
Zenólia a Tia Maricy.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro.

À professora Janaíde por ter me recebido no laboratório ValoRes e ter aceitado ser minha orientadora, me ajudando na realização desta pesquisa.

À professora Maria Cristina Leandro Pereira, que graças ao conteúdo de análise de imagem iconográfica, da aula de História da Arte II, hoje consigo fazer conexões com diferentes assuntos.

Ao professor Fernando Avancini Tristão, que aceitou ser meu supervisor de estágio no LEMAC/UFES, depois aceitou ser meu orientador de iniciação científica, permitindo que eu tivesse contato com o mundo acadêmico e vislumbrasse a possibilidade de entrar numa pós-graduação. Mas devo agradecer também por ele ter sido um Grande Mestre e um exemplo de vida.

Aos professores Prudêncio e Philippe, pelos ensinamentos para o desenvolvimento deste trabalho, bem como pelos empréstimos dos equipamentos laboratoriais.

Aos funcionários do LMCC, Luis e Renato, que me ajudaram quando foi necessário.

À Mari e à Priscila, que me deram força e me ouviram várias vezes na secretaria e sempre acreditaram em mim.

Aos funcionários Robertinho e Jucislei, por ajudarem a liberar a entrada no LMCC quando havia problemas com a porta.

À Gledês, que foi uma mãe quando cheguei a Florianópolis, ajudando-me a superar as barreiras e enxugando minhas lágrimas nos momentos de dificuldade.

Aos queridos da Pós-graduação, amigos Pojucan Veiga, Mayara, Leiliane Santana, Fabiane Gonçalves e Nágilla Azevedo, muito obrigada pelo companheirismo, amizade e alegria, que me ajudaram vencer.

À minha mãe e aos meus tios João, Zenólia e Maricy, que, com suas preces e seus corações, intercederam por mim, junto a Deus, pedindo proteção, paz de espírito e vitórias em meus obstáculos.

Ao meu amigo Raphael Peixoto Silva, que, além de melhor amigo, foi um grande companheiro, dando-me apoio.

Ao IFSC, aos meus alunos e aos amigos Ricardo Wild, Luciana Espíndola, Luciana Calçada, Fernanda, Alexandre, Jocélio, Carlos, Dalton, Ana Lígia, Beatriz, Elivete Prim, Sarita, Lucas Bastianello, Vlademir, Cristiane Felisbino, eu agradeço muito toda a paciência, o carinho, a amizade, a força, as lágrimas enxugadas.

À cidade de Florianópolis, que me deu a oportunidade de amadurecer e iniciar uma nova fase em minha vida.

A Deus e a toda a espiritualidade que me assiste. Muito obrigada por minha existência e por ajudar na minha caminhada evolutiva.

“Quem acredita sempre alcança”
(Renato Russo)

RESUMO

A demanda por novas construções tem se intensificado nos últimos anos, e o uso de mão de obra não qualificada, materiais de construção inadequados e a rapidez na aplicação dos componentes e dos materiais causam muitos problemas que comprometem a qualidade e a durabilidade das construções. Os revestimentos de argamassas são uma parte importante da obra, por ter a função de proteger e impermeabilizar a alvenaria. Essa parte importante das edificações pode ser executada de forma inadequada e apresentar problemas durante sua vida útil. Dentro dessa perspectiva, observa-se o estudo do fenômeno de retração em argamassas de revestimento. A princípio, ocorrendo em argamassas que utilizam materiais convencionais, mas com ampliação do campo de estudo para argamassas que utilizam agregado reciclado, esse fenômeno pode ocorrer com mais frequência. Diante disso, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de argamassas cuja fração fina do agregado natural, (D/d) 2,4/0,15 mm, foi substituída por agregado reciclado de Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Foram avaliadas as propriedades no estado fresco e no estado endurecido, e os resultados apresentados durante a pesquisa foram analisados com base em resultados de demanda de água da curva granulométrica e do fino de RCD, massa específica no estado fresco e endurecido, além da retenção de água, resistência à compressão das argamassas, módulo de elasticidade, aderência, perda de água por evaporação, retração por secagem e restringida, condição de pré-molhagem do agregado reciclado, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios e aderência. Ao final do estudo concluiu-se que o agregado previamente molhado influenciou na melhora das propriedades mecânicas e da capilaridade das argamassas, bem como contribuiu para o aumento da retração por secagem. Além disso, o fino de RCD, embora contribuiu com a trabalhabilidade, não apresentou capacidade de retenção de água e, portanto, influenciou no uso de aditivo retentor de água e hiperplastificante nas argamassas.

Palavras-chave: agregado reciclado; argamassa de revestimento; retração por secagem

ABSTRACT

Demand for new construction have intensified in recent years and the use of unskilled labor, inadequate building materials and the speed of implementation of components and materials, causing many problems that compromise the quality and durability of the buildings. The mortar coatings are an important part of the work, having the function to protect and waterproof the masonry. This important part of the building can be performed improperly and present problems during their lifetime. From this perspective, there is the study of shrinkage phenomenon in coating mortars. At first occurring in mortar using conventional materials, but with expansion of the field of study for mortar using recycled aggregate this phenomenon may occur more frequently. Thus, this study aimed to study the behavior of mortars whose fine fraction of natural aggregate, (D / d) 2.4 / 0.15 mm, was replaced by recycled aggregate of Construction and Demolition Waste (CDW). Properties in fresh and hardened state and the results presented during the survey were evaluated, were analyzed based on demand results Water grading curve and thin RCD, density in fresh and hardened, as well as retention water, the compressive strength of the mortars, modulus, adhesion, water loss by evaporation, drying shrinkage and restricted to pre-wetting of the recycled aggregate condition, wicking, immersion absorption and void index and adhesion. At the end of the study it was concluded that the previously wet aggregate influence the improvement of the mechanical properties of mortar and capillarity, as well contributed to the increased drying shrinkage. Furthermore, the thin RCD, although contributing to workability, but showed no water retention capacity and thus an additive influence on retainer usage hiperplastificante water and mortars.

Keywords: recycled aggregate - coating mortars - shrinkage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Representação da microestrutura da argamassa.....	37
Figura 2-Tipos de água associados aos silicatos de cálcio hidratado.....	40
Figura 3-Trabalhabilidade e condições de aplicação da argamassa.....	43
Figura 4- Mecanismo de pressão dissociada.....	53
Figura 5- Mecanismo de retração por secagem.....	54
Figura 6- Distribuição granulométrica e sua influência na retração.....	65
Figura 7- Fluxograma geral do programa experimental.....	70
Figura 8- Agregado submerso em água.....	77
Figura 9- Sucção do excesso de água no agregado.....	78
Figura 10-Curva granulométrica montada (D/d) 2,4/0,15 mm.....	78
Figura 11- Avaliação do espalhamento e demanda de água.....	83
Figura 12- Ensaio de tração na flexão (a) e de resistência à compressão (b).....	90
Figura 13- Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.....	91
Figura 14- Cura dos corpos de prova (a) e aparato para o ensaio de retração (b).....	93
Figura 15- Moldagem das argamassas sobre substrato avaliação visual de fissuras.....	94
Figura 16- Ensaio de absorção por capilaridade.....	95
Figura 17- Ensaio de absorção por imersão(a) e banho com temperatura de 100°C(b).....	96
Figura 18- Ensaio de aderência.....	97
Figura 19- Correlação entre a quantidade de finos e o espalhamento da argamassa.....	104
Figura 20- Resultado comparativo de massa específica das argamassas confeccionadas sem e com pré-molhagem.....	106
Figura 21-Resultado comparativo do teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas sem e com pré-molhagem.....	106
Figura 22- Correlação linear das argamassas com agregado seco: massa específica (a) ar incorporado (b).....	107
Figura 23-Correlação linear das argamassas com agregado molhado: massa específica (a) ar incorporado (b).....	108
Figura 24-Correlação polinomial da retenção de água nas argamassas com agregado seco com base na NBR 13277(ABNT, 2005): Ar incorporado (a); relação água/materiais secos (b).....	110
Figura 25- Correlação polinomial da retenção de água nas argamassas com agregado seco com base na NBR 9290 (ABNT, 1996): Ar incorporado (a); relação água/materiais secos (b).....	111
Figura 26: Resultado de massa específica no estado endurecido.....	112

Figura 27: Resultado de resistência à compressão.....	114
Figura 28-Resultado de tração na flexão.....	114
Figura 29-Correlação da resistência à compressão (a) e da tração na flexão (b) nas argamassas com agregado seco.....	115
Figura 30-Correlação da resistência à compressão (a) e da tração na flexão (b) nas argamassas com agregado molhado.....	116
Figura 31-Módulo de elasticidade dinâmico.....	117
Figura 32- Correlação polinomial entre módulo de elasticidade e resistência à compressão: argamassa com agregado seco (a) argamassa com agregado molhado (b).....	118
Figura 33-Correlação polinomial do módulo de elasticidade tração na flexão: argamassa com agregado seco (a) argamassa com agregado molhado (b).....	119
Figura 34-Resultado de retração das argamassas sem pré-molhagem.	122
Figura 35-Resultado de retração das argamassas com pré-molhagem.	122
Figura 36: Análise visual do aparecimento de fissuras.....	123
Figura 37- Resultado de absorção de água por capilaridade das curvas sem pré-molhagem.....	124
Figura 38- Absorção de água por capilaridade das curvas com pré-molhagem.....	125
Figura 39: Resultado do coeficiente de absorção capilar das.....	125
Figura 40- Correlação linear entre o coeficiente de capilaridade e o índice de vazios: argamassas com agregado seco (a); argamassas com agregado molhado (b).....	127
Figura 41- Resultado comparativo da tração a aderência.....	128
Figura 42- Resultado de tração à aderência da argamassa #2,4-S (a) e de tração à aderência da argamassa (D/d) 2,4/0,15-S (b).....	129
Figura 43- Ensaio de aderência da parte superior (a) e parte inferior (b) da argamassa.....	130
Figura 44- Absorção por imersão (%)......	131
Figura 45- Índice de vazios (%)......	131
Figura 46- Correlação entre o índice de vazios e a absorção por imersão.....	132
Figura 47- #2,4 mm (29,25cm/ 19% de fino) (a); #1,2 mm(29,55cm/19% de fino) (b);.....	165
Figura 48- Retração das argamassas #2,4 mm com e sem pré-molhagem.....	175
Figura 49- Retração das argamassas #1,2 mm com e sem pré-molhagem.....	175
Figura 50- Retração das argamassas #0,6 mm com e sem pré-molhagem.....	176

Figura 51- Retração das argamassas #0,3 mm com e sem pré-molhagem.....	176
Figura 52- Retração das argamassas #0, 15 mm com e sem pré-molhagem.....	177
Figura 53- Retração das argamassas (D/d) 2,4/0,15 mm com e sem pré-molhagem.....	177
Figura 54- Argamassas #2,4-S (a); argamassas #0,6-S (b); argamassas #0,3-S (c).....	179
Figura 55- Argamassas #0,15-S (a); argamassas (D/d) 2,4/0,15-S; argamassa #2,4-M (c).....	180
Figura 56- Argamassas #1,2-M (a); argamassas #0,6-M (b); argamassas #0,3-M (c).....	181
Figura 57- Argamassas #0,15-M (a); argamassas (D/d)2,4/0,15-M (b).....	182
Figura 58- Perda de água das argamassas sem pré-molhagem.....	183
Figura 59- Perda de água das argamassas com pré-molhagem.....	183
Figura 60- Perda de água das argamassas #2,4 mm com e sem pré-molhagem.....	184
Figura 61- Perda de água das argamassas #1,2 mm com e sem pré-molhagem.....	184
Figura 62- Perda de água das argamassas #0,6 mm com e sem pré-molhagem.....	185
Figura 63- Perda de água das argamassas #0,3 mm com e sem pré-molhagem.....	185
Figura 64- Perda de água das argamassas #0,15 mm com e sem pré-molhagem.....	186
Figura 65- Perda de água das argamassas (D/d) 2,4/0,15mm com e sem pré-molhagem.....	186
Figura 66- Coeficiente de capilaridade das argamassas #1,2-S e #1,2-M.....	187
Figura 67- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,6-S e #0,6-M.....	187
Figura 68- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,3-S e #0,3-M.....	188
Figura 69- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,15-S e #0,15-M.....	188
Figura 70- Coeficiente de capilaridade das argamassas (D/d) 2,4/0,15S e D/d) 2,4/0,15M.....	189
Figura 71- Absorção de água por capilaridade #2,4 mm.....	191
Figura 72- Absorção de água por capilaridade #1,2 mm.....	191
Figura 73- Absorção de água por capilaridade #0,6 mm.....	192

Figura 74- Absorção de água por capilaridade #0,3 mm.....	192
Figura 75- Absorção de água por capilaridade #0,15 mm.....	193
Figura 76- Absorção de água por capilaridade (D/d) 2,4/0,15 mm.....	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Critério de classificação das argamassas.....	33
Tabela 2-Espessuras admissíveis de revestimento interno e externo para parede.....	35
Tabela 3-Definição de trabalhabilidade por outros autores.....	41
Tabela 4- Porcentagem mínima de finos plastificantes nas argamassas.....	42
Tabela 5: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.....	46
Tabela 6-Relação de traços de argamassas e pasta, aos 7 e 28 dias de idade.....	56
Tabela 7 -Determinações físicas para alta qualidade do agregado miúdo reciclado.....	58
Tabela 8- Determinações da quantidade de substâncias deletérias em agregado miúdo reciclado.....	59
Tabela 9- Porcentagem de agregado miúdo entre as frações 0,15-4,8 mm.....	61
Tabela 10- Absorção de água por fração no agregado miúdo reciclado.....	64
Tabela 11- Resultado de valores de retração encontrado em argamassas de revestimento com RCD, micaxito, saibro, areia natural e saibro.....	67
Tabela 12- Características dos aditivos usados na pesquisa.....	72
Tabela 13- Composição química e física do cimento utilizado no estudo.....	72
Tabela 14- Lista de ensaios realizados na pesquisa.....	73
Tabela 15- Curva granulométrica utilizada no estudo.....	79
Tabela 16- Faixas granulométricas com agregado reciclado condição seca.....	80
Tabela 17- Faixas granulométricas com agregado reciclado na condição molhada.....	80
Tabela 18- Esquema para encontrar a quantidade de água da curva 2,4/0,15-M.....	82
Tabela 19- Resumo da etapa de preparação das argamassas.....	85
Tabela 20: Propriedades físicas das frações e dos agregados utilizados na pesquisa.....	99
Tabela 21: Resultado da absorção por imersão.....	100
Tabela 22: Resultado demanda de água e da quantidade de finos na curva granulométrica.....	102
Tabela 23: Resultado do ensaio de absorção de água inicial (AAI).....	104
Tabela 24: Resultado da Retenção de água.....	109
Tabela 25: Resultado de Massa específica e teor de ar incorporado.....	167
Tabela 26- Resultado de massa específica.....	169

Tabela 27- Resistência à compressão aos 28 dias.....	171
Tabela 28- Resistência à tração na flexão aos 28 dias.....	172
Tabela 29- Resultado do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias de idade.....	173
ANEXO 11: Tabela 30- Resultado de absorção capilaridade das argamassas com agregado pré-molhado.....	195
ANEXO 12: Tabela 31-Resultado de absorção capilaridade das argamassas sem agregado pré-molhado.....	197
Tabela 32- Resultado da Absorção e do índice de vazios.....	199
Tabela 33- Resultado do teste de aderência.....	201

LISTA DE ABREVIACÕES/SIMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
AN: Agregado natural
CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CSTB: Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment
(D/d) 2,4/0,15 mm: curva granulométrica com dimensão máxima 2,4 mm e mínima de 0,15mm
Fino: material passante na peneira 0,15mm
f1: Faixa granulométrica 2,4 mm
f2: Faixa granulométrica 1,2 mm
f3: Faixa granulométrica 0,6 mm
f4: Faixa granulométrica 0,3 mm
f5: Faixa granulométrica 0,15 mm
LEMAC: Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção
LMCC: Laboratório de Materiais de Construção Civil
RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux
JSCE: Japan Society of Civil Engineers
MERUC: Masse volumique apparente de l'enduit durci, Module d'élasticité, Résistance à la traction, Rétenion d'eau humidification e Capillarité
MMA: Ministério do Meio Ambiente
NANOTEC: Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil
NBR: Norma Brasileira de Referência
PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD: Resíduo de Construção e Demolição
RCD-f1: Faixa granulométrica 2,4 mm de agregado reciclado
RCD-f2: Faixa granulométrica 1,2 mm de agregado reciclado
RCD-f3: Faixa granulométrica 0,6 mm
RCD-f4: Faixa granulométrica 0,3 mm
RCD-f5: Faixa granulométrica 0,15 mm
SSS: Saturado Superfície Seca
UFES: Universidade Federal do Espírito Santo
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
ValoRes: Laboratório de Valorização e Reciclagem de Resíduos Industriais da Construção Civil.
 γ : Massa específica real (g/cm³)
 ϵ : Deformação (mm/m)

δ : massa específica unitária (g/cm³)

h: horas

°C: Graus Célsius

Δ : variação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 Objetivos gerais	31
1.2 Objetivos específicos.....	31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 ARGAMASSAS.....	33
2.1.1 Aspectos da microestrutura das argamassas	36
2.1.2 Composição microestrutural da argamassa	37
2.1.2.1 Distribuição dos sólidos.....	37
2.1.2.2 Distribuição dos vazios.....	38
2.1.2.3 Água na pasta endurecida.....	39
2.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	40
2.2.1 Trabalhabilidade e Consistência	40
2.2.2 Plasticidade das argamassas	42
2.2.3 Exsudação	44
2.2.4 Retenção de água	45
2.2.5 Massa específica e ar incorporado	46
2.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	48
2.3.1 Resistência mecânica	48
2.3.2 Módulo elasticidade	49
2.3.3 Aderência	50
2.3.4 Absorção de água por capilaridade	50
2.3.5 Retração por secagem	51
2.3.5.1.Mecanismo de retração por secagem.....	52
2.3.5.2.Retração em argamassas de revestimento.....	54
2.4 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	56
2.4.1 O Agregado reciclado	57
2.4.2 Agregados miúdos reciclados	58
2.4.3 Propriedades do agregado reciclado	60
2.4.3.1 Granulometria.....	60
2.4.3.2 Forma e textura dos grãos.....	62
2.4.3.3 Massa específica e massa unitária.....	62
2.4.3.4 Absorção de água e porosidade.....	63

2.4.3.5 Argamassas confeccionadas com fino e agregado de RCD.....	64
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
3.1 MATERIAIS.....	71
3.1.1 Água.....	71
3.1.2 Agregados.....	71
3.1.3 Finos plastificantes.....	71
3.1.4 Aditivos.....	71
3.1.5 Cimento.....	72
3.2 MÉTODOS..	73
3.3 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	75
3.3.1 Preparação do agregado reciclado.....	75
3.3.2 Massa específica e massa unitária.....	76
3.3.3 Absorção de água por imersão.....	77
3.3.4 Montagem das curvas granulométricas.....	78
3.3.5 Ensaio de demanda de água e porcentagem de finos na curva granulométrica.....	83
3.4 Caracterização do substrato.....	84
3.5 PREPARO DAS ARGAMASSAS.....	84
3.6 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO.....	86
3.6.1 Massa específica no estado fresco.....	86
3.6.2 Retenção de água.....	87
3.7 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	88
3.7.1 Massa específica no estado endurecido.....	88
3.7.2 Resistência à compressão e tração na flexão.....	89
3.7.3 Módulo de elasticidade dinâmico.....	90
3.7.4 Retração por secagem e perda de água por evaporação..	92
3.7.5 Estudo de retração restringida para avaliar visualmente o aparecimento de fissuras.....	93
3.7.6 Absorção de água e coeficiente de capilaridade.....	94
3.7.7 Absorção por imersão e índice de vazios.....	95
3.7.8 Aderência.....	96
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	99
4.1 Caracterização dos materiais.....	99
4.1.1 Massa específica, massa unitária e volume de vazios.....	99
4.1.2 Método de absorção de água por imersão.....	100
4.1.3 Demanda de água e porcentagem de finos da curva granulométrica.....	101
4.1.4 Caracterização do substrato.....	104

4.2	Caracterização das argamassas no estado fresco	105
4.2.1	Massa específica e incorporação de ar.....	105
4.2.2	Retenção de água	108
4.3	Caracterização das argamassas estado endurecido	112
4.3.1	Massa específica no estado endurecido.....	112
4.3.2	Resistência à compressão e tração na flexão	113
4.3.3	Módulo de elasticidade dinâmico	116
4.3.4	Retração.....	120
4.3.5	Avaliação visual de fissuras	122
4.3.6	Absorção de água por capilaridade	123
4.3.7	Coefficiente de Capilaridade.....	125
4.3.8	Aderência.....	127
4.3.9	Absorção por imersão e índice de vazios	130
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
6	REFERÊNCIAS.....	137
7	ANEXOS	155

1 INTRODUÇÃO

O homem, desde que deixou de habitar as cavernas, utilizou os recursos que a natureza pudesse proporcionar, inclusive para construir seus abrigos. No início, os recursos naturais eram usados da maneira como eram encontrados. Com a evolução, eles foram transformados para atender às necessidades tecnológicas de cada época (SANTIGAGO, 2007).

Um dos materiais mais utilizados para compor as construções é a argamassa. Esse material é proveniente de uma mistura de aglomerante, agregado e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Sua destinação está associada com o tipo de aglomerante ou mistura de aglomerantes (FIORITO, 1994).

As argamassas de revestimentos possuem a finalidade de proteger a alvenaria da ação das intempéries e proporcionar às edificações um acabamento final que resulte numa base regular, propícia para receber outros revestimentos (SANTIGAGO, 2007; CARASEK, 2007; BAUER, 2005). Apesar de existir o desenvolvimento das tecnologias e dos materiais empregados nas argamassas de revestimento, a ausência de mão de obra qualificada para a aplicação do material, bem como o seu controle de qualidade, refletem no crescimento de problemas relacionados aos tipos de materiais utilizados, mesmo com a existência de Normas Técnicas (SILVA e BAUER, 2009).

Um dos problemas apresentados pelas argamassas de revestimento é a retração por secagem. Apesar de ser um fenômeno que se manifesta de forma simples, sua compreensão é mais complexa, pois a retração gera consequências físicas, termodinâmicas e mecânicas (AITCIN, 2004).

Sua manifestação inicial ocorre no estado fresco e progride com a perda de água por evaporação e pela base, através de sucção, num período entre uma e duas horas e provoca fissuras na superfície do revestimento (COHEN, 1990). Com o início do endurecimento da argamassa, há a redução dos produtos hidratados, além da secagem da matriz cimentícia, que formará tensões capilares e a autosssecagem (HOLT, 2001; AITCIN, 2004).

No estado endurecido, ocorre a retração por secagem. Esse tipo de retração está ligada à tensão capilar (TAYLOR, 1990), à variação na pressão superficial e à pressão dissociada nas argamassas (HUA *et al.*

1995; FERRIS e WITTMANN, 1987). Nesse caso, o tempo de manifestação da retração está relacionado ao material empregado, aos fatores ambientais, bem como à espessura que o revestimento terá (ACKER *et al.*, 2001; GILBERT e RANZI, 2011).

Propriedades, como retenção de água, exsudação, massa específica e teor de ar incorporado, possuem influência na retração total das argamassas de revestimento (OLORUNSOGO, 1998; ALVES, 2002; MEHTA e BASTOS *et al.*, 2005; MONTEIRO, 2006). Além disso, a distribuição granulométrica do agregado miúdo e as partículas menores que 0,075 mm, que também podem ser usadas como finos plastificantes, provocam retração nos revestimentos argamassados (CARASEK, 2007).

A grande quantidade de estudos sobre retração está concentrada em materiais que utilizam areia, cimento, agregado natural, e cal como fino plastificante. Quando os estudos de retração se propõem a avaliar o efeito de outros tipos de agregados, como, por exemplo o agregado reciclado, estas pesquisas são mais amplas no que se refere à utilização do agregado graúdo e problemas de retração em concreto (RODRIGUES *et al.*, 2013).

O uso e o efeito que o agregado miúdo reciclado e os finos de resíduos de construção e demolição (RCD) causam nas argamassas de revestimento ainda são pouco explorados em pesquisas que avaliam o fenômeno de retração, apesar de tais matérias influenciarem no efeito da retração, por causa da alta absorção de água (MIRANDA *et al.*, 2013).

Na busca da utilização dos agregados miúdos reciclados e seus finos, em argamassas de revestimento, Miranda *et al.* (1999); Miranda e Selmo (2001); Miranda e Selmo (2006) verificaram que as partículas menores do que 0,075 mm possuem potencial plastificante. Nessa mesma linha, Silva *et al.* (2008); Silva *et al.* (2009); Silva *et al.* (2010); Miranda *et al.* (2013) avaliaram o fenômeno de retração e constataram que existem variações nos valores de retração, em função da quantidade de agregado miúdo natural substituído por agregado miúdo reciclado.

Outrora, as pesquisas relacionadas aos materiais que incorporam o RCD foram um caminho alternativo para solucionar a problemática ambiental. Mas, na atualidade, o uso do RCD vem se mostrando como uma fonte para adquirir os insumos necessários para produzir os materiais de construção. Por isso, sua aplicação em argamassas de revestimento necessita de aprofundamentos nos estudos e uma maior divulgação.

Diante das possibilidades de incorporação do RCD em materiais de construção, este trabalho avalia o fenômeno da retração em argamassas de revestimentos, bem como as propriedades no estado fresco e no estado endurecido, com a incorporação de agregados reciclados. O desempenho dessas argamassas foi avaliado usando agregado reciclado seco e previamente molhado em argamassas confeccionadas com curvas granulométricas (D/d) 2,4/0,15 mm. As misturas foram compostas com cimento, finos de RCD e agregado natural com substituição das frações #2,4; #1,2; #0,6; #0,3; #0,15 e a curva total (D/d) 2,4/0,15 mm, com agregado reciclado.

1.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo estudar o efeito da substituição do agregado miúdo, originado de Resíduo de Construção e Demolição (RCD), nas propriedades das argamassas de revestimento, além do efeito da retração por secagem e a influência da condição de pré-molhagem nas propriedades do estado fresco e estado endurecido das argamassas.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar o efeito da pré-molhagem do agregado reciclado na retração por secagem (retração livre);
- Avaliar o aparecimento de fissuras com o uso de finos de RCD <0,15 mm;
- Avaliar a influência do agregado seco e do agregado previamente molhado na retração das argamassas aplicadas em substrato poroso;
- Avaliar a trabalhabilidade e a retenção de água das argamassas confeccionadas com finos de RCD <0,15 mm;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARGAMASSAS

As argamassas são materiais de construção compostos por agregados miúdos, aglomerante e água. Também podem fazer parte da sua composição os aditivos químicos e as adições minerais. No estado fresco, as argamassas têm como principais propriedades a trabalhabilidade, a consistência e a plasticidade, além da exsudação, a retenção de água e a massa específica. No estado endurecido, as argamassas têm como propriedades a resistência mecânica, o módulo de deformação, a aderência, a permeabilidade e a retração (estabilidade volumétrica) (NBR 13281, ABNT 2005).

De acordo com a norma NBR 13530 (ABNT, 1995), os revestimentos produzidos através de argamassas são constituídos de uma ou mais camadas, e cada camada pode ter uma função característica e atender casos específicos de conforto térmico e de proteção contra radiação e umidade. Quanto à classificação, os revestimentos de argamassas atendem aos seguintes critérios: (Tabela 1).

Tabela 1-Critério de classificação das argamassas

Tipo	Critério de classificação
Revestimento de camada única Revestimento de duas camadas	Número e camadas aplicadas
Revestimento em contato com o solo Revestimento externo Revestimento interno	Ambiente de exposição
Revestimento comum Revestimento de permeabilidade reduzida Revestimento hidrófugo	Comportamento à umidade
Revestimento de proteção radiológica	Comportamento a radiações
Revestimento termo-isolante	Comportamento ao calor
Camurçado, chapiscado, desempenado, sarrafeado, imitação travertino, lavado, raspado.	Acabamento de superfície

Fonte: NBR 13530 (ABNT, 1995)

Os revestimentos são escolhidos conforme a função que irão desenvolver e dependem, basicamente, da concepção do edifício. Além

disso, para reduzir os custos com mão de obra e material, os revestimentos são utilizados em camada única (BAUER, 2005). Quando as argamassas são utilizadas como revestimentos externos, elas possuem a função de proteger muros, fachadas e outros elementos expostos ao meio externo. Já as argamassas usadas como revestimentos internos são aplicadas em ambientes internos da edificação (NBR 13529, ABNT 1995).

Em relação à função da camada de revestimento, a norma NBR 13529 (ABNT, 1995) determina os seguintes termos:

- a) Chapisco: é uma camada que prepara a base, aplicada de forma contínua ou descontínua, para uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
- b) Emboço: é uma camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, promovendo uma superfície que permita receber outra camada, de reboco, de revestimento decorativo ou de acabamento final.
- c) Reboco: é a camada de revestimento usada para cobrir o emboço, com a função de criar uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou o acabamento final.
- d) Acabamento decorativo: revestimento decorativo aplicado sobre o revestimento de argamassa, como pintura, materiais cerâmicos, pedras naturais, placas laminadas, papel ou tecido.

Segundo Carasek (2007), as argamassas protegem as edificações das intempéries e também contribuem com o isolamento térmico (~30%), o isolamento acústico (~50%), a estanqueidade à água (~70 a 100%), a segurança ao fogo e a resistência ao desgaste de abalos superficiais.

A composição tradicional das argamassas misturadas é tipicamente uma parte de cimento para três partes de areia (1:3) ou, no caso das argamassas que contêm cal hidratada, a mistura pode ser composta pelos traços 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia). Além desses traços, pode também utilizar o traço 1:3:12, em argamassas mistas (BHAVIKATTI, 2010). Quando a mistura usa incorporador de ar, o traço utilizado deixa de ser o de 1:1:6 e passa a ser o de 1:5 (GREEN *et al.*, 1999; BHAVIKATTI, 2010).

Em relação à espessura da argamassa de revestimento, a norma NBR 13749 (ABNT, 2013) determina a dimensão da espessura conforme o local de aplicação, ou seja, se o revestimento será interno e externo. Entretanto, Bauer (2005) sugere que a espessura deve ser determinada de acordo com a camada de revestimento a ser aplicada.

Na Tabela 2, pode-se observar a relação entre a função da camada de revestimento e a espessura que pode ser adotada em locais internos e externos (NBR 13749, ABNT, 2013).

Tabela 2-Espessuras admissíveis de revestimento interno e externo para parede

Camadas de revestimento	Espessura (mm)	
	Interno	Externo
Emboço	5 a 20	15 a 25
Emboço e reboco	10 a 30	20 a 30
Camada única	5 a 30	15 a 30

Fonte: BAUER (2005)

De acordo com a CSTB (1993), as argamassas são escolhidas em função da natureza do substrato e atendem às categorias de substratos verticais de alvenaria e concreto. Os substratos de concreto celular e as alvenarias antigas não atendem às exigências devido à baixa resistência que possuem. Bauer (2005) sugere que a escolha do substrato deve estar associada às suas características físicas, tais como: textura, porosidade, capacidade de sucção de água (absorção capilar) e propriedades mecânicas.

As argamassas de revestimento apresentam problemas que podem ser observados num curto período, principalmente depois da sua aplicação. De acordo com a norma NBR 13749 (ABNT, 2013), as principais manifestações patológicas encontradas em argamassas de revestimento são:

- Fissuras mapeadas: podem ser formadas por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, seja por causa do aglomerante, ou pelos finos que estão presentes nos agregado, ou até por causa do desempenamento. No geral, apresentam-se em forma de mapa.
- Fissuras geométricas: ocorrem quando acompanham o contorno do componente da base, podendo ser geradas por retração da

argamassa de assentamento. Em argamassas de revestimento, essas fissuras são decorrentes de retração higrométrica, interfaces de base constituída de materiais diferentes, e revestimento que contém junta de dilatação.

- Vesículas: são provocadas com a hidratação retardada do óxido de cálcio da cal e pela presença de concreções ferruginosas na areia.
- Empolas pequenas: ocorrem por causa da oxidação da piritita presente como impureza no agregado e resultam em formação de gipsita, além de expansão.
- Expansão e deslocamento do revestimento: são causados quando as fissuras são preenchidas com gesso, devido ao rápido endurecimento. Então, a gipsita formada durante a hidratação do gesso reagirá com o cimento presente na argamassa, formando etringita, e ocasionará a expansão.
- Pulverulência: a pulverulência pode ser provocada por causa do excesso de finos no agregado, devido à adoção de um traço pobre em aglomerante ou devido à carbonatação insuficiente da cal, quando a argamassa é feita de cal e areia, pois o clima seco, a temperatura e a ação do vento dificultam o processo de carbonatação.

2.1.1 Aspectos da microestrutura das argamassas

As argamassas de revestimento são materiais porosos, e tal característica está relacionada diretamente com a sua composição, a sua aplicação, com a secagem, bem como com a porosidade e a textura da sua superfície (QUARCIONI *et al.* 2001).

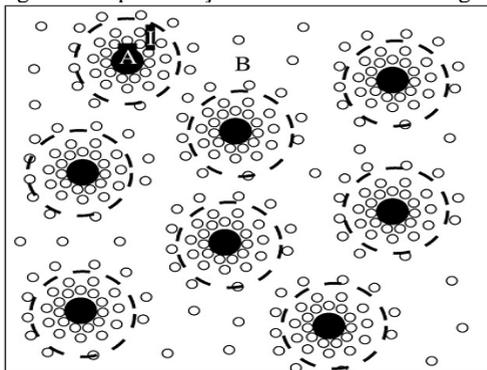
Segundo Herve *et al.* (2010) e Quarcioni *et al.* (2001), as argamassas no estado endurecido são compostas pelas seguintes fases: agregado, pasta e vazios. A pasta é o componente que apresenta características variáveis na sua microestrutura, assim como a interface pasta-agregado, em função do tempo.

Conforme os estudos de Herve *et al.* (2010), cada fase apresenta as seguintes características:

- Fase dos agregados (A): composta pelos agregados com raio médio RA e com propriedades mecânicas homogêneas;
- Fase da zona de transição (I): apresenta uma espessura média e caracteriza-se pelo gradiente de porosidade, que, conseqüentemente, gera um gradiente nas propriedades mecânicas;
- Fase da pasta de cimento (B): fase globalmente homogênea, apresentando também uma porosidade bem distribuída, assim como suas propriedades mecânicas.

A Figura 1 ilustra as fases do agregado, pasta de cimento e zona de transição, presentes nas argamassas.

Figura 1-Representação da microestrutura da argamassa



Fonte: Herve *et al* (2010)

2.1.2 Composição microestrutural da argamassa

A microestrutura da argamassa é composta por uma parte sólida, por vazios e por água, formando um conjunto que tem influência sobre a resistência, a estabilidade dimensional e a durabilidade desse material.

2.1.2.1 Distribuição dos sólidos

A parte sólida das argamassas é formada por compostos heterogêneos, com matriz frágil e polifásica, composta, geralmente, por

cimento hidratado. Quando há carbonatação, existirá a predominância de carbonatos finamente cristalizados e agregados com distintas formas, composição e tamanho, além de adições minerais (QUARCIONI *et al.*, 2001).

Esta parte é formada por um volume entre 50-60% de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H-gel)¹; além de hidróxido de cálcio (portlandita), entre 20-25%; sulfoaluminatos de cálcio, entre 15-20%, com a formação de etringita e ainda partículas de clínquer, entre 1 a 50µm, quando o cimento permanece com grãos anidros (METHA e MONTEIRO, 2006).

2.1.2.2 Distribuição dos vazios

De acordo com Powers (1958) as reações químicas do cimento, durante a sua hidratação, produzem fases sólidas (composta por uma estrutura cristalina de hidróxido de cálcio), partículas de gel e interstícios entre as partículas, chamados poros do gel ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Esses poros estão presentes na pasta endurecida, são interligados e ficam preenchidos por água. Os espaços microestruturais da pasta endurecida são denominados de poros capilares e possuem duas classes de organização: os poros gel e os poros capilares.

Os poros capilares ocorrem em maior quantidade quando a pasta está no estado fresco, mas em menor proporção quando a pasta de cimento é hidratada. A quantidade desses poros dependerá da relação água/cimento. O gel de cimento é produzido apenas em cavidades capilares, preenchidas com água, mas sem que ocorra a hidratação do cimento, quando essas cavidades estão preenchidas (POWERS, 1958).

