

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DOS
AGREGADOS RECICLADOS MISTOS NAS
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rosana Prado Oliveira

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DOS
AGREGADOS RECICLADOS MISTOS NAS PROPRIEDADES
DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Rosana Prado Oliveira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração em
Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em
Engenharia Civil**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luiz Guerra Gastaldini

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

OLIVEIRA, Rosana Prado
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DOS AGREGADOS
RECICLADOS MISTOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO / Rosana Prado OLIVEIRA.-2015.
178 p.; 30cm

Orientador: Antônio Luiz Guerra Gastaldini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2015

1. Argamassas de revestimento 2. Agregados reciclados
mistos 3. Agregado peneirado 4. Teor de finos I.
Gastaldini, Antônio Luiz Guerra II. Título.

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DOS AGREGADOS
RECICLADOS MISTOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

elaborada por
Rosana Prado Oliveira

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Antônio Luiz Guerra Gastaldini (UFSM)
(Orientador)



Prof.ª Dr. Ângela Borges Masuero (UFRGS)



Prof. Dr. Rogério Cattelan Antocheyes de Lima (UFSM)

Santa Maria, 14 de julho de 2015.

Agradecimentos

Agradeço

Primeiramente a Deus.

À UFSM, pela oportunidade de realizar uma pós-graduação nessa instituição, onde realizei a graduação.

Ao professor Antônio Luiz Guerra Gastaldini, por ter aceitado ser meu orientador, ajudando-me na realização desta pesquisa.

A todos os professores, pelos ensinamentos passados.

Aos professores Ângela e Rogério pelas contribuições a essa pesquisa.

Ao meu namorado Jairo, maior incentivador, que me acompanhou desde o primeiro até o último dia da pós-graduação, pela amizade, amor, carinho, compreensão, paciência e ajuda, sem a qual a realização deste trabalho não seria possível.

Aos meus pais e irmãos, que são pessoas fundamentais na minha vida, por todo o apoio e amor incondicional. A minha mãe, pelo incentivo em dar continuidade aos estudos e ajudas no laboratório, a minha irmã por ter cuidado de mim quando eu mais precisei, ao meu irmão pelas jantas e massagens pós-laboratório e ao meu pai pela ajuda técnica.

Aos estudantes da graduação, bolsistas e voluntários, pelo auxílio no laboratório. Em especial, ao Artur, que ajudou muito na fase final, inclusive nos finais de semana.

Aos colegas de aula e laboratório, em especial à Tatiani e à Karina, pela amizade, trabalhos em grupo e ajudas nos ensaios.

Aos funcionários do LMCC, que auxiliaram na realização de alguns ensaios, em especial ao seu João, ao Zé Pedro e ao Eduardo.

Ao Paulo Obregon pelo auxílio no ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.

À secretária do PPGECC, Marília, que me auxiliou em todas as instâncias necessárias.

Ao meu pai, minha irmã, e minha amiga Francieli, pela compreensão de minhas ausências no escritório, nesse período. Em especial ao meu pai, pela liberação do escritório na fase final do trabalho, que foi de fundamental relevância para a confecção dos assuntos aqui discorridos.

À minha sobrinha Luiza, simplesmente por existir e trazer alegria para toda a família.

E a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS DOS AGREGADOS RECICLADOS MISTOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Autora: Rosana Prado Oliveira
Orientador: Antônio Luiz Guerra Gastaldini
Santa Maria, 14 de julho de 2015

A expansão da construção civil é de grande importância para o desenvolvimento econômico do país, devido à posição de destaque que o setor ocupa na economia, com geração de empregos, viabilização de moradias, renda e infraestrutura. No entanto, é também responsável por graves problemas ambientais relacionados aos processos construtivos. Diante da atual preocupação com sustentabilidade, a reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD), é muito importante, pois reduz impactos ambientais como a extração de matéria prima natural e a poluição, causada pela destinação inadequada desses materiais. Os resíduos reciclados podem ser aplicados em diversos usos na construção civil e a utilização de areia reciclada em argamassas de revestimento, é uma das mais viáveis, visto que não estão sujeitas a esforços estruturais. Neste trabalho, foi realizada a investigação, frente à influência do teor de finos dos agregados reciclados nas argamassas de revestimento. Para isso, misturas, com 20%, 30%, 40%, e 50% de substituição de agregado natural por agregado reciclado britado e peneirado (sem finos), tiveram seu desempenho comparado ao das misturas contendo agregado reciclado britado não peneirado (com finos) e à mistura de referência, contendo como agregado areia natural. Os RCD, fornecidos pela usina de reciclagem de Santa Maria são mistos, provenientes de tijolos e blocos cerâmicos, telhas, argamassas, resíduos de concreto, rochas e pisos cerâmicos. O traço utilizado foi 1:2:8 (cimento: cal: agregado miúdo) em volume, com o agregado miúdo seco e as substituições de agregado reciclado por agregado natural foram feitas em massa. Para avaliar a influência do teor de finos nas argamassas com agregados reciclados, foram analisadas as principais propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido e o desempenho de algumas dessas argamassas em um sistema de revestimento. No estudo concluiu-se que as argamassas com agregado reciclado peneirado apresentaram melhores propriedades e menor susceptibilidade à fissuração, em relação às argamassas com agregado não peneirado. Entre elas, a argamassa com 30% de substituição de agregado natural por agregado reciclado britado e peneirado, foi a que apresentou melhor conjunto de propriedades.

Palavras chave: teor de finos, agregado reciclado peneirado, argamassas de revestimento

ABSTRACT

STUDY OF INFLUENCE OF FINE CONTENT OF MIXED RECYCLED AGGREGATES IN COATING MORTAR PROPERTIES

Author: Rosana Prado Oliveira

Advisor: Antônio Luiz Guerra Gastaldini

The expansion of the construction is of great importance for the economic development of the country, due to the prominent position the sector takes in economy, creating jobs, enabling housing, income and infrastructure. However, it is also responsible for serious environmental problems related to the construction processes. Given the current concern about sustainability, recycling of waste from construction and demolition (WCD), it is very important because it reduces environmental impacts such as the extraction of raw natural material and pollution caused by improper disposal of these materials. The recycled waste may be applied in various uses in the construction and the use of recycled sand mortar coating is one of the most viable, since they are not subject to structural efforts. In this study, the research was carried out against the influence of fines content of recycled aggregates in coating mortars. Therefore, mixtures containing 20%, 30%, 40% and 50% of natural aggregate replaced by crushed and sieved recycled aggregate (without fines), had their performance compared to mixtures containing crushed and unsieved recycled aggregate (with fines) and to the reference mixture, which contains as aggregate the natural sand. The WCD, provided by company of Santa Maria, are a mixed of bricks, ceramic blocks, tiles, mortars, concrete waste, rocks and ceramic floors. The materials ratio used was 1: 2: 8 (cement: lime: dry fine aggregate) by volume and the recycled aggregate substitutions for natural aggregate were made by volume. To evaluate the influence of the fines content in mortars with recycled aggregates, were analyzed the main properties of mortars in the fresh state and hardened state and the performance of some of these mortars in a coating system. The study concludes that, mortars with recycled and sieved aggregate showed better properties and lower susceptibility to cracking, relative to mortars with unsieved aggregate. Among them, the mortar with a 30% replacement of natural aggregate by crushed and sieved recycled aggregate, presented the best set of properties.

Key words: content of fines; sieved recycled aggregate; coating mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos sólidos produzidos per capita ao dia, em diferentes países do mundo.....	21
Figura 2 - Resíduos sólidos no Brasil em 2013	23
Figura 3 - Agregado reciclado gerado a partir do RCD no Brasil.....	25
Figura 4 - Usinas de reciclagem no país ao longo dos anos	26
Figura 5 - RCD utilizado como sub-base.	27
Figura 6 - Fluxograma da reciclagem de RCD em algumas usinas do Brasil.....	28
Figura 7 - Fluxograma de uma planta de reciclagem de RCD nos EUA.....	30
Figura 8 - Linha do tempo da empresa GR 2	33
Figura 9 - Equipamentos da GR 2, (a) britador; (b) esteira transportadora.....	34
Figura 10 - Camadas que compõem os sistemas de revestimento	40
Figura 11 - Variabilidade dos agregados reciclados na Central de Ribeirão Preto	48
Figura 12 - Condições de aplicação das argamassas	57
Figura 13 - (a) amostra 1; (b) amostra 2 - após a separação manual.....	74
Figura 14 - Agregado reciclado - (a) britador tipo mandíbula utilizado; (b) material resultante do processo	76
Figura 15 - Curvas granulométricas da areia e do RCD britado	76
Figura 16 - Aspecto visual do comportamento das arg. com diferentes teores de substituição (a) 25%; (b) 50%; (c)75%; (d) 100%	77
Figura 17 - Aspecto visual da argamassa com 75% de substituição após o ensaio.....	78
Figura 18 - Ensaio de índice de consistência (a) argamassa no tronco cônico (b) medição do espalhamento com o paquímetro	82
Figura 19 - Funil Buchner, equipamento utilizado no ensaio de retenção de água.....	83
Figura 20 - Ensaio de retenção de água - (a) prato com filtro; (b) golpes na argamassa; (c) funil.....	84
Figura 21 - Ensaio de densidade aparente e teor de ar incorporado - (a) recipiente cilíndrico; (b) golpeamento com a espátula; (c) pesagem da argamassa	85
Figura 22 - Ensaio de resistência à tração na flexão - (a) moldagem; (b) corpos de prova; (c) ruptura à tração na flexão	87
Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão axial - (a) metades; (b) ruptura à compressão axial	88
Figura 24 - Moldagem das argamassas sobre substratos de concreto	89
Figura 25 - Ensaio de potencial de aderência à tração – (a) arrancamento com dinamômetro; (b) pastilhas após a ruptura.....	89
Figura 27 - Relógio comparador de comprimento.....	91
Figura 26 - Ensaio de variação dimensional – (a) molde com pinos; (b) moldagem; (c) câmara climatizada	91
Figura 28 - Ensaio de densidade aparente no estado endurecido - (a) medição com o paquímetro; (b) pesagem	92
Figura 29 - Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico - (a) regulagem com barra de referência; (b) ensaio na argamassa.....	93