¹ C-S-H gel: refere-se aos produtos formados a partir da reação química da água com do Trissilicato de Cálcio (C3S) e do Dissilicato de cálcio (C2S), com a água, formando um material amorfo, que contém poros e apresenta característica de um gel rígido (TAYLOR, 1990; METHA e MONTEIRO, 2006).

2.1.2.3 Água na pasta endurecida

De acordo com Hansen (1986), Taylor (1990), Neville (1994) e Metha e Monteiro (2006), o modelo proposto por Powers-Brownyard, em 1946, sugere que a água presente na pasta endurecida pode ser classificada de três maneiras:

Água de constituição:

- Água de cristalinização ou interlamelar: está relacionada com a estrutura do C-S-H e somente é perdida quando há uma secagem muito forte, ou seja, quando a umidade relativa está abaixo de 11% e, então, a estrutura do C-S-H retrai fortemente.
- Água quimicamente combinada: utilizada para hidratar toda a pasta de cimento e para medir o grau de hidratação da pasta. Sua perda ocorre com a liberação de produtos hidratados decompostos por aquecimento. A quantidade de água combinada pode ser determinada como água não evaporável, apresentando produtos de hidratação com 23% da massa do cimento seco.

Água gel:

- Água adsorvida: fica próxima à superfície do sólido, através das forças de atração exercidas sobre as moléculas de água que ficam fisicamente adsorvidas na superfície da pasta. Durante a secagem, 30% dessa água podem se perder, dependendo da distância que as moléculas de água estiverem da superfície.

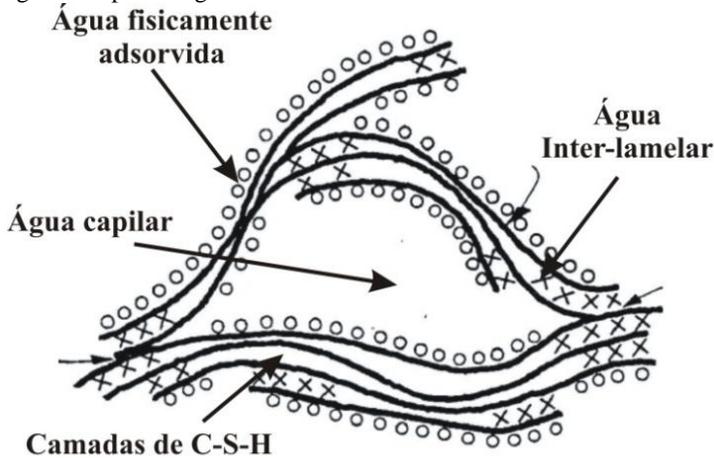
Água evaporável ou capilar:

- Reside nos poros capilares, com movimentação livre da influência de atração exercida pela superfície. Essa água livre que fica alojada em vazios maiores do que 50 nm (0,05 μm), sem causar variação de volume durante a sua remoção. Entretanto, existe a água que fica retida por tensão capilar em capilares pequenos,

que variam entre 5 e 50 nm, e que causam retração por secagem no sistema durante a sua remoção.

Feldman e Sereda (1968) propuseram um modelo simplificado da microestrutura da pasta de cimento endurecida e da localização da água em seu interior (Figura 2).

Figura 2-Tipos de água associados aos silicatos de cálcio hidratado



Fonte: Adaptado de Feldman e Sereda 1968.

2.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

2.2.1 Trabalhabilidade e Consistência

A trabalhabilidade é uma propriedade das argamassas com componentes — como a consistência, a plasticidade, a retenção de água, a coesão, o endurecimento por sucção e a tixotropia — que determinam o desempenho do material. Essa propriedade está associada à capacidade da argamassa ser fixada firmemente ao substrato durante a sua aplicação e promover superfícies acabadas (13-MR/ RILEM, 1982).

De acordo com o documento 13-MR/RILEM (1982), os níveis de trabalhabilidade podem ser determinados e medidos de acordo com a habilidade do operário pedreiro. E o método utilizado por ele é com base no seu estilo de trabalho e na técnica que aprendeu durante sua formação profissional. Por isso, a trabalhabilidade é uma propriedade

aceita pela maioria dos operários num mesmo país, mas pode divergir de país para país.

A pesquisa realizada por Sousa e Lara (2005) mostra que a trabalhabilidade também é definida por outros autores, como pode ser observado na Tabela 3:

Tabela 3-Definição de trabalhabilidade por outros autores

Autor	Definição
SELMO (1989)	A trabalhabilidade é considerada adequada quando a argamassa se deixa penetrar com facilidade pela colher do pedreiro, não tendo um aspecto fluído e apresentando coesão, sem aderir à colher, quando é levada pela desempenadeira e lançada ao substrato. Além disso, há umidade suficiente para ser espalhada, cortada (sarrafeada) e detém condições adequadas para receber o acabamento final, como pintura ou cerâmica.
CINCOTTO , SILVA e CARASEK (1995).	A trabalhabilidade é uma propriedade que resulta de propriedades como: consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção da água, exsudação, tempo de pega e adesão inicial, e está diretamente relacionada com o julgamento subjetivo do pedreiro.
CARASEK (1996)	A trabalhabilidade é a capacidade que a argamassa tem de fluir e espalhar-se sobre uma base que detém saliências, protuberâncias e fissuras, permitindo que ocorra um envolvimento muito próximo entre a argamassa e o substrato, relacionando-se com a aderência e sua extensão.

Fonte: adaptado de SOUSA e LARA (2005)

Ainda no documento 13-MR/RILEM (1982), tem-se que a RILEM/CIB Comissao W3 definiu que a reologia básica das argamassas é determinada pela consistência e pela plasticidade.

A consistência é a propriedade que as argamassas possuem de resistir à deformação. Os pedreiros julgam essa propriedade com base na adição de água para ajuste da consistência e fluidez do material. Além disso, tal propriedade também é influenciada pelo teor de ar incorporado na argamassa, bem como pelo tipo e quantidade de aglomerantes e a intensidade da mistura. As adições minerais podem, também, exercer

influência, devido ao aumento da tixotropia² da argamassa (13-MR/RILEM, 1982). Gomes *et al.* (1995) comentam que o teor de finos com tamanho menor do que 0,075 mm também influenciam na plasticidade e consistência das argamassas.

2.2.2 Plasticidade das argamassas

A plasticidade é a propriedade das argamassas de reter a deformação após a redução da tensão, quando ocorre deformação elástica (13-MR/RILEM, 1982).

Para a produção das argamassas há a necessidade de um teor mínimo de finos, além de agregado miúdo e dos aglomerantes. A presença de finos na areia deve existir de forma adequada, a fim de não influenciar no aumento do consumo de aglomerantes e no custo de produção. Além disso, o uso de elevados teores de finos de argila podem prejudicar as argamassas, por reduzirem a sua resistência. O uso de material pulverulento, oriundo de britagem, somente aumentará a relação água/cimento (LAHUERTA e MONTERDE, 1984).

Conforme Lahuerta e Monterde (1984), o teor de finos totais inferiores a 75 µm, em argamassas secas, pode ser considerado um parâmetro que controla a sua plasticidade no estado fresco, quando a plasticidade é classificada em gorda, intermediária e magra (Tabela 4).

Tabela 4- Porcentagem mínima de finos plastificantes nas argamassas

Plasticidade	Porcentagem mínima de finos total presente na argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Gorda	> 25	> 20
Intermediária	25 a 15	20 a 10
Magra	<15	< 10

Fonte: Lahuerta e Monterde (1984)

Bauer (2005) sugere que as argamassas devem ter plasticidade adequada para conseguir deformar-se durante o seu lançamento e aplicação sobre o substrato, ter fluidez suficiente para penetrar e cobrir a

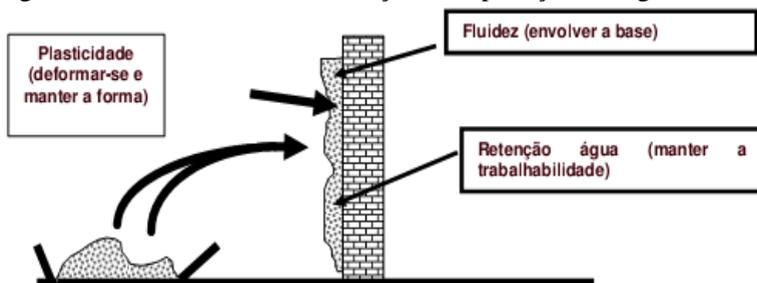
² um decréscimo contínuo da viscosidade com o tempo quando um escoamento é aplicado a uma amostra que tenha estado previamente em repouso e a subsequente recuperação da viscosidade no tempo quando o escoamento é descontinuado.

rugosidade pertencente ao substrato, além de retenção de água para manter o material trabalhável durante a sua aplicação.

Para Miranda e Selmo (1999), a fração total de finos presentes nas argamassas é composta por todos os materiais utilizados para a confecção da mistura. Ou seja, além do cimento, o agregado miúdo e os materiais aglomerantes ou inertes também possuem a função de promover coesão e plasticidade nas argamassas. Tendo em vista tais fatores, os autores afirmam que todos os materiais que apresentam partículas menores que 0,075 mm (75 μ m), podem contribuir para a plasticidade das argamassas, independente de serem de origem aglomerante, adição plastificante ou agregado miúdo.

A Figura 3 demonstra a relação entre a plasticidade e a capacidade de retenção de água da argamassa, e o tipo de fluidez consequente dessa relação.

Figura 3-Trabalhabilidade e condições de aplicação da argamassa



Fonte: Bauer (2005)

Miranda e Selmo (2001) propuseram um estudo de argamassas de revestimento mistas, utilizando três traços distintos, que são: 1:1,1:7,9; 1:1,3:7,7 e 1:1,4: 7,6. Ainda usaram as proporções de finos menores que 0,075 mm, nas proporções de 18, 25% e 32%. Eles verificaram que a porcentagem de 32% de finos influencia no aparecimento de fissuras, independente do tipo de entulho utilizado. Além disso, observou-se que as fissuras estão relacionadas com a distribuição granulométrica dos agregados e da relação água/cimento.

As argamassas que são compostas por agregado com granulometria mais grossa e baixa relação água/cimento suportam maiores teores de finos sem ocorrência de fissuras. Dessa forma, recomenda-se o uso de finos no valor total de 25%, sendo este um valor limite para o início de fissuras por secagem da argamassa mista. Ao

mesmo tempo, esse valor é adequado para que haja uma boa trabalhabilidade (MIRANDA e SELMO, 2006).

2.2.3 Exsudação

A exsudação é uma forma de segregação dos componentes presentes nas argamassas, que acontece através do aparecimento de água na superfície desses materiais, antes de ocorrer a pega. Esse fenômeno resulta da incapacidade dos componentes da mistura de reterem água, enquanto as partículas pesadas estão em processo de assentamento. A redução da exsudação se faz necessária, pois prejudica a aplicação das argamassas, interferindo na resistência final (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

Materiais com consistência inadequada, pouca quantidade de partículas finas (baixo consumo de cimento e areia ou granulometria deficiente da areia), normalmente causam segregação e exsudação das argamassas. Quando a argamassa segrega devido à mistura estar seca, adiciona-se uma pequena quantidade de água. O uso de adições minerais e de ar incorporado, bem como o aumento no consumo de cimento e o uso de areias com partículas muito finas, contribui no combate à exsudação (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

De acordo com Tristão e Roman (1999) e Josserand *et al.* (2006), uma camada de partículas muito finas, que afeta na aderência de novas camadas de argamassa, é formada durante a exsudação na superfície da argamassa. Quando a exsudação é elevada, a argamassa perde a trabalhabilidade, necessitando de remisturas frequentes pelo operário (pedreiro) e reposição da água que foi evaporada com a exsudação.

Tristão e Roman (1999) e Josserand *et al.* (2006) constataram que as principais causas da exsudação são:

- Granulometria dos aglomerantes e/ou adições
- Composição granulométrica do agregado miúdo
- Proporção entre componente da argamassa
- Consistência da argamassa
- Aglomerantes utilizados
- Forma dos grãos

2.2.4 Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade que se relaciona com a capacidade da argamassa, no estado fresco, de manter-se trabalhável, quando está sujeita a solicitações que induzem perda de água de amassamento, por evaporação ou absorção de água pelo substrato, por meio de sucção (CARASEK, 2007).

De acordo com Cincotto *et al.* (1995), *apud* Tristão e Machado (2003), a retenção de água interfere nas propriedades da argamassa no estado endurecido, pois muda as condições de contato da argamassa com a base, agindo sobre a retração por secagem, a resistência mecânica e a aderência do revestimento e a durabilidade.

Segundo Tristão e Machado (2003), a capacidade de retenção de água das argamassas e sua consistência são evidenciadas quando existe água suficiente para molhar a superfície do agregado e do aglomerante, de forma que a argamassa não perca a sua plasticidade e permita que as reações de hidratação do cimento e a carbonatação da cal se desenvolvam, contribuindo para uma boa adesão entre o material e os componentes.

Os estudos de Alves e Do Ó (2005) indicam que o aumento da retenção de água da argamassa pode ser adquirido através do aumento do teor de materiais com elevada área específica, como saibros e cal hidratada, pois, quando esses materiais são molhados, tensões superficiais são geradas e induzem a água adsorvida a manter-se nas partículas. Os autores comentam também que os aditivos retentores de água derivados de celulose também impedem a perda de água.

Conforme os estudos de Detriché e Maso (1986), a retenção de água está diretamente relacionada aos seguintes fatores:

- As condições climáticas durante o período de cura da argamassa, pois regulam o equilíbrio higrotérmico.
- A natureza física da mistura (proporção de aglomerantes e a finura dos agregados) que determina a inicial característica dos poros da argamassa.
- A natureza química da mistura, especialmente do aglomerante, pois este é responsável pela velocidade em que os capilares são formados na argamassa, devido à secagem da pasta.

- A espessura da camada de revestimento, pois quanto mais espessa, maior será a retenção.

2.2.5 Massa específica e ar incorporado

Define-se massa específica aparente como a razão da massa do material por unidade de volume, que inclui poros impermeáveis, mas desconsidera os capilares (NEVILLE, 1994; MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Segundo Carasek (2007), o nível de trabalhabilidade é proporcional à leveza das argamassas. Conseqüentemente, reduz o esforço realizado pelo operário para aplicar a argamassa e aumenta a sua produtividade. A massa específica será modificada conforme o teor de ar, especialmente com o uso de aditivos incorporadores de ar, e com a massa específica dos materiais que compõem a argamassa. Na Tabela 5 estão relacionados a classificação da massa específica das argamassas de revestimento, bem como os principais materiais usados em sua confecção.

Tabela 5: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

Argamassa	Massa específica $M(\text{g}/\text{cm}^3)$	Principais agregados utilizados	Usos e observações
Leve	$<1,40$	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \leq M \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo), e calcário	Aplicações convencionais
Pesada	$> 2,30$	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2007)

Durante sua pesquisa, Tristão (1995) constatou que argamassas de revestimento, confeccionadas com o traço 1:1:6 e 1:2:9, apresentam baixo valor de massa específica quando o teor de ar incorporado é elevado. As argamassas do primeiro traço, com massa específica de $1,965 \text{ kg}/\text{dm}^3$ obtiveram o resultado de teor de ar variando entre 3,5-3,9%. Para as argamassas que foram produzidas com o segundo traço, o teor de ar incorporado de 2,6% gerou uma massa específica de $1,950 \text{ kg}/\text{dm}^3$. O autor informa que tais valores influenciam na trabalhabilidade das argamassas.

Carneiro e Cincotto (1999) verificaram que é possível prever a massa específica aparente da argamassa a partir da massa unitária da areia que será utilizada. E, ainda, o aumento dessa massa específica é inversamente proporcional ao da areia, por que há aumento no consumo de aglomerantes, e conseqüentemente a ocupação dos espaços existentes no agregado.

De acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005), a massa específica das argamassas é determinada através da equação 1:

$$A = \frac{m_c - m_v}{V_r} \times 1000$$

Eq. 1

Onde:

A = Massa específica da argamassa fresca (kg/m³)

mc= Massa do recipiente preenchido com a argamassa do ensaio (g)

mv = Massa do recipiente vazio (g);

Vr= Volume do recipiente (cm³)

O ar incorporado é um processo pelo qual pequenas bolhas de ar são incorporadas e tornam-se parte da matriz cimentícia na fase endurecida. Essas bolhas são completamente dispersas na pasta de cimento endurecida, e esse efeito pode ser adquirido através do uso de agentes incorporadores de ar, adicionados durante a mistura (DOLCH, 1996).

As argamassas no estado fresco, que detêm ar incorporado, apresentam ganho na consistência e na sua plasticidade, diferentemente do que existe no concreto, que ganha fluidez e perda de consistência. Com o aumento do teor de ar incorporado, a massa específica da argamassa é reduzida, devido à formação de microbolhas dentro do material. Essas bolhas conseguem diminuir a exsudação, ajudando na retenção de água e, conseqüentemente, na redução da retração por secagem e na retração plástica (ALVES, 2002).

Alves (2002) constatou que em argamassas de revestimento, com teor de ar incorporado entre 19,5% e 21%, aos 28 dias de idade, ocorre retração por secagem, variando entre 0,0716% e 0,0960%. Com base nos valores encontrados no ensaio de retração, o autor afirma que as argamassas podem ser executadas com diferentes teores de aditivo.

Conforme a norma NBR 13278 (ABNT, 2005), o teor de ar incorporado das argamassas é determinado utilizando-se a equação 2:

$$Ar = \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \times 100$$

Eq. 2

Onde:

d = Massa específica da massa da argamassa (g/cm³)d = Massa específica da massa teórica da argamassa (g/cm³)

2.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

2.3.1 Resistência mecânica

A resistência é definida como a capacidade de resistir à tensão sem ruptura. Essa ruptura, às vezes, é identificada com o aparecimento de fissuras (MEHTA e MONTEIRO, 2006). De acordo com Nakakura e Cincotto (2004), a resistência mecânica das argamassas está ligada à sua habilidade de resistir aos esforços de tração, compressão ou cisalhamento, oriundos de cargas estáticas ou dinâmicas que agem nas edificações, ou ainda decorrentes de efeitos das condições ambientais.

É comum avaliar a resistência à compressão em argamassas de revestimento, sendo que sua importância está associada à uniformidade da produção das argamassas. Os sistemas de revestimento também são avaliados com base nas solicitações de tração ou cisalhamento, pois a argamassa deve suportar os esforços de tensão no sentido de evitar fissuras (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

Segundo Tristão (1995), no substrato podem ocorrer movimentações por recalques, por variação dimensional, além da variação de umidade e de temperatura. O autor comenta que, embora tais mudanças ocorram no substrato, as argamassas devem ser capazes de resisti-las.

Ainda em Tristão (1995), tem-se que a resistência mecânica não é uma propriedade fundamental para as argamassas, da mesma forma que ocorre para o concreto. Contudo, essa propriedade relaciona-se com a elasticidade das argamassas, a qual interfere na sua durabilidade.

2.3.2 Módulo elasticidade

O módulo de elasticidade expressa a rigidez da argamassa no estado endurecido e está diretamente relacionado com a quantidade de cimento, bem como com o empacotamento das partículas dos agregados usados na mistura, por causa da forma e da rugosidade que os grãos apresentam. Conhecer o módulo de elasticidade de uma argamassa implica saber a sua capacidade de deformação, pois está associada às resistências à compressão, de tração na flexão e de aderência à tração (SILVA e CAMPITELI, 2008).

As fissuras costumam aparecer nas primeiras idades dos revestimentos de argamassas e com certa frequência em revestimentos destinados às fachadas de edifícios (BASTOS *et al.*, 2010). Serão acentuadas quando houver o aumento da resistência mecânica, pois é proporcional ao consumo de cimento adotado para a confecção das argamassas (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004; SILVA e CAMPITELI, 2008).

Segundo Tristão (1995), quando a argamassa está sofrendo retração, seja por perda de umidade, juntamente com contrações térmicas, ou ainda retração decorrente de natureza externa, a argamassa estará sob um estado de tensões internas e de cisalhamento. Mas como existe a dificuldade em determinar o módulo de deformação por tração e cisalhamento, o módulo de deformação à compressão pode ser utilizado.

Os estudos de Neno (2010) mostraram que argamassas com substituição parcial de 20% de agregado natural por agregado reciclado podem atingir um valor de 8,25 Gpa, embora argamassas com agregado reciclado apresentem baixo valor de módulo de elasticidade (LEVY, 1997). O autor explica que esse resultado pode ter ocorrido devido ao aumento da densidade da argamassa e menor quantidade de vazios, provocando, portanto, um efeito filler. E ainda acrescenta que o valor encontrado para o módulo de elasticidade está em conformidade com os valores de resistência à compressão e tração na flexão, encontrados em seu estudo.

No Brasil, o ensaio de módulo de elasticidade para as argamassas de revestimento é normatizado e utiliza-se o módulo de elasticidade dinâmico, de acordo com a norma NBR 15630 (ABNT, 2008). Segundo Silva e Campiteli (2006), o ensaio para determinação do módulo de elasticidade pelo método dinâmico, utilizando aparelhos de medição de ondas ultrassônicas, que além de rápido e simples, não é destrutível e pode ser utilizado no próprio canteiro de obras.

2.3.3 Aderência

A aderência é um fenômeno mecânico que ocorre por causa do intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros do substrato cerâmico. Esse fenômeno está relacionado com a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e o substrato (CARASEK e DJANIKIAN, 1997; CARASEK, 2007). No estado fresco, a argamassa, ao entrar em contato com a base, tem sua água perdida através de sucção, a qual penetra nos poros do substrato (CARASEK *et al.*, 2001).

Os cimentos influenciam na aderência por causa de sua finura. Já a cal, por sua vez, contribui como plastificante e retentor de água, ocupando facilmente a superfície do substrato. Também torna o sistema argamassa/substrato mais durável, evitando fissuras e preenchendo os vazios através da carbonatação. Quanto à areia, a capacidade de aderência irá depender do teor empregado e de suas características, mas quanto maior for o consumo de agregado miúdo, menor será a aderência da argamassa. Entretanto, esse material garante a durabilidade da aderência através da redução da retração (CARASEK *et al.*, 2001).

Argamassas de revestimento preparadas em obra, cujo teor de cimento varia entre 21% e 22,4% de cimento, são mais aderentes do que as argamassas em que o teor de cimento é de 7,8%. As argamassas industrializadas, cujo teor de cimento é de 12%, podem ser classificadas com aderência intermediária. Tais resultados são influenciados não somente pelo teor de cimento, mas também pelo teor de ar incorporado, pela capacidade de retenção de água, bem como pela resistência à compressão e à tração das argamassas (CARASEK, 1997).

A norma NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que revestimentos externos de argamassas devem ter resistência de aderência mínima de 0,30 MPa na idade de 28 dias. E de acordo com Nakakura *et al.* (2009), esse valor influencia na escolha do sistema de revestimento utilizado, quando a fachada é executada, após o término da execução e no período pós-ocupação.

2.3.4 Absorção de água por capilaridade

A capilaridade é um fenômeno que ocorre nas argamassas, através da penetração de umidade no estado líquido. Essa umidade pode ter várias origens e atua nos materiais porosos através da ação capilar isolada ou da pressão exercida pelo vento em situações de chuva (RATO, 2006).

Rato (2006) explica que a capilaridade e a transferência de massa são resultantes do vapor de água e a fase líquida. Para que tais fenômenos aconteçam, é necessário que ocorra a permeabilidade do material. Philippi *et al.* (1993) comentam que não há distinção clara entre os mecanismos de fixação e transferência de líquido e vapor. E, por isso, o vapor adsorvido na fase líquida, presente na superfície, é transferido para o interior do material por mecanismos de difusão e capilaridade (mantendo-se na fase líquida).

Segundo Ferreira (2000), o transporte do líquido é influenciado pela sua viscosidade, densidade e tensão superficial, enquanto que, no sólido, o transporte está relacionado à sua estrutura dos poros (raio, tortuosidade e continuidade dos capilares).

A taxa de absorção capilar depende do grau de saturação dos mesoporos. Entretanto, entender o fluxo de água pelo concreto não é simples, pois a água pode reagir com a matriz sólida, causando alterações na estrutura dos poros ou modificando a composição da solução impregnada (MARTYS e FERRIS, 1997).

De acordo com Marty e Ferris (1997), o coeficiente e absorção capilar da água, ou sorptividade, pode ser medido através da equação 3.

$$\frac{W}{A} = St^{1/2} + S_o$$

Eq. 3

Onde:

W: volume de água absorvido

A: área da superfície que será exposta à água

S: coeficiente de sorptividade

So: termo de correção para corrigir os efeitos no momento em que a amostra é colocada em contato com a água.

A norma NBR 15259 (ABNT, 2005) prevê o ensaio de absorção por capilaridade no tempo de 10 e 90 minutos. Além disso, averigua a boa qualidade da argamassa, bem como sua capacidade de impermeabilização através do Coeficiente de Capilaridade.

2.3.5 Retração por secagem

A retração por secagem ocorre devido à movimentação da umidade dentro dos materiais cimentícios, que, com isso, acaba provocando mudanças no volume do sólido. Com o passar do tempo,

ocorre o seu aumento, mas gradualmente há redução na taxa, e o processo permanece por meses e anos. A magnitude desse fenômeno e a taxa de desenvolvimento dependem dos fatores que afetam a secagem dos compósitos cimentícios, como: a umidade relativa e os materiais que serão utilizados na mistura (aglomerante, finura do aglomerante, adição de pozolana, volume da pasta de cimento), o conteúdo de água e a relação água/cimento, o tipo de agregado e o tamanho, a porosidade, o tamanho e a forma da peça que sofrerá retração (GILBERT e RANZI, 2011; ACKER *et al.*, 2001).

2.3.5.1 Mecanismo de retração por secagem

De acordo com Ferraris (1986), os materiais cimentícios apresentam duas fases de retração: uma fase aparente e uma fase real.

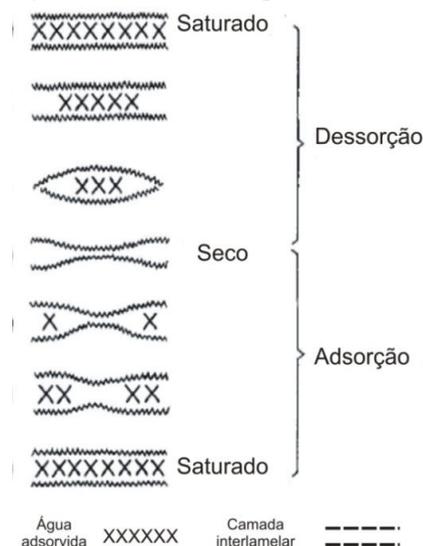
A fase aparente é facilmente identificada, devido à observação da mudança de espessura do revestimento e do aparecimento de fissuras, por causa da remoção da água no material. Na fase real, a retração ocorre através de forças de interação entre as superfícies da parte sólida do material e a água presente. Através dessas forças de interação ocorrerão três mecanismos de retração: a tensão capilar, a variação de tensão superficial e a variação de pressão dissociada (FERRARIS, 1986; HUA *et al.*, 1995)

Durante a secagem das argamassas, poros capilares são formados e alojam a água presente no material, formando meniscos que geram força de tração no interior do poro capilar. O equilíbrio dessa força de tração ocorre com o surgimento de forças de compressão, geradas pelas paredes dos poros capilares. Essa tensão de compressão fica responsável pela redução do volume do material. Com a evolução da secagem, ocorre o aumento da tensão superficial e a tensão de compressão, causando redução no volume do sólido, isto é, a retração. Em outras palavras, o mecanismo de tensão superficial provoca mudanças no volume do sólido, devido às variações de quantidade de água adsorvida (SOROKA, 2004).

A variação de pressão dissociada acontece no material com a interação entre duas superfícies sólidas que estão muito próximas, na presença de moléculas de água adsorvida. A uma certa temperatura, a água adsorvida na superfície do sólido terá uma espessura, que será influenciada pela umidade relativa. Essa camada de água adsorvida, pode ser desenvolvida livremente, ou seja, somente com uma dada umidade relativa, pois a distância entre as duas superfícies será menor. Se ocorre o aumento da umidade relativa novamente, a adsorção de água

tenderá a separar as duas superfícies sólidas, a fim de aumentar a espessura da camada adsorvida. As duas superfícies sólidas, portanto, quando submetidas a uma pressão, serão denominadas de pressão dissociada (Figura 4). Essa pressão atinge o seu valor máximo quando o sistema está saturado, porém, quando não ocorre a saturação, o sistema encolhe, devido à diminuição da pressão, ocasionando a aproximação das superfícies (HUA *et al.*, 1995).

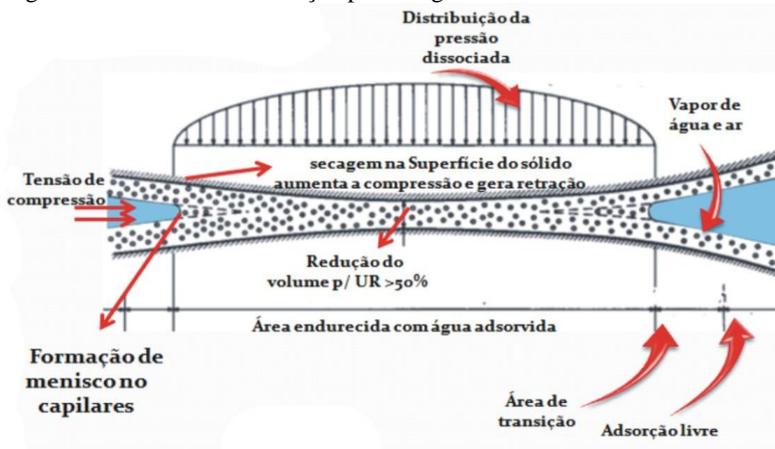
Figura 4- Mecanismo de pressão dissociada



Fonte: Adaptado de Feldman e Sereda, 1968.

Na Figura 5, pode-se visualizar o mecanismo de retração descrito por Soroka (2004).

Figura 5- Mecanismo de retração por secagem



Fonte: Adaptado de Soroka, 2004.

2.3.5.2 Retração em argamassas de revestimento

Os problemas que afetam as argamassas de revestimento são, geralmente, atribuídos às deformações que ocorrem nas múltiplas camadas de argamassa que revestem os substratos. A retração livre das argamassas hidráulicas é afetada pela aderência do material ao substrato que está revestindo e que quase não se deforma. Tais problemas encontram sua origem na heterogeneidade das argamassas de revestimento, no local de destino e na hidratação do aglomerante (DETRICHE e MASO, 1986).

Os parâmetros que governam as argamassas de revestimento podem ser classificados em cinco categorias: a argamassa, o substrato, relação entre argamassa/conexão com o substrato, condições de aplicação e as condições ambientais. Esses parâmetros são caracterizados por fatores comumente afetados por variações que são ocasionalmente incontroláveis e inevitáveis. Essas variações modificam o modo de secagem e influenciam a pega e o endurecimento da argamassa. Além disso, provocam retração (DETRICHE e MASO, 1986).

De acordo com Detriché *et al.* (1985), o processo de hidratação do cimento e o desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento são afetados através da evaporação da água pela superfície e também pela sucção da água realizado pelo apoio.

Os autores comentam que o fator chave para determinar a taxa de evaporação das argamassas de revestimento e a duração desse processo está no valor do raio médio dos capilares. Processos que afetam a hidratação do cimento e a evolução da resistência das argamassas são:

- As condições climáticas particularmente severas como: vento, insolação, variação rápida da temperatura.
- Ação do suporte, quando é poroso, provoca a movimentação da água através de sucção

De acordo com os estudos de Bastos (2001); Bastos e Cincotto (2001), a retração total das argamassas mistas para revestimento acontece em três etapas. Na primeira etapa a retração ocorre quando a argamassa ainda está no estado fresco, num tempo inferior a duas horas (antes do início da pega). O segundo estágio é caracterizado pelo período de estabilização das deformações e ocorre imediatamente após o início da pega, até o fim da pega. Nesse intervalo está a formação dos hidratados e o efeito da retração por secagem. E, segundo Bastos e Cincotto (2001), está relacionado com a composição do cimento e as condições de exposição da argamassa. No terceiro estágio, a retração ocorre após o fim de pega, com a argamassa no estado endurecido.

A retração por secagem é um processo extremamente demorado. De acordo com Acker (2001), a retração por secagem reflete uma propagação no interior da estrutura, ocasionando um grau de secagem que varia em toda a espessura da peça, isto é, entre o seu máximo valor (superfície) e o valor mínimo (núcleo).

Para Thomaz (1989), a espessura da argamassa de revestimento, bem como o número de camadas e a velocidade de perda de água causam retração e, conseqüentemente, fissuras. O autor comenta também que a espessura de argamassa de revestimento aplicada em única camada, que contém cal hidratada, deve medir entre um e dois centímetros, para que não ocorra dificuldade na carbonatação da cal.

Detriché *et al.* (1983); Detriché *et al.* (1986); Amba *et al.* (2010) explicam que a espessura da camada de revestimento determina a cinética de secagem da argamassa e, como regra geral, as camadas que contêm maior espessura são aquelas que podem alcançar maiores valores de retração, devido à maior perda de água por evaporação.

Argamassas de revestimento em que há retração impedida, imediatamente após a pega, existe o aumento na tensão através da camada da argamassa. Depois de 24 horas, o gradiente de tensão inicia o

seu desenvolvimento. Os autores comentam que, entre um e quatro dias, pode ocorrer aumento no valor da tensão, mas, após esse período, a tensão será mais leve (AMBA *et al.*, 2010).

Os estudos de Fiorito (1994) mostram que as argamassas (misturas de cimento e areia) e pastas de cimento Portland que sofrem secagem ao ar, quando são aplicadas em obras, sofrem retração por secagem aos 28 dias de idade, na ordem de (0,00060 mm/mm ou 0,6% ou 0,6 mm/m) e 1,5 mm/mm (1,5%), respectivamente.

Ainda em Fiorito (1994), podem ser observados traços de argamassas (misturas de areia e cimento) e pasta de cimento e suas respectivas taxas de retração por secagem aos 7 e 28 dias (Tabela 6).

Tabela 6-Relação de traços de argamassas e pasta, aos 7 e 28 dias de idade

Tipo de mistura	Traço das argamassas	Retração aos 7 dias (%)	Retração aos 28 dias (%)	Relação água/cimento
Cimento: areia	1:3	0,396	0,607	0,47
	1:4	0,431	0,648	0,66
	1:5	0,379	0,649	0,64
	1:6	0,472	0,601	0,87
Cimento: areia: cal	1:0,5:5	0,514	0,661	0,70
	1:3:12	0,489	0,642	0,88
Pasta de cimento		1,018	1,416	0,30

Fonte: Adaptado de FIORITO, 1994

2.4 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O resíduo de construção e demolição (RCD), de acordo com a resolução CONAMA 307/2002, é proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Os produtos encontrados desse processo são: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica. E todos são comumente chamados de entulhos de obras.

No Brasil, para diminuir a geração de resíduos, foi instituída a Lei n. 12.305/10, que prevê uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Conforme MMA (2012), tal política possui como objetivo prioritário a gestão obrigatória de resíduos durante a geração, bem como a redução, a reutilização e também a reciclagem. Além disso, faz-se

obrigatório o tratamento dos resíduos gerados e a disposição ambientalmente adequada.

Ângulo *et al.* (2009), através da caracterização do RCD em três cidades brasileiras e no uso em pavimentação de base e sub-base, concluíram que as porcentagens entre 50-70% em massa de RCD estão abaixo da fração 50 mm e possuem grãos com valores apropriados para serem usados na pavimentação, sem necessariamente serem triturados em usinas de beneficiamento. Além disso, a prática da reciclagem sem equipamentos de moagem pode reduzir drasticamente os investimentos e os custos operacionais, melhorando a viabilidade econômica da reciclagem em pequenas cidades.

Ainda em Ângulo *et al.* (2009), tem-se que a descontaminação dos agregados de RCD é uma importante atividade, principalmente por causa da grande quantidade de azulejos, gesso e cimento amianto existente. Essa descontaminação dos resíduos, por parte das pilhas e baterias, também é de suma importância, uma vez que impedem o uso dos agregados reciclados em base e sub-base de pavimentação.

2.4.1 O Agregado reciclado

O agregado reciclado é um material obtido através da reciclagem de rejeitos e subprodutos industriais, mineração ou construção e demolição da construção civil, inclusive os agregados recuperados de concreto fresco por lavagem. O agregado oriundo dos resíduos de construção civil é previamente triado e pertencente à classe A da norma NBR 9935 (ABNT, 2011). A classe A corresponde aos agregados produzidos a partir de blocos, telhas, placas de revestimento, argamassas e concreto, além de blocos de meio-fio e obras de infraestrutura.

Os agregados pertencentes à fração miúda, principalmente, são compostos por pasta de cimento endurecida e gesso. Por isso, são inadequados para a produção de concreto. Os agregados graúdos, mesmo cobertos por pasta de cimento, podem ser utilizados na produção de concreto. Entretanto, em concretos produzidos com agregado reciclado, os valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e trabalhabilidade representam dois terços do concreto com agregado natural, mas a sua durabilidade ainda se apresenta satisfatória (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Nos agregados reciclados, as propriedades são diferentes das propriedades dos agregados naturais, por isso influenciam nas condições de aplicação e nas características de argamassas e concreto. Nos

agregados reciclados, ocorre maior absorção de água nos grãos, heterogeneidade na composição e menor resistência mecânica (LIMA, 1999).

2.4.2 Agregados miúdos reciclados

De acordo com Martins *et al.* (2009), os agregados miúdos reciclados possuem uma forma mais angular do que o agregado natural, e também possuem um alto conteúdo de argamassas aderidas na superfície, mais do que em agregado graúdo. Assim, influenciam na absorção de água, na densidade e limitam o uso da fração miúda. Quando estão presentes em concretos, reduzem a trabalhabilidade.

De acordo com a norma japonesa JIS A5021 (JSCE, 2005), os agregados miúdos reciclados de alta qualidade devem ser produzidos com avançadas técnicas de processamento, incluindo a moagem e a classificação do material gerado a partir da demolição das estruturas. Essa norma estabelece características físicas para o uso dos agregados miúdos e propõe limites para as substâncias deletérias (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 -Determinações físicas para alta qualidade do agregado miúdo reciclado

Itens	Agregado miúdo
Massa específica seca (g/cm ³)	≥ 2,5
Absorção de água (%)	≤ 3,0
Abrasão (%)	NA
Porcentagem de volume sólido para determinar a forma (%)	≤ 53
Quantidade de material inferior a 75µm (%)	≤ 7,0
Conteúdo de íons cloreto	≤ 0,04

Fonte: JSCE, 2005

Tabela 8- Determinações da quantidade de substâncias deletérias em agregado miúdo reciclado

Categoria	Substância deletéria	Limite (massa %)
A	Tijolo, revestimento cerâmico, asfalto (betume)	2,0
B	Vidro	0,5
C	Gesso	0,1
D	Outras substâncias inorgânicas, como gesso	0,5
E	Plástico	0,5
F	Madeira, papel e asfalto (betume)	0,1
TOTAL		3,0

Fonte: Fonte: JSCE, 2005

No estudo de Martins *et al.* (2009), foi verificado que os grãos menores que 0,075 mm variam entre 0,8% e 3,5% em agregados miúdos de concreto abaixo da peneira # 4 mm, mas os valores acima de 8% foram observados em partículas menores do que 0,063 mm, em agregado misturado. Essas partículas contêm altos níveis de contaminantes de gesso e argila, que prejudicam o desempenho de materiais. Para que essa contaminação tenha um efeito menor no desempenho, recomenda-se demolição seletiva e não misturar o que foi retirado intacto com o que já está esmagado.

Não somente o gesso, mas argamassas, tijolos e o betume encontrado em concreto asfáltico, quando estão aderidos nos agregados reciclados, influenciam na redução da resistência das argamassas (DAPENA *et al.*, 2011).

Gonçalves *et al.* (2007) comentam que, no Brasil, os agregados miúdos de origem natural são tradicionalmente utilizados em argamassas e concretos. Entretanto, com o aumento das restrições ambientais, a exploração da areia de rio resultou em buscas por materiais alternativos para a produção desses agregados, particularmente em áreas adjacentes às áreas metropolitanas. Tendo em vista tal situação, os agregados fabricados aparecem como uma boa alternativa à substituição dos agregados naturais destinados a argamassas e concretos, mas levando em consideração a qualidade do material.

2.4.3 Propriedades do agregado reciclado

2.4.3.1 Granulometria

A granulometria do agregado é avaliada através de curva granulométrica, que mostra se a distribuição dos grãos ocorre de forma contínua, descontínua ou uniforme. Dentre essas classificações, tem-se que a boa graduação está presente nos agregados de curva contínua, visto que existem partículas menores suficientes para preencher os vazios entre as partículas maiores (FARIAS e PALMEIRAS, 2007).

As areias que possuem uniformidade média ou desuniformidade apresentam menores volumes de vazios do que as areias classificadas como muito uniformes. Isso interfere no consumo de água de amassamento, uma vez que, quanto maior o número de vazios da areia, maior o consumo de água e aglomerantes. Portanto, areias que se apresentam muito uniformes produzem argamassas com alto consumo de aglomerantes e água (TRISTÃO, 1995).

Tristão (1995) afirma que as argamassas de revestimento devem ser produzidas com agregados miúdos que tenham granulometria contínua, que sua dimensão máxima seja compatível com o acabamento superficial desejado e que a distribuição granulométrica deve ser avaliada pelo coeficiente de uniformidade juntamente com o módulo de finura.

A distribuição granulométrica do agregado reciclado é formada com base no tipo de resíduo e na sua forma de processamento, podendo ser parecida com a distribuição granulométrica dos agregados naturais. Os agregados de concreto reciclado, de diferentes qualidades, não mostram variações significativas na granulometria e podem apresentar curvas parecidas com a de pedras naturais britadas, quando retiradas as parcelas finas. Os agregados de origem cerâmica podem apresentar um teor grande de finos, mas isso depende do seu processo de reciclagem (LIMA, 1999).

A composição granulométrica dos agregados reciclados miúdos, de algumas regiões brasileiras (São Paulo, Ceará, Alagoas, Maranhão), apresenta-se com materiais decorrentes de concreto e mistos (argamassa e cerâmica). Os agregados de concreto que estão abaixo da fração 4,8 mm mostraram uma porcentagem de 63%. Entre as frações 4,8 mm e 0,15 mm a porcentagem encontrada foi de 33% e a fração menor do que 0,15 mm foi de 4%. Quando a análise foi realizada sobre os agregados reciclados misturados, a porcentagem de agregado encontrado abaixo da

fração 4,8 mm foi de 57,4%. No caso da porcentagem presente entre as frações 4,8 mm e 0,15 mm, o valor foi de 35,9%, e para a fração abaixo de 0,15 mm o resultado foi de 6,7% (ULSEN *et al.*, 2009).

A pesquisa de Ulsen *et al.* (2009) mostrou que os agregados miúdos de concreto reciclado e agregado misto, quando produzidos por britadores do tipo *Jaw Crusher*, geram porcentagens maiores de agregados abaixo da fração de 4,8 mm do que os britadores do tipo *Impact Crusher*. Mas as frações entre 4,8-0,15 mm são preenchidas com maiores porcentagens pelos agregados produzidos pelo britador do tipo *Impact Crusher*. Contudo, ambos os britadores produzem valores muito próximos de grãos abaixo da fração 0,15 mm (Tabela 9).

Tabela 9- Porcentagem de agregado miúdo entre as frações 0,15-4,8 mm

Frações (mm)	Britador Jaw Crusher		Britador Impact Crusher	
	Agregado de concreto (%)	Agregado misturado (%)	Agregado de concreto (%)	Agregado misturado (%)
Abaixo de 4,8	68	64,6	55	57,4
Entre 4,8 e 0,15	27	29,3	40	35,9
Abaixo de 0,15	5	6,1	5	6,7

Fonte: Adaptado de Ulsen *et al.* (2009)

De acordo com a pesquisa de Bavaresco (2001), nos agregados naturais a quantidade de material pulverulento é de 1,85%. Contudo, esse valor é inferior ao valor encontrado para agregados reciclados. A porcentagem de material pulverulento encontrado nos agregados de origem cerâmica é de 7,20%, enquanto que os agregados de origem cimentícia podem apresentar taxas de material pulverulento de 5,79%. O autor comenta que tais valores não prejudicaram o desempenho das argamassas. Já o estudo de Perius (2009) mostra que o material pulverulento presente nos agregados reciclados miúdos é de 4,51%

Para Lima (1999), durante a confecção de argamassas de revestimento com agregado reciclado, faz-se necessária a eliminação do material pulverulento aderido ao agregado, pois essas partículas finas apresentam-se em grande quantidade. E a retirada dessas partículas finas pode contribuir no bom desempenho das argamassas e ainda reduzir o surgimento de patologias devido à presença de contaminantes, que aparecem em maior quantidade.

2.4.3.2 Forma e textura dos grãos

A forma e a textura dos grãos influenciam mais as propriedades dos materiais cimentícios no estado fresco do que no estado endurecido. As partículas de forma lisa e arredondada, em comparação às partículas de textura áspera, com forma angular e alongadas, necessitam de menos pasta para produzir texturas trabalháveis (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

O arredondamento dos grãos afeta a compacidade e altera o volume de vazio dos agregados miúdos. Portanto, quanto mais arredondado o grão, maior é a compacidade. Isso também se aplica à esfericidade dos grãos. A textura dos grãos também exerce influência no índice de vazios, com maior intensidade do que a distribuição granulométrica. Portanto, quanto maior a esfericidade, arredondamento e fato de forma dos grãos, menores os índices de vazios presentes no agregado miúdo (TRISTÃO, 2005).

Nos agregados reciclados, normalmente a forma do grão depende das propriedades da fonte, da máquina para triturar o material, da proporção de redução. Além disso, a superfície dos agregados reciclados é áspera, por causa da argamassa aderida às partículas do material ou por ser um material cerâmico (HAMASSAKI *et al.*, 1996). Entretanto, a rebitagem desse material poderá ajudar na redução de sua porosidade, principalmente no caso do agregado de concreto reciclado, pelo fato deste processo contribuir para a redução da quantidade de argamassa presa à superfície (MOREL *et al.* 1993).

Conforme Cheng (2011), os agregados que são triturados para possuir grãos esféricos contribuem com a trabalhabilidade do sistema, e a forma angular e rugosa dos agregados influencia no vínculo entre o agregado e a pasta de cimento. Os altos valores de resistências à compressão também são ocasionados por esse tipo de forma do grão, uma vez que este, com textura rugosa, será melhor coberto por pasta de cimento, promovendo uma aderência mais firme e, assim, impedindo a fragilidade da zona de transição.

2.4.3.3 Massa específica e massa unitária

A massa específica é definida como a massa do material por unidade de volume, incluindo os poros internos e a massa unitária é definida como a massa das partículas que ocupam uma unidade de volume (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

A massa específica dos agregados reciclados é menor do que a massa específica dos agregados naturais, devido à baixa densidade das argamassas que estão aderidas aos grãos. Entretanto, a massa específica dos agregados naturais e dos agregados reciclados não varia muito, mesmo utilizando diferentes proporções de relação água/cimento (HANSEN, 1992).

Para o estudo de propriedades físicas de agregados oriundos de concretos estruturais, Kikuchi *et al.* (1994) propuseram resistências à compressão, para as amostras nos valores de 800 kg/cm², 500-700 kg/cm² e 200-400 kg/cm², e verificam que a massa específica seca dos agregados miúdos variou entre 2,01-2,08 kg/cm³, e nos agregados graúdos a massa específica variou entre 2,32-2,61 kg/cm³. Ao comparar a massa específica dos agregados reciclados com a massa específica da areia de rio, os pesquisadores verificaram que a segunda terá uma massa específica maior, apresentando o valor de 2,61 kg/cm³.

2.4.3.4 Absorção de água e porosidade

A porosidade dos agregados e os tamanhos dos poros nos agregados variam a sua classificação. Contudo, até os pequenos poros podem ser considerados grandes, pois ainda possuem uma dimensão maior do que os poros géis presentes nos poros de cimento (NEVILLE, 1994). Os agregados ficam em condição saturada superfície seca (SSS), quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há película de água sobre a superfície. Para a condição úmida ou saturada (SS), o agregado está saturado e sua superfície está úmida (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

A absorção de água pode variar entre 3% a 18% para agregados graúdos, médios e finos (JOSÉ, 2002; KATZ, 2003; CACHIM, 2009). Em agregados naturais, os valores de absorção de água são próximos de 0,5-1%, sendo, portanto, um valor de absorção de água menor do que os valores encontrados em agregados reciclados. Essa alta capacidade de absorção de água dos agregados reciclados deve-se à argamassa que fica aderida nos grãos. Tem-se também que tais características afetam a trabalhabilidade e outras propriedades do concreto (RAO *et al.*, 2007).

Fonteboa *et al.* (2011) afirmam que a absorção de água e a argamassa aderida aos grãos são as principais características que diferem os agregados naturais dos agregados reciclados. Portanto, agregados reciclados, com capacidade de absorção de 5%, podem ser considerados de boa qualidade.

Agregados reciclados com argamassa aderida, quando utilizados em estado saturado, podem resultar em exsudação durante a moldagem, acarretando diminuição da resistência à compressão do concreto (FONTEBOA, 2011).

Jochem (2012) avaliou a absorção de água do agregado miúdo em cada fração da curva (D/d) 2,4/0,15 mm e constatou que a absorção de água aumentou em função do tamanho do agregado. Além disso, a pesquisa mostrou que as curvas granulométricas (D/d) 2,4/0,15 mm e (D/d) 1,2/0,15 mm, bem como a condição de preparo do agregado miúdo, influenciaram na quantidade de finos de RCD e, conseqüentemente, na constituição do traço estudado (Tabela 10).

Tabela 10- Absorção de água por fração no agregado miúdo reciclado

Frações/ curvas (mm)	24 horas	48 horas	% de finos de RD	Traços	Condição e preparo do agregado
2,4	7,9	8,2	-	-	-
1,2	11,1	11,8	-	-	-
0,6	13,2	14,0	-	-	-
0,3	13,9	14,8	-	-	-
0,15	21,8	23,2	-	-	-
<0,15	46	50,2	-	-	-
(D/d) 2,4/0,15 mm	11,7	14,9	18%	1:1,5:6	Previamente molhado
(D/d) 1,2/0,15 mm	13,5	13,9	24%	1:2:5,5	seco

Fonte: Adaptado de Jochem, 2012

2.4.3.5 Argamassas confeccionadas com fino e agregado de RCD

De acordo com Miranda e Selmo (2006), a areia produzida a partir de resíduos de demolição e construção apresenta uma variabilidade que está relacionada aos constituintes minerais dos resíduos e da distribuição do grão, que incluem os materiais menores que 75 µm.

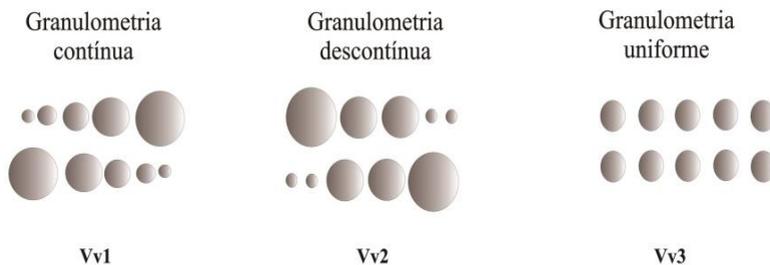
A granulometria do agregado miúdo influencia na retração das argamassas, pois uma areia que possui um volume muito grande de vazios necessitará de um alto teor de cimento para que os espaços entre

as partículas existentes na areia sejam preenchidas, elevando-se o potencial de retração da argamassa. As partículas menores que 0,075 mm, influenciam no fenômeno de retração plástica, pois quanto maior o teor de partículas finas presentes nas argamassas, maior será a retração, principalmente quando as partículas são menores que 0,005 mm (argilas) (CARASEK, 2007).

Carasek (2007) explica que os grãos, quando são excessivamente finos, promovem um grande efeito plastificante, por conter uma alta superfície específica e se originar de argilas. Mas, para atingir uma trabalhabilidade adequada, é necessário o uso de grande quantidade de água de amassamento. Contudo, isso gera maior retração e fissuras, comprometendo a durabilidade do material. Esse efeito não será fortemente observado quando as partículas são oriundas de britagem de calcário, pois estas partículas contribuem com a redução de água, o que resulta em menores valores de retração durante secagem da argamassa (CARASEK, 2007).

A Figura 6 ilustra a classificação das areias quanto à distribuição granulométrica, associando o volume de vazios e a retração.

Figura 6- Distribuição granulométrica e sua influência na retração



VOLUME DE VAZIOS: $Vv1 < Vv2 < Vv3$

RETRAÇÃO: contínua < descontínua < uniforme

Fonte: CARASEK (2007)

Miranda *et al.* (2013) comentam que os grandes valores de retração em argamassas de revestimento, que utilizaram agregado reciclado, ocorrem por causa da alta porosidade do material e do alto

teor de absorção de água, que influencia nos mecanismos de migração de água. Para Miranda e Selmo (2006), a distribuição do tamanho dos poros, geralmente na presença de finos na mistura, tem um grande efeito na retração por secagem, mais do que a porosidade introduzida pela relação água/cimento.

Na Tabela 11, pode-se verificar o resultado da pesquisa com argamassas de revestimento com o uso de finos menores que 0,075 mm e a influência no fenômeno de retração. Os autores constataram que argamassas produzidas com resíduo de construção, demolição, calcário fino, micaxisto, saibro, argamassas mistas e partículas finas apresentam o valor da retração menor do que 0,6%. Comparado com o resultado encontrado por Fiorito (1994), tecnologicamente, os finos conseguem conceder a trabalhabilidade necessária, sem afetar muito o aspecto da retração. Portanto, tais resultados ajuda e também incentiva o uso de finos de RCD em argamassas de revestimento.

Tabela 11 - Resultado de retração encontrado em argamassas de revestimento com RCD, micaxito, saibro, areia natural e saibro.

Autores	Tipo de argamassa	Curva granulométrica (mm)	Tipo de retração	RETRAÇÃO	
				Medições (dias)	Valor
ANGELIM <i>et al.</i> (2003a)	Mista com 35 % de fino calcário	(< 0,075/4,8)	Secagem	4	0,019%
				7	0,023%
				84	0,094%
	Mista com 40 % e fino de granulito	(< 0,075/4,8)	Secagem	4	0,013%
				7	0,032%
				84	0,132%
	Mista com 40% de micaxisto	(< 0,075/4,8)	Secagem	4	0,005%
				7	0,034%
				84	0,123%
	Mista com 30% de fino de saibro	(< 0,075/4,8)	Secagem	4	0,034%
				7	0,069%
				84	0,134%
Mista com 40 % de fino de saibro	(< 0,075/4,8)	Secagem	4	0,043%	
			7	0,093%	
			84	0,182%	
ANGELIM <i>et al.</i>	Mista	Fina	Secagem	4	0,021%

(2003b)	Mista	Muito fina	Secagem	7	0,029%
				84	0,094%
				4	0,018%
				7	0,028%
Mista	Fina	Secagem	84	0,089%	
			4	0,016%	
			7	0,026%	
			84	0,080%	
Mista	Muito fina	Secagem	4	0,0170%	
			7	0,030%	
			84	0,0760%	
			14 dias	0,03-0,04%	
SILVA <i>et al.</i> (2008)	Areia e cimento	(0,063/2)	Secagem	28 dias	0,04%
	Areia e cimento	(0,063/2)	Secagem	14 e 28 dias	0,0350%
	Areia e cimento	(0,063/0,15)	Secagem	80 dias	0,0450%
SILVA <i>et al.</i> (2009)	Areia e cimento	(0,063/8)	Secagem	14 dias	0,035-
				28 dias	0,053%
				28 dias	0,055%
SILVA <i>et al.</i> (2010)	Areia e cimento	(0,063/4)	Secagem	28 dias	1,00 mm/m
				28 dias	2,50 mm/m
				200 dias	2,50 mm/m
JIMENEZ <i>et al.</i> (2013)	Areia e cimento	(0,063/4)	Secagem	28 dias	1,00 mm/m
				200 dias	2,50 mm/m

3 MATERIAIS E MÉTODOS

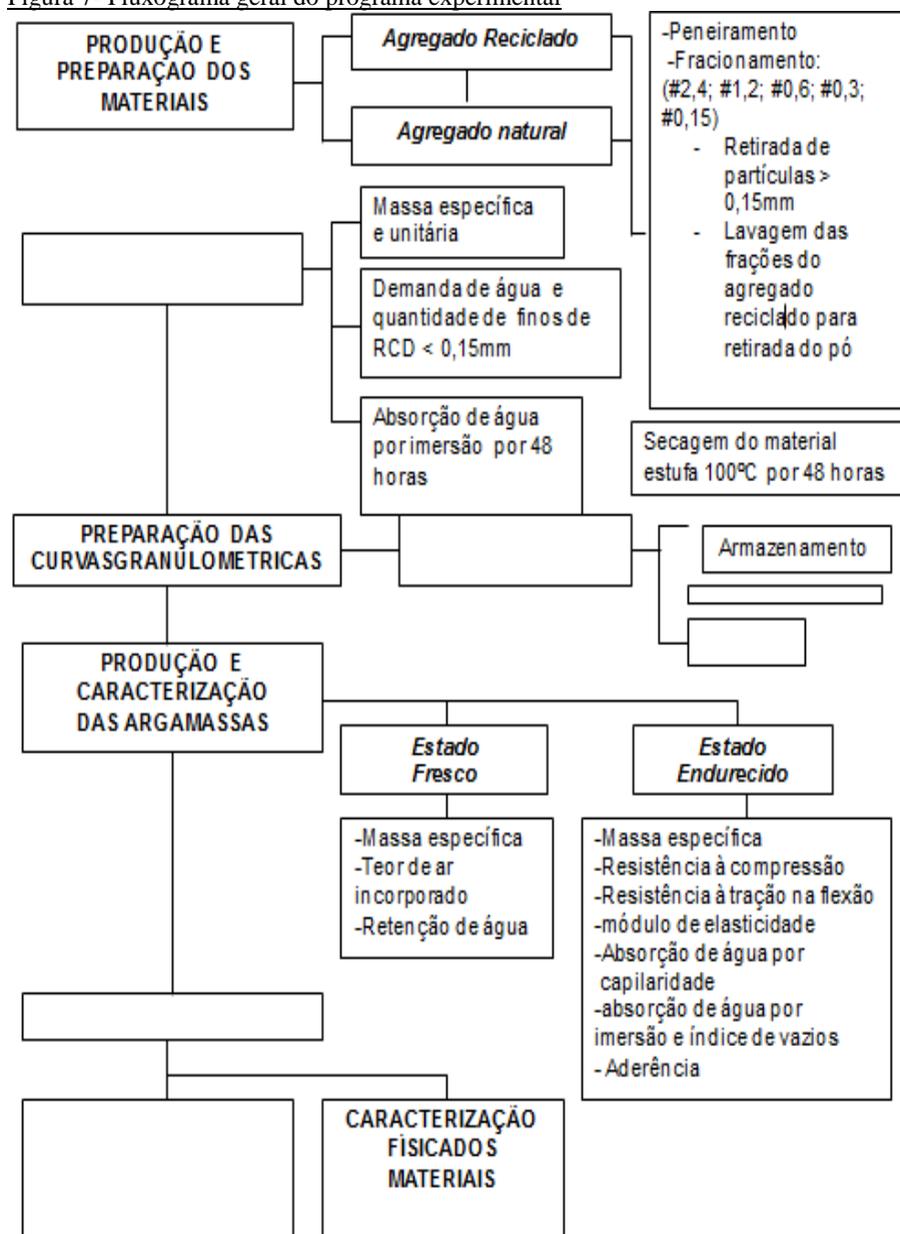
As etapas importantes desta pesquisa foram:

- Produção dos materiais (agregados miúdos de RCD e finos plastificantes);
- Caracterização física dos agregados;
- Preparação das curvas granulométricas (D/d) 2,4/0,15 mm, com a substituição parcial do agregado;
- Produção e caracterização das argamassas com a adição de finos: Avaliação no estado endurecido e no estado fresco;
- Estudo de retração:
 - Retração livre com 1, 7, 14, 28, 35 e 60 dias de idade;
 - Retração restringida para análise visual do aparecimento de fissuras;

Este trabalho foi desenvolvido utilizando a infraestrutura do Laboratório de Valorização de Resíduos (ValoRes), do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), do Laboratório de Aplicação de Nanotecnologia em Construção Civil (NANOTEC), do Laboratório de Solos, do Grupo de Pesquisa em Ensaios Não Destrutivos (GPEND).

A proposta metodológica desenvolvida neste trabalho apresenta-se detalhada em forma de fluxograma, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7- Fluxograma geral do programa experimental



3.1 MATERIAIS

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: fino de origem granítica para a argamassa de referência, agregado natural, agregado reciclado constituído por RCD (resíduo de construção e demolição), fino de RCD para as argamassas do estudo, aditivos do tipo hiperplastificante, retentor de água (methocel), água e cimento Portland CP II- F/classe 32.

3.1.1 Água

A água foi fornecida pela rede pública de abastecimento local (CASAN, SC).

3.1.2 Agregados

O agregado natural utilizado neste estudo é proveniente de leito de rio. O agregado reciclado foi cedido pela empresa URBEM Tecnologia Ambiental, situada na cidade de São Bernardo do Campo, Estado de São Paulo. Essa matéria-prima passou por moagem antes de ser utilizada, pois o tamanho do agregado, disponibilizado pelo ValoRes, estava acima de 2,4 mm.

A escolha do agregado reciclado produzido em São Paulo ocorreu devido à inexistência de empresa beneficiadora de RCD, com licença ambiental, próxima a Florianópolis. Além disso, outros trabalhos do grupo ValoRes utilizam o RCD da empresa URBEM, em seus trabalhos.

3.1.3 Finos plastificantes

Os finos plastificantes foram adquiridos através do peneiramento do agregado reciclado e da lavagem utilizando a peneira #0,15 mm. Já os finos plastificantes, de origem granítica, foram adquiridos também através do peneiramento da areia de britagem usando a peneira #0,15 mm. Esse material foi cedido pela empresa Pedrita, situada em Florianópolis, Estado de Santa Catarina.

3.1.4 Aditivos

Os aditivos usados nos estudos foram fornecidos pelo Laboratório ValoRes. Para a retenção de água, foi utilizado aditivo

Methocel e, para a trabalhabilidade, o aditivo Tecflow 7000. As características de cada aditivo são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12- Características dos aditivos usados na pesquisa

Aditivo	Forma de incorporação na argamassa	Base Química
Methocel	Massa total de material seco	Metilcelulose e hidroxipropilmetilcelulose
Tecflow 7000	Somatório da massa de cimento e finos	Policarboxilatos

3.1.5 Cimento

O cimento utilizado para confeccionar as argamassas foi o cimento Portland composto CP II-F/classe 32, pois na sua composição está presente o *filler* calcário, tornado-o ausente de adições, como pozolanas e escórias.

Na tabela 13, estão as propriedades químicas do CP II-F/classe 32 apresentadas pela Itambé, fabricante do cimento.

Tabela 13- Composição química e física do cimento utilizado no estudo

Ensaio Químico	Unidade	Mínimo	Máximo	Média
Al ₂ O ₃	%	4,15	4,51	4,32
SiO ₃	%	18,11	18,85	18,54
Fe ₂ O ₃	%	2,48	2,64	2,59
CaO	%	59,55	61,44	60,62
MgO	%	4,58	5,49	4,99
SO ₃	%	2,73	2,9	2,83
CaO livre	%	0,56	1,15	0,76
Ensaio Físico	Unidade	Mínimo	Máximo	Média
Expansão a quente	mm	0,26	0,50	0,23
Início de pega	min	03:20	03:40	03:30

Fim de pega		min	04:00	04:15	04:05
Água e consistência normal		%	25,7	26,5	26,2
Blaine		cm ² /g	3.050	3.210	3.135
Peneira 200		%	2,7	4,10	3,35
Peneira 325		%	11,30	15,50	13,91
Resistência	1 dia	MPa	12,4	14,9	13,6
	3 dias	MPa	26,4	29,4	27,7
	7 dias	MPa	32,5	35,3	34,3
	28 dias	MPa	41,3	42,5	42,0

Fonte: Itambé (setembro/2014)

3.2 MÉTODOS

Para determinar as características dos agregados e as propriedades das argamassas no estado fresco e estado endurecido, foram executados ensaios conforme as normas vigentes e alguns procedimentos especificados na Tabela 14.

Tabela 14- Lista de ensaios realizados na pesquisa

Caracterização	Ensaio	Métodos	Normas (procedimentos)
Caracterização do agregado	Montagem da curva granulométrica (D/d) 2,4/0,15mm	Peneiramento	NBR NM 248/2001
	Massa específica	Picnômetro	NBR NM 52/2009
	Massa unitária e volume de vazio	Recipiente cilíndrico com o volume conhecido	NBR NM 45/2006

	Retirada de Material pulverulento do agregado	Lavagem dos agregados	(JOICHEM2012)
	Ensaio da demanda de água em material granular	Mesa de consistência	(PERIUS, 2009)
	Absorção de água por imersão	Funil de buchner	(JOICHEM, 2012)
Propriedades no estado fresco	Massa específica e teor de ar incorporado no estado fresco	Molde cilíndrico	NBR 13278/2005
	Retenção de água	Funil de Büchner	NBR 13277/2005 e NBR 9290/1996
Propriedades no estado endurecido	Massa específica no estado endurecido	Molde prismático	NBR 13280/2005
	Resistência à compressão	Prensa	NBR 13279/2005
	Resistência à tração na flexão	Prensa	NBR 13279/2005
	Módulo de elasticidade dinâmico	Molde prismático	NBR 15630/2008
	Retração livre (secagem)	Molde prismático	NBR 15261/2006
	Retração restringida avaliação visual de	Substrato concreto	-

	fissuras		
	Absorção capilar e coeficiente de capilaridade	Molde cilíndrico	NBR 15259/2005
	Absorção de água por imersão e índice de vazios	72 horas totalmente imersas em água	NBR 9778/2005
	Aderência à tração	Molde prismático	NBR 15258/2005

3.3 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.3.1 Preparação do agregado reciclado

O agregado miúdo foi obtido a partir da britagem do RCD em britador tipo mandíbula, pertencente ao Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A britagem do RCD ocorreu com sucessivas repetições, a fim de se obter grãos menores que 4,8 mm.

Para separar as partículas menores que #4,8 mm, utilizou-se uma peneira de caixilho quadrada com malha de 4,8 mm, e o fundo com dimensões de 50x50x10 cm. Através de procedimento manual, o material era misturado e vibrado até que restassem apenas as partículas compatíveis à peneira em questão. Observou-se que quanto mais partículas eram despejadas maior era a facilidade de se obter partículas menores do que 4,8 mm. Por isso, as partículas retidas na peneira #4,8 mm eram novamente despejadas no britador, na maior quantidade possível, para que o atrito entre elas ajudasse no tritramento.

As partículas menores do que #4,8 mm foram, primeiramente, separadas utilizando as peneiras #2,4; #1,2; #0,6; #0,3; #0,15 mm e fundo, através de peneiramento mecânico, durante cinco minutos. Durante o procedimento, percebeu-se que a fração 0,3 não foi obtida com muito sucesso durante a britagem. Então, foi necessário que partículas de #2,4 mm fossem moídas em moinho de roda.

Após a etapa de moagem, a areia produzida foi lavada utilizando a peneira #0,15 mm, para obter as partículas menores do que esta peneira. As partículas menores do que 0,15 mm ficaram em processo de decantação até que se pudesse obter uma água límpida. O processo de remoção da água foi por gravidade, mas o lodo que ficou no fundo dos baldes foi retirado com conchas metálicas e colocado em bandejas.

Tanto as frações lavadas quanto as partículas menores que 0,15 mm foram colocadas em estufas com temperatura de $\pm (100-110) ^\circ\text{C}$, num período de 48 horas, até que apresentassem massa constante. Para ajudar na secagem do material, as partículas eram revolvidas, para que a secagem ocorresse de maneira homogênea.

3.3.2 Massa específica e massa unitária

O ensaio de massa específica no estado solto foi determinado com base na norma NBR NM 52 (ABNT, 2009). O agregado foi seco em estufa, por 24 horas, com temperatura de $(105\pm 5) ^\circ\text{C}$, utilizando um recipiente com capacidade mínima de 10 dm^3 . O agregado foi despejado de uma altura máxima de 5 cm, acima da borda do recipiente, até que a superfície fosse preenchida por completo e depois fosse rasada com ajuda de régua metálica, para que o conjunto pudesse ser pesado e a massa fosse obtida.

Para calcular a massa específica e a massa unitária foram utilizadas as equações 4 e 5.

$$Mu = \frac{m_{rc} - m_{rv}}{V}$$

Onde:

Mu: massa unitária (kg/m^3)

mrc: massa recipiente cheio (kg)

mrv: massa recipiente vazio (kg)

V: volume do recipiente (m^3)

$$Ev = \frac{100 [(d_1 x \rho_w) - Mu]}{d_1 x \rho_w}$$

Onde:

Ev: índice de volume de vazios nos agregados (%)

d1: massa específica do agregado seco de RCD e areia natural (kg/dm^3)

ρ_w : massa específica da água (kg/m^3)

μ : massa unitária média do agregado (kg/m^3)

3.3.3 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção por imersão foi realizado em cada fração estudada. Foram colocados 500 gramas de agregado reciclado dentro de um recipiente plástico fechado e imerso em água, durante 24 e 48 horas (figura 8). Passado o tempo determinado, retirou-se o excesso de água, através de sucção exercida pela bomba a vácuo, até que o agregado ficasse com a superfície seca. Nesse procedimento, foi utilizado papel filtro e o funil de Buchner, de maneira similar ao procedimento realizado para o ensaio retenção de água. A sucção da água ocorreu até não haver mais água entre o agregado (figura 9).

Para calcular a absorção de água foi utilizada a equação 6.

$$Abs = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

Abs: absorção de água por imersão (%)

m_s : massa seca em (g)

m_h : massa úmida (g)

Figura 8- Agregado submerso em água



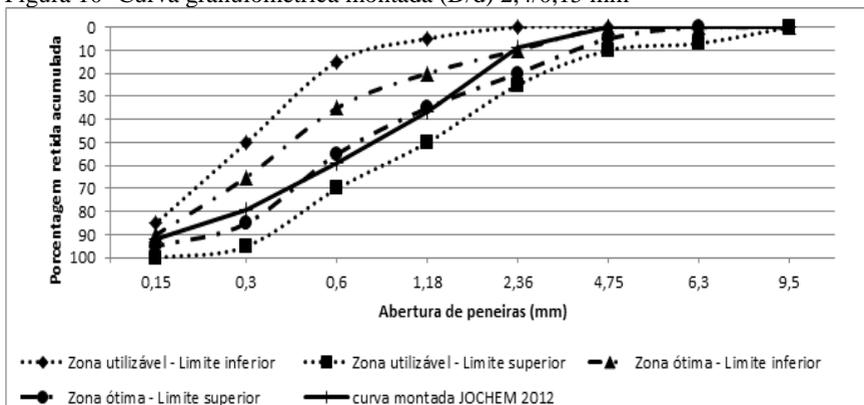
Figura 9- Sucção do excesso de água no agregado



3.3.4 Montagem das curvas granulométricas

Este estudo teve como proposta a montagem de curvas granulométricas, utilizando o agregado natural e o agregado reciclado, de acordo com cada porcentagem retida em peneira, correspondente à curva (D/d) 2,4/0,15 mm (Tabela 15 e Figura 10). A montagem das curvas teve como base o estudo desenvolvido por Jochem (2012).

Figura 10- Curva granulométrica montada (D/d) 2,4/0,15 mm



Fonte: Adaptado de Jochem (2012)

Tabela 15- Curva granulométrica utilizada no estudo

Denominação de cada fração	Frações substituídas (mm)	Porcentagem retida em cada peneira (%)	
f1	2,4	9	
f2	1,2	28	
f3	0,6	22	
f4	0,3	20	
f5	0,15	13	
f6		(D/d) 2,4/0,15	100

Fonte: Adaptado de Jochem (2012)

Em cada curva houve a substituição de uma fração de agregado natural por agregado reciclado. Foi montada uma curva composta apenas de agregado natural (REF), cinco curvas com substituições e uma curva com 100% de agregado reciclado (D/d 2,4/0,15). Cada fração foi denominada por f1, f2, f3, f4, f5, f6, como apresentado na Tabela 15.

Nas Tabelas 16 e 17, pode-se observar o esquema de montagem nas curvas granulométricas utilizadas para a produção das argamassas que foram estudadas, com base na montagem das curvas granulométricas com o agregado natural substituído por agregado reciclado.

As curvas destinadas à produção das argamassas com o agregado seco foram denominadas de (S) e com o agregado previamente molhado (M), conforme a Tabela 15 e Tabela 16, respectivamente.