Figura 30 - Ensaio de absorção de água por capilaridade – (a) lixamento dos cps; (b) cps em contato com a água; (c) altura de 5mm de água	94
Figura 31 - Corpos de prova após o ensaio de absorção por capilaridade.....	95
Figura 32 - Cronograma de execução das camadas de revestimento	96
Figura 33 - Execução das argamassas - (a) painéis chapiscados; (b) lançamento; (c) sarrafeamento; (d) desempenho	97
Figura 34 - RCD britado (esq.), peneirado e passante.....	98
Figura 35 - Relação água/cimento e índice de consistência	102
Figura 36 - Manutenção da consistência com o tempo	104
Figura 37 - Retenção de água das argamassas.....	105
Figura 38 - Densidade de massa no estado fresco	107
Figura 39 - Teor de ar incorporado das argamassas	108
Figura 40 - Resistência à tração na flexão 7, 14 e 28 dias.....	110
Figura 41 - Resistência à tração na flexão, argamassas com e sem finos.....	111
Figura 42 - Resistência à compressão axial 7 d, 14 d e 28 d.....	112
Figura 43 - Resistência à compressão axial, argamassas com e sem finos	113
Figura 44 - Argamassas produzidas: todas sem fissuras	115
Figura 45 - Resistência potencial de aderência à tração	115
Figura 46 - Retração das argamassas 1d, 7d e 28d.....	117
Figura 47 - Comportamento das argamassas em geral, quanto à retração	118
Figura 48 - Variação de massa 1d, 7d e 28d.....	118
Figura 49 - Densidade de massa no estado endurecido	119
Figura 50 - Médias do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias	120
Figura 51 - Absorção de água.....	121
Figura 52 - Coeficiente de capilaridade.....	123
Figura 53 - Argamassa referência, 30% SF e 30% CF com um dia.....	126
Figura 54 - Formas de ruptura no ensaio de potencial de aderência à tração.....	128
Figura 55 - Argamassa de referência, rupturas predominantes do tipo A e D	129
Figura 56 - Argamassa 30%SF, rupturas predominantes do tipo B e D.....	129
Figura 57 - Argamassa 30%CF, rupturas predominantes do tipo B e D	129
Figura 58 - Fissura na argamassa 30%CF com 1dia	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.....	42
Tabela 2 - Tipos e constituição dos cimentos Portland normatizados no Brasil	44
Tabela 3 - Cal hidratada para construção – exigências químicas	45
Tabela 4 - Requisitos dos agregados reciclados para concreto sem função estrutural	50
Tabela 5 - Forma dos grãos	53
Tabela 6 - Absorção de água de alguns materiais processados como agregados miúdos	55
Tabela 7 - Características do Cimento Portland CP II E – 32	71
Tabela 8 - Características da Cal Hidratada	72
Tabela 9 - Características físicas dos agregados natural e reciclado	73
Tabela 10 - Composição gravimétrica do RCD.....	75
Tabela 11 - Argamassas produzidas	79
Tabela 12 - Características dos agregados.....	99
Tabela 13 - Teor de finos das argamassas produzidas.....	99
Tabela 14 - Argamassas produzidas	101
Tabela 15 - Resumo das propriedades das argamassas no estado fresco	101
Tabela 16 - Médias de Índice de consistência	103
Tabela 17 - Manutenção da consistência	104
Tabela 18 - Densidade de massa e teor de ar incorporado	106
Tabela 19 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa.....	108
Tabela 20 - Resumo das propriedades das argamassas no estado endurecido	109
Tabela 21 - Médias de resistência à tração na flexão	110
Tabela 22 - Médias de resistência à compressão axial (MPa).....	112
Tabela 23 - Valores médios da resistência potencial de aderência à tração aos 28 dias	114
Tabela 24 - Médias da variação dimensional e variação de massa, 1d, 7d e 28d.....	116
Tabela 25 - Valores médios de módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	120
Tabela 26 - Médias de Absorção de água (g/cm ³)	122
Tabela 27 - Médias Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	122
Tabela 28 - Análise das propriedades das argamassas no estado endurecido	126
Tabela 29 - Resultados de potencial de aderência à tração.	127
Tabela 30 - Classificação do revestimento quanto à susceptibilidade à fissuração.....	131
Tabela 31 - Características das argamassas produzidas	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes dos Resíduos de Construção e Demolição (CONAMA, RES 448, 2012).	20
Quadro 2 - Normalizações referentes a Resíduos da Construção Civil.....	24
Quadro 3 - Destinação do RCD coletado pelas empresas de tele entulho em Santa Maria	32
Quadro 4 - Usos recomendados para agregados reciclados	37
Quadro 5 - Tipos de argamassa conforme o uso	39
Quadro 6 - Classificação dos agregados e usos.....	46
Quadro 7 - Propriedades utilizadas na classificação das argamassas.....	56
Quadro 8 - Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade das argamassas.....	100
Quadro 9 - Relação do percentual de substituição e teor de finos com as propriedades das argamassas.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRECON: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição;

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ARB: agregado reciclado britado;

ARBP: agregado reciclado britado e peneirado;

ARC: agregado reciclado de concreto;

ARM: agregado reciclado misto;

ASTM: American Society for Testing and Materials;

A/C: Água/ cimento;

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment;

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente;

CF: Argamassas com finos provenientes do agregado reciclado;

CP: Corpo de prova;

CTR: Controle de Transporte de Resíduos;

LMCC: Laboratório de Materiais de Construção Civil;

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

NBR: Norma Brasileira de Referência;

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos;

RCD: Resíduo de Construção e Demolição;

RSU: Resíduos sólidos urbanos;

SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas;

SF: Argamassas sem finos, com menos de 1% de finos provenientes do agregado reciclado;

UR: Umidade Relativa;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	DEFINIÇÃO TEMÁTICA	17
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	19
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	20
2.1	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	20
2.2	PANORAMA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO GERADA	21
2.3	RECICLAGEM E GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL	24
2.4	RECICLAGEM E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM SANTA MARIA	30
2.5	AGREGADOS RECICLADOS GERADOS A PARTIR DE RCD	35
3	ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	39
3.1	DEFINIÇÕES E USOS	39
3.2	SISTEMAS DE REVESTIMENTO	40
3.3	FUNÇÕES DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO	42
3.4	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CONSTITUINTES	43
3.4.1	<i>Aglomerantes</i>	43
3.4.2	<i>Agregados</i>	45
3.5	AGREGADOS RECICLADOS	47
3.5.1	<i>Variabilidade</i>	47
3.5.2	<i>Contaminação e impurezas</i>	49
3.5.3	<i>Teor de material pulverulento</i>	50
3.6	INFLUÊNCIA DE PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	51
3.6.1	<i>Granulometria e teor de finos</i>	51
3.6.2	<i>Forma e textura superficial dos grãos</i>	52
3.6.3	<i>Massa específica e massa unitária</i>	53
3.6.4	<i>Absorção de água</i>	54
3.7	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	55
3.7.1	<i>Índice de consistência e percentual de água</i>	56
3.7.2	<i>Retenção de água</i>	58
3.7.3	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	59
3.7.4	<i>Resistência à tração na flexão e resistência à compressão</i>	59
3.7.5	<i>Resistência potencial de aderência à tração</i>	60
3.7.6	<i>Variação dimensional</i>	61
3.7.7	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	62
3.7.8	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	63
3.8	INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS EM PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	64
3.8.1	<i>Influência do teor de finos na fissuração das argamassas</i>	66
4	MATERIAIS E MÉTODOS	69