Para encontrar a quantidade correta de material utilizado em cada fração, foi utilizada a equação 7.

$$M_{AR} = M_{AN} \cdot \frac{\gamma_{AR}}{\gamma_{AN}}$$

Onde:

M_{AR} = Massa do agregado reciclado utilizado na confecção das argamassas

M_{AN} = Massa de agregado natural

γ_{AR} = Densidade do agregado reciclado

γ_{AN} = Densidade do agregado natural

A quantidade de agregado reciclado correspondente a cada fração foi encontrado após verificar a quantidade total utilizada em cada moldagem, e a substituição da fração foi realizada após, com base na porcentagem destinada a cada fração, na compensação de massa específica. No caso das curvas preparadas com a condição de pré-molhagem, utilizou-se também da taxa de absorção de água da fração, para tornar o agregado saturado na condição saturado superfície seca (SSS).

A saturação ocorreu em cada fração, durante um período de 48 horas, em recipiente plástico hermeticamente fechado, com o objetivo de evitar a evaporação da água. Após essa etapa, os agregados secos e saturados foram homogeneizados manualmente com o auxílio de uma recipiente plástico em que coubesse todo o material, grande o suficiente para que a homogeneização ocorresse.

Para encontrar a água de pré-molhagem da curva 2,4/0,15-M, foi necessário efetuar a média ponderada da absorção de água de cada fração estudada, como mostra a Tabela 18. Esse procedimento foi realizado para utilizar a umidade e obter a água de amassamento, com base no teor de umidade encontrado em cada fração.

A água necessária para saturar o agregado, até a condição SSS, foi determinada através da equação 8.

$$A_p = M_f \times Abs_f$$

Onde:

A_p : água de pré-molhagem (ml)

M_f : massa do agregado reciclado previsto na fração substituída (g)

Abs_i: Absorção de água do agregado reciclado prevista para a fração substituída (%)

Tabela 18- Esquema para encontrar a quantidade de água da curva 2,4/0,15-M

Quantidade de frações utilizadas no ensaio	Frações substituídas (mm)	Absorção média correspondente a cada Fração (%)	Quantidade de água (ml)
1	2,4	Abs# _{2,4}	Agua# _{2,4}
2	1,2	Abs# _{1,2}	Agua# _{1,2}
3	0,6	Abs# _{0,6}	Agua# _{0,6}
4	0,3	Abs# _{0,3}	Agua# _{0,3}
5	0,15	Abs# _{0,15}	Agua# _{0,15}
6	(D/d) 2,4/0,15	<i>Média ponderada das absorções anteriores</i>	<i>Média ponderada das águas anteriores</i>

Para calcular essa água de pré-molhagem da curva 2,4/0,15-M, foi utilizada a equação 9.

$$A_{pp} = \frac{(1xAbs_{\#2,4}) + (2xAbs_{\#1,2}) + (3xAbs_{\#0,6}) + (4xAbs_{\#0,3}) + (5xAbs_{\#0,15})}{1 + 2 + 3 + 4 + 5}$$

Onde:

Números 1, 2, 3, 4 e 5: correspondem à sequência das frações estudadas

App: água de pré-molhagem ponderada (ml)

Abs#_{2,4}: Absorção de água do agregado reciclado relativo à fração 2,4 mm (%)

Abs#_{1,2}: Absorção de água do agregado reciclado relativo à fração 1,2 mm (%)

Abs#_{0,6}: Absorção de água do agregado reciclado relativo à fração 0,6 mm (%)

Abs#_{0,3}: Absorção de água do agregado reciclado relativo à fração 0,3 mm (%)

Abs#_{0,15}: Absorção de água do agregado reciclado relativo à fração 0,15 mm (%)

3.3.5 Ensaio de demanda de água e porcentagem de finos na curva granulométrica

Este ensaio tem como objetivo verificar a demanda de água na curva montada, com a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, e a quantidade de finos plastificantes de RCD necessária para atingir o espalhamento de $(28,0 \pm 2)$ cm na mesa de consistência.

Foram utilizados 500 gramas de agregado utilizando as curvas granulométricas e a substituição de cada fração, finos com partículas $<0,15$ mm e 130 gramas de água potável. O ensaio ocorreu através da mistura dos materiais na argamassadeira, em velocidade baixa, por 30 segundos. Após a primeira mistura, o equipamento foi desligado, por um período de 30 segundos, para que houvesse a homogeneização dos materiais. Depois, para finalizar, a argamassadeira foi ligada pelotempo de um minuto.

Em seguida, o agregado umedecido era colocado sobre a mesa de abatimento (*flow table*), dentro do molde de formato tronco-cônico com diâmetro superior de 80 mm, diâmetro inferior de 125 mm e altura de 65 mm, sendo adensado em três camadas, com 15, 10 e 5 golpes, respectivamente. Ao desmoldar o material, foram aplicados 30 golpes na mesa de abatimento, sendo um golpe por segundo.

Após verificar o espalhamento em função apenas da curva e da quantidade de água, foram preparadas misturas para averiguar a quantidade de finos plastificantes necessária para lubrificar o agregado, bem como evitar exsudação e proporcionar o espalhamento desejado. Foram tomadas duas medidas ortogonais com o auxílio de trena métrica calibrada (Figura 11). Se o espalhamento não atingisse o valor de $(28,0 \pm 2)$ cm, uma nova mistura teria que ser refeita.

Figura 11- Avaliação do espalhamento e demanda de água



Vale ressaltar que o ensaio de demanda de água e porcentagem de finos, na curva granulométrica, também foi utilizado para encontrar o índice de consistência das argamassas, deste estudo.

3.4 Caracterização do substrato

O substrato foi caracterizado com base no ensaio de Absorção de Água Inicial - AAI - (IRA, segundo a ASTM C 67, 1991), prescrito pela norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Foram utilizados três blocos de concreto seco em estufa, por 24 horas, na temperatura e, após esse procedimento, os blocos foram retirados e resfriados naturalmente até a possibilidade de manuseio.

Depois disso, os blocos foram pesados para a obtenção da massa, e suas faces laterais foram colocadas sobre uma lâmina de água de 3,2 mm, durante um minuto, para determinar o acréscimo de água. Ressalta-se que esse procedimento é destinado a blocos cerâmicos e não faz referência sobre qual face deverá estar em contato com a água.

Para determinar a Absorção da Água Inicial, utiliza-se a equação 10.

$$IAA = \frac{m_u - m_s}{A} \times 194$$

Onde:

IAA: taxa inicial de absorção de água livre

m_u : massa úmida em (g)

m_s : massa seca em (g)

A: área do bloco em contato com a lâmina de água (cm³)

3.5 PREPARO DAS ARGAMASSAS

A preparação das argamassas teve início depois da caracterização do agregado e da identificação da porcentagem de finos plastificantes, bem como a quantidade de água e agregado necessários para obtenção de uma consistência adequada.

Primeiramente, foi considerado o traço em massa de 1:1:5,26:1,32 (cimento:fino:areia:água), utilizando 19% de finos plastificantes. Contudo, ao realizar o ensaio de retenção para avaliar a consistência, após perda de água por sucção, verificou-se que o fino granítico não auxiliava na retenção de água da argamassa de referência,

apresentando grande exsudação após a mistura e grande perda de água com a sucção. As argamassas do estudo, apesar de apresentarem boa consistência, também perdiam muita água durante o ensaio de retenção.

Com base na literatura, verificou-se a necessidade de retenção de água da argamassa, pois, se esta característica dos finos não acontecesse no material, o ensaio de retração seria prejudicado. Tendo em vista tais fatores, o traço foi modificado para 1:1:5:1,25 (cimento:fino:areia:água), considerando 20% de finos. Nessa etapa, foi observado que a argamassa de referência ainda apresentava exsudação e as argamassas do estudo haviam diminuído a consistência, devido à menor quantidade de água.

Dessa forma, para que os traços utilizados na referência e as argamassas estudadas permanecessem com a mesma proporção de finos e quantidade de água, foi utilizado aditivo retentor de água na argamassa de referência e aditivo plastificante e retentor de água nas argamassas do estudo. Assim, o sistema (materiais secos + água) estaria equalizado. Depois de avaliar os aspectos de exsudação e consistência, foi concluído que as argamassas poderiam ser preparadas e moldadas para seus respectivos testes.

Deve-se salientar que o valor adotado para a consistência das argamassas, nessa nova etapa, foi de 25 cm de espalhamento, tanto para as argamassas, utilizando o agregado previamente molhado, quanto para o agregado seco.

Na Tabela 19, estão apresentados os seguintes itens: o tipo de argamassa confeccionada, a nomenclatura recebida, o traço e a dosagem de aditivo utilizado no estudo.

Tabela 19- Resumo da etapa de preparação das argamassas

Tipo Sem agregado pré-molhado	Com pré-molhagem	Sem pré-molhagem
Nomenclatura	(M)	(S)
Traço (massa)	1:1:5:1,25 (cimento:fino:areia:água)	
Dosagem do Aditivo hiperplastificante	0,8% da massa total de fino mais cimento	
Dosagem do Aditivo retentor de água	0,05% da massa total de materiais secos (cimento, fino e agregado)	
Finos plastificantes	20% (RCD e pós de pedra)	
Espalhamento da argamassa	25cm	

3.6 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

3.6.1 Massa específica no estado fresco

O ensaio de massa específica foi realizado com base na norma NBR 13278 (ABNT, 2005). Foi utilizado um recipiente de 400 cm³ calibrado, sendo a argamassa introduzida suavemente com colher ou concha, formando três camadas de alturas aproximadamente iguais. Para que cada camada ficasse acomodada, foram realizados 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa, com o uso de espátula, utilizando somente a força necessária para penetrar na superfície da camada imediatamente inferior. Após essa etapa, efetuaram-se três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, para que, ao final, para nivelar a superfície da argamassa dentro do recipiente. O recipiente foi rasado com a espátula e pesado.

A massa específica é calculada pela equação 11.

$$d = \left(\frac{Mc - Mv}{Vr} 1000 \right) \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

d= densidade no estado fresco (Kg/m³)

mc = massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio (g)

mv= massa do recipiente cilíndrico vazio (g)

vr = volume do recipiente cilíndrico (cm³)

Para calcular o teor de ar incorporado, utiliza-se a equação 12.

$$A = \frac{1 - d}{dt} 100 \quad \text{Eq.5}$$

Onde:

A: teor de ar incorporado (%)

d = valor da densidade de massa da argamassa (g/cm³)

dt = densidade teórica da argamassa (g/cm³)

o cálculo de **dt** é feito pela equação 13.

$$dt = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}}$$

Eq.6

onde:

m_i = é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa de água

γ_i = é a massa específica de cada componente da argamassa

3.6.2 Retenção de água

O ensaio de retenção de água foi realizado com base nas normas NBR 13277 (ABNT, 2005) e NBR 9290 (ABNT, 1996), ocorrendo em duas etapas. Na primeira etapa houve a preparação do prato, garantindo sua estanqueidade, através do umedecimento do papel-filtro, sendo este posicionado no fundo do prato e colocado sobre o funil de Buchner. Em seguida, acionou-se a bomba com a torneira fechada, com pressão de 51 mm de mercúrio, abrindo-a durante 90 segundos para a retirada do excesso de água do papel filtro, fechando-a em seguida. O conjunto papel-filtro úmido/funil foi pesado e reservado.

Na segunda etapa do ensaio, a argamassa foi adensada sobre o prato, com 37 golpes, sendo 16 golpes junto à borda e 21 golpes distribuídos na parte central. E o excesso de argamassa foi retirado com régua metálica, a fim de deixar a superfície plana, com o movimento do centro para a borda. Pesou-se o conjunto com a argamassa rasada na balança e, em seguida, submeteu-se a amostra à sucção correspondente a 51 mm de Hg durante um minuto. Após esse procedimento, o funil foi removido e o conjunto foi pesado.

Através da equação 14, foi calculada a retenção de água.

$$Ra = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] \times 100$$

Eq. 7

Com a equação 15, foi calculado o fator de água/argamassa fresca.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w}$$

Eq.8

Onde:

Ra = retenção de água (%)

m_a = massa do conjunto com argamassa em (g)

m_s = massa do conjunto após sucção em (g)

m_v = massa do conjunto vazio em (g)

AF= fator de água/argamassa fresca

m_w = massa total de água acrescentada à mistura (g)

m = é a massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros, no caso de argamassa de obra (g)

A retenção de consistência (NBR 9290/1996) foi calculada através da equação 16.

$$Ra = \frac{A - 125}{B - 125} \times 100$$

Eq.9

Onde:

Ra= Índice de consistência de retenção de água de cada determinação em %

A= Consistência após sucção no funil de Buchner modificado em mm

B= Consistência antes sucção no funil de Buchner modificado em mm

3.7 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

3.7.1 Massa específica no estado endurecido

O ensaio foi realizado com base na norma NBR 13280/2005, utilizando corpos de prova com dimensões de 4x4x16 cm, com a idade de 28 dias, os quais tiveram sua altura e largura medidas, com o auxílio de paquímetro, e foram pesados a fim de se obter massa.

Para calcular o volume dos corpos de prova foi utilizada a equação 17.

$$V = L \times C \times H$$

Eq.10

Onde:

V: volume do corpo de prova (cm³)

C: comprimento (cm)

H: altura (cm)
L: largura (cm)

A massa específica foi calculada através da equação 18.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} 1000$$

Eq. 11

Onde:
 $\gamma_{m\acute{a}x}$: densidade em (kg/cm³)
V: volume (cm³)
m: massa (g)

3.7.2 Resistência à compressão e tração na flexão

O ensaio de resistência à compressão e tração na flexão seguiu os requisitos da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para cada argamassa estudada, foram moldados três corpos de prova, em molde metálico. O molde foi preenchido com duas camadas uniformes, e cada camada sofreu 30 golpes. Após essa etapa, a argamassa foi rasada e coberta com o auxílio de uma placa de vidro. No período de 24 horas, após a moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em câmara úmida para a cura, no tempo de 28 dias, e dentro do tempo previsto foram ensaiados (Figura 12).

A resistência à compressão foi calculada através da equação 19.

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Eq. 12

Onde:
R_c = resistência à compressão em (MPa)
F_c = carga máxima aplicada (N)

A tração na flexão foi calculada através da equação 20.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3}$$

Eq. 13

Onde:

Rf = resistência à tração na flexão (MPa)

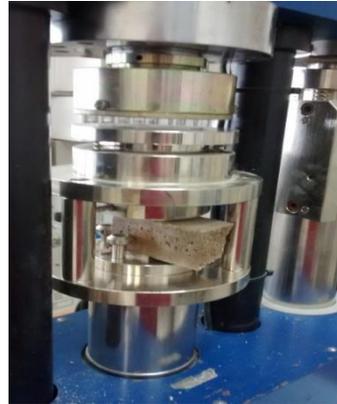
Ff = carga aplicada na vertical no centro do prisma (N)

L = distância entre suportes (mm)

Figura 12- Ensaio de tração na flexão (a) e de resistência à compressão (b)



(a)



(b)

3.7.3 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio de módulo de elasticidade dinâmico foi realizado com base na norma NBR 15630 (ABNT, 2008). Foram moldados três corpos de prova, desmoldados com 24 horas e colocados em câmara úmida para a cura. Após 28 dias, foram retirados e capeados com gesso de secagem rápida, com uma camada de aproximadamente 3 mm, para efetuar a regularização à superfície.

Após essa etapa, as faces das amostras foram colocadas em contato com os transdutores e submetidas a uma vibração de onda longitudinal, de frequência ultrassônica acima de 20 kHz, registrando três leituras em cada amostra (figura 13)

A velocidade de propagação da onda é calculada pela equação 21:

$$V = \frac{L}{t}$$

Eq. 14

Onde:

V: é a velocidade de propagação da onda ultrassônica expressa em (mm/μs)

L: é a distância ente os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo de prova expresso em (mm)

t: é o tempo registrado pelo mostrador digital, expresso em (μs)

O módulo de elasticidade dinâmico é calculado através da equação 22:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu}$$

Eq. 15

Onde:

Ed: é o módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

V: é a velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/μs)

ρ: é a densidade de massa aparente do corpo de prova (kg/m³)

μ: é o coeficiente de Poisson. O valor adotado foi de 0,20. De acordo com Carneiro (1999), em argamassas de revestimento, o coeficiente pode variar entre 0,10 a 0,20, sendo menor quando a capacidade de deformação da argamassa também for menor.

Figura 13- Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico



3.7.4 Retração por secagem e perda de água por evaporação

O ensaio de retração por secagem foi realizado com base na norma NBR 15261 (ABNT, 2005). As leituras foram realizadas com relógio comparador digital da marca Mitutoyo, com precisão de 0,001 mm. Foram moldados três corpos de prova e desmoldados após 48 horas de cura em sala climatizada, com temperatura entre (23 ± 2) °C e umidade relativa do ar de (60 ± 5) % (Figura 14).

No dia do desmolde, os corpos de prova foram medidos com o auxílio de um paquímetro, marcados com o símbolo de uma seta em uma única direção, para que todas as leituras fossem realizadas seguindo o mesmo padrão. Com isso, foi realizada a leitura inicial L_0 e foi feita a pesagem de massa M_0 . Após isso, foram feitas leituras de retração e pesagens de massa nas idades de 1, 7, 14, 28, 35 e 60 dias de idade.

Para calcular a retração, foi utilizada a equação 23.

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{d} \times 100$$

Eq. 16

Onde:

ε : deformação medida (mm/m)

L_0 : leitura inicial do comprimento do corpo de prova (mm)

L_i : leitura de comprimento do corpo de prova realizado na idade prevista (mm)

d = distância interna livre entre os pinos medido para cada corpo de prova (mm)

Para calcular a perda de água por evaporação, foi utilizada a equação 24.

$$\Delta M = \frac{M_i - M_0}{M_0} \times 100$$

Eq. 17

Onde:

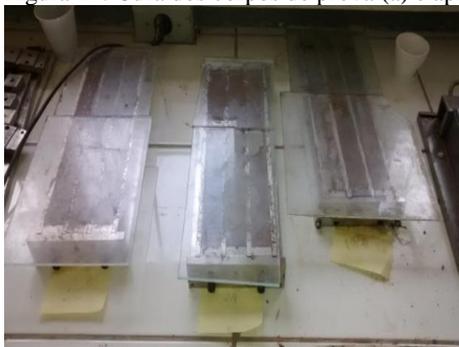
ΔM : variação de massa medida (g)

M_0 : massa inicial do corpo de prova (g)

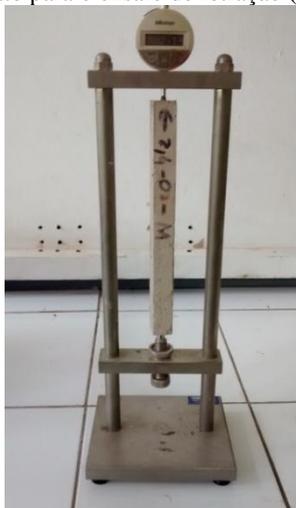
M_i : massa do corpo de prova medida na idade prevista (g)

d = distância interna livre entre os pinos, medido para cada corpo de prova (mm)

Figura 14: Cura dos corpos de prova (a) e aparato para o ensaio de retração (b)



(a)



(b)

3.7.5 Estudo de retração restringida para avaliar visualmente o aparecimento de fissuras

A análise do aparecimento de fissuras foi realizada com a moldagem das argamassas contendo 3 cm de espessura (Figura 15), preparadas com o agregado reciclado, na condição seca e pré-molhada, em substrato poroso criado a partir de blocos de concreto estrutural, com dimensões de 19 x 39 cm. A avaliação do aparecimento de fissuras foi realizado com a idade de 28 dias. O ensaio foi realizado em temperatura ambiente (30 ± 2) °C e a umidade relativa entre 60 a 70 %. O registro dos resultados ocorreu através de fotos e vídeo.

Figura 15- Moldagem das argamassas sobre substrato avaliação visual de fissuras



3.7.6 Absorção de água e coeficiente de capilaridade

O ensaio de capilaridade foi realizado com base na norma NBR 15259 (ABNT, 2005), utilizando três corpos de prova com dimensões de $\varnothing 5 \times 10$ cm. O ensaio foi realizado para medir a absorção capilar da água e o coeficiente de capilaridade. As amostras foram lixadas para aumentar a área de contato com a água. Em seguida, pesou-se a massa seca com uma balança de precisão. Depois, foram colocados num recipiente metálico, sobre uma tela metálica e uma lâmina de água de 5 mm. Após essa etapa, as amostras foram pesadas nos tempos de 5, 10, 60, 90 minutos (Figura 16).

A absorção de água foi calculada através da equação 25.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{A_p}$$

Eq. 18

Onde:

A_t : absorção de água por capilaridade (g/cm^2)

m_t : massa do corpo de prova no tempo previsto (g)

m_0 : massa seca do corpo de prova (g)

A_p : área da base do corpo de prova

O coeficiente de capilaridade foi calculado através da equação 26.

$$C = \frac{A_{90} - A_{10}}{\sqrt{t_{90}} - \sqrt{t_{10}}} \times 100$$

Eq. 19

Onde:

C: coeficiente de capilaridade em (g/dm². mim ^{1/2})

A10: absorção no tempo de 10 minutos (g/cm²)

A90: absorção no tempo de 900 minutos (g/cm²)

$\sqrt{t_{10}}$: raiz do tempo de 10 minutos (mim)

$\sqrt{t_{90}}$: raiz do tempo de 90 minutos (mim)

Figura 16- Ensaio de absorção por capilaridade



3.7.7 Absorção por imersão e índice de vazios

O ensaio de absorção por imersão foi realizado conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 2005). As amostras foram ensaiadas com 28 dias de idade. Primeiramente, os corpos de prova foram secos em estufa, com temperatura de (105±5) °C, por 72 horas. Após esse tempo, determinou-se a massa da amostra seca (ms). Depois foi realizada a saturação em água num período de 72 horas, em temperatura de (23±2) °C. Após a saturação, as amostras foram colocadas em ebulição durante cinco horas e depois de resfriadas. Com a ajuda de balança hidrostática, foi determinada a massa imersa (mi) e a massa saturada (ms) (Figura 17).

A absorção por imersão é calculada através da equação 27.

$$A = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100$$

Eq. 20

Onde:

A = absorção de água, expressa em %

m_{sat} = massa da amostra saturada após imersão e fervura

m_s = massa da amostra seca em estufa

Através da equação 29, calcula-se o índice de vazios:

$$I_v = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_{\text{sat}} - m_i}$$

Eq. 21

Onde:

m_i = massa da amostra imersa em água após fervura

Figura 17- Ensaio de absorção por imersão(a) e banho com temperatura de 100°C(b)



(a)



(b)

3.7.8 Aderência

O ensaio de aderência foi realizado com base na norma NBR 15258 (ABNT, 2005). As amostras foram preparadas utilizando blocos de concreto, limpos e secos, para receber a aplicação da argamassa. Com a ajuda de uma guia de madeira com espessura de 3 cm, o material foi aplicado, rasado, para que a superfície ficasse plana. A cura foi

realizada ao ar livre e, após 28 dias de idade, foram feitos seis cortes na argamassa, com profundidade de 1 mm dentro do substrato.

Cada corpo de prova foi aspirado e limpo com pano úmido para remover o pó sobre a superfície. Depois dessa etapa, foram coladas pastilhas metálicas, que secaram pelo período de 24 horas. O ensaio de aderência foi realizado acoplando o equipamento às pastilhas, aplicando uma força de tração de maneira perpendicular ao corpo de prova (Figura 18).

A tração a aderência foi calculada com a equação 30.

$$R = \frac{P}{A}$$

Eq. 22

Onde:

R: resistência potencial de aderência à tração (MPa)

P: carga de ruptura (N)

A: área do corpo de prova (mm²)

Figura 18- Ensaio de aderência



4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Massa específica, massa unitária e volume de vazios

Os resultados da massa específica, da massa unitária e o volume de vazios podem ser observados na Tabela 20.

Os valores da massa específica e da massa unitária do agregado reciclado, para todas as frações estudadas, são inferiores aos valores apresentados pelo agregado natural. Tais dados estão de acordo com os valores encontrados nos trabalhos de Pedrozo (2008) e Martínez *et al.* (2014).

Neste trabalho, a massa específica do agregado reciclado foi utilizada também para fazer a compensação de massa do agregado reciclado, que estaria substituindo uma fração de agregado natural em cada curva granulométrica estudada.

A simples substituição de material, em cada fração, poderia resultar numa quantidade maior de agregado e, por consequência, num volume diferente de material, devido ao agregado reciclado possuir a massa específica menor do que o agregado natural. Além disso, o uso de uma maior quantidade de agregado reciclado, presente nas curvas granulométricas estudadas, implicaria numa maior demanda de água e cimento (CARRIJO, 2005; CABRAL *et al.*, 2008).

Foi observado também que, em todas as frações estudadas e na curva total (2,4/0,15), o valor do volume de vazios dos agregados reciclados foi superior ao valor encontrado para o agregado natural. Verificou-se que os dados encontrados nesta pesquisa estão de acordo com os valores encontrados por Jochem (2012).

Tabela 20: Propriedades físicas das frações e dos agregados utilizados na pesquisa

Fração (mm)	Agregado Natural			Agregado Reciclado		
	γ	δ	Vazios	γ	δ	Vazios
#2,4	2,59	1,39	46,37	2,55	1,06	58,51
#1,2	2,59	1,36	47,62	2,56	1,04	59,38
#0,6	2,60	1,36	47,55	2,59	1,05	59,26
#0,3	2,61	1,35	48,02	2,46	1,06	56,74

#0,15	2,62	1,36	48,18	2,42	0,99	59,13
<0,15	-	-	-	2,58	1,05	58,55
(D/d) 2,4/0,15	2,61	1,36	47,77	2,58	1,04	59,60

γ = massa específica (g/cm³) δ = massa unitária (g/cm³) Vazios = volume de vazios (%)

4.1.2 Método de absorção de água por imersão

Os resultados do ensaio de absorção de água utilizando o funil de Buchner, apresentados na Tabela 21, mostraram que, para todas as frações estudadas, o agregado reciclado detém o maior valor de absorção de água em relação ao agregado natural. Tal resultado está relacionado a uma maior porosidade presente nos agregados reciclados.

Verifica-se que os valores de absorção de água encontrados estão de acordo Jochem (2012) e com a NBR 15116 (ABNT, 2004) apenas para as frações 2,4; 1,2 e 0,6 mm. As frações 0,3 e 0,15 mm apresentaram o valor de absorção superior a 17%, que é prescrito pela norma supracitada. Isso pode ter ocorrido por causa do tamanho da partícula, uma vez que quanto menor a partícula, maior será a água adsorvida entre os grãos. E mesmo a absorção de água tendo ocorrido através de sucção, constatou-se que esse método, para frações menores que 0,6 mm, não remove totalmente a água entre as partículas, impossibilitando a secagem total da superfície do agregado.

Tabela 21: Resultado da absorção por imersão

Tipo de agregado	Tempo de absorção (horas)	#2,4	#1,2	#0,6	#0,3	#0,15	(D/d) 2,4/0,15
Agregado reciclado	24	11,20	12,33	16,16	20,54	31,01	22,86
	48	12,12	13,73	17,91	25,19	33,16	22,56
Agregado natural	24	4,15	5,01	7,55	8,25	10,78	6,12
	48	4,56	6,45	8,77	9,42	12,89	8,25

4.1.3 Demanda de água e porcentagem de finos da curva granulométrica

Os resultados da demanda de água e da quantidade de finos na curva granulométrica estão apresentados na Tabela 22.

Verificou-se que, para todas as curvas granulométricas estudadas, a ausência de finos <0,15 mm implicou em exsudação e falta de lubrificação entre os grãos, resultando em baixo espalhamento na mesa de Flow. À medida que a quantidade de água inicial foi diminuída e os finos <0,15 mm foram acrescentados à curva granulométrica, o espalhamento aumentou e a exsudação diminuiu.

As curvas granulométricas, com substituição das frações 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15, conseguiram atingir o espalhamento entre 29,0 a 30,0 cm, quando a relação água/materiais secos foi de 0,21. Entretanto, apresentou variação de quantidade de finos entre 17% e 19%.

Para a curva granulométrica (D/d) 2,4/0,15 mm (100% de agregado reciclado), a relação água/materiais secos foi superior, mas a quantidade de finos encontrados para essa curva se manteve dentro da faixa encontrada para as outras curvas granulométricas. Essa alta demanda de água está associada ao maior potencial de absorção do agregado reciclado e dos finos provenientes de RCD.

Os valores de espalhamento das curvas granulométricas, que utilizaram a substituição por fração e a adição de fino plastificante de RCD, foram menores que os valores encontrados no estudo de Perius (2009), justamente pela grande quantidade de agregado natural presente em cada curva. Entretanto, a curva (D/d) 2,4/0,15 mm (100% de agregado reciclado) apresentou valores de relação água/matérias secas e espalhamento, de acordo com os valores encontrados pelo autor citado.

Tabela 22: Resultado demanda de água e da quantidade de finos na curva granulométrica

Frações (mm)	Número de tentativas por ensaio	Relação água/materiais secos	Finos (%)	D1	D2	Média	Exsudação
#2,4	1 ^a	0,26	0	22,1	24	23,05	sim
	2 ^a	0,22	0	20	20,1	20,05	sim
	3 ^a	0,20	0	16,8	17,1	16,95	sim
	4 ^a	0,21	12	25,2	25	25,1	não
	5 ^a	0,21	17	28,5	29,4	28,95	não
	6 ^a	0,21	19	29,5	29	29,25	não
#1,2	1 ^a	0,26	0	21,1	23,2	22,15	sim
	2 ^a	0,23	0	19,8	20,2	20	sim
	3 ^a	0,21	0	19,1	19,1	19,1	sim
	4 ^a	0,21	19	29,3	29,8	29,55	não
#0,6	1 ^a	0,24	0	20,4	21,6	21	sim
	2 ^a	0,21	0	18,3	17,8	18,05	sim
	3 ^a	0,21	17	26,4	27,7	27,05	não
	4 ^a	0,21	19	28,2	29,1	28,65	não
	5 ^a	0,21	19	30	30,5	30,25	não
#0,3	1 ^a	0,24	0	22	23,3	22,65	sim
	2 ^a	0,23	0	20	20,8	20,4	sim

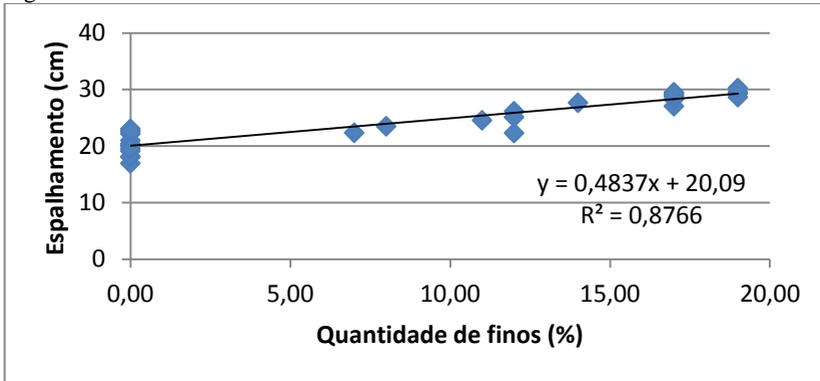
3 ^a	0,21	0	20	20,1	20,05	sim
4 ^a	0,21	17	29	29,8	29,4	não
1 ^a	0,24	0	23,6	21,6	22,6	sim
2 ^a	0,21	0	19,3	20,7	20	sim
3 ^a	0,19	0	18,3	18	18,15	sim
4 ^a	0,19	17	28,2	28,3	28,25	não
5 ^a	0,19	17	29	29,3	29,15	não
1 ^a	0,26	0	19,4	19,6	19,5	sim
2 ^a	0,24	7	21,9	22,8	22,35	sim
3 ^a	0,24	8	23,1	23,9	23,5	sim
4 ^a	0,23	11	25	24,1	24,55	sim
5 ^a	0,23	12	21,6	23	22,3	não
6 ^a	0,25	12	25,5	26,8	26,15	sim
7 ^a	0,25	14	27,3	28	27,65	não
8 ^a	0,24	17	28,5	29	28,75	não
9 ^a	0,25	17	29,6	29,4	29,5	não

#0,15

(D/d)
2,4/0,15

Na figura 19, pode-se observar a existência de correlação linear entre o diâmetro do espalhamento obtido com a quantidade de finos de RCD, utilizados para proporcionar a trabalhabilidade das argamassas. De acordo com Perius (2009), quanto maior a porcentagem de finos de RCD na argamassa, maior será a estabilidade da mistura e a redução da segregação do material, bem como, a presença de exsudação.

Figura 19- Correlação entre a quantidade de finos e o espalhamento da argamassa



4.1.4 Caracterização do substrato

O resultado de absorção de água inicial apresentou um valor considerado baixo para corpos de prova que utilizam a face lateral dos blocos de concreto (Tabela 23). Verifica-se que tal resultado está em conformidade com os estudos de Mustelier (2008), e não necessitaram de molhagem prévia para a aplicação do substrato.

Tabela 23: Resultado do ensaio de absorção de água inicial (AAI)

A1	A2	A3	AAI Médio (g/194 cm ² /mim)	Desvio padrão	CV (%)
6,92	7,11	7,39	7,14	0,23	0,03

4.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.2.1 Massa específica e incorporação de ar

Nas figuras 20 e 21 estão os valores de massa específica e teor de ar incorporado.

Observa-se que todas as argamassas confeccionadas, com e sem a condição de pré-molhagem, podem ser classificadas com densidade normal, com possibilidade de aplicação em locais convencionais, de acordo com Carasek (2007). De acordo com norma NBR 13281 (ABNT,2005), a densidade dessas argamassas, corresponde a classe D5 (1800 a 2200 Kg/m³), e observa-se que a classificação MERUC não cita a densidade das argamassas no estado fresco. Tais valores estão em conformidade com os estudos de Jimenez *et al.* (2013) e Jochem (2012).

Os maiores valores de ar incorporado, das argamassas #2,4-S e #1,2-S com agregado seco, podem estar relacionados ao preenchimento dos poros do agregado reciclado com ar (JUAN e GUTIÉRREZ, 2004), devido à presença de grande porosidade desse material, diferentemente do que ocorre com o agregado natural (KATZ, 2003; SCHULZ and HENDRICKS, 1992). Possivelmente, uma grande quantidade de bolhas pode ter sido eliminada pelos agregados e causado o aumento da massa específica dessas argamassas. As partículas menores (#0,6; # 0,3#; #0,15) podem não ter interferido tanto na massa específica e no teor de ar incorporado, devido à menor porosidade do agregado e, portanto, não gerando uma quantidade de bolhas para causar algum tipo de interferência.

Nas argamassas com agregado previamente molhado, o resultado do teor de ar incorporado foi menor, enquanto que a massa específica apresentou valores maiores, pois, nesse caso, a saturação prévia do agregado pode ter impedido a presença de ar dentro dos poros. Dessa maneira, pode ter causado o efeito contrário, expelindo água em vez de bolhas de ar (JUAN e GUTIÉRREZ, 2004).

Cabe ressaltar que a determinação da condição saturada superfície seca (SSS), pelos métodos que existem atualmente, como o picnômetro e pelo método gravimétrico não se mostra eficaz (KATZ, 2003; SOLYMAN, 2005), indicando a dificuldade de avaliar integralmente o preenchimento dos poros do agregado. No caso do método da pré-molhagem, verificou-se que houve efeito quando se usa uma pequena quantidade de agregado reciclado. Para as argamassas (D/d) 2,4/0,15- S e (D/d) 2,4/0,15- M (100% de agregado reciclado), o

método da pré-molhagem, através do alto resultado de teor de ar incorporado, mostrou a possibilidade de existir poros nos agregados ainda não preenchidos com água, após 48 horas de saturação.

Figura 20- Resultado comparativo de massa específica das argamassas confeccionadas sem e com pré-molhagem

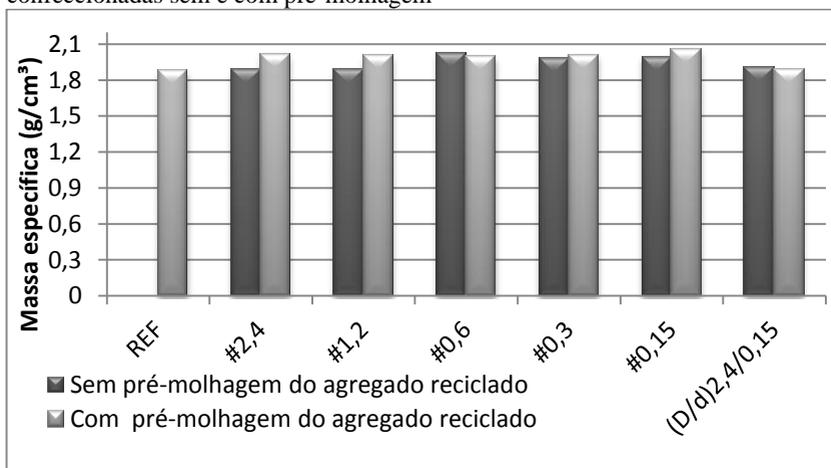
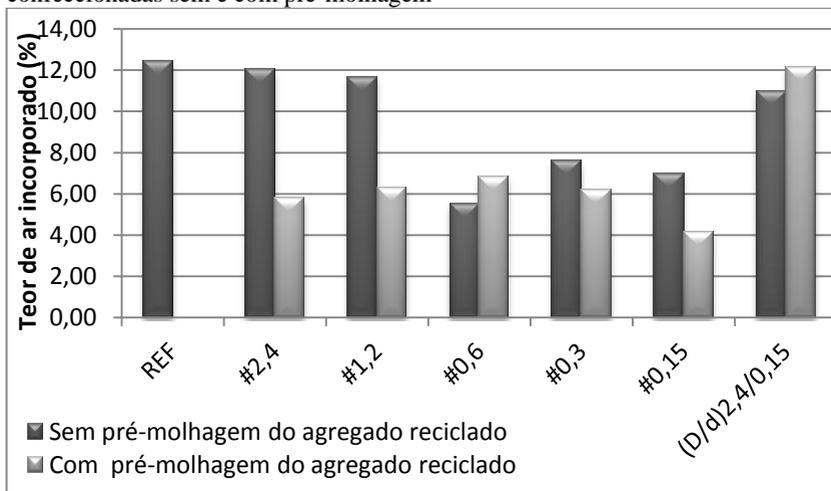
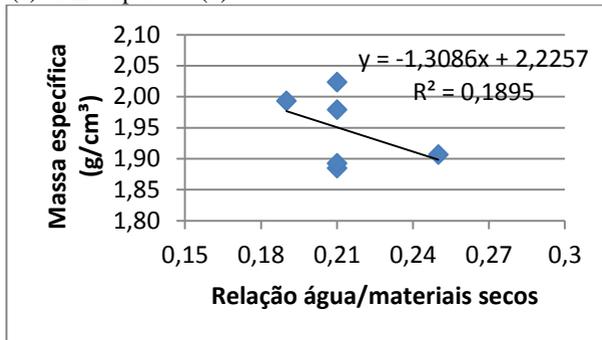


Figura 21: Resultado comparativo do teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas sem e com pré-molhagem

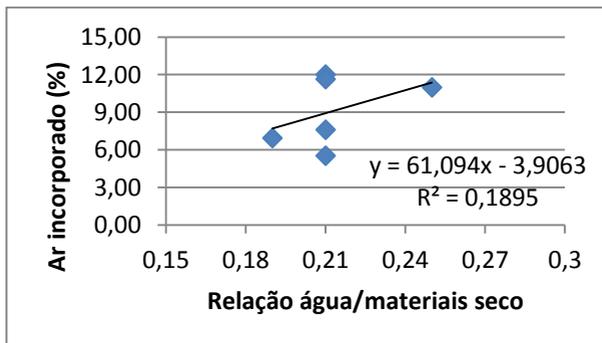


A análise das figuras 22 e 23 permite verificar as diferenças na correlação entre as propriedades (massa específica e/ ar incorporado) e a relação água/materiais secos para as condições de umidade do agregado (seco e/ molhado). A massa específica e o ar incorporado nas argamassas com agregado seco foram ajustadas através de uma reta, com um $R^2 = 0,1895$, enquanto que as argamassas preparadas com agregado molhado apresentou uma maior expressividade, onde o $R^2 = 0,9745$.

Figura 22- Correlação linear das argamassas com agregado seco: massa específica (a) ar incorporado (b)

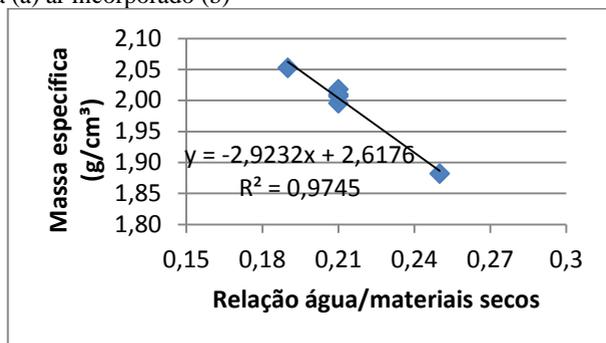


(a)

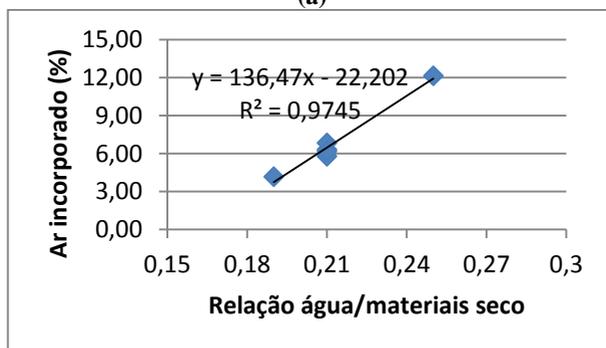


(b)

Figura 23- Correlação linear das argamassas com agregado molhado: massa específica (a) ar incorporado (b)



(a)



(b)

4.2.2 Retenção de água

Na Tabela 24, observam-se os valores do ensaio de retenção de água para as curvas granulométricas, sem o uso de pré-molhagem do agregado.

Durante o ensaio, observou-se que, antes da sucção, todas as curvas granulométricas tiveram como resultado o diâmetro médio de espalhamento entre 283 e 299,5 mm. Entretanto, após a sucção, o diâmetro do espalhamento reduziu-se consideravelmente para todas as curvas estudadas. Conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) e a classificação MERUC, o valor da retenção em todos os casos está adequado. Mas, ao analisar a retenção associada à consistência, utilizando o método prescrito pela norma NBR 9290 (ABNT, 1996),

verifica-se que o valor de retenção, para todas as curvas estudadas, está consideravelmente abaixo do que a norma de especificação recomenda.

Mesmo os agregados tendo influência na retenção de água da argamassa, por causa do formato do grão, dificultando a movimentação de água em seu interior, além da sua velocidade de transporte (DETRICHÉ, 1979), bem como o fato de existir uma grande porcentagem de agregado retido nas peneiras #1,2 mm; #0,6 mm; #0,3 mm, que aumenta o índice de retenção devido ao conseqüente aumento do consumo de cimento e finos plastificantes, como cal e outros (CARNEIRO, 1999), a condição ideal para uma argamassa, em relação à sua consistência e sua capacidade de retenção de água, estará relacionada diretamente com a conservação de água e o poder de umedecimento da superfície do agregado e dos finos plastificantes. Isso possibilita as reações de hidratação do cimento, além de ajudar com uma boa adesão entre a argamassa e os seus componentes (TRISTÃO e MACHADO, 2003). Portanto, o método de ensaio prescrito na norma NBR 13277 (ABNT, 2005) não possui sensibilidade suficiente para captar as diferenças de retenção de água ou no caso das argamassas de baixo consumo de aglomerantes, o agregado não influencia na retenção das argamassas (TRISTÃO e MACHADO, 2003).

Tendo em vista que os resultados obtidos no ensaio de retenção de água nas curvas granulométricas sem o uso de pré-molhagem não foram eficazes, avaliou-se a necessidade de utilizar um aditivo retentor de água nas argamassas, uma vez que foi constatada a perda de consistência das argamassas em função da incapacidade do fino reter água. As argamassas foram refeitas após essa avaliação, pois a retenção de água teria também a função de contribuir com a análise de retração por secagem, que está sendo estudada neste trabalho.

Tabela 24: Resultado da Retenção de água

Fração (mm)	Espalhamento antes da sucção			Espalhamento depois da sucção			RA (%) (NBR 13277/2005)	RA % (NBR 9290/1996) **
	D1	D2	Média	D1	D2	Média		
REF	285	291	288	168	175	171,5	90,75	28,53
2,4- S	280	286	283	176	170	173	90,67	30,38
1,2- S	299	299	299	198	204	201	89,11	43,68
0,6- S	293	300	296,5	177	179	178	90,14	30,90
0,3-S	289	304	296,5	168	164	166	89,36	23,91

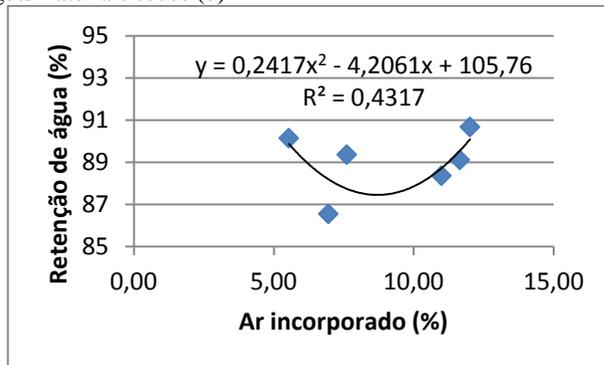
0,15-S	301	298	299,5	209	212	210,5	86,55	49,00
2,4/0,15-S	292	300	296	162	170	166	88,36	23,98

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

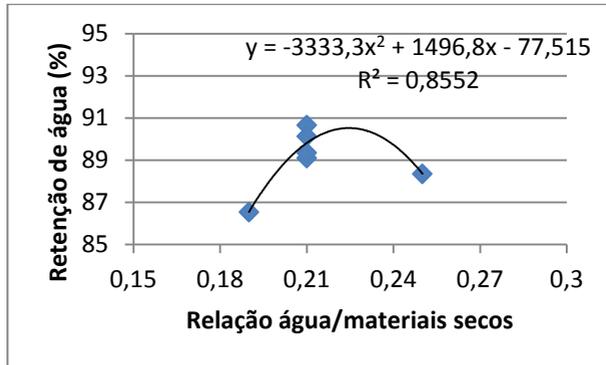
Nota: A norma NBR 9290/1996 possui a mesma forma de avaliar a retenção de consistência que a norma NBR 9287, e que foi substituída pela norma 13277/2005.

A análise das figuras 24 e 25 permite verificar que a maior expressividade na correlação da retenção de água, ocorre quando a retenção está correlacionada com a relação água/materiais secos. Nas argamassas analisadas com a norma NBR 13277 (ABNT, 2005) o $R^2 = 0,855$, enquanto que as argamassas analisada com base na NBR 9290 (ABNT, 1996) o $R = 0,62$. As correlações encontradas são polinomiais de segundo grau, e pode-se verificar que a maior expressividade no R^2 está presente no primeiro caso que foi citado.

Figura 24-Correlação polinomial da retenção de água nas argamassas com agregado seco com base na NBR 13277(ABNT, 2005): Ar incorporado (a); relação água/materiais secos (b)

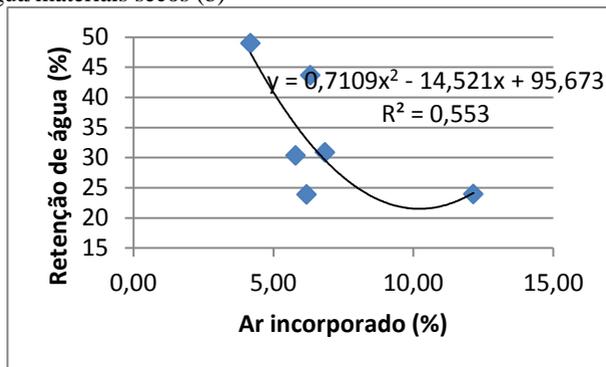


(a)

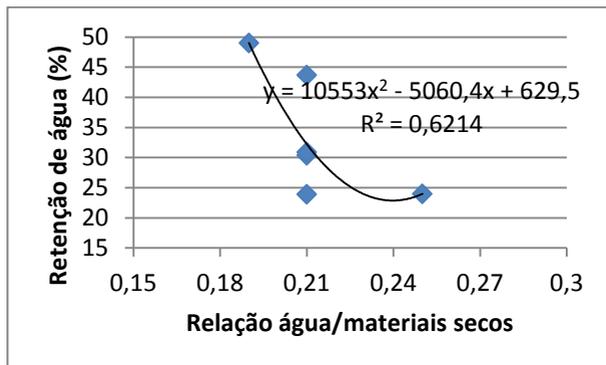


(b)

Figura 25- Correlação polinomial da retenção de água nas argamassas com agregado seco com base na NBR 9290 (ABNT, 1996): Ar incorporado (a); relação água/materiais secos (b)



(a)



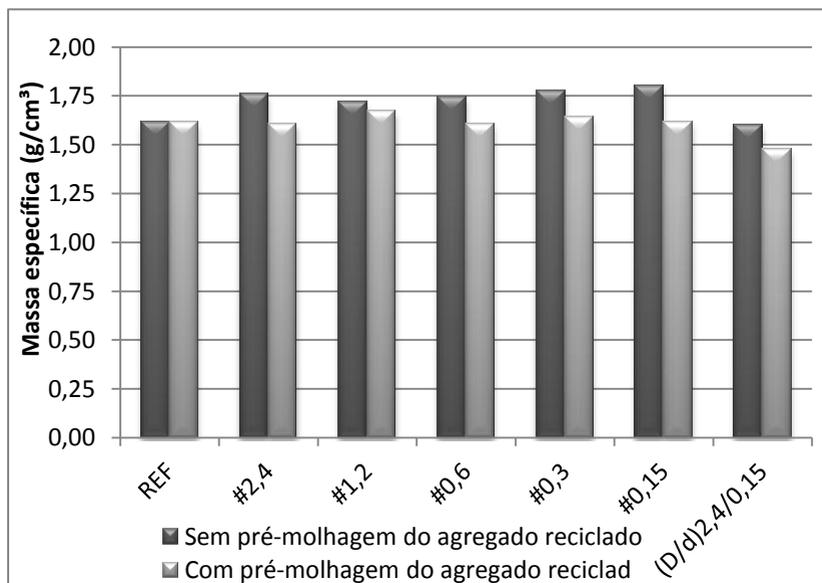
(b)

4.3 Caracterização das argamassas estado endurecido

4.3.1 Massa específica no estado endurecido

Os resultados de massa específica no estado endurecido das argamassas, com o uso do agregado seco e agregado previamente molhado, apresentaram valores próximos e estão em conformidade com classificação MERUC e a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) (Figura 26). Tais resultados podem ter ocorrido por que tanto as argamassas com agregado seco e o agregado previamente molhados tiveram suas curvas granulométricas preenchidas e, desta forma, os vazios existentes em ambas as curvas podem ter sido reduzidos (CARNEIRO, 1999). Entretanto, o uso do aditivo hiperplastificante e do retentor de água pode ter influenciado na massa específica, causando uma suave redução das argamassas com agregado molhado, uma vez que a argamassa teria um incremento de água liberada pelos poros do agregado, e microbolhas que poderiam ser formadas através do contato dos aditivos com a água (RIXON E MAILVAGANAM, 1999).

Figura 26: Resultado de massa específica no estado endurecido



4.3.2 Resistência à compressão e tração na flexão

Os resultados de resistência à compressão e tração na flexão estão apresentados nas Figuras 27 e 28.

Ao avaliar os resultados de resistência à compressão e de tração na flexão, verificou-se que as argamassas com o uso de agregado previamente molhado tiveram um melhor desempenho, do que as argamassas que utilizaram os agregados secos. Entretanto, os resultados de todas as argamassas do estudo apresentaram o valores superiores comparado à argamassa de referência.

Em relação a classificação de todas as argamassas estudadas constata-se com base na norma NBR 13281 (ABNT, 2005), que a resistência à compressão, está classificada como P5 (5,5 a 9,0 MPa) e a tração na flexão foi classificada como R1 ($\leq 1,5$ MPa). Conforme a classificação MERUC o resultado da resistência à compressão de todas as argamassas do estudo pode ser classificado como R6 ($> 3,5$ MPa). Os resultados comparativos de tração na flexão não podem ser realizados, devido a ausência de dados na classificação MERUC.

A quantidade de agregado reciclado substituído em cada fração estudada — 9% (#2,4); 28% (#1,2); 22% (#0,6); 20% (#0,3); 13% (#0,15) — pode não ter interferido na resistência de maneira significativa, pois o uso de até 40% de substituição de agregado reciclado pode contribuir para melhorar a resistência do material (TOPÇU e BILIR, 2010; OLIVEIRA, 2011; JIMÉNEZ *et al.*, 2013).

As argamassas com agregado pré-molhado que apresentaram ganho de resistência foram aquelas que tinham maiores quantidades de agregado substituído, no caso 28%, 22% e 20%. O ganho de resistência mecânica pode estar relacionado com a porosidade do agregado reciclado, uma vez que isso pode ter ocorrido por causa do armazenamento de água nos poros do agregado reciclado (SOLYMAN, 2005), que pode ter sido liberada na argamassa. Essa liberação de água, oriunda de agregados previamente molhados, poder ter promovido uma cura interna, que contribui para reduzir a autodessecação da argamassa, mantendo a hidratação do cimento e o aumento da formação de C-S-H (ASTM C1761C-13b; WEBER e REINHARDT, 1997, BENTZ e WEISS, 2011).

Figura 27: Resultado de resistência à compressão

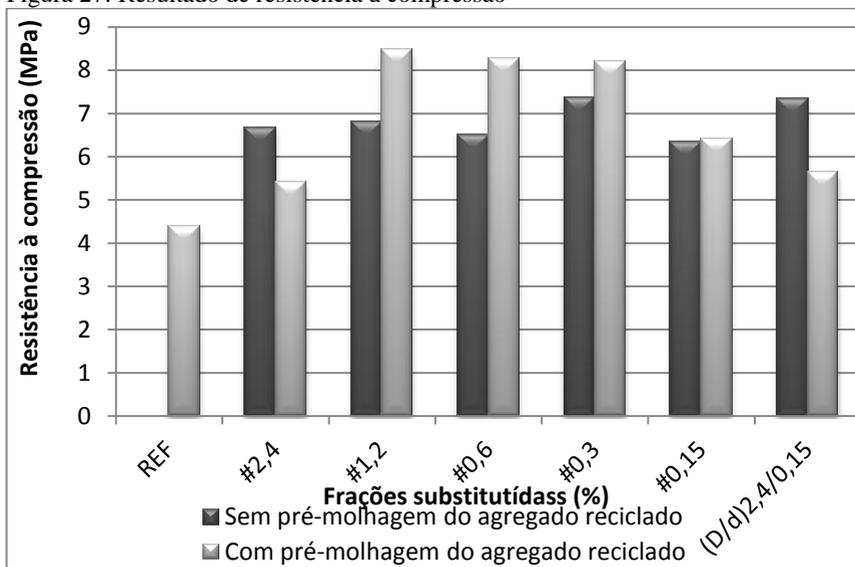
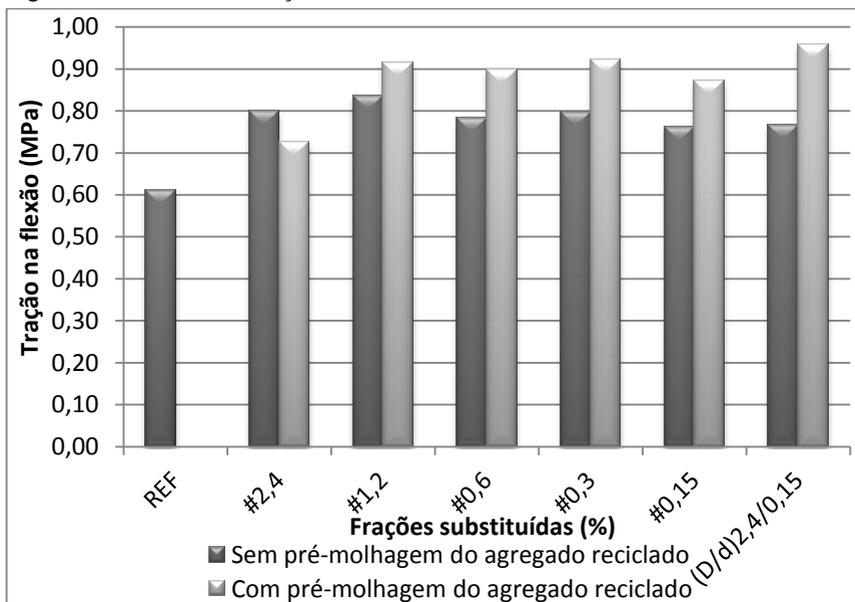
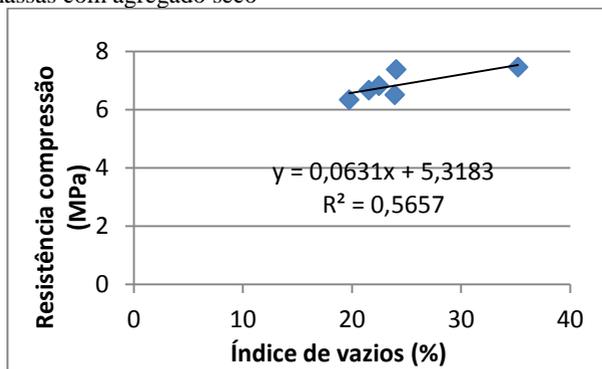


Figura 28: Resultado de tração na flexão

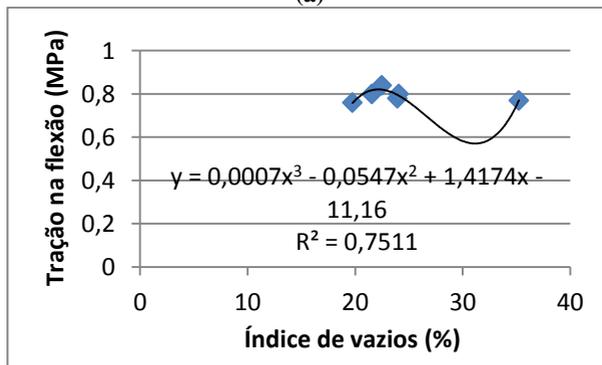


Nas argamassas produzidas com o agregado seco, verifica-se que a correlação da tração na flexão se ajusta melhor a uma linha polinomial de terceiro grau ($R^2 = 0,75$), enquanto que a resistência compressão consegue ter um ajuste medianamente expressivo com uma correlação linear (figura 29). Já as argamassas produzidas com agregado molhado, verifica-se pouca expressividade na correlação linear ($R^2 = 0,3045$) da resistência à compressão, enquanto que a tração na flexão apresenta forte expressividade, com a linha polinomial de terceiro grau ($R = 0,96$) (figura 30).

Figura 29- Correlação da resistência à compressão (a) e da tração na flexão (b) nas argamassas com agregado seco

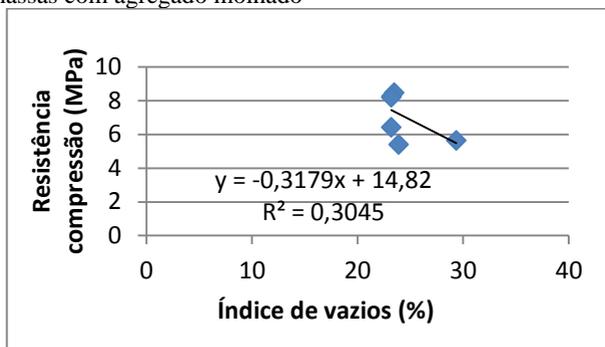


(a)

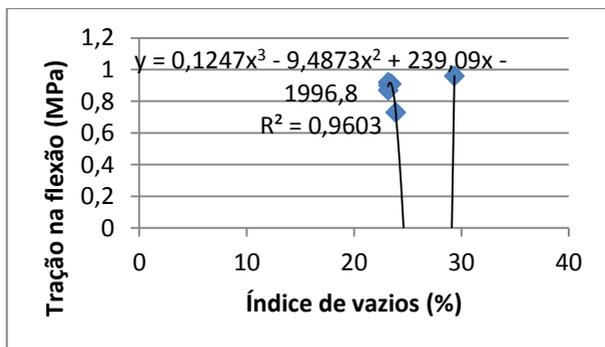


(b)

Figura 30- Correlação da resistência à compressão (a) e da tração na flexão (b) nas argamassas com agregado molhado



(a)



(b)

4.3.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Os valores do módulo de elasticidade das argamassas estudadas estão apresentados na Figura 31.

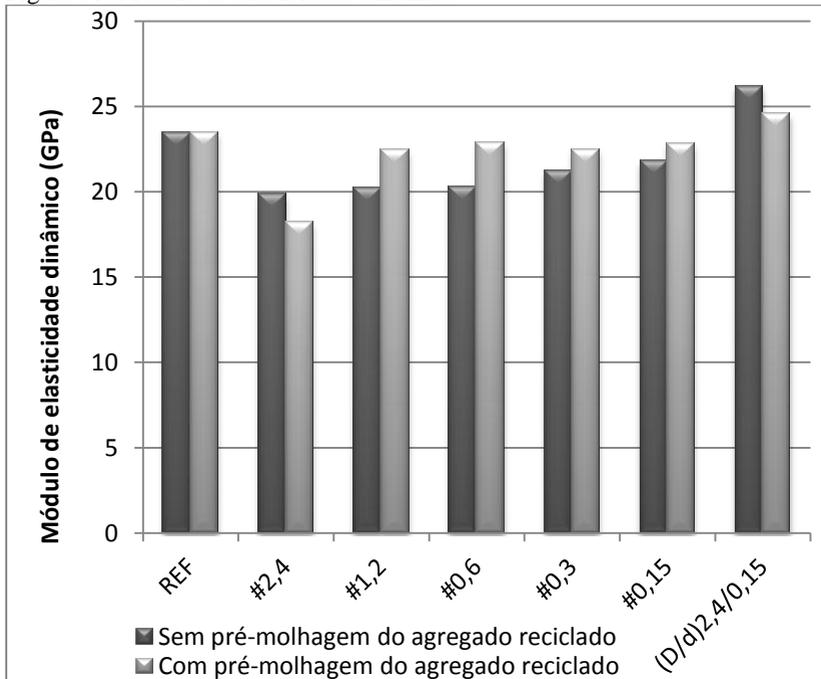
Os altos valores encontrados do módulo de elasticidade das argamassas estudadas corroboram com os resultados apresentados pela resistência à compressão encontrados nesse trabalho. De acordo com Neno (2010), o alto valor de módulo de elasticidade, apresentado por argamassas com agregado reciclado, deve-se ao aumento da densidade e redução da porosidade, devido ao efeito *filler* que ocorre com os finos presentes no agregado. No caso dessas argamassas estudadas, o agregado foi lavado, entretanto, para ajudar no preenchimento da curva granulométrica. Em princípio, na trabalhabilidade utilizaram-se finos de RCD na dimensão $<0,15$ mm, o que pode a redução da porosidade das

argamassas estudadas. Além disso, não se percebe uma redução da porosidade em relação a argamassa de referência.

Comparando os resultados dos estudos das argamassas com agregado seco e agregado previamente saturado, observou-se que o módulo de elasticidade foi superior quando as argamassas foram produzidas como agregado previamente molhado. Como existe uma relação da resistência à compressão e com o módulo de elasticidade (SILVA e CAMPITELI, 2008), os valores do módulo de elasticidade também foram influenciados pela cura interna, promovida pelo agregado pré-molhado (BENTZ e WEISS, 2010).

De acordo com a classificação MERUC os valores apresentados do módulo de elasticidade, para todas as argamassas estudadas, corresponde a classe E6 (16000 MPa ou 16GPa). A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) não possui informações sobre os requisitos de módulo de elasticidade, e por isso, não será possível a comparação entre os requisitos das normas citadas neste documento.

Figura 31: Módulo de elasticidade dinâmico

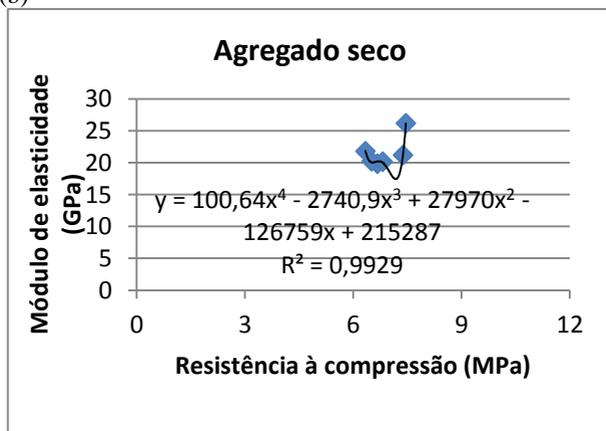


De acordo com Silva e Campiteli (2008) e Silva (2011), pode existir uma expressiva correlação exponencial entre as resistências à compressão e a tração na flexão e o módulo de elasticidade dinâmica. Já Oliveira ao analisar os resultados de resistência a compressão com argamassas produzidas com agregado reciclado, verificou que as correlações polinomiais de segundo grau, formavam equações que melhor ajustavam-se aos resultados obtidos em seus estudos.

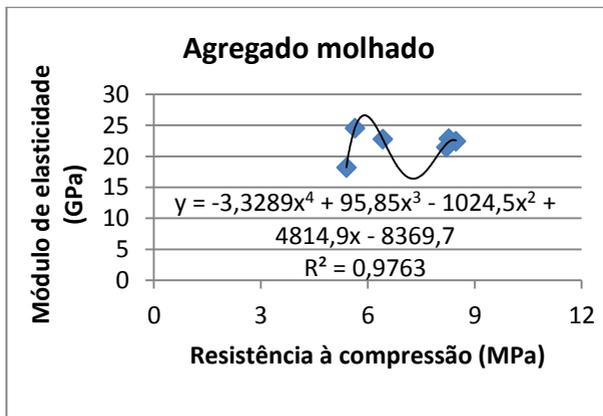
No presente trabalho verificou-se que o polinômio de quatro grau descreveu melhor a relação entre a resistência à compressão e a tração na flexão e o módulo de elasticidade dinâmico. E apresentou também um R^2 com grande significância, tanto nas argamassas produzidas com agregado seco e agregado molhado (figuras 32 e 33).

Segundo Shilstone (1988) *apud* Martins (2005) materiais cimentícios (argamassas e concreto) possuem características com grande heterogeneidade e portanto, quando apresentam um coeficiente e correlação acima 0,6 podem ser considerado significativo.

Figura 32- Correlação polinomial entre módulo de elasticidade e resistência à compressão: argamassa com agregado seco (a) argamassa com agregado molhado (b)

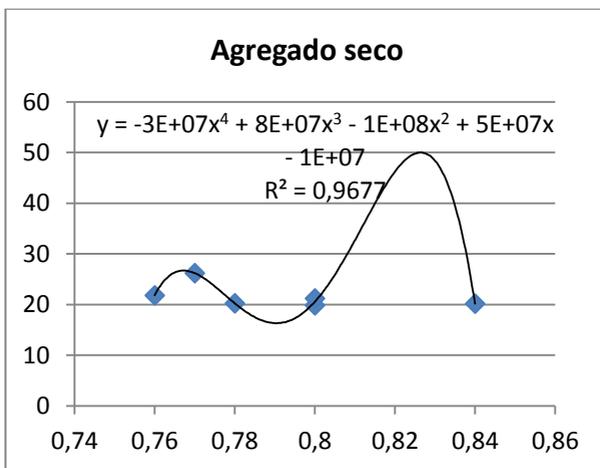


(a)

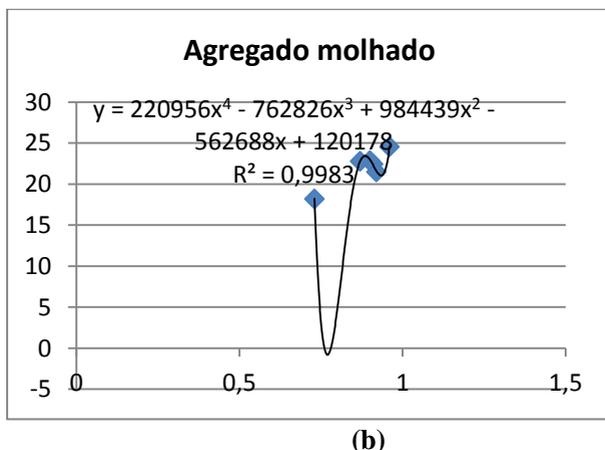


(b)

Figura 33- Correlação polinomial do módulo de elasticidade tração na flexão: argamassa com agregado seco (a) argamassa com agregado molhado (b) Retração



(a)



4.3.4 Retração

Os resultados dos ensaios de retração são apresentados em forma de gráfico, para facilitar a interpretação dos dados obtidos. Para isso, foram elaborados gráficos que mostram apenas os resultados das argamassas com e sem pré-molhagem. Nesses gráficos, pode-se verificar o comportamento das argamassas confeccionadas, com e sem pré-molhagem, bem como a comparação entre a condição de preparo do agregado reciclado, com a substituição da fração e a curva (D/d) 2,4/0,15 mm (100% de agregado reciclado), que é utilizada nesta pesquisa.

O código para identificar as argamassas com agregado sem pré-molhagem é a letra maiúscula **S**, e para as argamassas com pré-molhagem é a letra maiúscula **M**. As frações pertencentes à curva total são: #2,4; #1,2; #0,6; #0,3; #0,15.

Ao analisar os resultados de retração apresentados nas figuras 25 e 26, verifica-se que todas as argamassas estudadas estão em conformidade com os estudos de Fiorito (1994), Miranda e Selmo (2006), Bektas *et al.* (2009), Braga (2010), Jimenez *et al.* (2013).

Pode-se verificar que os finos de RCD utilizados para preencher os espaços vazios, nas curvas granulométricas e também para ajudar na trabalhabilidade das argamassas, não contribuíram com a retração, o que já era esperado, pois, para que ocorressem altos valores de retração, a quantidade de finos adicionados teria que ser igual ou superior a 25% (MIRANDA E SELMO). Nesse caso, o valor usado foi de 20%. Ao comparar os valores de retração das argamassas com agregado reciclado

e finos de RDC, com os valores que ocorrem em argamassas mistas, constata-se que os resultados obtidos foram menores ou iguais a 0,6 mm/m (FIORITO, 1994). Portanto, aceitáveis, indicando equivalência de qualidade.

Ao observar os resultados presentes nas figuras 34 e 35, verificou-se que as argamassas 2,4-M; 0,6-M; 0,3-M e (D/d) 2,4/0,15-M, confeccionadas com agregados pré-saturados, apresentaram altos valores de retração em comparação com a argamassa de referência e as argamassas com o mesmo tipo de fração substituída com o agregado seco. Isso pode ter ocorrido por causa da porosidade do agregado e da água deposita nos poros, durante o período de saturação, gerando água extra dentro da argamassa (HANSEN, 1992, SCHUTTER, 2007, DANG *et al.* 2015). Outro fator relacionado com o acréscimo de retração pode estar relacionado com a porosidade aberta da argamassa, contribuindo para que a água tivesse facilidade para se movimentar e evaporar, causando retração, conseqüentemente (DEBIED e KENAI, 2008; FERREIRA *et al.*, 2011; LOPES e LEITE, 2012).

Em relação à quantidade de agregado substituído, observou-se que as porcentagens 22% (#0,6); 20% (#0,3) e 100% (2,4/0,15) apresentaram os maiores resultados, principalmente com agregado previamente molhado. Isso porque a retração ocorre proporcionalmente à porcentagem de agregado natural substituído por agregado reciclado, uma vez que o aumento do agregado reciclado implicará no aumento da porosidade do agregado usado na argamassa e, conseqüentemente, na maior absorção de água (TOPÇU e BILIR, 2010).

O aditivo hiperplastificante pode ter contribuído para o aumento da retração por secagem nas argamassas com agregado saturado, principalmente nas primeiras idades, devido à formação de poros capilares finos nas argamassas estudadas (BAO-GUO *et al.*, 2007), apesar de que o uso do aditivo retentor de água tenha capacidade de promover uma selagem nas argamassas e impedir a evaporação da água (KLOVER e JENSEN, 2007, BENTZ *et al.*, 2009). Dessa maneira, pode não ter ocorrido uma selagem total nas argamassas. Isso permitiu a movimentação de água no interior das argamassas, bem como a facilidade de evaporação pelos poros capilares formados pelo aditivo hiperplastificante e, ainda, ajudou uma maior perda de massa (HENKENSIEFKEN *et al.*, 2009; DANG *et al.*, 2015).

Cabe ressaltar que a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) e a classificação MERUC não possuem requisitos para os resultados de retração por secagem em argamassas de revestimento. Portanto, a comparação dos resultados apresentados nesse estudo, forma realizados

com base nos resultados de autores que estudaram retração por secagem para argamassas de revestimento e o uso de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) em argamassas.