4.1	DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NAS ARGAMASSAS	69
4.1.1	<i>Cimento</i>	70
4.1.2	<i>Cal</i>	71
4.1.3	<i>Agregados</i>	72
4.2	PREPARO DOS AGREGADOS RECICLADOS	73
4.3	ENSAIOS PRÉVIOS	76
4.4	PREPARO DAS ARGAMASSAS A SEREM ESTUDADAS	78
4.4.1	<i>Método de mistura das argamassas</i>	80
4.6	ENSAIOS PARA ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	81
4.6.1	<i>Índice de consistência e percentual de água</i>	82
4.6.2	<i>Retenção de água</i>	83
4.6.3	<i>Densidade de massa e Teor de ar incorporado</i>	84
4.7	ENSAIOS PARA ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	86
4.7.1	<i>Moldagem dos corpos de prova</i>	86
4.7.2	<i>Resistência à tração na flexão</i>	86
4.7.3	<i>Resistência à compressão axial</i>	87
4.7.4	<i>Resistência potencial de aderência à tração: ensaio em substratos padrão</i>	88
4.7.5	<i>Variação dimensional (retração ou expansão linear) e variação de massa</i>	90
4.7.6	<i>Densidade aparente no estado endurecido</i>	91
4.7.7	<i>Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica</i>	92
4.7.8	<i>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade</i>	94
4.8	ENSAIO COMPLEMENTAR PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS NA ARGAMASSA COMPONDO UM SISTEMA DE REVESTIMENTO	95
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	98
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS E TEOR DE FINOS DOS AGREGADOS	98
5.2	ARGAMASSAS PRODUZIDAS	100
5.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	101
5.3.1	<i>Índice de consistência e teor de água</i>	102
5.3.1.1	<i>Manutenção da consistência</i>	103
5.3.2	<i>Retenção de água</i>	105
5.3.3	<i>Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado</i>	106
5.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	109
5.4.1	<i>Resistência à tração na flexão</i>	110
5.4.2	<i>Resistência à compressão axial</i>	111
5.4.3	<i>Resistência potencial de aderência à tração</i>	114
5.4.4	<i>Variação dimensional e variação de massa</i>	116
5.4.5	<i>Densidade aparente no estado endurecido</i>	119
5.5	RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS, OS PERCENTUAIS DE SUBSTITUIÇÃO E TEOR DE FINOS	123
5.6	AValiação COMPLEMENTAR DE ARGAMASSAS COMPONDO UM SISTEMA DE REVESTIMENTO	124
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
6.1	CONCLUSÕES	134
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	137
	REFERÊNCIAS	138

REFERÊNCIAS CONSULTADAS	147
APÊNDICES	148
APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	149
APÊNDICE B - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	150
APÊNDICE C - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	152
APÊNDICE D – AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS EM UM SISTEMA DE REVESTIMENTO	170
APÊNDICE E – FLUXOGRAMA DO PROCESSO EXPERIMENTAL	173
ANEXOS	174
ANEXO A - ÁREAS DE DEPOSIÇÃO ILEGAL DE RCD EM SANTA MARIA	175
ANEXO B - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	176

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a humanidade desenvolveu a exploração contínua dos mais variados recursos naturais sem se preocupar com as ameaças dessa atividade aos ecossistemas.

Neto (2005) destaca que o descontrolado crescimento populacional impulsionou o aumento da demanda por bens e serviços, o que gerou uma sociedade de consumo e desperdício como jamais havia ocorrido. Paralelamente, aliado ao avanço tecnológico, o progresso da indústria propiciou a criação de novos produtos, cujo uso indiscriminado levou à dilapidação dos recursos naturais. Nesse paradigma, a preservação da natureza era vista como contrária ao desenvolvimento e os recursos naturais eram considerados inesgotáveis. Tradicionalmente, os resíduos gerados durante a produção e ao final de sua vida útil eram descartados em aterros irregulares.

É recente a percepção de que esse caminho levaria a natureza rapidamente à catástrofe, da qual já existem indícios inequívocos, como problemas relacionados ao consumo energético, exemplificados no aquecimento global e na chuva ácida; e relacionados ao meio ambiente, como desmatamento e desertificação. Esse discernimento fez com que a questão ambiental passasse a ser discutida em diversas áreas do conhecimento.

Nesse contexto, a construção civil, embora seja de grande importância para o desenvolvimento econômico do país devido à posição de destaque que o setor ocupa na economia, com a geração de número elevado de empregos, viabilização de moradias, renda e infraestrutura, é também responsável por graves problemas ambientais relacionados aos processos construtivos, como a extração de matérias primas naturais e a geração de grande volume de resíduos nas construções e demolições de obras.

Segundo Angulo (2000), com a chegada do conceito de desenvolvimento sustentável e a necessidade de novas relações da população com o meio ambiente, a construção civil passa por importantes transformações. Redução de desperdício, busca de melhor qualidade de seus produtos, reciclagem de seus resíduos, projetos voltados para sustentabilidade ambiental, aumento da durabilidade de componentes passam a ser preocupações atuais no campo da pesquisa voltada para a sustentabilidade.

Souza et al. (2004) também destacam que o interesse por políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil tem se acirrado com a discussão de questões ambientais. Uma vez que desperdiçar materiais, seja na forma de resíduo, seja sob outra natureza, significa desperdiçar recursos naturais. Como consequência disso, a indústria da construção civil fica no centro das discussões na busca pelo desenvolvimento sustentável, nas suas diversas dimensões.

Essa preocupação com a sustentabilidade faz com que a procura por inovações se intensifique cada vez mais nesse setor. Visando a isso, tem-se buscado, entre outras ações, tornar viável a reciclagem dos resíduos de construção e de demolição para substituição de agregados naturais, podendo ser aplicados em diversos usos na construção civil.

Para Dal Molin et al. (2009), uma solução possível para a redução dos impactos causados pelo setor centra-se na reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) para a produção de agregados, destacando-se a sua reutilização como matéria prima na própria construção civil.

Miranda e Selmo (2003) também destacam que opções para a reciclagem de RCD não faltam, e a produção de areia reciclada para uso em argamassas de assentamento de alvenarias e de revestimentos de paredes e tetos talvez seja uma das mais viáveis, visto que argamassas para essas aplicações não estão sujeitas a esforços estruturais.

Embora as primeiras pesquisas científicas no Brasil, envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) em argamassas, tenham sido realizadas por Pinto em 1986, a partir daí, já existem muitos estudos na área. Hoje, quase trinta anos após, pouco se tem aplicado na prática, devido às dificuldades ainda encontradas na reciclagem e na produção dessas argamassas.

Entre os principais desafios encontrados estão: as características dos agregados reciclados de RCD, como a forma e a textura desses materiais; o teor de finos, muitas vezes associado a manifestações patológicas como a fissuração; a heterogeneidade do material e a dificuldade de separação dos resíduos. Além disso, a carência de uma interpretação dos parâmetros de classificação das argamassas segundo as suas condições de uso, determinando limites mínimos a serem alcançados em cada propriedade das argamassas, dificulta a utilização de novos materiais. A NBR 13749 (ABNT, 2013) apresenta algumas exigências quanto à aparência, planeza, espessura e resistência de aderência dos revestimentos.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de contribuir para o avanço do estudo das características dos agregados reciclados e do comportamento das argamassas, quando incorporados estes materiais. No Brasil, a cultura da reciclagem deste tipo de resíduo ainda é

incipiente e não é comum separar os diversos tipos de constituintes do resíduo. Assim, para o desenvolvimento desta pesquisa, optou-se por utilizar o resíduo como ele sai das fontes geradoras e como é encontrado na maioria das usinas de reciclagem, completamente misturado e, através da sua transformação física em agregado miúdo, avaliar sua influência em algumas propriedades das argamassas de revestimento.

1.1 Definição Temática

A pesquisa consiste no estudo de argamassas com agregados reciclados mistos, provenientes de resíduos de construções e demolições, avaliando a influência do teor de finos dos agregados reciclados nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, bem como no sistema de revestimento como um todo.

1.2 Justificativa

Este estudo partiu do interesse a respeito da destinação dos resíduos de construção e demolição na cidade de Santa Maria e cidades do entorno, visto que, em vistorias de obras financiadas pela Caixa Econômica Federal nas cidades de Santiago, Nova Esperança do Sul, Jaguari, São Vicente do Sul, São Pedro do Sul, Mata e Santa Maria, constatou-se que, com exceção desta última, as cidades não possuem usinas de reciclagem, tampouco legislação municipal que incentive ou imponha a destinação correta dos resíduos, estando em desacordo com a legislação federal acerca dos resíduos de construção. Verificou-se, ainda, que praticamente não há fiscalização sobre essa destinação em nenhuma das cidades, inclusive em Santa Maria.

Neste trabalho, pretende-se estudar a influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades das argamassas de revestimento, com a substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado reciclado.

No Brasil, o sistema construtivo mais utilizado continua a ser a estrutura de concreto e a vedação em alvenaria. Esse sistema é caracterizado por gerar grandes impactos ambientais.

Nascimento (2007) destaca que a cadeia da construção civil apresenta como impactos ambientais mais significativos a extração contínua de matérias primas naturais, a produção de insumos e a geração de resíduos nas construções e demolições de obras.

Em adição, Neto (2005) aponta que o consumo de agregados naturais para a execução de concretos e argamassas, no Brasil, está em torno de 220 milhões de toneladas anuais.