Figura 34-Resultado de retração das argamassas sem pré-molhagem

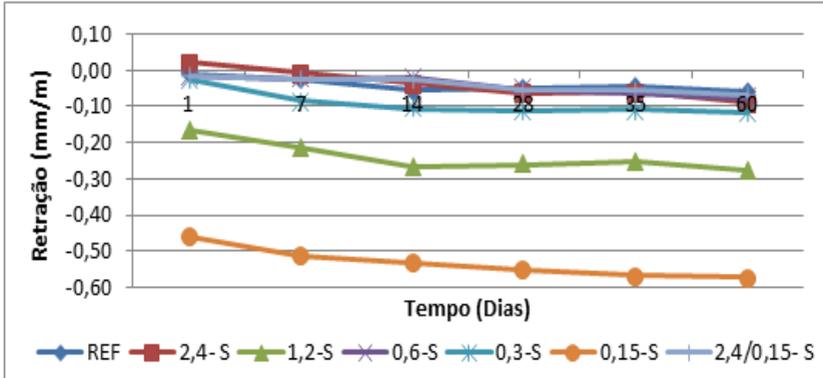
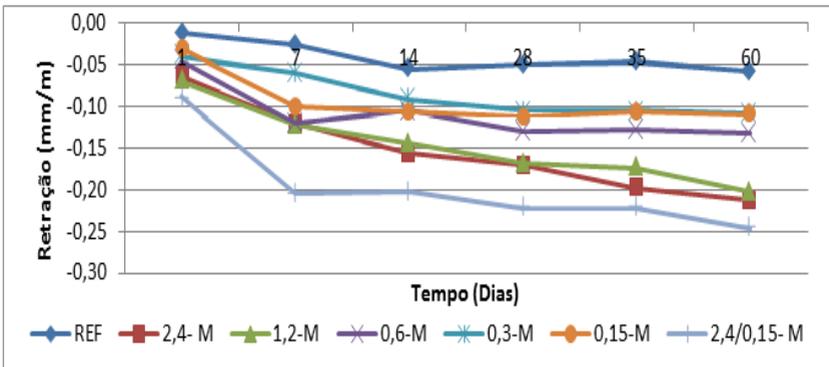


Figura 35-Resultado de retração das argamassas com pré-molhagem



4.3.5 Avaliação visual de fissuras

A avaliação visual (Figura 36) mostrou que as argamassas preparadas com o agregado na condição seca e com agregado previamente molhado não apresentaram fissuras na superfície, após 28 dias de idade. Em relação ao uso de finos de RCD, esse resultado já era esperado, pois a literatura indica que somente porcentagens acima de 25% de finos provocam fissuras durante a retração, pois quanto maior a quantidade de finos, maior será o efeito da retração e do grau de fissura

na superfície da argamassa (MIRANDA e SELMO, 2006; ARNOLD, 2011). Nesse caso, foram utilizados 20%. A ausência de fissuras também pode estar relacionada com o uso de aditivo hiperplastificante, pois o mecanismo ou o efeito do produto dificulta que se obtenha clareza em relação aos resultados sobre aparecimento de fissuras (TOPÇU e BILIR, 2010).

Figura 36: Análise visual do aparecimento de fissuras



As fotos para verificação visual do aparecimento de fissuras nas argamassas foram colocadas no apêndice, para uma melhor apresentação do trabalho.

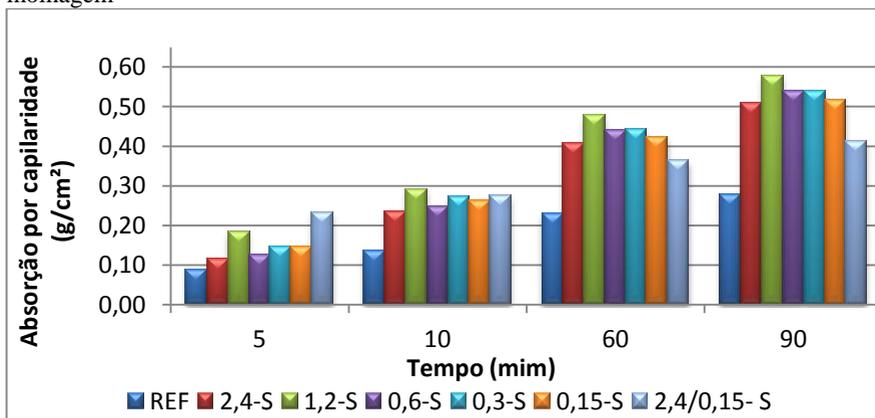
4.3.6 Absorção de água por capilaridade

Para melhor compreensão dos resultados de absorção de água por capilaridade, foram elaborados gráficos que mostram apenas os resultados das argamassas, com e sem pré-molhagem. Nesses gráficos, pode-se verificar o comportamento das argamassas confeccionadas com e sem pré-molhagem, bem como a comparação entre a condição de preparo do agregado reciclado e a curva total, $(D/d) 2,4/0,15$ mm, utilizada nesta pesquisa. Ao final do trabalho, os gráficos com a equação da reta que mostra os coeficientes de capilaridade podem ser verificados

no Apêndice 2. Nos Apêndices 5 e 6, estão os dados completos da absorção por capilaridade das argamassas estudadas.

Todas as argamassas preparadas com agregado reciclado seco apresentaram maior valor de absorção capilar. Isso pode ter ocorrido devido à elevada porosidade da argamassa, bem como a alta absorção de água pelo agregado reciclado. Portanto, gerando influência no aumento do potencial de absorção de água por capilaridade (Figura 37).

Figura 37- Resultado de absorção de água por capilaridade das curvas sem pré-molhagem

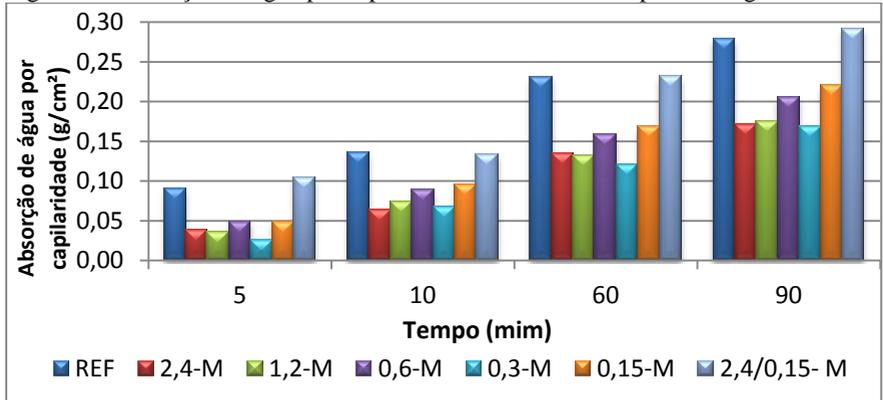


Os resultados de absorção de água por capilaridade, apresentados pelas argamassas confeccionadas com agregado previamente molhado (Figura 29), podem estar relacionados com a água liberada pelos poros do agregado, bem como a retenção de água promovida pelo aditivo retentor de água, que é um promotor de viscosidade. Dessa forma, pode ter sido criado um sistema de cura interna com um agente selador (*internalsealing*), que impediu a autodessecação das argamassas por mais tempo (KLOVER e JENSEN, 2007, BENTZ *et al.*, 2009). Esse sistema de “*internal sealing*” pode ter modificado a microestrutura das argamassas, aumentando o grau de hidratação do cimento, gerando, conseqüentemente, uma densificação da argamassa e, assim, reduzindo a sua porosidade (BENTZ e STUTZMAN, 2008; HENKENSIEFKEN *et al.* (2009); DANG *et al.* (2015).

Verifica-se também que as argamassas preparadas com agregado pré-molhado, apresentaram menores absorções de água do que

as argamassas de referência. Já as argamassas confeccionadas com agregado seco, tiveram maiores valores de absorção em relação a argamassa de referência (figura 38)

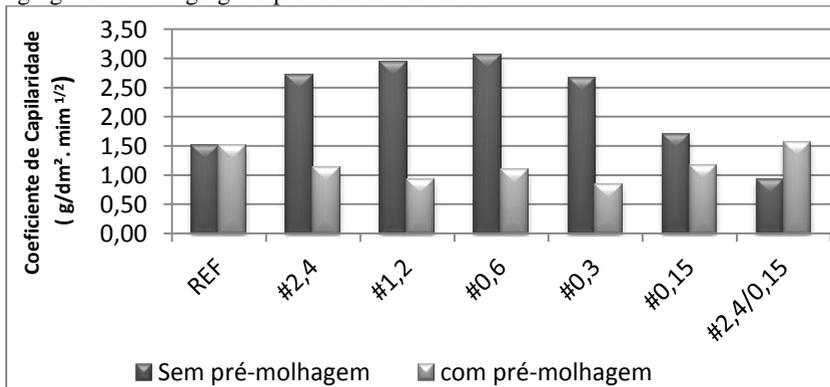
Figura 38- Absorção de água por capilaridade das curvas com pré-molhagem



4.3.7 Coeficiente de Capilaridade

A avaliação do coeficiente de capilaridade deste trabalho foi realizado com base nos dados de absorção nos tempos de 10 e 90 minutos, conforme a norma NBR 15259 (ABNT, 2005), embora o ensaio de absorção de água também tenha ocorrido com 5 e 60 minutos. Tal resultado foi apresentado na Figura 39.

Figura 39: Resultado do coeficiente de absorção capilar das argamassas com agregado seco e agregado previamente molhado



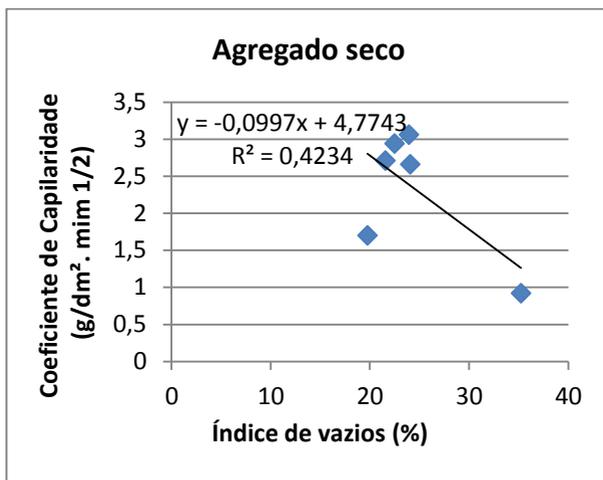
Os resultados mostram que o coeficiente de capilaridade das argamassas #2,4-S; # 1,2-S; #0,6-S; #0,3-S correspondeu ao intervalo de 2,0 a 4,0 (g/dm². mim^{1/2}). Enquanto que o resultado da argamassa #0,15-S está dentro do intervalo de 1,0 a 2,5 (g/dm². mim^{1/2}), o valor encontrado para a argamassa (D/d) 2,4/0,15-S está de acordo com a classe C1 da norma NBR 15259 (ABNT, 2005). O resultado de todas as argamassas, preparadas com a pré-molhagem do agregado reciclado, mostrou que o coeficiente de capilaridade corresponde ao valor de $\leq 1,50$ (g/dm². mim^{1/2}). Portanto, todos os valores analisados estão de acordo com os requisitos da norma 15259/2005, da classificação MERUC e do certificado CSTB (2008).

Entre as argamassas sem molhagem prévia, apenas as argamassas (D/d) 2,4/0,15-S e #0,15-S possuem qualidade superior. Já as argamassas com pré-molhagem tiveram o coeficiente de capilaridade baixo. Diante desses resultados, deduz-se que tais argamassas possuem capacidade de redução da permeabilidade e uma consequente melhora na proteção do substrato, pois a água absorvida por capilaridade terá pouca influência no desempenho das argamassas e, conseqüentemente, haverá maior durabilidade do material (PENACHO, 2012; NENO, 2010).

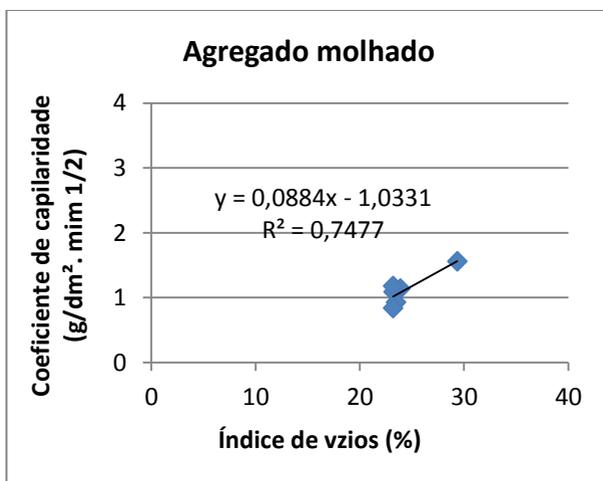
Para as argamassas #2,4-S; # 1,2-S; #0,6-S; #0,3-S, os resultados indicam que podem ser aplicadas em locais em que a parede pode ser enterrada, com umidade de até 80%. As argamassas #0,15-S e (D/d) 2,4/0,15-S e todas as argamassas produzidas com agregado pré-molhado podem ser aplicadas em locais em que haverá forte exposição à chuva e em suportes com resistência à compressão muito baixa. Tais avaliações foram associadas aos requisitos da classificação MERUC e aos requisitos do Certificado CSTB (2008).

Verifica-se na figura 40 que a expressividade mais significativa ocorre na correlação entre e e o coeficiente de capilaridade e o índice de vazios, nas argamassas produzidas com o agregado molhado. O $R^2 = 0,7477$, encontrado para as argmassas com agregado previamente molhado, corrobora com o valor do coeficiente e a significância, apresentada pelos estudos de Shilstone (1988) *apud* Martins (2005), ou seja, onde que $R^2 = 0,6$ corresponde a um valor significativo para um coeficiente de correlação de argamassas.

Figura 40- Correlação linear entre o coeficiente de capilaridade e o índice de vazios: argamassas com agregado seco (a); argamassas com agregado molhado (b)



(a)



(b)

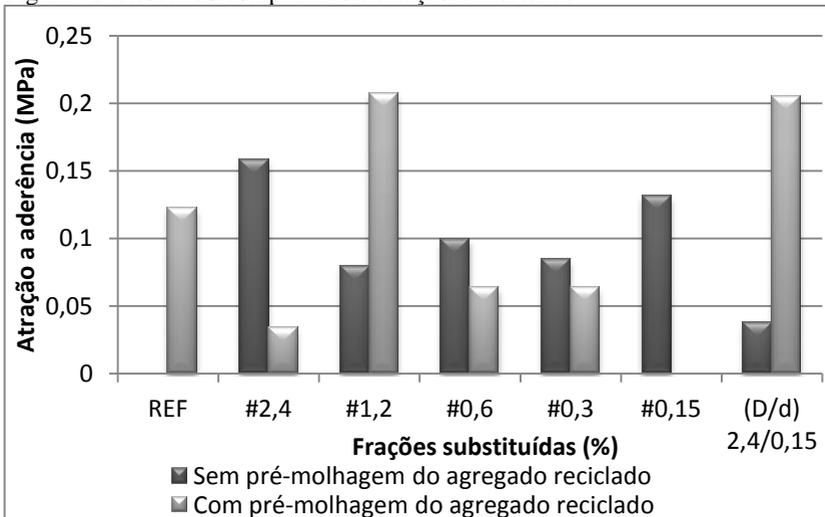
4.3.8 Aderência

Os resultados de aderência não apresentaram uma tendência e inviabilizam chegar a uma conclusão (Figura 41). De forma geral, as argamassas tiveram baixos resultados, e isso pode estar relacionado aos

aditivos superplastificantes e ao retentor de água utilizado nas argamassas.

O aditivo retentor de água, apesar de atuar promovendo a viscosidade no material, pode ter aumentado o teor de ar incorporado e reduzido a resistência de aderência próxima à superfície da argamassa (RIXON e MAILVAGANAN, 1999). Já o aditivo hiperplastificante, embora tenha contribuído com a trabalhabilidade, permitindo a redução de água, assim como os retentores de água, também é um surfactante hidrofílico que também causa maior incorporação de ar na argamassa. E as bolhas geradas durante esse processo podem atuar impedindo a circulação dos materiais dentro da interface ar-água, criando pontos de fraqueza na superfície e conseqüentemente o surgimento de fáceis rupturas (RIXON e MAILVAGANAM, 1999; EDMEADES e HEWLETT, 2003). Portanto, as argamassas alcançam baixas resistências de aderência devido à redução da superfície de contato na interface, pela presença das bolhas de ar (CARASEK *et al.* 2001).

Figura 41- Resultado comparativo da tração a aderência



O uso de finos de RCD <0,15 mm podem ter prejudicado a aderência da argamassa, pois foi observado, durante os ensaios, que a maior parte dos corpos de prova tiveram ruptura na argamassa, com exceção da argamassa #2,4-S (Figura 35). A argamassa (D/d) 2,4/0,15-S teve o pior resultado de aderência, pois sua ruptura foi muito próxima da

superfície (Figura 36). Isso pode ser atribuído ao elevado índice de finos de RCD. Argamassas confeccionadas com finos de RCD acima de 15% sofrem redução da absorção do substrato e prejudicam a aderência (BRAGA *et al.* 2012). Além disso, a falta de chapisco pode ter contribuído na ausência de uma ponte de aderência entre o substrato e a argamassa, devido à falta de aderência e rugosidade adequadas (SCARTEZINI *et al.*, 2002), como pode ser observado nas Figuras 42 e 43.

A classificação MERUC não apresenta requisitos para os valores de aderência à tração, entretanto a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) apresenta requisitos com classes A1 ($<0,2$ MPa), A2 ($\geq 0,20$ MPa) e A3 ($\geq 0,30$ MPa). Embora as argamassas #1,2-M e 2,4/0,15-M tenham apresentados valores de aderência à tração próximo a classe A2, sugere invalidar tais valores, devido a falta de tendência nos resultados, presente em todo o estudo aderência à tração.

Figura 42- Resultado de tração à aderência da argamassa #2,4-S (a) e de tração à aderência da argamassa (D/d) 2,4/0,15-S (b)



(a)



(b)

Figura 43- Ensaio de aderência da parte superior (a) e parte inferior (b) da argamassa



(a)



(b)

4.3.9 Absorção por imersão e índice de vazios

O uso do agregado reciclado nas argamassas, na substituição das frações estudadas (porcentagens entre 9 a 28%), mostra que a condição de pré-molhagem contribuiu para reduzir suavemente o efeito da porosidade nas argamassas e aumentar levemente a absorção por imersão (Figura 44 e 45). De acordo com Malta (2012), altos valores de absorção por imersão são encontrados em argamassas com agregado reciclado que tiveram substituição acima de 50%. Isso pode ser observado nas argamassas confeccionadas com a curva (D/d) 2,4/0,15-M e (D/d) 2,4/0,15-S (100% de RCD), que apresentaram resultados superiores de absorção de água e de porosidade aberta, mas estão de acordo com os resultados que Jochem (2012) obteve em sua pesquisa.

Os resultados encontrados nesta pesquisa podem estar relacionados com o uso do aditivo retentor de água, e o fato de todas as

argamassas terem sido preparadas com a mesma relação água/cimento, pois, ao utilizar um promotor de viscosidade na mistura, os efeitos da variação de umidade podem ter sido minimizados, ocasionando uma hidratação extra do cimento, com a água liberada pelo agregado reciclado, tornando as argamassas com agregado pré-molhado menos porosas (EFNARC, 2009).

Figura 44- Absorção por imersão (%)

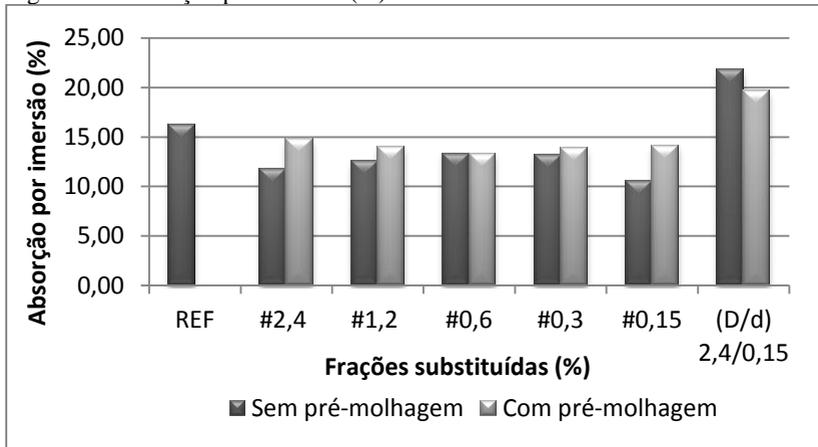
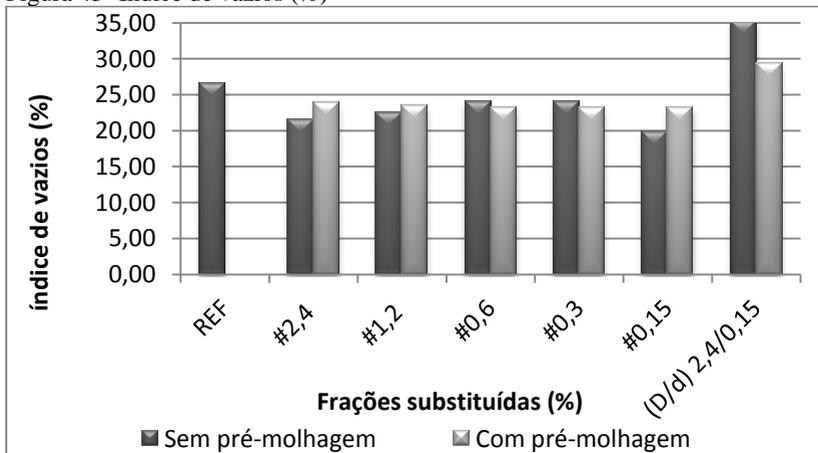
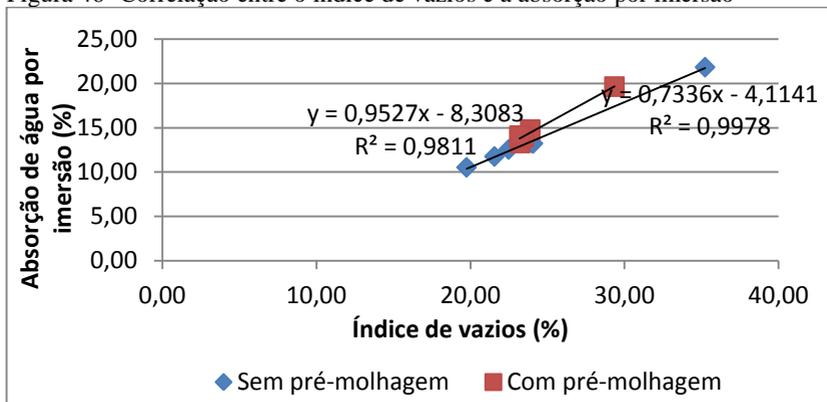


Figura 45- Índice de vazios (%)



Ao relacionar os ensaios de absorção por imersão com os índice de vazios, observou-se que existe forte correlação entre a porosidade aberta das argamassas e a capacidade de absorção por imersão (Figura 46).

Figura 46- Correlação entre o índice de vazios e a absorção por imersão



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de agregado reciclado e dos finos de RCD, utilizados nesta pesquisa, contribuiu para um melhor entendimento do efeito que esses materiais causam na retração de argamassas de revestimento, bem como nas propriedades das argamassas com substituição por fração do agregado reciclado na curva granulométrica (D/d) 2,4/0,15 mm. E através dos resultados obtidos no programa experimental, foi possível tecer algumas conclusões para essa dissertação.

Ao realizar o ensaio de absorção de água pelo método do picnômetro, embora seja muito utilizado, para caracterizar a absorção de água na condição superfície saturada seca (SSS) de do agregado miúdo, este ensaio não mostrou eficiência quando o agregado foi separado por frações, principalmente, para as frações menores que 0,6mm. Já o método de absorção de água através de sucção pelo Funil de Buchner uma maior capacidade de retirar a água adsorvida dos grãos. Entretanto, as partículas com tamanho de 0,3 e 0,15 mm apresentam problemas de retirar da água adsorvida, independentemente, do método utilizado.

Durante o ensaio para verificar à demanda de água nas frações, verificou-se à necessidade de adicionar o fino de RCD. Com a adição os outros materiais na mistura e a produção das argamassas, constatou-se que apesar do fino de RCD proporcionar trabalhabilidade às argamassas, e conseguir evitar a exsudação momentaneamente perceberam-se que com o passar de o tempo a água voltar exsudar. E, portanto, seria necessário utilizar aditivo retentor de água na mistura. Mostrando assim, a incapacidade de promover retenção de água nas argamassas produzidas.

As argamassas com agregado saturado apresentaram maiores valores de massa específica e menores valores e no teor de ar incorporado. Com base nesses dados, observa-se que a água presente nos poros do agregado pode interferir positivamente nestas propriedades.

O resultado de massa específica, no estado endurecido, mostrou que as argamassas produzidas em ambas às condições de preparo não resultaram em valores muito distintos. Também se observou que o uso do aditivo hiperplastificante e do retentor de água pode ter influenciado nos valores obtidos.

O uso de agregado pré-molhado influenciou no aumento da resistência mecânica das argamassas, reduziu a absorção capilar e o índice de vazios e a absorção por imersão nas argamassas; e ainda contribuiu para elevar valor do módulo de elasticidade dinâmica das

argamassas. Constatou-se através de tais fatores, que a pré-molhagem, além de ajudar na melhoria das propriedades do estado endurecido, também melhorou a qualidade das argamassas produzidas com agregado reciclado.

Entretanto, os resultados obtidos de retração por secagem, mostram que o uso de agregado previamente molhado influenciou no aumento do efeito da retração. Constatou-se também que o efeito da retração não ficou estagnado em 28 dias de idade como, possivelmente, prevê o ensaio da norma NBR 15261 (ABNT, 2005). E com isso, analisou-se que o efeito da retração continuou nas idades de 35 e 60 dias, podendo se estender por mais dias, caso houvesse a intenção de fazer análises com as argamassas em idades acima do que foi proposto no estudo.

Em relação a aderência, os resultados apresentados foram insatisfatórios ocorrendo inclusive o descolamento de toda a argamassa #0,15-M, após 28 dias de idade, durante a preparação do corpo de prova. Apesar de não haver obrigatoriedade no uso do chapisco no substrato, constatou-se que a argamassa poderia ter tido uma melhor aderência se o chapisco tivesse sido utilizado. Além disso, a falta de tendência nos resultados mostrou a interferência negativa do uso dos aditivos hiperplastificantes e retentores de água na argamassa.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa e na análise, observou-se que outros estudos podem prosseguir e aprofundar os seguintes temas:

- Estudar a retenção de consistência com o uso de finos plastificantes de RCD;
- Estudar a porosidade de argamassas com fração de agregado substituída por agregado reciclado;
- Análise da microestrutura para avaliar e comparar o efeito da pré-molhagem do agregado reciclado;
- Estudar a influência do agregado reciclado no módulo de elasticidade dinâmico;
- O efeito dos finos de RCD em relação a aderência argamassa;
- Avaliar o uso de agregado pré-molhado como agente de cura interna e o efeito do retentor de água como selador em argamassas.
- Estudar a influência da aplicação do chapisco em substratos com baixa absorção de água inicial e a relação com as argamassas produzidas com agregado reciclado.

6 REFERÊNCIAS

ACKER, P.; ULM, F.-J.; **Creep and shrinkage of concrete: physical or practical measurements.** In: Nuclear Engineering and Desing, 203, pp. 143-158, 2001

AITCIN, P. C. **High-Performance Concrete: Modern concrete technology.** Taylor and Francis, 2004

ALVES, N. J. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** Dissertação (Dissertação em Engenharia em Engenharia Civil)-Programa de Pós- Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2002

ALVES, N. J. D.; DO Ó, S. W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: **Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades.** BAUER, E. (Co). 1. ed. Brasília: SINDUSCON-DF/LEM-UnB, 2005. v. 1. 92 p.

AMBA, J. C.; BALAYSSAC, J. P.; DETRICHÉ, C.H. Characterisation of differential shrinkage of bonded mortar overlays subjected to dry. In: Materials and Structures, Vol. 43, pp. 297-308, 2010.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. **Influencia da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia, São Paulo, 2003a

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. **Influencia da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassas.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia, São Paulo, 2003b

ÂNGULO, S. C.; ULSEN, C.; LIMA, F. M. R.; COSTA, L. N. S.; JOHM, V. M. **Investigation of CDW heterogeneity in Brazil: A proposal of low-cost recycling plant.** In: 2nd International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Enviroment, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados: Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005

_____. **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, 2005.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13749:** revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **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, 2001.

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

_____. **NBR 13530:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Classificação. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 15116:** Agregado reciclado de resíduos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004

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

_____. **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 15270-3**: Bloco cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NM 45**: Agregados- Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NM 52**: Agregado miúdo- Determinação de massa específica e massa específica aparente. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NM 248**: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2001.

ASTM C1761/C1761M-13b. Standard Specification for Lightweight Aggregate for Internal Curing of Concrete, 2015

BAO-GUO, M.; XIN-GANG, W.; WEN-QUAN, L.; XIANG-GUO, L.; ZHEN, H. **Study on early-age cracking of cement-based materials with superplasticizers**. In: Construction and Building Materials, Vol. 21, pp. 2017-2022, 2007

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Urbana, em Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. (Dissertação em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade UNISINOS, São Leopoldo, 2011

BASTOS, P. K. X.; CINCOTTO, M. A. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas mistas de revestimento**.

In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, 2001

BASTOS, O. K. X.; NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A.
Comparação da retração de argamassas industrializadas e mistas de revestimento nos estados frescos e endurecidos. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology, Florianópolis, 2005

BASTOS, P. K. X.; LOMONGE, A. C. C.; SIGILIANO, V. S.; RESENDE, S. C. **Estudo do Módulo de Elasticidade de Argamassas de Revestimento Sujeitas à Sucção de Água Pela Base.** In: III Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, Anais, 2010

BAVARESCO, C. R. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas.** (Dissertação em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001

BAUER, E. Sistemas de Revestimento de Argamassa- Generalidades.
In: Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades.
BAUER, E. (Co). 1. ed. Brasília: SINDUSCON-DF/LEM-UnB, 2005. v. 1. 92 p.

BEKTAS, F.; WANG, K.; CEYLAN, H. **Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability.** In: Construction and Building Materials, Vol. 23, pp 1909-1914, 2009

BENTZ, D. P.; PELTZ, M. A, SNYDER, K. A.; DAVIS, J. M; **Verdict: Viscosity enhancers reducing diffusion in concrete** **Tecnology: A New approach to decreasing transport.** In: Concrete International, January, 2009

BENTZ, D. P.; WEISS, W. J. **Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review.** NIST: Nacional Institute of Standard and Technology, February, 2011

BHAVIKATTI, S. S. **Basic Civil Engineering.** New Age International Publishers, New Delhi, 2010

BISSONNETTE, B.; PIERRE, P.; PIGEON, M. **Influence of key parameters on dry shrinkage of cementitious materials.** Cement and Concrete Research, vol. 29, pp. 1655-662, 1999.

BRAGA, M. B. C.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine concrete aggregates in mortars.** Construction and Building Materials, vol. 36, pp. 960-968, 2012

BRAGA, M. B. C. **Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes de trituração de betão: Efeito pozolânico.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010

CABRAL, A. E. B; SCHALCH, V. DALMOLIN, D. C. C. DAL MOLIN; RIBEIRO, J. L. D. **Influence of the type of recycled aggregate from construction and demolition waste on the module of deformation of recycled aggregate concrete.** In: IBRACON Structures and Materials Journal, vol. 1, n° 2, pp. 171-192, June, 2008. ISSN 1983-4195

CACHIM, P. B. **Mechanical properties of brick aggregate concrete.** In: Construction and Building Materials, 23, pp. 1292-1297, 2009

Classificação MERUC. Disponível em: <http://lycee-pierreadrienparis.org/IMG/pdf/CL6.pdf>. <Acessado em 06/02/2015>

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria.** In: BT/PCC/179: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, EPUSP, 1997

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, 2001.

CARASECK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIÁ, G. C. (Ed.), São Paulo: IBRACON, 2v, pp. 863-904 2007

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo de influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, São Paulo, 1999

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** In: BT/PCC/237 – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** (Dissertação em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, São Paulo, 2005

CSTB: **Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment dès enduits monocouches d'imperméabilisation.** Cahier dès prescriptions techniques d'emploi et de mise em oeuvre. Cahier 2669-2, juillet-acút, 1993

CSTB: **Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment.** NF DTU 26.1 P1-2. Travaux d'enduits de mortiers. Partier 1-2: Critères généraux de choix des matériuix, 2008.

CHENG, A.; HSU, H-M.; CHAO, S-J.; LIN, K-L. **Experimental study on properties of pervious concrete made with recycled aggregate.** In: International Journal of Pavement and Technology, vol. 4, No. 2, março, 2011.

COHEN, M. D.; OLEK, J. DOLCH, W. L. **Mechanism of plastic shrinkage craking I Portland Cement and Portland Cement-Sílica Fume Paste and Mortar.** In: Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp. 103-119, 1990.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente:** Resolução N° 307: Diretrizes, critérios, procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: 2002

DANG. Y.; SHI, X.; MERY, S.; XIEN, N; BENSON, A.; YANG, Z. **Influence of surface sealers on the properties of internalley cured**

cement mortar containing saturated fine lightweight aggregate. In: Journal Material Civil Engineering, 2007.

DAPENA, E.; ALAEJOS, P.; LOBET, A.; PEREZ, D. **Effect of recycled sand content on characteristic of mortars and concretes.** In: Journal of Materials in Civil Engineering, April, 2011

DEBIED, F.; KENAI, S. **The use of coarse and fine bricks as aggregate in concrete.** In: Construction and Building Materials, Vol. 22, pp. 886-893, 2008

DETRICHÉ, C. H.; GALLIAS, J. L.; GRANDET, J.; MASO, J. C. **Influence des param tres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit.** In: Matériaux et Construction, vol. 18, n° 105, pp. 193-200, 1985

DETRICHÉ, C. H.; GRANDET, J.; MASO, J. C. **Dessiccation des mortiers d'enduit.** In: Matériaux et Construction, vol. 18, n° 105, pp. 193-200, 1983

DETRICHE, C. H.; MASO, J. C. **Differential hydration in rendering mortars.** In: Cement and Concrete Research, vol. 16, pp. 429-439, 1986.

DETRICHE, C. H.; MASO, J. C. **Premier e't second retrait des couches minces de mortier.** In: Materiaux et Constructions, vol. 12, pp. 185-191, 1979.

DOLCH, W. L. **Air-Entraining Admixture.** In: Concrete Admixtures Handbook Ramachandran 1996

EFNARC : The European Federation Of Specialist Construction Chemical and Concrete Systems, 2009

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Agregados para a construção civil.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G. C. (Ed.), São Paulo: IBRACON, 2v, pp. 481-524, 2007

FELDMAN, R. F.; SEREDA, P.J. **A model for hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties.** In: Materials and Structures, vol. 6, pp.509-519, 1968.

FERRARIS, C. F. **Mecanismos Du Rretrait de la Patê de Ciment Durcie**. THESE No 621 presenté au Département des Materiux. Ecole Polytechique Federale de Lausanne, Lausanne, Suíça, 1986.

FERREIRA, R. M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Universidade do Minho, Guimarães, 2000

FERREIRA, L.; BRITO, J.; BARRA, M. **Influence of the pré-saturation of recycled coars concrete aggregate on concrete properties**. In: Magazine of Concrete Research, vol. 63 (8), pp. 617-627, 2011

FERRIS, C. F.; WITTMANN, F. H. **Shrinkage mechanisms of hardened cement paste**. In: Cement and Concrete Research, Vol. 17, pp. 453-464, 1987.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual e Procedimentos de Execução: estudos e procedimentos de execução**, São Paulo, Editora PINI, 1994.

FONTEBOA, B. G.; ABELLA, F. M.; LOPEZ, J. E.; PAZ.; S. S. **Effect of recycled coarse aggregate on damage of recycled concrete**. In: Materials and Structures, 44, pp. 1759-1771, 2011

FREITAS, J. C. **Uso de aditivo redutor de retração no combate à retração em argamassas auto-adensáveis de alta resistência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2009

GOMES, A. M.; NERO, J. M. G.; APPLETON, J. A. S. **Novo método para a avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas**. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, 1995.

GILBERT, R. I., RANZI, G. **Time-Dependent Behaviour of Concrete Structures**. Taylor and Francis, 2011

GONÇALVES, J. P.; TAVARES, L. M.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; CUNHA, E. R. **Comparison of natural and manufactured fin aggregates in mortars**. Cement and Concrete Research, 37, pp. 924-932, 2007

GREEN, K. M.; CARTER, M. A.; HOFF, W. D.; WILSON, M. A. The effects of lime and admixture on the water-retaining properties of cement. In: Cement and Concrete Research, 29, pp. 1743-1747, 1999

HAMASSAKI, L. T. SBRIGHI NETO, C. FLORINDO, M. C. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria.** In: Workshop Sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção, 1996, São Paulo. **Anais...**São Paulo: EPUSO/ANTAC, 1997. 170 pp. 170-115

HANSEN, T. C. **Physical structure of hardened cement paste: A classical approach.** In: Matériaux et Constructions, vol. 19, n. 114, pp. 423-436, 1986

HANSEN, T. C. **Recycled aggregates and recycled aggregate concrete: second state-of- the art report developments 1945-1985.** In: Demolition and Recycling of Concrete, RILEM TECHNICAL COMMITTEE-37/RDC, 1992

HENKENSIEFKEN, R.; CASTRO, J.; BENTZ, D.; NANTUNG, T.; WEISS, J. **Water absorption in internally cured mortar made with water-filled lightweight aggregate.** Cement and Concrete Research, Vol. 39, pp. 883-892, 2009

HERVE, E.; CARE, S.; SEGUIN, J. P. **Influence of the porosity in cement paste matrix on the mechanical behavior mortar.** In: Cement and Concrete Research, vol. 40, 1060-1071, 2010.

HOLT, E. **Early age autogenous Shrinkage of Concrete.** Technical Research Center of Finland, VTT Publications 446, 184.p and app. 9 p., 2001

HUA, C.; ACKER, P.; EHRLACHER, A. **Analyses and models of the autogenous Shrinkage of Hardening Cement Paste.** In: Cement and Concrete Research, vol. 25, n. 07, pp. 1457-1468, 1995

JAIN, A. K.; CHOUHAN, J. S. **Effect of shape of aggregate on compressive strength and permeability properties of concrete pervious.** In: International Journal of Advance Engineering Research and Studdies, vol,1, Issue I, p. 120-126, October-december, 2011
JIMENEZ, J. R.; AYUSO, J.; LOPEZ, M.; FERNANDEZ, J. M.; BRITO, J. **Use of fine recycle aggregates from ceramic waste in**

- masonry mortar manufacturing.** In: Construction and Building Materials, 40, pp. 679-690, 2013.
- JENSEN, O. M.; HANSEN, P. H. **Autogenous Deformation and RH-Change in perspective.** In: Cement and Concrete Research, 31, pp. 1859-1865, 2001
- JOCHEM, L. F. **Estudo de argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: Características físicas e propriedades microestruturais.** Dissertação (Dissertação em Engenharia em Engenharia Civil)-Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012
- JOSE, MVGo‘mez-S. **Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study.** In: Cement and Concrete Research, vol. 32, pp. 1301-1311, 2002
- JOSSERAND, L.; COUSSY, O.; LARRARD, F. **Bleeding of concrete as an ageing consolidation process.** In: Cement and Concrete Research, 36, pp. 1603-1608, 2006
- JSCE, **New Standard on Recycled Aggregates and Molten-Slag in Japan.** In: Newsletter No. 8, ed. Japan Society of Civil Engineers. Concrete Committee (2007).
- JUAN, M. S.; GUTIÉRREZ, P. A. **Influence of recycled aggregate quality o concrete properties.** In: International RILEM Conference on the Use Recycled Materials in Building and Structures, Barcelona, Spain, 2004.
- KATZ, A. **Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete.** In: Cement and Concrete Research, 33, pp. 703-711, 2003
- KIKUCHI, A.; TASUNAGA, A.; EHARA, K. **The total evaluation of recycled aggregate and recycled concrete.** In: Demolition and Reuse of Concrete: Proceeding of the Third International RILEM Symposium.. LAURITZEN, E. K. (Ed), Denmark, 1994
- KLOVER, K.; JENSEN, O. M. CHAPTER 2- General Concept and Terminology. In: **International Curing o Concrete. State of the Art Report of Rilem.** Technical Committe 196- ICC, 2007.

LAHUERTA, J. V.; MONTERDE, G. J. C. **Estudio teórico y experimental sobre lós morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo para La actualización de La norma Básica MV 201-1972. 1ª Parte: Memorial Del Estudio.** In: Materiales de Construcción, vol, 34, nº 196, 1984

LURA, P.; JESEN, O. M.; BREUGEL, K. V. **Autogenous shrinkage in high-performance cement paste: An evaluation of basic mechanisms.** In: Cement and Concrete Composites, 33, pp. 223-232, 2003

LURA, P.; JESEN, O. M.; IGARASHI, S-I. **Experimental observation of internal water curing of concrete.** In: Materials and Structures, vol. 40, pp. 211-220, 2007

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos - SP, 1999.

LEVY, S. M.; MARTINELLI, F.; HELENE, P. R. L. **Influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas argamassas.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997

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

LOPES, P. R.; LEITE, M. B. **Influence od CDW Recycles Aggregate on Drying Shrinkage of Mortar.** In: Journal of Civil Engineering, vol. 2, pp. 53-57, 2012

MALTA, J. O. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012

MARTINS, I. M.; GONÇALVES, A. **The fine fraction of construction and demolition waste.** In: 2nd International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Environment, São Paulo, Brazil, 2009

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: Estudo de caso.** (Dissertação em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005

MARTINEZ, I.; MIREN, E. M.; PAVON, E.; DIAZ, N. **A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars.** In: Construction and Building Material, Vol. 49, pp. 4384-392, 2014

MARTYS, N. S.; FERRARIS, C. F. **Capillary transport in mortars and concrete.** In: Cement and Concrete Research. Vol. 27, No. 5, pág. 747-760, 1997

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: microstructure, properties and materials, Third Edition, McGraw-Hill, 2006

MIRANDA, L.F.R.; SELMO; S.M.S. **Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Vitória, 1999.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. **Desempenho de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** In: BT/PCC/277- Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. **CDW recycled aggregate rendering: Part 1- analysis of the affect of Materials finer than 75µm on mortar.** In: Construction and Building Materials, 20, pp. 615-624, 2006.

MIRANDA, L. F. R.; CONSTANTINO, C. S.; MONICH, C. R.; NETO, A. A. M. **Use of recycled sand produced at construction sites in bedding mortars.** In: Journal Materials in Civil Engineering, February, 2013

MMA - **Ministério do Meio Ambiente**. Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Brasília: 2012

MOREL, A.; GALLIAS, J. L.; BAUCHARD, M.; MANA, F.; ROSSEAU, E. Practical Guidelines for the use of recycled aggregates in Concrete in France and Spain. In: **Demolition and Reuse of Concrete and Mansory**. Proceeding of the Third Internacional RILEM Symposium, 1993.

MUSTELIER, N. L. **Estimativa do comportamento de paredes no ensaio de penetração de água de chuva através das propriedades de transferência de umidade dos materiais constituintes**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. In: BT/PCC/359 – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção, São Paulo, 2004

NAKAKURA, E.; MUNHOZ, F. A. C.; BATTAGIN, A. **Evolução da aderência em sistemas de revestimento de argamassa**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Paraná, 2009.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos proveniente da trituração do betão: integração do RCD**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. Third Edition, Longman Scientific and Technical, USA, 1994

OLIVEIRA, M. E. D.; CABRAL, A. E. B. **Argamassas de revestimento produzidas com agregado reciclados de Fortaleza/CE, Brasil**. In: Revista Engenharia Civil/Universidade do Minho; Guimarães, n. 41, 2011

OLORUNSOGO, F. T. **Particle size distribution of GGBS and bleeding characteristics of slag cement mortars**. In: Cement and Concrete Research, 28, pp. 907-919, 1998

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de água em revestimento de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PATURAL, L.; MARCHAL, P.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P.; ROUT, B.; DEVES, O. **Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortar.** In: Cement and Concrete Research, 41, pp. 46-55, 2011

PEDROZO, R. F. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos.** (Dissertação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2008

PENACHO, P. M. **Desempenho de argamassas com incorporação de resíduos de finos de vidro: reciclagem de agregados (RCD) e reação álcalis-agregados (RAS).** (Dissertação em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico de Lisboa. Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa, 2012

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2009

PERIUS, G. R. **Influência das propriedades físicas de agregados reciclados sobre a retração por secagem em concreto auto-adensável.** (Dissertação em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

PHILIPPI, P.C.; FERNANDES, C. P.; YUNES, P. R. **Higroscopia e capilaridade de materiais de construção.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2º, Florianópolis, 1993.

POWERS, T. C. **Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste.** In: Journal of the American Ceramic Society, vol. 41, n.1, pp. 1-6, 1958

QUARCIONI, V. A.; ZUQUIM, M. O. S.; MENEZES, P. M. L.; CHOTOLI, F. F.; OLIVEIRA, M. C. B. **Caracterização microestrutural de argamassas selecionadas de cimento e cales hidratadas cálcicas e dolomíticas por microscopia óptica**. In: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, 2011.

RAO, A.; KUMAR, N. J.; SUDHIR, M. **Use of aggregate from recycled construction and demolition waste in concrete**. In: Resources, Conservation and Recycling, 50, pp. 71-81, 2007

RAVINDRARAHAH, R. S.; TAM, C. T. In: **The Recycling concrete as fine aggregate in concrete. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, Volume 9, Number 4, 1987, pp. 235-241.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento e argamassas, 2006**. Tese de Doutorado (Doutorado em Reabilitação do Patrimônio Edificado)- Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2006

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N.; **Chemical Admixture for Concrete**. Third Edition, Taylor & Francis Group, 1999

RODRIGUES, F.; CARVALHO, M. T.; EVANGELISTA, L.; BRITO, J. **Physical-chemical and mineralogical characterization of fine aggregate from construction and demolition waste recycling plants**. In: Journal of Cleaner Production, vol. 52, pp. 438 -445, 2003

SANTIAGO, C. C. **Argamassas Tradicionais de Cal**. Salvador: EDUFBA, 2007

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**. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, PP. 85-92, abril/jun. 2002

SCHULZ, R. R.; and HENDRICKS, CH. F. PART TWO: Recycling of masonry rubble. In: **Recycling of Demolished Concrete and Masonry**. (Ed.) HANSEN, T. C.; Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete, RILEM Report 6

SCHUTTER. CHAPTER 8- Effect of IC on other concrete properties. In: **International Curing of Concrete. State of the Art Report of Rilem**. Technical Committee 196- ICC, 2007.

SILVA, F. G. S.; BAUER, E. **Avaliação da fissura em argamassas**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba, 2009.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento**. In: II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, Ponta Grossa, Paraná, 2006

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassa de cimento cal e areia**. Revista Ambiente Construído, v. 8, n. 4, p. 21-35, 2008.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissura em revestimento de argamassa na fase plástica**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Fines ceramics replacing cement in mortars partial replacement of cement with fines ceramics in rendering mortars**. In: Material and Structure, 41, pp. 1333-1344, 2008.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine ceramics in mortars**. In: Construction and Building Materials, 23, pp. 556-564, 2009

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R.; **Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production**. In: Journal Materials in Civil Engineering, March, 2010

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine ceramics in mortars**. Construct Build Materials, vol. 23 (1), PP. 556-564, 2009

SHI-CONG, R.; CHI-SUN, P. **Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash, and fine recycle aggregate as fines aggregates**. In: Construction and Building Materials, 23, pp. 2877-2866, 2009

SOLYMAN, M. **Classification of Recycled Sands and their Application as fine aggregate for Concrete and Bituminous Mixture**. Dissertation den Fachbereich Bauingenieurwesen der Universitat Kassel, Kassel, 2005

SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O. In: **Reologia e Trabalhabilidade das Argamassas**. BAUER, E. (Co). 1. ed. Brasília: SINDUSCON-DF/LEM-UnB, 2005. v. 1. 92 p.

SOROKA, I. **Concrete in Hot Environment**, Taylor and Francis, 2004.

STEFANIDOU, M. **Methods for porosity measurement in lime-based mortars**. In: *Construction and Building Materials*, pág. 2572–2578, 2010.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**, ACADEMIC PRESS, London, 1990

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

TOLEDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K.; SANJUÁN, M. A.; ENGLAND, G. L. **Free restrained and dry shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres**. In: *Cement and Concrete Composites*, 27, pp. 537-546, 2005

TOPÇU, I. B.; BILIR, T. **Experimental investigation of drying shrinkage cracking of composite mortars incorporating crushed tile fine aggregate**. In: *Materials and Design*, vol. 31, pp. 4088 -4097, 2010.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. **Análise do método de ensaio para determinação da exsudação de água em argamassas de revestimento**. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, 1999.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação (Dissertação em Engenharia em Engenharia Civil)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995

TRISTÃO, F. A.; MACHADO, V. H. C. B. L. **Análise de métodos de retenção de água e consistência em argamassas**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, 2003.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado em Engenharia em Engenharia Civil)-Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005

ULSEN, C.; HAWLITISCHECK, G.; KAHN, H.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Technology characterization of fine fraction from C&D waste.** In: 2nd International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Environment, São Paulo, Brazil, 2009

WEBER, S.; REINHARDT, H. W. **A new generation of high performance concrete: concrete with autogenous curing.** In: Advanced Cement Based Materials, Vol. 6, pp. 59-68, 1997

WITTMANN, F. H. On **the action of capillary pressure in fresh concrete.** In: Cement and Concrete Research, Vol. 6, pp. 49-56, 1976.

YIM, H. J.; KIM, J. H.; KWAK, H-G.; KIM, J. K. **Evaluation of internal bleeding in concrete using a self-weight.** In: Cement and Concrete Research, 53, pp. 18-24, 2013

13-MR COMMITTEE ON MORTARS AND RENDERING/RILEM. In: Materials and Structures, septembre-octobre, volume 15, issue 5, pp. 475-519, 1982.

7 ANEXOS

ANEXO 1: Análises estatísticas

Massa específica do estado fresco e teor de ar incorporado

Pode-se observar que a condição de preparo, bem como a substituição, com 95% de confiabilidade, não afetam a massa específica no estado fresco e o teor de ar incorporado.

ANOVA- massa específica						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	$F_{\alpha,0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,0068	1	0,0068	2,9201	0,1482	6,6079
Quantidade de agregado substituído	0,0229	5	0,0046	1,9769	0,2362	5,0503
Erro	0,0116	5	0,0023			
Total	0,0412	11				

ANOVA- teor de ar incorporado						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	$F_{\alpha,0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	14,7187	1	14,7187	2,9200	0,1481	6,6078
Quantidade de agregado substituído	49,8235	5	9,9647	1,9769	0,2361	5,0503
Erro	25,2026	5	5,0405			
Total	89,7450	11				

Massa específica no estado endurecido

Com 95% de confiabilidade pode-se afirmar que a condição de preparo do agregado e a substituição do agregado reciclado influenciam a massa específica no estado endurecido. Além disso, verifica-se que existe uma relação entre a condição de preparo e a quantidade de agregado reciclado colocado em cada fração.

ANOVA- massa específica no estado endurecido						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	$F_{\alpha,0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,1574	1	0,1574	294,4240	0,0000	4,2597
Quantidade de agregado substituído	0,1213	5	0,0243	45,3934	0,0000	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	0,0150	5	0,0030	5,6267	0,0014	2,6207
Dentro	0,0128	24	0,0005			
Total	0,3066	35				

Resistência à compressão e tração na flexão

Ao analisar os resultados da ANOVA para resistência à compressão e tração na flexão, verifica-se que com 95% de confiabilidade, a condição de preparo do agregado e a Quantidade de agregado substituído causam influência na resistência à compressão. Além disso, para ambas as propriedades, verifica-se que existe uma relação entre a condição de preparo e a quantidade de agregado reciclado colocado em cada fração. A ANOVA confirma os valores encontrados no ensaio de massa específica no estado endurecido.

ANOVA- resistência à compressão						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	$F_{\alpha,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	2,2693	1	2,2693	4,4981	0,0409	4,1132
Quantidade de agregado substituído	20,1043	5	4,0209	7,9701	0,0000	2,4772
Preparo do agregado x quantidade substituída	24,1399	5	4,8280	9,5700	0,0000	2,4772
Dentro	18,1616	36	0,5045			
Total	64,6750	47				

ANOVA- Tração na Flexão						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	$F_{\alpha,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,0685	1	0,0685	67,3958	0,0000	4,2597
Quantidade de agregado substituído	0,0520	5	0,0104	10,2403	0,0000	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	0,0576	5	0,0115	11,3292	0,0000	2,6207
Dentro	0,0244	24	0,0010			
Total	0,2025	35				

Módulo de elasticidade dinâmico

Afirma-se que com 95% de confiabilidade a condição de preparo do agregado influencia consideravelmente no módulo de elasticidade, assim com a quantidade de agregado reciclado substituído em cada fração. A ANOVA do módulo de elasticidade e da resistência à compressão confirma que o uso do agregado reciclado previamente

molhado, assim como a quantidade substituída melhoram as propriedades mecânicas no estado endurecido.

ANOVA- Módulo de elasticidade dinâmico

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	24,8050	1	24,8050	109,7930	0,0000	4,2597
Quantidade de agregado substituído	21,4774	5	4,2955	19,0129	0,0000	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	4,8884	5	0,9777	4,3275	0,0060	2,6207
Dentro	5,4222	24	0,2259			
Total	56,5930	35				

Retração

Os resultados apresentados na ANOVA afirmam com 95% de confiança, a quantidade de agregado reciclado substituída seco, não influencia na retração das argamassas. Entretanto quando o agregado é saturado, ocorre influencia. Para ambas as condições de preparo do agregado reciclado, com 95% confiança, pode-se afirmar que o tempo de secagem do material terá influencia no efeito da retração.

ANOVA- retração sem pré-molhagem

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Quantidade de agregado substituído	20,1314	5	4,0263	3,8068	0,0106	2,6030
Tempo de secagem	79,9065	5	15,9813	15,1100	0,0000	2,6030
Erro	26,4415	25	1,0577			
Total	126,4794	35				

ANOVA- retração com pré-molhagem						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Quantidade de agregado substituído	0,0534	5	0,0107	38,7764	0,0000	2,6030
Tempo de secagem	0,0487	5	0,0097	35,3678	0,0000	2,6030
Erro	0,0069	25	0,0003			
Total	0,1090	35				

A retração com 28 dias confirma dos resultados supracitados e mostra que com 95% de confiança, a condição de preparado influenciou o efeito da retração, assim como a quantidade e agregado reciclado substituído. A interação entre a condição de preparo e a quantidade de agregado reciclado substituído também se mostrou significativa.

ANOVA - Condição de preparo versus quantidade de agregado reciclado aos 28 dias

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,0063	1	0,0063	93,6837	0,00	4,2597
Quantidade de agregado substituído	0,2374	5	0,0475	711,2265	0,00	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	0,3664	5	0,0733	1097,6581	0,00	2,6207
Dentro	0,0016	24	0,0001			
Total	0,6116	35				

Perda de massa

Afirma-se que com 95% de confiança que a quantidade de agregado reciclado substituído na fração, nas condições secas interfere

muito pouco na perda de massa. Contudo, quando o agregado está previamente molhado, a interferência é consideravelmente superior. Em relação ao tempo de secagem, com 95% de confiabilidade, afirma-se que em ambos os casos o tempo terá influência na perda de massa, entretanto, quando o agregado reciclado está saturado, o efeito é muito maior.

ANOVA- perda de água por vapor sem pré-molhagem.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	$F_{\alpha,0,5}$
Quantidade de agregado substituído	20,1314	5	4,0263	3,8068	0,0106	2,6030
Tempo de secagem	79,9065	5	15,9813	15,1100	0,0000	2,6030
Erro	26,4415	25	1,0577			
Total	126,4794	35				

ANOVA- perda de água por vapor com pré-molhagem

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	$F_{\alpha,0,5}$
Quantidade de agregado substituído	14,1315	5	2,8263	17,9252	0,0000	2,6030
Tempo de secagem	143,3600	5	28,6720	181,8457	0,0000	2,6030
Erro	3,9418	25	0,1577			
Total	161,4333	35				

O resultado para 28 dias de idades das argamassas mostram que com 95% de confiança condição de preparo do agregado reciclado e a quantidade de material substituído não terá influência na perda de água por evaporação, e ainda não haverá interações entre ambos os aspectos.

ANOVA - Condição de preparo versus quantidade de agregado reciclado aos 28 dias

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	2,0622	1	2,0622	1,3416	0,2581	4,2597
Quantidade de agregado substituído	5,8286	5	1,1657	0,7584	0,5885	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	12,4470	5	2,4894	1,6196	0,1930	2,6207
Dentro	36,8900	24	1,5371			
Total	57,2278	35				

Absorção por capilaridade

Com 95% de confiabilidade pode-se afirmar que quantidade de material para substituição das frações não influencia na absorção por capilaridade, quando o agregado é utilizado seco, mas o tempo de absorção gera influência. No caso do agregado reciclado pré-molhado, pode-se afirmar com 95% de confiança que há influencia de ambos os aspectos.

ANOVA- Absorção por capilaridade com pré-molhagem

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Substituição das frações	0,0246	5	0,0049	39,7568	0,0000	2,9013
Tempo de absorção	0,0874	3	0,0291	235,5377	0,0000	3,2874
Erro	0,0019	15	0,0001			
Total	0,1138	23				

ANOVA- Absorção por capilaridade sem pré-molhagem

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Substituição das frações	0,0114	5	0,0023	1,4707	0,2570	2,9013
Tempo de absorção	0,4637	3	0,1546	99,7694	0,0000	3,2874
Erro	0,0232	15	0,0015			
Total	0,4983	23				

ANOVA- Absorção por capilaridade com pré-molhagem

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Substituição das frações	0,0246	5	0,0049	39,7568	0,0000	2,9013
Tempo de absorção	0,0874	3	0,0291	235,5377	0,0000	3,2874
Erro	0,0019	15	0,0001			
Total	0,1138	23				

A ANOVA realizada para 90 minutos de ensaio de capilaridade mostra, com 95% de confiança, uma grande influência da condição de preparo do agregado reciclado, mas a falta de significância da quantidade de agregado substituído. Além disso, mostra a existência de interação entre os aspectos.

ANOVA - Condição de preparo versus quantidade de agregado reciclado 90 min de ensaio

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,8721	1	0,87213	304,8557	0,0000	4,2597
Quantidade de agregado substituído	0,0058	5	0,001153	0,4031	0,8418	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	0,0743	5	0,014862	5,1949	0,0023	2,6207
Dentro	0,0687	24	0,002861			
Total	1,0209	35				

Absorção por imersão e índice de vazios

Com base nos resultados da ANOVA contata-se com 95% de confiança que a condição de preparo do agregado reciclado não influencia na absorção imersão, mas a quantidade de agregado causa grande influência. No caso do índice de vazios, pode-se afirmar com 95% de confiança que tanto a condição de preparo e a quantidade de agregado geram influência. Para ambos os casos, existe também a interação entre os aspectos analisados.

ANOVA-- Absorção por imersão						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	1,0438	1	1,0438	0,9228	0,3463	4,2597
Quantidade de agregado substituído	543,1526	5	108,6305	96,0341	0,0000	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	113,0293	5	22,6059	19,9846	0,0000	2,6207
Dentro	27,1480	24	1,1312			
Total	684,3738	35				

ANOVA - índice de vazios						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F $\alpha_{0,05}$
Condição de preparo do agregado reciclado	10,16682	1	10,1668	20,3901	0,0001	4,2597
Quantidade de agregado substituído	293,8845	5	58,7769	117,8801	0,0000	2,6207
Preparo do agregado x quantidade substituída	33,48075	5	6,6962	13,4295	0,0000	2,6207
Dentro	11,96679	24	0,4986			
Total	349,4988	35				

Aderência

Com 95% de confiança pode-se afirmar que a condição de preparo do agregado reciclado interfere na aderência, mas a quantidade de agregado substituído não causa influencia. Existem também as interações entre os aspectos analisados.

ANOVA- aderência						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	$F_{\alpha,0,5}$
Condição de preparo do agregado reciclado	0,0242	1	0,0242	5,0979	0,0276	4,0012
Quantidade de agregado substituído	0,0155	5	0,0031	0,6539	0,6596	2,3683
Preparo do agregado x quantidade substituída	0,0885	5	0,0177	3,7312	0,0052	2,3683
Dentro	0,2846	60	0,0047			
Total	0,4127	71				

ANEXO 2: Análise do espalhamento em função da porcentagem de finos para a curva granulométrica (D/d) 2,4/0,15 mm

Figura 47- #2,4 mm (29,25cm/ 19% de fino) (a); #1,2 mm(29,55cm/19% de fino) (b); #0,6 mm (30,25cm/19% de fino) (c); #0,3 mm (29,4cm/17% de fino) (d); #0,15mm (29,15cm/17% de fino) (e); #2,4/0,15 mm (29cm/17 % fino) (f)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

ANEXO 3: Massa específica no estado fresco

Tabela 25: Resultado de Massa específica e teor de ar incorporado

Condições de preparado da argamassa	Frações (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Teor de Ar incorporado (%)
	REF	1,87	12,47
	#2,4	1,88	12,01
	#1,2	1,89	11,65
	#0,6	2,02	5,54
	#0,3	1,98	7,61
	#0,15	1,99	6,95
	(D/d)2,4/0,15	1,91	10,99
	#2,4	2,02	5,79
	#1,2	2,01	6,32
	#0,6	2,00	6,85
	#0,3	2,01	6,19
	#0,15	2,05	4,18
	(D/d)2,4/0,15	1,88	12,14
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)			
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)			

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

ANEXO 4 : Massa específica no estado endurecido

Tabela 26- Resultado de massa específica

Condição de preparo da argamassa	Argamassas	Massa específica média (g/cm ³)	Desvio padrão	CV%
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)	REF	1,61	0,004	0,002
	#2,4	1,76	0,016	0,009
	#1,2	1,72	0,016	0,009
	#0,6	1,75	0,005	0,003
	#0,3	1,77	0,009	0,005
	#0,15	1,80	0,012	0,007
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)	(D/d) 2,4/0,15	1,60	0,013	0,008
	#2,4	1,61	0,001	0,001
	#1,2	1,67	0,012	0,007
	#0,6	1,60	0,073	0,045
	#0,3	1,64	0,011	0,007
	#0,15	1,62	0,006	0,004
	(D/d) 2,4/0,15	1,48	0,004	0,003

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

ANEXO 5: Resistência à compressão e tração na flexão

Tabela 27- Resistência à compressão aos 28 dias

Condição de preparo da argamassa	Itens Avaliados	REF	#2,4	#1,2	#0,6	#0,3	#0,15	(D/d) 2,4/0,15
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)	Resistência à compressão (MPa)	4,38	6,67	6,82	6,51	7,38	6,34	7,32
	Desvio Padrão (MPa)	0,22	0,19	0,18	0,20	0,03	0,23	0,10
	CV (%)	5,09	2,78	2,67	3,14	0,43	3,56	1,42
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)	Resistência à compressão (MPa)	4,38	5,40	8,47	8,27	8,20	6,42	5,64
	Desvio Padrão (MPa)	0,22	0,36	0,38	0,32	0,17	0,27	0,37
	CV (%)	5,09	6,58	4,52	3,85	2,05	4,18	6,62

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

Tabela 28- Resistência à tração na flexão aos 28 dias

Condição de preparo da argamassa	Itens avaliados	REF	#2,4	#1,2	#0,6	#0,3	#0,15	(D/d) 2,4/0,15
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)	Resistência à tração na flexão (MPa)	0,61	0,80	0,84	0,78	0,80	0,76	0,77
	Desvio Padrão (MPa)	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,05
	CV (%)	0,03	0,03	0,05	0,01	0,01	0,02	0,07
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)	Resistência à tração na flexão (MPa)	0,61	0,73	0,91	0,90	0,92	0,87	0,96
	Desvio Padrão (MPa)	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,06	0,01
	CV (%)	0,03	0,01	0,04	0,02	0,03	0,07	0,01

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

ANEXO 6: Módulo de elasticidade dinâmico

Tabela 29- Resultado do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias de idade

Condições de preparo da argamassa	Itens avaliados	REF	#2,4	#1,2	#0,6	#0,3	#0,15	(D/d) 2,4/015
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	23,50	19,87	20,19	20,26	21,22	21,82	26,21
	Velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/μs)	4,020	36,17	35,30	35,90	36,20	36,55	37,15
	Densidade (g/cm ³)	1,62	1,76	1,72	1,75	1,78	1,81	1,60
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	23,50	18,21	22,45	22,88	21,5	22,80	24,57
	Velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/μs)	4,020	41,45	38,15	41,50	37,45	39,55	42,95
	Densidade (g/cm ³)	1,61	1,61	1,67	1,61	1,64	1,62	1,48

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

ANEXO 7: Resultado comparativo da retração por secagem com agregado seco e pré-molhado.

Figura 48- Retração das argamassas #2,4 mm com e sem pré-molhagem

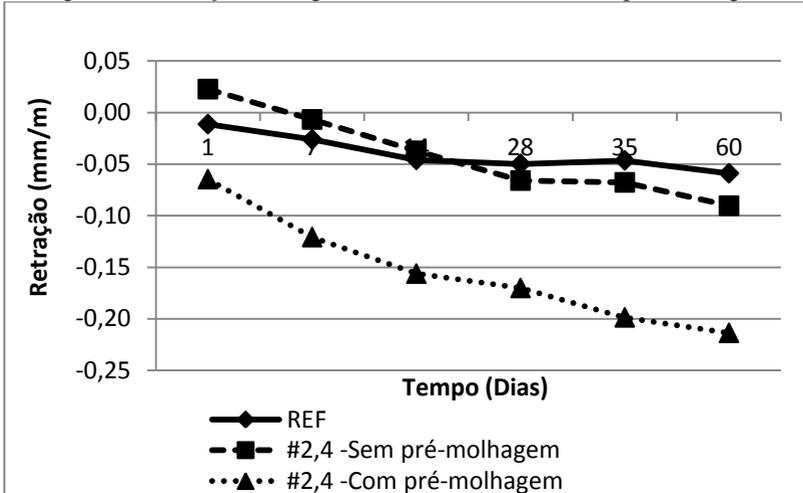


Figura 49- Retração das argamassas #1,2 mm com e sem pré-molhagem

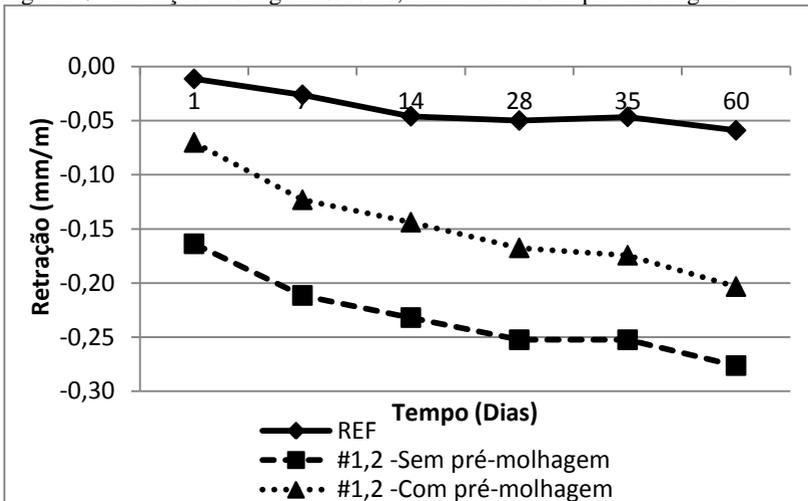


Figura 50- Retração das argamassas #0,6 mm com e sem pré-molhagem

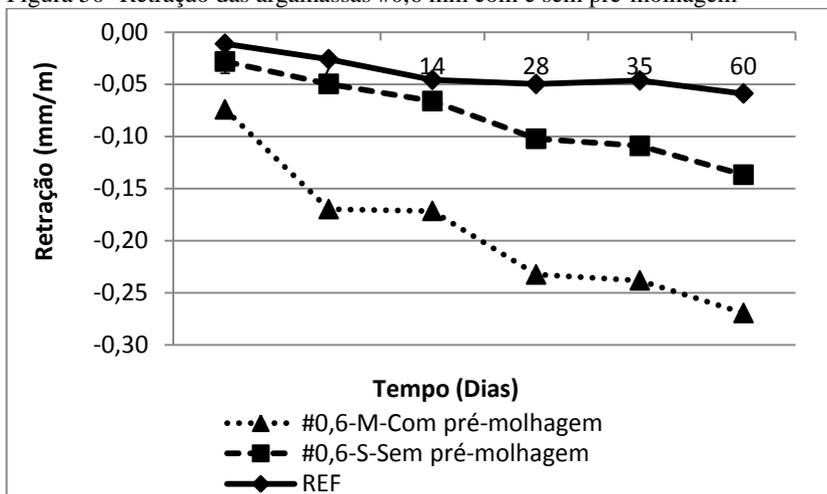


Figura 51- Retração das argamassas #0,3 mm com e sem pré-molhagem

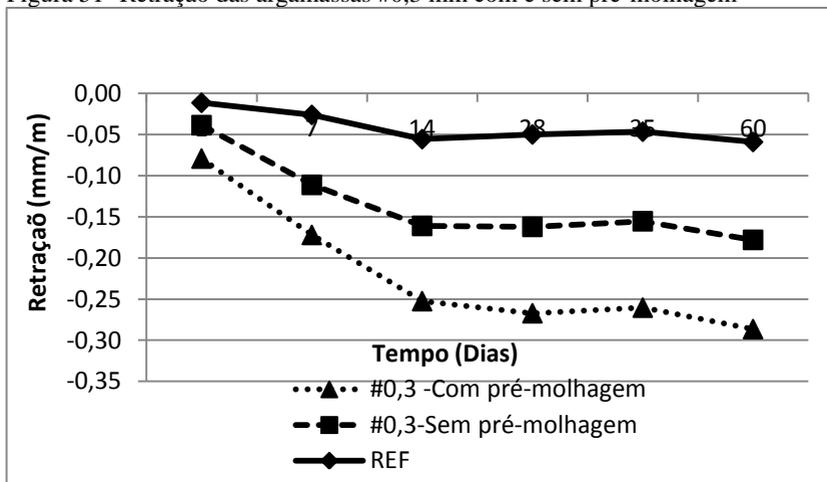


Figura 52- Retração das argamassas #0, 15 mm com e sem pré-molhagem.

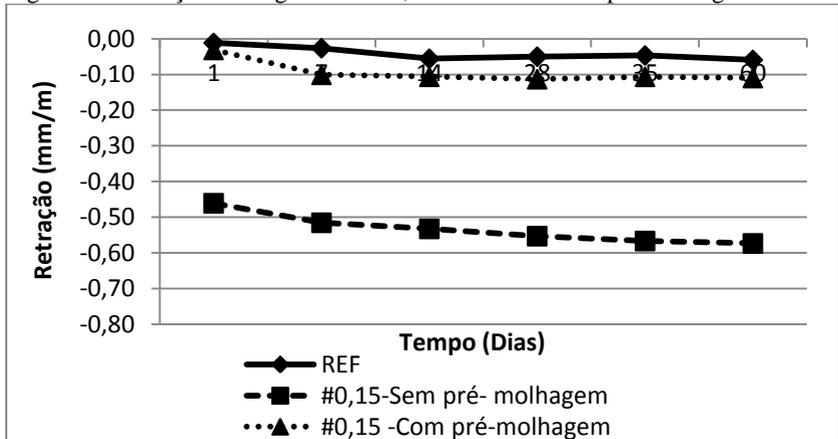
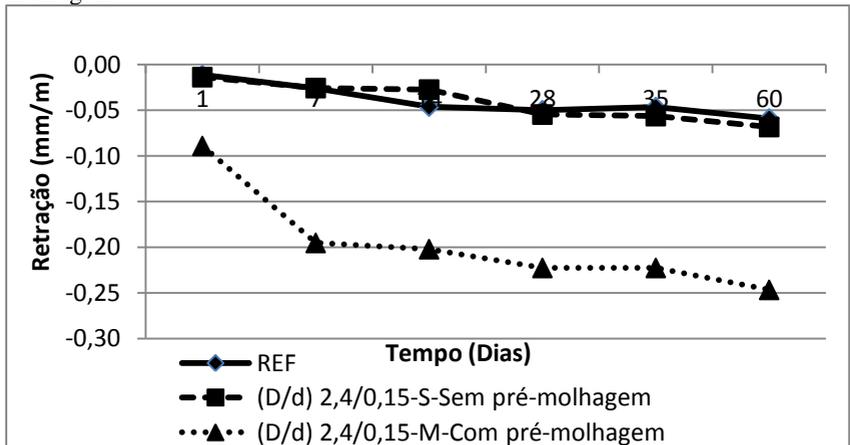


Figura 53- Retração das argamassas (D/d) 2,4/0,15 mm com e sem pré-molhagem



ANEXO 8: Análise visual do aparecimento de fissuras na superfície das argamassas

A análise visual indicou que após 28 dias de idade as argamassas não apresentaram fissuras.