Entre os benefícios advindos da utilização do agregado reciclado, proveniente de RCD, em argamassas, pode-se citar a economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelo resíduo, a redução da poluição originada pelo RCD, geralmente enviado a aterros ou áreas clandestinas (causando o assoreamento de rios, córregos e lagos, o entupimento da drenagem urbana, acarretando em enchentes e outros problemas) e a preservação das reservas naturais de matéria-prima.

Sendo assim, a escolha por utilizar o material reciclado justifica-se, pois as construções e as demolições serão sempre uma grande fonte de resíduos e, ao reutilizá-los, essas construções se tornam mais sustentáveis, ao mesmo tempo em que ocorre a redução dos impactos ambientais causados pela destinação inadequada desses materiais. A escolha de utilizar o material misto na composição que ele apresentar, apenas com controle granulométrico justifica-se, pois a separação dos resíduos por tipo de material implica maior custo, podendo até inviabilizar a reciclagem.

Muitos autores atribuem aos finos presentes nos agregados reciclados, principalmente quando há presença de material cerâmico, o surgimento de manifestações patológicas como a fissuração. Nascimento (2007) sugere separação dos finos por lavagem. Neste trabalho, optou-se por realizar o peneiramento a seco da fração menor que 0,075mm, evitando o desperdício de água e lodo produzido quando se realiza a lavagem do material.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades das argamassas para propor a utilização desse material em substituição parcial ao agregado natural, nas argamassas de revestimento.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar a influência da natureza do agregado reciclado em propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.
- Verificar a influência de diferentes percentuais de substituição do agregado natural por agregado reciclado proveniente de resíduos de construção e demolição mistos, frente às propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.
- Verificar o desempenho de argamassas quando integram um sistema de revestimento.
- Verificar a influência dos finos provenientes dos agregados reciclados na fissuração das argamassas.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em seis capítulos:

O **Capítulo 1** apresenta a introdução, a importância do tema, os objetivos e a justificativa da pesquisa.

O **Capítulo 2** apresenta os referenciais teóricos, discorrendo sobre os resíduos de construção e demolição e as argamassas produzidas com os resíduos.

O **Capítulo 3** aborda os referenciais teóricos, dando destaque às argamassas de revestimento, aos seus constituintes e às suas principais propriedades.

O **Capítulo 4** descreve os materiais utilizados e o programa experimental executado, incluindo os estudos preliminares e os ensaios para a sua definição.

O **Capítulo 5** apresenta a análise dos resultados obtidos no programa experimental.

O **Capítulo 6** trata das conclusões da pesquisa e sugestões propostas para estudos futuros.

2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Neste capítulo, será apresentada uma revisão bibliográfica discorrendo sobre o panorama da quantidade de RCD gerada, a reciclagem e a gestão dos resíduos de construção e demolição, os agregados reciclados gerados a partir dos RCD, a produção de argamassas com esses agregados e as principais dificuldades encontradas na sua utilização.

2.1 Definição e classificação

Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como 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, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, Resolução nº 307, 2002).

A Resolução 307 do CONAMA, publicada em 2002, alterada pela última vez pela Resolução 448 em 2012, definiu os resíduos de construção e demolição e os classificou em quatro classes A, B, C e D (quadro 1).

Classes dos Resíduos de Construção e Demolição	
CLASSE A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras.
CLASSE B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
CLASSE C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
CLASSE D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Quadro 1 - Classes dos Resíduos de Construção e Demolição (CONAMA, RES 448, 2012).

2.2 Panorama da quantidade de resíduos de construção e demolição gerada

Sabe-se que a construção civil tem uma importante representação mundial, tanto no consumo de recursos naturais, como na geração de impactos ambientais. Segundo Angulo, (2000, p. 1), “Ela abrange desde a fabricação de cimento e suas emissões de gás carbônico na atmosfera até a deposição de resíduos em aterros”.

O Banco Mundial publicou, em 2013, um dos mais completos estudos sobre a produção e a gestão de resíduos sólidos urbanos no mundo, intitulado *What a Waste*. Segundo esse relatório, o total mundial de resíduos sólidos produzidos pela população urbana – a grande maioria dos resíduos produzidos – nesse ano, foi de 1,3 bilhões de toneladas, ou 1,2 kg por dia para cada habitante. A figura publicada na revista *The Economist*, com base no relatório, mostra quantos quilos de lixo per capita são produzidos todos os dias em diferentes países do mundo (figura 1).

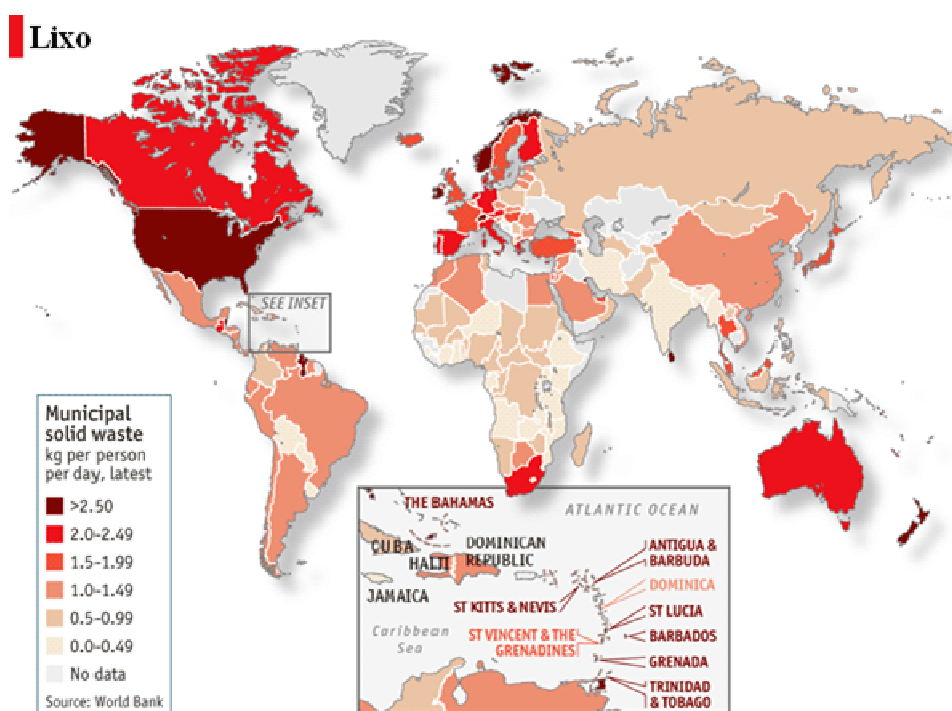


Figura 1 - Resíduos sólidos produzidos per capita ao dia, em diferentes países do mundo

Fonte: *The Economist*, on line, 7 de junho de 2012

Os Estados Unidos ficaram em primeiro lugar nessa classificação, com mais de 2,5 kg de resíduos produzidos, em média, referente a cada cidadão ao dia. Na Noruega, também se chega a esses níveis. A Itália produz cerca de 89.000 toneladas de resíduos por dia, 2,23 kg per capita (considerando apenas a população urbana, cerca de 40 milhões de pessoas).

No relatório, o Banco Mundial afirma que os dados sobre disposição de resíduos são os mais difíceis de coletar. Apenas alguns poucos países desenvolvidos apresentam estatísticas detalhadas e, ainda assim, a ausência de um padrão único de classificação torna bastante complicado o exercício de comparar números e traçar um panorama global da atividade. No entanto, com base nos dados, se cada habitante do planeta produzir um quilo de lixo por dia, resultarão mais de sete milhões de toneladas de resíduos sendo produzidas diariamente.

Conforme os dados divulgados no relatório, a quantidade de resíduos sólidos gerados por pessoa nas cidades do planeta aumentou de 0,64 kg por dia para mais de 1,2 kg diários, entre 2003 e 2013. E as previsões apresentadas indicam que, até 2025, cada um dos 4,3 bilhões de habitantes urbanos gerarão cerca de 1,42 kg de resíduos sólidos por dia, totalizando 2,2 bilhões de toneladas por ano.

Os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil referente ao ano de 2013, divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostram que, no Brasil, a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU), em 2013, foi de 76.387.200 toneladas, o que representa um aumento de 4,1%, em relação a 2012, índice que é superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 3,7%.

Segundo o panorama, a geração de Resíduos de Construção e Demolição chegou, em 2012, a aproximadamente trinta e cinco milhões de toneladas. Em 2013, foram coletadas pelo poder público cento e dezessete mil toneladas diárias de RCD no país. Isso demonstra que houve um aumento de 4,6% em relação a 2012, chegando a quarenta e dois milhões de toneladas, o que equivale a 55% dos resíduos totais coletados (figura 2).

Na região sul, segundo a ABRELPE, foram coletados, em 2013, mais de dezesseis mil toneladas de RCD por dia, o equivalente a 5,8 milhões de toneladas.

De acordo com Neto (2005), estima-se que, para cada tonelada de lixo urbano doméstico recolhido no Brasil, são coletadas mais de duas toneladas de entulho originado do setor da construção civil.

No que diz respeito aos Resíduos de Construção e Demolição a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 e sua última regulamentação, por meio de Decreto Presidencial nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, responsabiliza os

geradores pela disposição. Apenas os resíduos depositados em áreas públicas e oriundos de obras públicas apresentam dados estatísticos compilados a seu respeito. Então, estima-se que esse valor seja muito superior aos números divulgados.