Figura 54- Argamassas #2,4-S (a); argamassas #0,6-S (b); argamassas #0,3-S (c)



(a)



(b)



(c)

Figura 55- Argamassas #0,15-S (a); argamassas (D/d) 2,4/0,15-S; argamassa #2,4-M (c)



Eq. 23



Eq. 24



Eq. 25

Figura 56- Argamassas #1,2-M (a); argamassas #0,6-M (b); argamassas #0,3-M (c)



Eq. 26



Eq. 27



Eq. 29

Figura 57- Argamassas #0,15-M (a); argamassas (D/d)2,4/0,15-M (b)



Eq. 30



(a)

ANEXO 9: Perda de massa nas amostras no ensaio de retração.

Figura 58- Perda de água das argamassas sem pré-molhagem

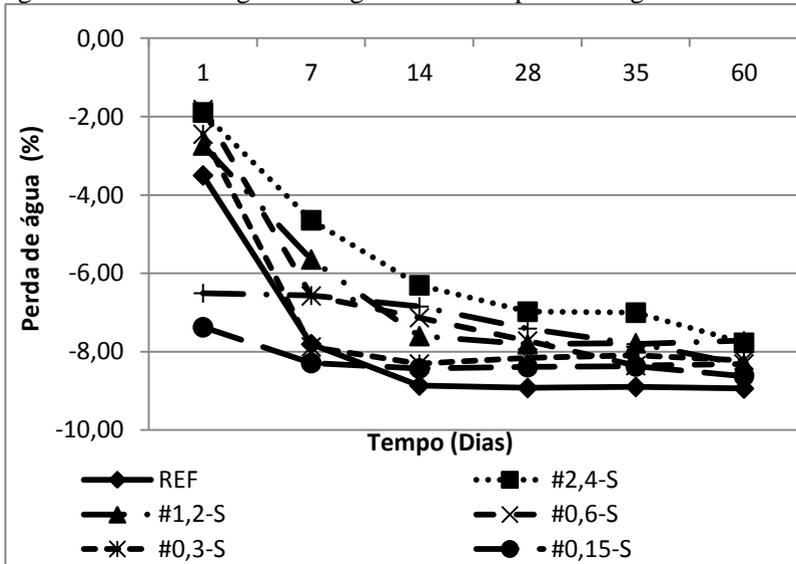


Figura 59- Perda de água das argamassas com pré-molhagem

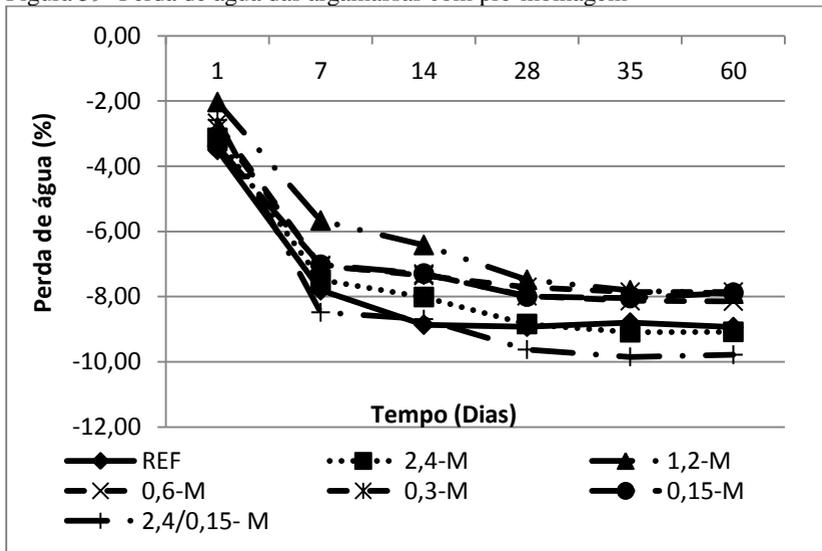


Figura 60- Perda de água das argamassas #2,4 mm com e sem pré-molhagem

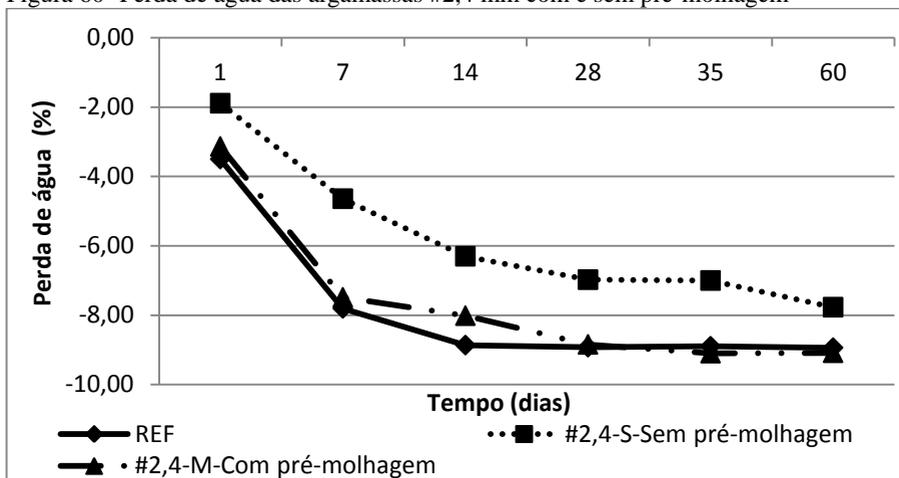


Figura 61- Perda de água das argamassas #1,2 mm com e sem pré-molhagem

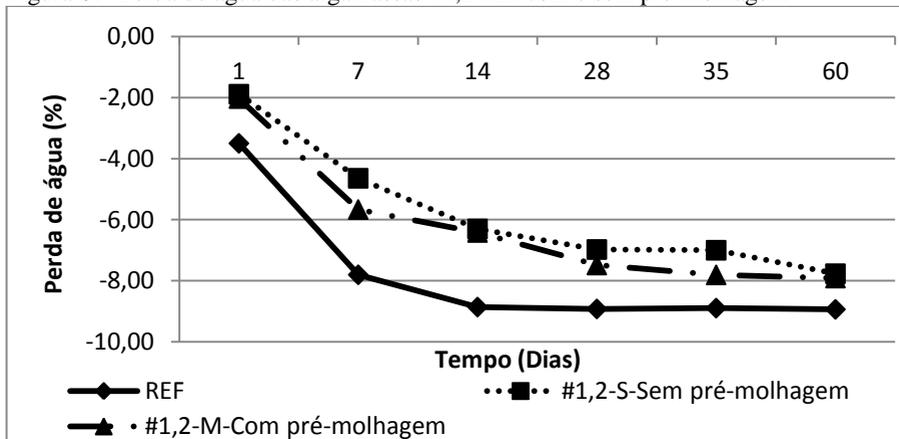


Figura 62- Perda de água das argamassas #0,6 mm com e sem pré-molhagem

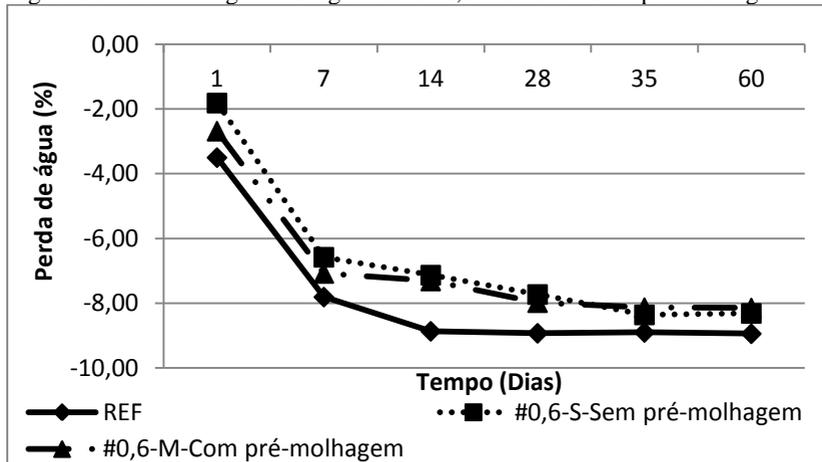


Figura 63- Perda de água das argamassas #0,3 mm com e sem pré-molhagem

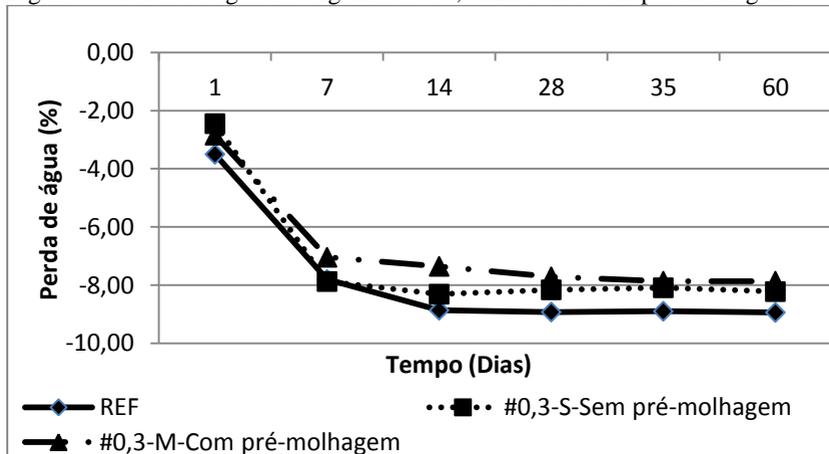


Figura 64- Perda de água das argamassas #0,15 mm com e sem pré-molhagem

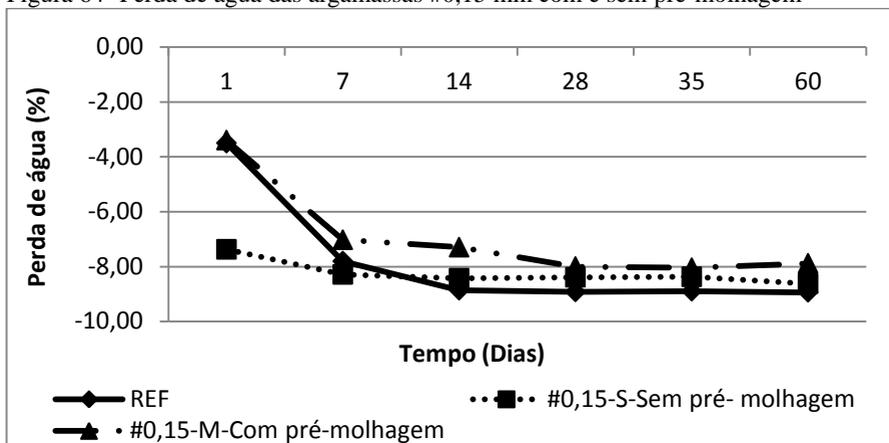
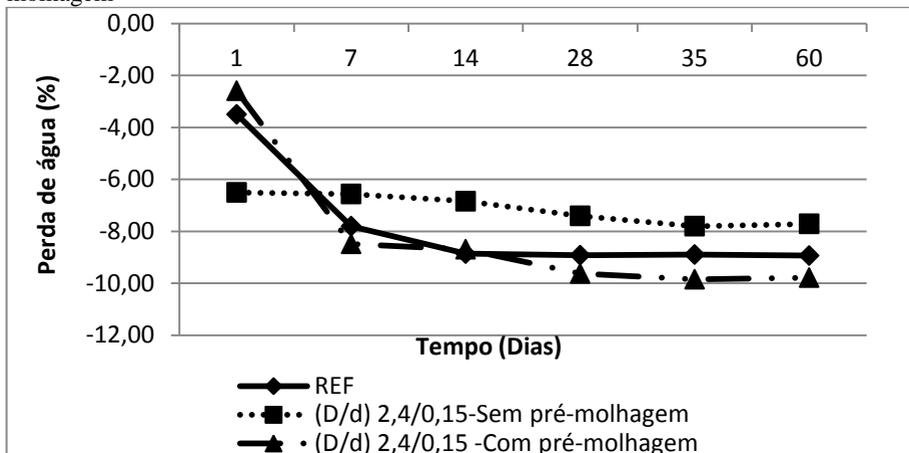


Figura 65- Perda de água das argamassas (D/d) 2,4/0,15mm com e sem pré-molhagem



ANEXO 9: Coeficiente de capilaridade- equação da reta

Figura 66- Coeficiente de capilaridade das argamassas #1,2-S e #1,2-M

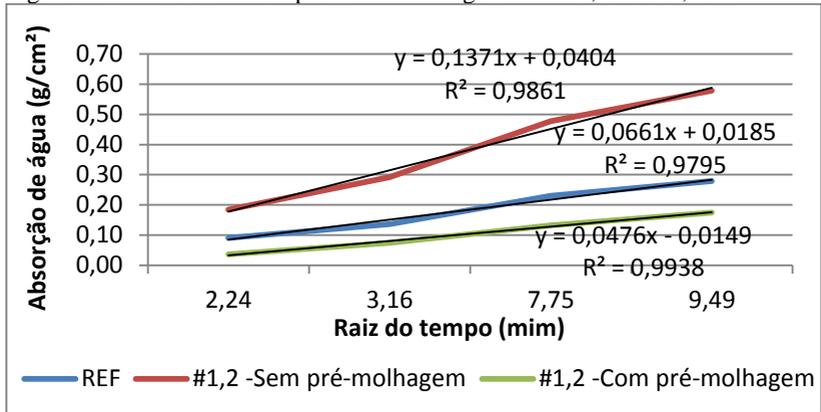


Figura 67- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,6-S e #0,6-M

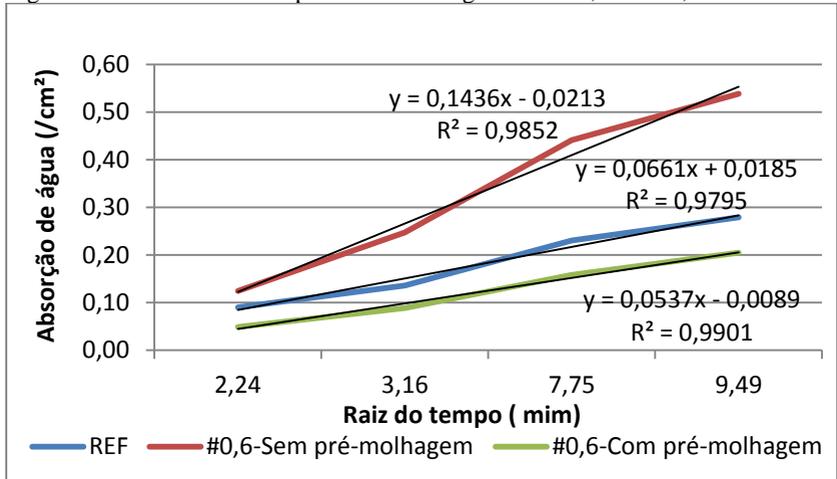


Figura 68- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,3-S e #0,3-M

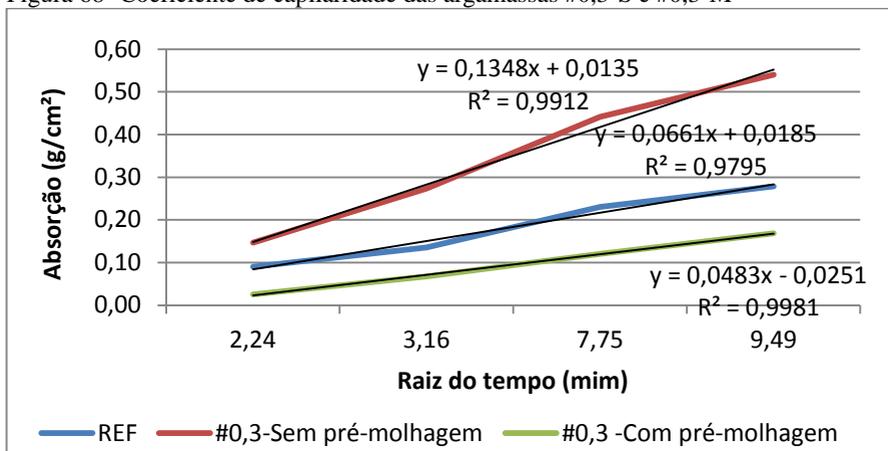


Figura 69- Coeficiente de capilaridade das argamassas #0,15-S e #0,15-M

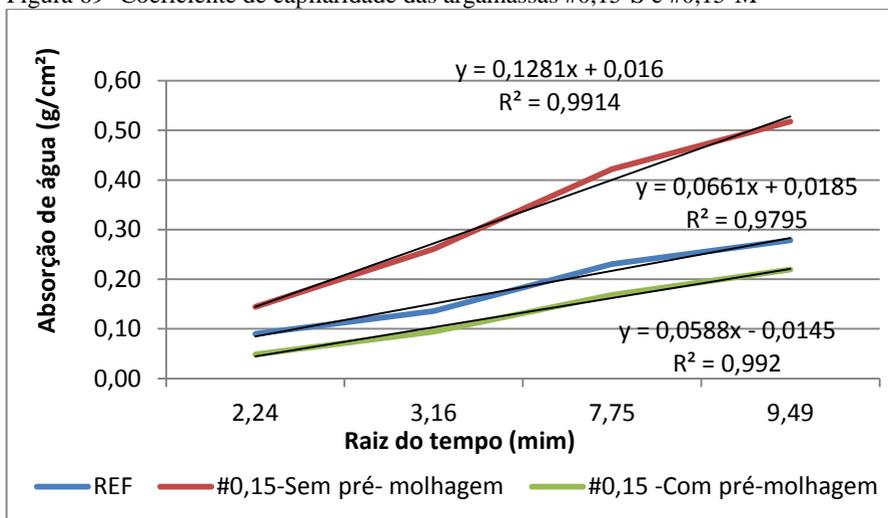
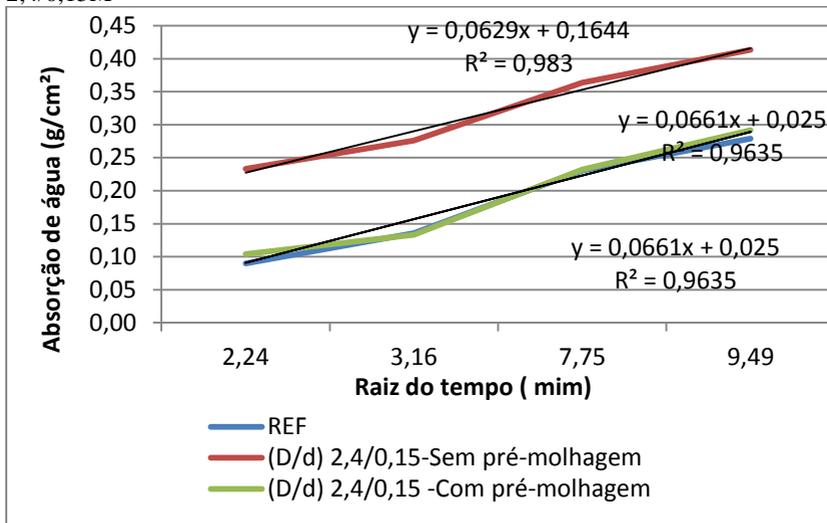


Figura 70-Coeficiente de capilaridade das argamassas (D/d) 2,4/0,15S e D/d 2,4/0,15M



ANEXO 10: Comparação da Absorção por capilaridade entre as argamassas com agregado seco e agregado pré-molhado

Figura 71- Absorção de água por capilaridade #2,4 mm

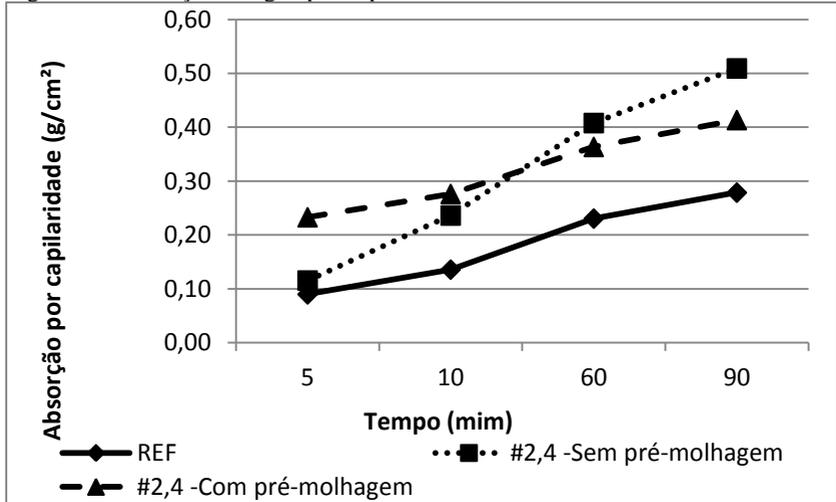


Figura 72- Absorção de água por capilaridade #1,2 mm

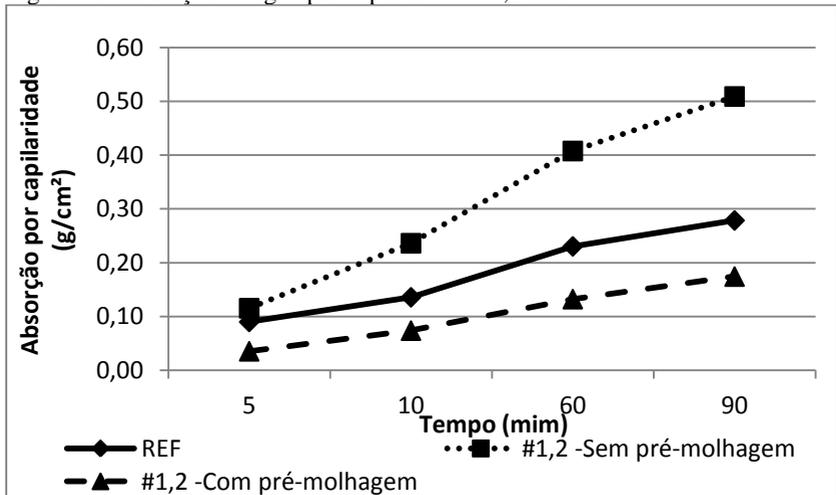


Figura 73- Absorção de água por capilaridade #0,6 mm

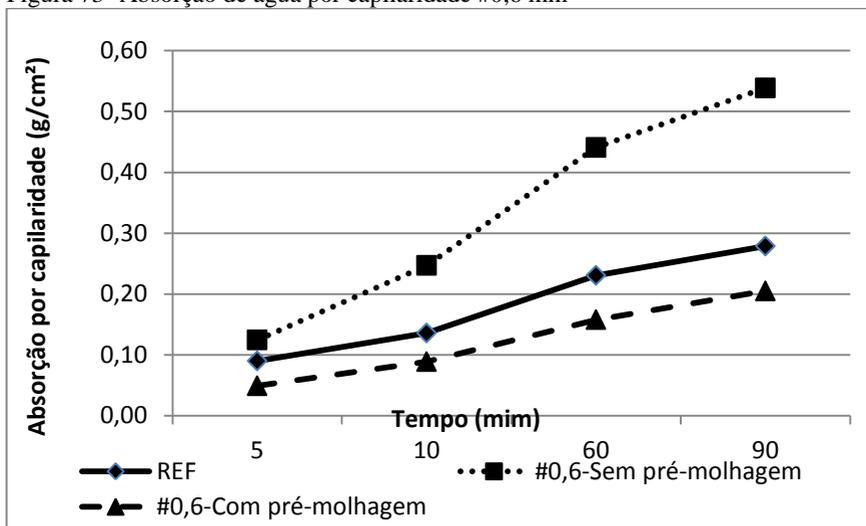


Figura 74- Absorção de água por capilaridade #0,3 mm

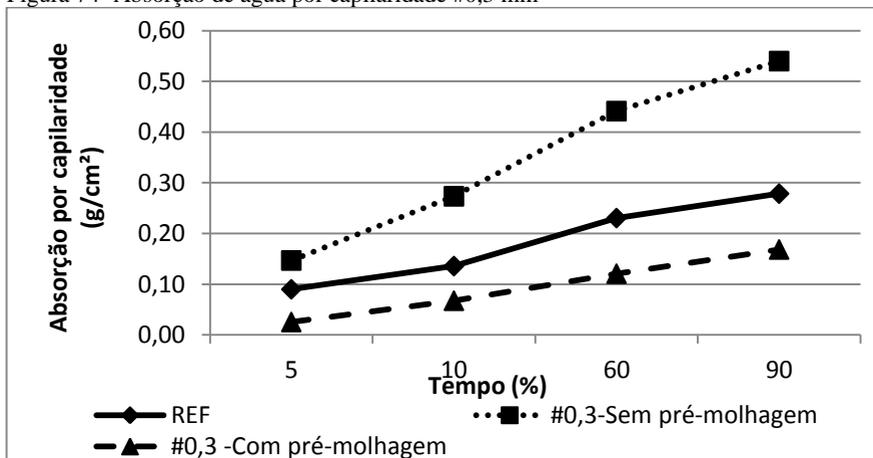


Figura 75- Absorção de água por capilaridade #0,15 mm

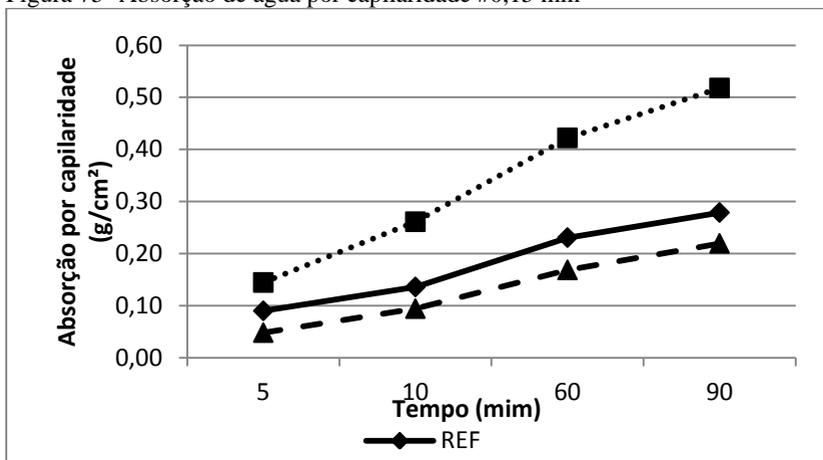
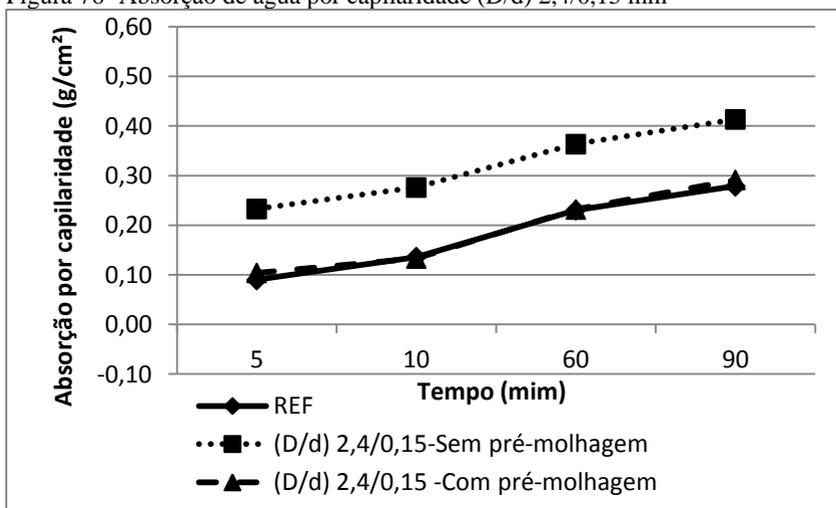


Figura 76- Absorção de água por capilaridade (D/d) 2,4/0,15 mm



ANEXO 11: Tabela 30- Resultado de absorção capilaridade das argamassas com agregado pré-molhado

Argamassas	CP	M0 (g)	M5 (g)	M10 (g)	M60 (g)	M90 (g)	A5 (g/cm ²)	A10 (g/cm ²)	A 60 (g/cm ²)	A90 (g/cm ²)	C (g/dm ³ . sistema)	C (g/dm ³ . sistema)	desvio padrão	C+%
REF	1,00	317,22	319,35	320,54	323,32	324,77	0,108	0,169	0,311	0,385	2,24	1,498	0,725	0,484
	2,00	317,95	319,57	320,58	321,56	322,42	0,083	0,134	0,184	0,228	0,79			
	3,00	316,51	318,06	318,56	320,38	321,62	0,079	0,104	0,197	0,224	1,47			
		Média					0,090	0,136	0,231	0,279	1,498			
2,4-S	1,00	345,74	347,41	349,23	352,90	355,03	0,085	0,178	0,365	0,473	2,96	2,714	0,217	0,080
	2,00	342,66	345,45	348,69	351,98	354,02	0,142	0,307	0,475	0,579	2,65			
	3,00	348,92	351,26	353,32	356,47	358,27	0,119	0,224	0,385	0,476	2,54			
		Média					0,115	0,236	0,408	0,509	2,714			
1,2-S	1,00	339,08	344,11	345,96	350,05	352,04	0,256	0,350	0,559	0,660	3,29	2,937	0,385	0,131
	2,00	340,49	344,19	346,07	349,78	351,50	0,188	0,284	0,473	0,561	2,99			
	3,00	334,47	336,56	339,23	342,37	344,60	0,106	0,242	0,402	0,516	2,53			
		Média					0,184	0,292	0,478	0,579	2,937			
0,6-S	1,00	343,75	345,03	347,51	350,29	352,05	0,065	0,191	0,333	0,423	2,24	3,064	0,825	0,269
	2,00	343,29	346,90	349,23	354,06	356,14	0,184	0,303	0,549	0,654	3,89			
	3,00	341,78	344,15	346,33	349,44	351,37	0,125	0,247	0,441	0,539	3,06			
		Média					0,125	0,247	0,441	0,539	3,064			
0,3-S	1,00	349,23	352,22	354,82	358,01	359,73	0,152	0,285	0,447	0,535	2,57	2,657	0,430	0,162
	2,00	350,17	352,81	354,81	358,69	360,97	0,134	0,236	0,434	0,550	3,12			
	3,00	346,75	349,77	352,63	355,46	357,27	0,154	0,299	0,444	0,536	2,28			
		Média					0,147	0,273	0,442	0,540	2,657			
0,15-S	1,00	346,85	349,40	351,97	355,02	356,96	0,130	0,261	0,416	0,515	2,46	1,696	1,472	0,868
	2,00	352,09	355,21	357,22	360,49	362,31	0,159	0,261	0,428	0,521	2,63			
	3,00										0,00			
		Média					0,144	0,261	0,422	0,518	1,696			
2,4,015-S	1,00	330,4	335,00	336,14	337,73	338,95	0,234	0,292	0,373	0,435	1,28	0,921	0,804	0,873
	2,00	331	335,55	336,11	337,95	338,69	0,232	0,260	0,354	0,392	1,48			
média							0,233	0,276	0,364	0,414	0,921			

ANEXO 12: Tabela 31-Resultado de absorção capilaridade das argamassas sem agregado pré-molhado

Argamassas	CP	M0 (g)	M5 (g)	M10 (g)	M60 (g)	M90 (g)	A5 (g/cm ²)	A10 (g/cm ²)	A 60 (g/cm ²)	A90 (g/cm ²)	C (g/dm ²)	C médio (g/dm ²)	desvio padrão	Cv-%
REF	1,00	317,22	319,35	320,54	323,32	324,77	0,108	0,169	0,311	0,385	2,24	1,498	0,725	0,484
	2,00	317,95	319,57	320,58	321,56	322,42	0,083	0,134	0,184	0,228	0,79			
	3,00	316,51	318,06	318,56	320,38	321,62	0,079	0,104	0,197	0,224	1,47			
		Média					0,090	0,136	0,231	0,279	1,498			
2,4-S	1,00	345,74	347,41	349,23	352,90	355,03	0,085	0,178	0,365	0,473	2,96	2,714	0,217	0,080
	2,00	342,66	345,45	348,69	351,98	354,02	0,142	0,307	0,475	0,579	2,65			
	3,00	348,92	351,26	353,32	356,47	358,27	0,119	0,224	0,385	0,476	2,54			
		Média					0,115	0,236	0,408	0,509	2,714			
1,2-S	1,00	339,08	344,11	345,96	350,05	352,04	0,256	0,350	0,559	0,660	3,29	2,937	0,385	0,131
	2,00	340,49	344,19	346,07	349,78	351,50	0,188	0,284	0,473	0,561	2,99			
	3,00	334,47	336,56	339,23	342,37	344,60	0,106	0,242	0,402	0,516	2,53			
		Média					0,184	0,292	0,478	0,579	2,937			
0,6-S	1,00	343,75	345,03	347,51	350,29	352,05	0,065	0,191	0,333	0,423	2,24	3,064	0,825	0,269
	2,00	343,29	346,90	349,23	354,06	356,14	0,184	0,303	0,549	0,654	3,89			
	3,00	341,78	344,15	346,33	349,44	351,37	0,125	0,247	0,441	0,539	3,06			
		Média					0,125	0,247	0,441	0,539	3,064			
0,3-S	1,00	349,23	352,22	354,82	358,01	359,73	0,152	0,285	0,447	0,535	2,57	2,657	0,430	0,162
	2,00	350,17	352,81	354,81	358,69	360,97	0,134	0,236	0,434	0,550	3,12			
	3,00	346,75	349,77	352,63	355,46	357,27	0,154	0,299	0,444	0,536	2,28			
		Média					0,147	0,273	0,442	0,540	2,657			
0,15-S	1,00	346,85	349,40	351,97	355,02	356,96	0,130	0,261	0,416	0,515	2,46	1,696	1,472	0,868
	2,00	352,09	355,21	357,22	360,49	362,31	0,159	0,261	0,428	0,521	2,63			
	3,00										0,00			
		Média					0,144	0,261	0,422	0,518	1,696			
2,4,015-S	1,00	330,4	335,00	336,14	337,73	338,95	0,234	0,292	0,373	0,435	1,28	0,921	0,804	0,873
	2,00	331	335,55	336,11	337,95	338,69	0,232	0,260	0,354	0,392	1,48			
média							0,233	0,276	0,364	0,414	0,921			

ANEXO 13: Resultado do ensaio de absorção de água por imersão e índice de vazios

Tabela 32- Resultado da Absorção e do índice de vazios

Condições de preparo das argamassas	Frações (mm)	Absorção por imersão (%)			Índices de vazios (%)		
		Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)
	REF	16,23	1,18	0,07	26,59	1,86	0,07
Sem pré-molhagem do agregado reciclado (S)	#2,4	11,75	0,33	0,03	21,56	0,48	0,02
	#1,2	12,54	0,15	0,01	22,48	0,19	0,01
	#0,6	13,32	0,62	0,05	23,93	1,07	0,04
	#0,3	13,22	0,63	0,05	24,06	0,92	0,04
	#0,15	10,52	1,66	0,16	19,75	2,81	0,14
	(D/d) 2,4/0,15	21,82	0,92	0,04	35,23	1,19	0,03
Com pré-molhagem do agregado reciclado (M)	#2,4	14,78	0,03	0,00	23,89	0,22	0,01
	#1,2	13,94	0,41	0,03	23,47	0,58	0,00
	#0,6	13,27	0,37	0,03	23,23	0,27	0,00
	#0,3	13,84	0,61	0,04	23,19	0,93	0,00
	#0,15	14,10	0,14	0,01	23,19	0,21	0,00
	(D/d) 2,4/0,15	19,62	0,88	0,05	29,35	1,13	0,00

S= Sem pré-molhagem do agregado reciclado M= Com pré-molhagem do agregado reciclado

ANEXO 14: Resultado do ensaio aderência

Tabela 33- Resultado do teste de aderência

Condição de preparo da argamassa	Itens avaliados	REF	#2,4	#1,2	#0,6	#0,3	#0,15	(D/d) 2,4/0,15
Sem pré-molhagem do agregado reciclado	Tração à Aderência (MPa)	0,12	0,16	0,08	0,10	0,08	0,13	0,04
	Desvio Padrão (MPa)	0,04	0,09	0,05	0,03	0,05	0,08	0,02
	CV (%)	30,05	59,17	62,41	25,69	60,26	60,26	52,22
Com pré-molhagem do agregado reciclado	Tração à Aderência (MPa)	0,12	0,03	0,21	0,06	0,06	-	0,21
	Desvio Padrão (MPa)	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	-	0,08
	CV (%)	30,05	116,06	9,94	35,83	66,77	-	38,12