Essa quantidade de resíduo é bastante preocupante no Brasil, porque o impacto ambiental provocado pela disposição incorreta dos resíduos é agravado pelas precárias condições sanitárias do país.

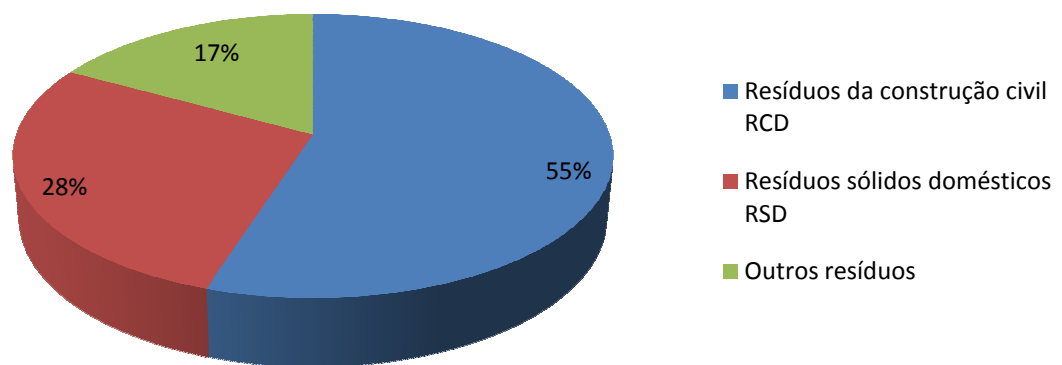


Figura 2- Resíduos sólidos no Brasil em 2013

Fonte: adaptado de dados da ABRELPE

Segundo a ABRECON, (Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição) praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil no país são geradoras de resíduos e o alto índice de perdas é apontado como a principal causa.

Para Monteiro et al. (2001), isso se deve ao fato de que a tecnologia construtiva utilizada favorece o desperdício quando comparada a países mais desenvolvidos, onde há processos de racionalização, modulação e industrialização do setor de construção civil. Como consequência, enquanto a média de geração de resíduos em países desenvolvidos encontra-se abaixo de 100 kg/m², no Brasil, está em torno de 300 kg/m² edificado.

2.3 Reciclagem e gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil

De acordo com Miranda et al. (2009) as primeiras pesquisas científicas no Brasil envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil foram realizadas por Pinto no ano de 1986 em argamassas, por Bodi em 1997 em pavimentos e por Zordan em 1997 no estudo de concretos. E as primeiras usinas de reciclagem instaladas foram efetivadas pelas Prefeituras de São Paulo, SP (1991), de Londrina, PR (1993) e de Belo Horizonte, MG (1994).

Em termos legais, a primeira ação efetiva de proteção ao meio ambiente, relacionada a resíduos, ocorreu em 2002, quando foi homologada a resolução CONAMA 307.

Na resolução, foi definindo que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCD, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. Com isso, a reciclagem ganhou força e iniciaram-se as implantações de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, e novas normas técnicas foram elaboradas e publicadas pela ABNT em 2004. Conforme apresentado no quadro 2.

NORMA	TÍTULO	ANO
NBR 10.004	Resíduos Sólidos – Classificação ¹	2004
NBR 10.005	Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos	2004
NBR 10.006	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos	2004
NBR 10.007	Amostragem de resíduos sólidos	2004
NBR 15.112	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	2004
NBR 15.113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação, instalação e operação.	2004
NBR 15.114	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, instalação e operação.	2004
NBR 15.115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos	2004
NBR 15.116	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos	2004

Quadro 2 - Normalizações referentes a Resíduos da Construção Civil

¹ A classificação dos resíduos sólidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a) está relacionada com a atividade que lhes deu origem e com seus constituintes.

Miranda et al. (2009) demonstram que a quantidade de usinas aumentou significativamente após a resolução CONAMA 307 (2002).

Segundo os autores, o número de usinas de reciclagem do RCD de classe A no país, até o ano de 2002, era de 16 usinas, possuindo uma taxa de crescimento reduzida (até três usinas inauguradas por ano). Após a publicação da resolução CONAMA 307 (2002), essa taxa de crescimento aumentou (de três a nove usinas instaladas por ano), totalizando 47 usinas de reciclagem em 2009.

Miranda et al. (2009) constataram ainda que, embora todas as usinas brasileiras estivessem reciclando RCD em sua capacidade nominal, estima-se que somente 3,6% do RCD produzido no país estariam sendo reciclados para uso como agregados (figura 3).

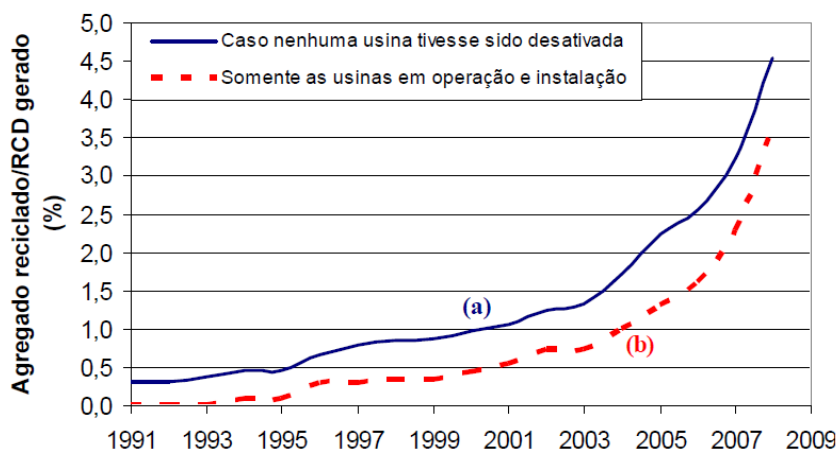


Figura 3 – Agregado reciclado gerado a partir do RCD no Brasil

Fonte: Miranda et.al. (2009)

Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) um novo marco no setor de resíduos de construção foi promovido, dando nova força à correta gestão e reciclagem de RCD. Com o crescimento desse setor, surgiu a necessidade de fortalecê-lo e organizá-lo e, em 2011, foi criada a ABRECON (Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição).

A ABRECON surgiu da necessidade das empresas recicladoras de entulho de mobilizar e sensibilizar governos e sociedade sobre a problemática do descarte irregular dos resíduos da construção e oferecer soluções sustentáveis para a construção civil em um dos momentos mais importantes da história para o setor produtivo. Ela se posiciona como

representante do setor de reciclagem de entulho no aperfeiçoamento de projetos, leis e programas visando a reutilizar e a reciclar o RCD gerado.

Em 2013, foi elaborado um relatório pela ABRECON, a partir de uma pesquisa setorial, que avaliou dados de 2008 a 2013, onde foi constatado que a taxa de crescimento das usinas continuou aumentando, chegando a 10,6 usinas novas por ano. Isso indica que o setor de reciclagem de RCD está em expansão. Observa-se ainda que esse crescimento acelerado foi causado pelo interesse do setor privado em investir na reciclagem de RCD e que a quantidade de usinas móveis está em crescimento, como previsto em Miranda et al. (2009).

Nesta pesquisa, foram levantadas mais de 310 usinas no país, das quais apenas 112 responderam à pesquisa. Destas 112 usinas, têm-se como características principais: a maioria é privada, usa britador de mandíbulas e possui entre cinco e 20 funcionários. Além disso, 34% das usinas realizam atividades complementares à reciclagem e 17% são móveis. Observou-se ainda que as usinas vêm trabalhando, em média, na faixa de 47% da sua capacidade máxima, por fatores como: paradas de produção (chuva, quebra de máquinas, pneu furado, etc.), falta de matéria prima ou baixa saída de agregado reciclado. E estimou-se que apenas 16% dos resíduos de construção e demolição estão sendo reciclados. Na figura 4, apresenta-se o levantamento de usinas instaladas ao longo dos anos, considerando somente as que responderam ao questionário.

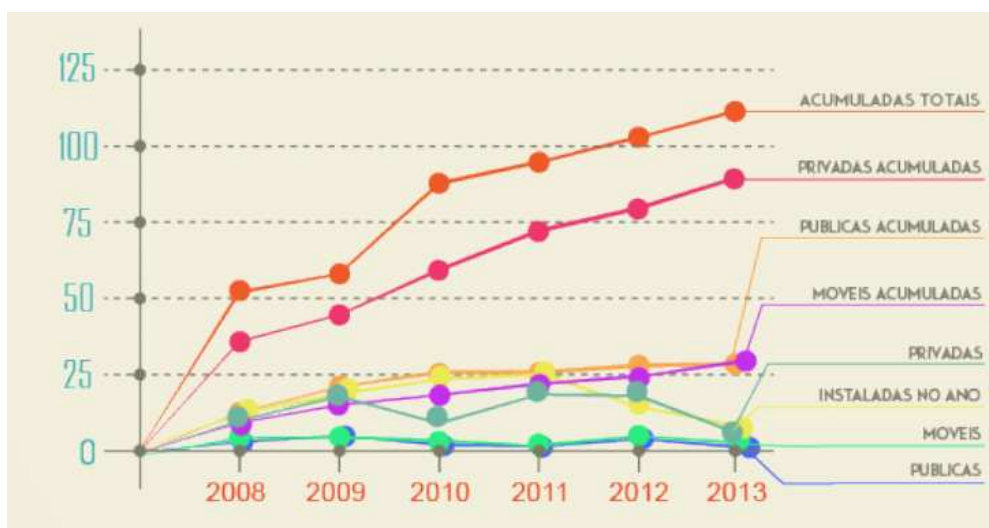


Figura 4 – Usinas de reciclagem no país ao longo dos anos

Fonte: ABRECON, 2013

Como principais pontos positivos, o relatório destacou o crescimento do mercado e do percentual de resíduo reciclado nos últimos cinco anos, estimando-se um percentual de 19% de reciclagem de RCD, além da previsão por parte das usinas existentes de ampliar seus negócios nos próximos dois anos. E, como resultado negativo, cita-se, principalmente, a falta de apoio do setor público no que diz respeito ao consumo de materiais reciclados, na fiscalização da triagem e destinação do RCD e na tributação aplicada ao setor.

No relatório também foi constatado que as usinas brasileiras são semelhantes em relação ao processo de reciclagem e, em geral, não apresentam uma rotina de controle de qualidade dos agregados produzidos.

De maneira generalizada, no país, as usinas de reciclagem de entulho se estabelecem apenas com equipamentos básicos para reciclagem: um britador (de martelo ou de mandíbula), uma esteira transportadora e uma ou mais peneiras. Em algumas, existe equipamento para separação magnética.

É verdade que, com apenas esses equipamentos, já é possível utilizar o RCD na produção de sub-bases de pavimentos, (figura 5) mas, para a produção de areia para argamassas, isto pode ser insuficiente se o objetivo for a obtenção de um processo rentável e de qualidade garantida.



Figura 5 - RCD utilizado como sub-base.

Fonte: Material fornecido pela empresa de reciclagem de Santa Maria.

Segundo Angulo (2005), as atividades de britagem, peneiramento e lavagem são uma forma de se reciclar a fração inorgânica não metálica dos RCD, sendo a reciclagem como um todo, algo bem mais complexo, inclusive com a necessidade de outros equipamentos.

O autor relata que algumas usinas de beneficiamento do RCD, classificam a fração mineral conforme a coloração em: cinza (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cimentícia, empregada em calçadas, blocos de concreto e outros) e vermelho (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha, empregada em atividades de pavimentação). Nessas usinas, a separação normalmente é feita desde a chegada do material, posteriormente passando por catação manual.

Outras usinas mantêm os agregados mistos e classificam as frações de acordo com a britagem e o peneiramento, por tamanho em fração graúda, intermediária e fina. (Figura 6).

Miranda (2009) relata que, quanto ao controle da variabilidade, a maioria das usinas do país ainda não possui equipamentos suficientes para garantir a qualidade dos agregados reciclados e, portanto, não os produz.

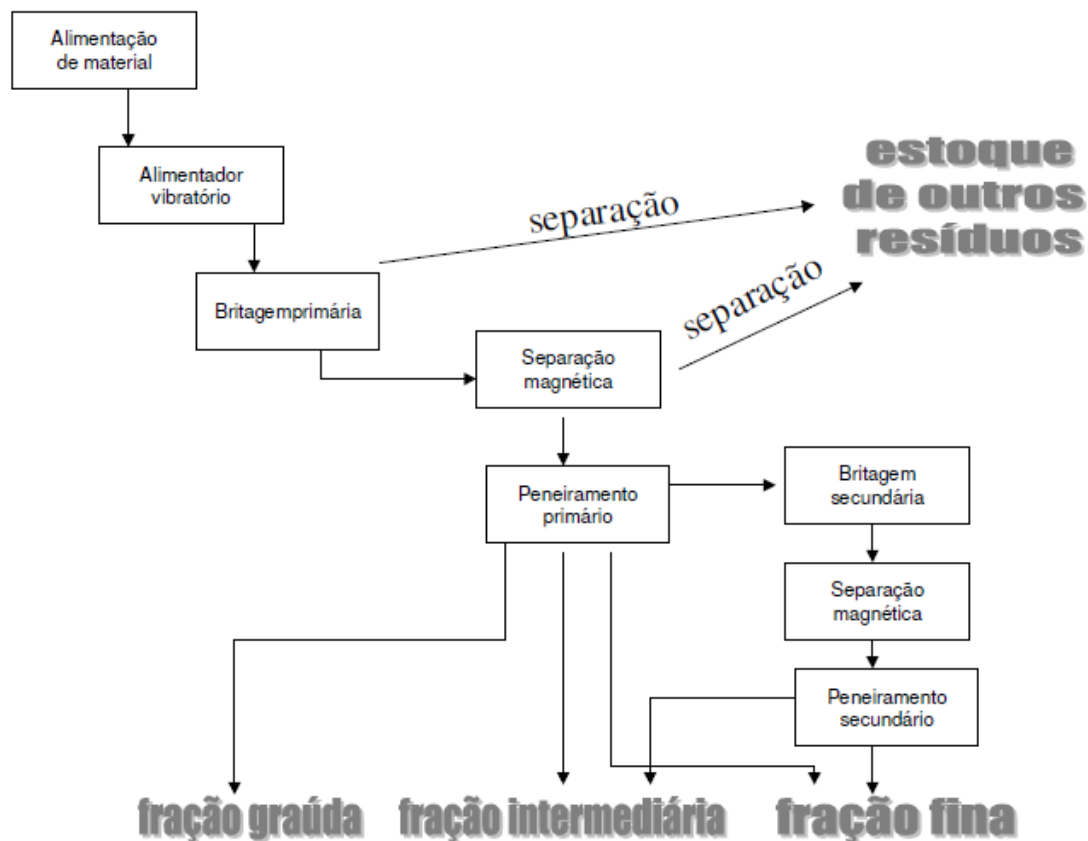


Figura 6 - Fluxograma da reciclagem de RCD em algumas usinas do Brasil

Fonte: Angulo (2005)

A Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, pois:

- Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (o que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (o que não pode ser reciclado ou reutilizado).
- Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo.
- Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), até agosto de 2014, todas as prefeituras do país deveriam apresentar um plano de gestão de resíduos sólidos e colocá-lo em operação. O que não ocorreu até o momento em algumas cidades da região central do estado.

Sendo assim, a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD), no país, tem se desenvolvido mais significativamente, mas utilizando ainda um sistema mais simples de reciclagem, pois o custo do controle de qualidade é mais baixo. As usinas, em geral, não possuem outros equipamentos para a separação, como tanques de flutuação e separadores por injeção de ar, já existentes em outros países, com plantas de reciclagem bem mais complexas, conforme pode ser observa no fluxograma de reciclagem de uma empresa nos Estados Unidos (figura 7).

Muitas empresas ainda não realizam britagem secundária, tampouco algum tipo de peneiramento, como é o caso da GR 2, única empresa de reciclagem de Santa Maria.

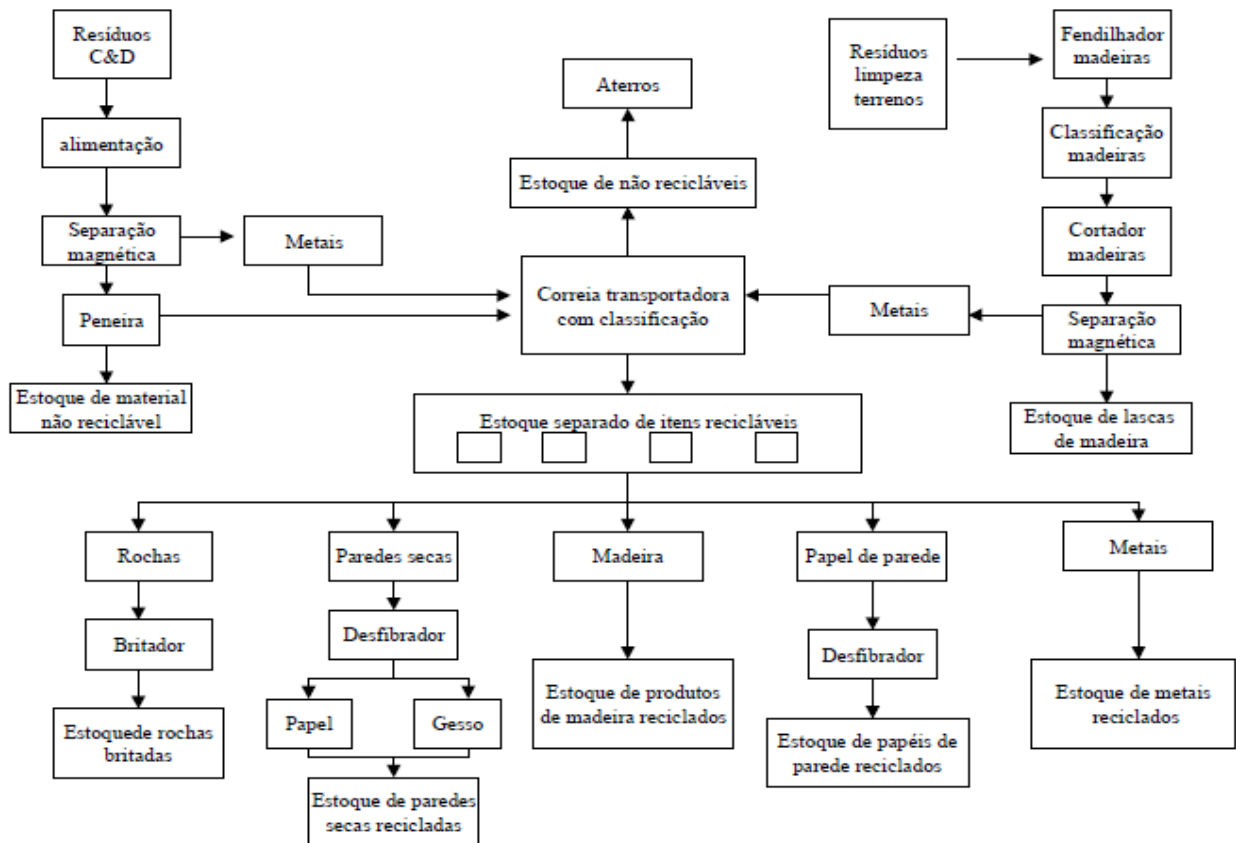


Figura 7 - Fluxograma de uma planta de reciclagem de RCD nos EUA

Fonte: Angulo 2000, apud Peng et al. 1997

2.4 Reciclagem e gerenciamento de resíduos em Santa Maria

A região central do Rio Grande do Sul é caracterizada geomorfologicamente por ser uma depressão com presença de colinas. Seu território abrange cerca de 32.000 km² e possui uma população de aproximadamente 650.000 habitantes distribuídos em 34 municípios, Piovezan (2007). A região abriga o segundo maior contingente militar do país e a cidade de Santa Maria possui diversas instituições de ensino superior, o que a torna um espaço de transição. A economia está baseada no comércio e na indústria da construção civil que, para suprir o contingente necessário de habitações, utiliza grandes volumes de matéria-prima.

Santa Maria, segundo dados do Censo 2010 do IBGE, possui uma população total de 261.031 habitantes, sendo que a população residente na zona urbana é estimada em 95% do

total. A cidade possui uma área total de 1.778,129 Km² e tem o crescimento da construção civil como uma característica constante.

Piovezan (2007), com base na análise de dados cadastrais e no relatório de atividades que as empresas transportadoras de RCD apresentaram à Secretaria Municipal de Proteção Ambiental (SMPA) no ano de 2004, constatou que a cidade de Santa Maria descartava um volume médio mensal de RCD de 3.184 m³. O equivalente a 127 toneladas por dia. Em adição, Hengen (2012) constatou que a quantidade média de resíduos que chegavam à área de reciclagem de Santa Maria, em 2012 era de aproximadamente 1.540 m³ mensais, e concluiu que mais de 50% dos resíduos produzidos na cidade ainda estavam sendo descartados de maneira irregular ou em lugares clandestinos, causando danos ao meio ambiente.

Segundo Neto (2005, p. 2), “gerenciar o enorme volume produzido diariamente é um dos principais desafios das administrações municipais.” A disposição irregular de RCD, conforme já dito, acarreta muitos problemas. O autor diz ainda que diagnosticar a atual situação dos municípios é o primeiro passo para elaborar e implementar planos de gestão integrada dos resíduos de construção civil, o que deve proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

De acordo com a Resolução 307 do CONAMA (2002), as prefeituras estão proibidas de receber os RCD em aterros sanitários. A resolução exige também, que cada município desenvolva um plano integrado de gerenciamento de resíduos. A disposição regular desses resíduos deve ser efetuada em aterros especiais que, se possível, realizem a reciclagem desses materiais.

Delongui et al. (2011) constataram que, entre os municípios da região, somente a cidade de Santa Maria possui uma área específica destinada à disposição final dos RCD e atributo legal para reciclagem e transporte de RCD. Isso se mantém até os dias atuais.

Quanto à legislação relativa aos RCD, além da resolução 307 do CONAMA, e das NBRs já citadas em 2.3, o município possui um decreto que estabelece o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos (PRCC) do Município de Santa Maria, que mudou sua sigla na última alteração, em outubro de 2009, de PIGRCC para PRCC. O plano, vigente pelo Decreto 146/2009, institui diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos no município e indica que os resíduos devem ser, preferencialmente, segregados na origem e transportados de forma diferenciada para o reaproveitamento, tratamento ou destino final. (Hengen 2012; Delongui et al., 2011)

Segundo o PRCC, o transporte deve ser realizado por meio de serviço legalizado, em que o Controle de Transporte de Resíduos (CTR) deve ser entregue na área de recebimento

para que a empresa tenha o controle de onde veio o material, contendo todas as especificações necessárias referentes a essa carga.

Hengen (2012) identificou seis empresas de tele-entulho em Santa Maria, onde somente duas delas possuíam licença de transporte conforme dados da Prefeitura Municipal dessa cidade. No entanto, apenas uma empresa possui atributo legal para transporte e deposição dos resíduos e faz o CTR. Três das seis empresas identificadas, indicaram destinar os resíduos para áreas próprias ou particulares (quadro 3), sendo que existe uma única empresa da cidade com área de transbordo e triagem e com atributo legal para reciclar o RCD.

Empresas	Área de destino dos resíduos de construção e demolição		
	Empresa - único local autorizado	Área própria	Áreas particulares
Empresa A		X	X
Empresa B	X	X	
Empresa C	X		
Empresa D	X		X
Empresa E	X		
Empresa F	X		

Quadro 3 - Destinação do RCD coletado pelas empresas de tele entulho em Santa Maria

Fonte: Adaptado de Hengen (2012)

Segundo a Prefeitura Municipal de Santa Maria, as áreas apresentadas como próprias e áreas particulares não são áreas licenciadas para recebimento deste tipo de material e, sim, algumas delas são licenciadas para outras atividades como a terraplanagem. Ou seja, nem todas as empresas existentes no município estão licenciadas, tampouco dando o destino adequado aos resíduos, demonstrando ineficácia no PRCC e de seus fiscalizadores.

Agravando a situação, existem as construções informais (não licenciadas) que geralmente enviam os resíduos para locais inadequados, muitas vezes, com transportes alternativos de resíduos, como caminhões de frete. Piovezan (2007) identificou áreas com descarte ilegal de resíduos em Santa Maria. Foram encontradas muitas áreas clandestinas (ANEXO A) e esse trabalho originou uma usina de reciclagem em Santa Maria.

Com isso, percebe-se que o PRCC existente no município não se encontra em pleno funcionamento, e os representantes da Secretaria de Proteção Ambiental alegam que faltam fiscais e que, como o plano não contempla penalidades e infrações, não se pode fazer nada a

não ser atender as denúncias e, quando comprovada a disposição irregular, a empresa transportadora pode ser enquadrada pela Lei dos Crimes Ambientais, 9.605/1998.

Para a realização deste trabalho, foi realizada uma visita técnica à usina de reciclagem existente em Santa Maria a fim de identificar suas condições operacionais, sua relação com a existência de planos de gerenciamento recomendados pelo CONAMA, a capacidade instalada da usina de reciclagem diante da demanda e ainda a trajetória, triagem, acondicionamento, transporte e destinação do Resíduo de Construção e Demolição. Além disso, verificou-se a existência ou não de controle de qualidade sistemática dos agregados de RCD devido à existência da variabilidade do material.

A empresa existente é privada, suas condições operacionais são simples, com poucos equipamentos, possuindo um britador, uma esteira transportadora onde são realizadas separações manuais e um equipamento simples de separação magnética. Uma breve linha do tempo da origem da empresa é apresentada na figura 8.

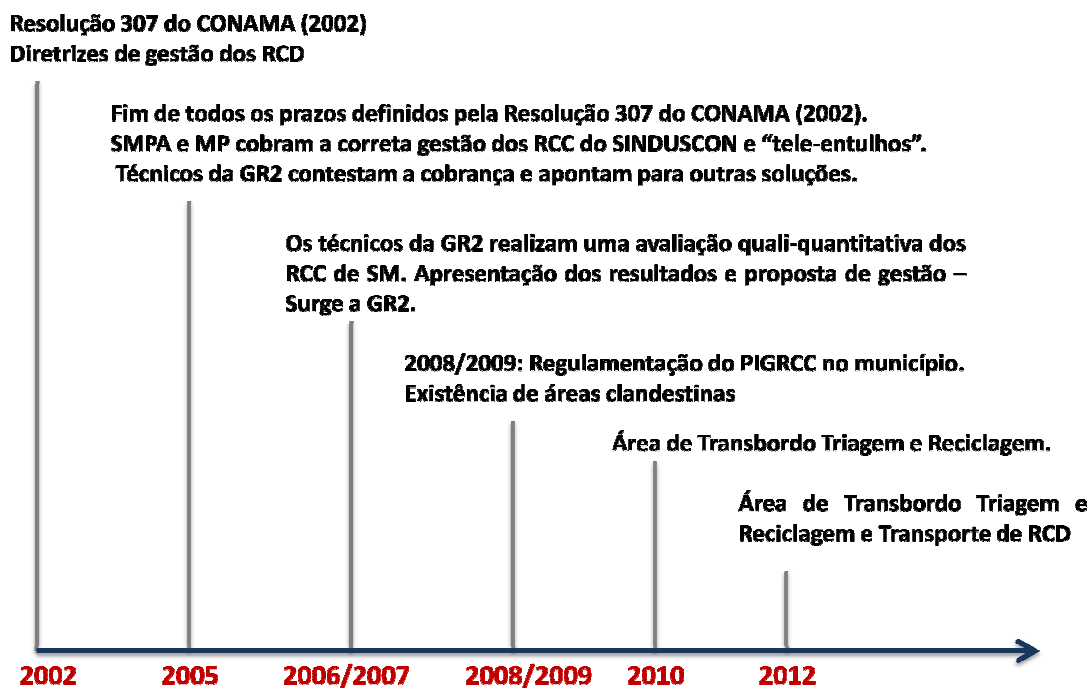


Figura 8 - Linha do tempo da empresa GR 2

Fonte: Adaptado de material fornecido pela empresa

A empresa possui licença para receber materiais das classes A, B, C e D de acordo com o CONAMA. Mas ainda não há demanda na cidade para a reciclagem da classe D, então recicla materiais das classes A e B e recebe materiais da classe C.

Quanto ao processamento do RCD, os resíduos de classe A, B, e C são retirados das obras por caminhões caçamba e levados até a usina, onde são despejados na área de triagem e separados manualmente.

O material é separado em papel, plástico, gesso, madeira, metais, lixo e o “RCD” composto por argamassa endurecida, concreto, blocos cerâmicos, tijolos, piso cerâmico, telhas, rochas e solo. Esse material passa pelo britador, seguindo para a esteira, onde tem nova separação manual de plásticos e outros materiais e, por fim, passa por separação magnética através de um ímã, localizado sob a esteira (figura 9).



(a)

(b)

Figura 9 - Equipamentos da GR 2, (a) britador; (b) esteira transportadora

Após o processo, o material é misturado ao já britado, ficando acondicionado ao ar livre, sendo logo encaminhado a alguma obra, para uso como sub-base de pavimentos.

Em relação aos custos, para a retirada de resíduos de uma obra, o valor é de R\$ 36,00/m³. O RCD, após passar pelo processo de separação e britamento dos materiais, é comercializado a R\$ 25,00/m³, se entregue na obra e a R\$ 16,66/m³, se o comprador buscar na usina de reciclagem.

Segundo a empresa, a caracterização desse material, embora heterogêneo, com base na sua experiência, em geral se dá em torno de 40% de cerâmica vermelha, 25%, argamassas, 20%, concreto e rochas, 10%, cerâmicas, 5%, outros.

Segundo o proprietário, a prefeitura municipal atua de forma indireta, exigindo a apresentação de declaração de gerenciamento de resíduos pelos responsáveis técnicos como

condição à liberação dos alvarás de construção e certificado de Controle de Transporte de Resíduos como condição à liberação do habite-se.

Segundo a empresa, atualmente, em torno de 30% das obras da cidade de Santa Maria têm os seus resíduos enviados para a usina. As demais enviam para locais clandestinos ou áreas próprias, sem autorização para esse tipo de serviço. A capacidade de resíduo que chega à empresa atende a demanda da cidade no momento, pois o material é utilizado hoje somente como sub-base de pavimentos e muitas empresas desconhecem a economia gerada com a utilização dos entulhos, ou ainda são resistentes ao uso de materiais alternativos.

Miranda et al. (2009) consideram que o aumento no número de construtoras que implantam a gestão de RCD em canteiro dependerá da implantação dos planos integrados de gerenciamento municipais, pois estes devem cobrar dos grandes geradores a elaboração dos projetos de gerenciamento de resíduos, como condição para licenciamento das obras e os comprovantes de destinação para a concessão do habite-se.

Para esses autores, a prática de gestão de resíduos em canteiro, que inclui a conscientização dos funcionários quanto ao desperdício, associada à certificação de qualidade, pode auxiliar na redução da geração de RCD no canteiro.

A empresa concorda que para o processo de gerenciamento dos resíduos funcionar, deve haver conscientização e comprometimento por parte das construtoras e principalmente dos funcionários de obras, com o aproveitamento máximo dos materiais na obra, evitando desperdícios e com o descarte consciente, sem a mistura de classes diferentes de resíduos em uma mesma caçamba.

Dessa forma, após a visita, observou-se, que existe, na usina de Santa Maria, a necessidade de um maior controle de qualidade do RCD, devido à existência de variabilidade e heterogeneidade e ainda a necessidade de agregar tecnologia ao processamento para diversificar o mercado e oferecer novos materiais como agregado miúdo reciclado para argamassas.

2.5 Agregados reciclados gerados a partir de RCD

Segundo Santana et al. (2001), o reaproveitamento de resíduos na construção civil é uma atividade que já vem sendo desenvolvida há algum tempo. Subprodutos de carvão e cinzas volantes têm sido utilizados, há, aproximadamente, cinco décadas, em concretos de

cimento Portland. Entretanto, a reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção começou a despertar interesse no Brasil apenas na década de 80, com os estudos iniciais de Pinto (1986), conforme já mencionado em 2.3.

As utilizações mais comuns do RCD são em sub-bases de pavimentos e agregados reciclados para concretos sem função estrutural, já normatizadas pelas NBR 15115 (2004h) e NBR 15116 (2004i) respectivamente. Embora a utilização de agregados reciclados miúdos, com dimensão inferior a 4,75mm, em argamassas, seja estudada por pesquisadores há anos, e algumas usinas brasileiras já produzam areia reciclada, ainda não há norma brasileira com requisitos para a utilização desse material em argamassas.

A resolução 307 do CONAMA (2002) define agregado reciclado como “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”.

De acordo com a ABRECON, através da triagem e processamento do RCD, em algumas cidades como São Paulo, tem-se o agregado reciclado, classificado nas granulometrias de areia, pedrisco, brita, bica e rachão (quadro 4). A fração fina do material reciclado obtido da britagem ou moagem do entulho, a depender das suas características, pode ser utilizada nas argamassas, em substituição às adições ou aos agregados convencionais.

A NBR 15116 (ABNT, 2004i) classifica os agregados em dois tipos, quanto à sua origem: (a) agregado reciclado de concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90%; e (b) agregado reciclado misto (ARM), cujo teor é menor que 90%. Essa classificação, na prática, parece simples: bastaria, na usina, algum funcionário controlar, visualmente, os RCD que chegam e armazenar, separadamente, aqueles predominantemente originados de concreto daqueles com presença de materiais cerâmicos, no entanto o volume de material é muito expressivo. Além disso, uma grande dificuldade para a aplicação está no controle da variabilidade das características físicas ou na presença de impurezas e contaminantes que serão abordados mais adiante.

Produto	Características	Uso recomendado
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Quadro 4 - Usos recomendados para agregados reciclados

Fonte: Adaptado do site da ABRECON

Santana et al. (2001) afirmam que a principal diferença entre os agregados reciclados no canteiro de obras ou em usina de reciclagem é que, dentro do canteiro, pode-se facilmente separar os materiais que serão reciclados conforme a fase de execução da obra. Por exemplo: na fase estrutural, separar os resíduos de concreto, na fase de levante, separar os resíduos de alvenarias e na fase de acabamentos, separar os resíduos de argamassas. Isso possibilita a produção de agregado reciclado com composição mais homogênea, com a presença de uma única fase inorgânica não metálica dominante, como os agregados reciclados de concreto e os agregados reciclados de cerâmica vermelha. Já o entulho reciclado em usina, origina-se de diversas obras da região e é constituído de diversos tipos de materiais, cuja separação agrega custos ao processo, podendo tornar economicamente inviável a reciclagem, devendo-se então buscar aplicações que possibilitem a utilização desse material de origem heterogênea e com características diferentes do reciclado em canteiro.

O RCD fornecido pela GR 2 é misto, com diversas fases presentes, como argamassa, tijolos, blocos cerâmicos, concreto e rochas.

Segundo Cabral (2007), três constituintes representam mais de 70% de todo o resíduo de construção e demolição, em todas as cidades do país, de onde se têm os dados da caracterização desses resíduos, os quais são cerâmica vermelha, argamassa e concreto.

- a) Cerâmica vermelha: os materiais cerâmicos de alvenarias em geral, representam uma fração importante do volume total de RCD.
- b) Argamassas: As argamassas são frações muito presentes nos resíduos de construção e demolição, entre elas, as mais presentes, normalmente, são as argamassas de cal e cimento e argamassas de cimento.
- c) Concretos: O concreto é considerado o material mais nobre encontrado em RCD, principalmente pela sua composição conter elevado teor de material pétreo e pelo fato de poder ser mais bem reutilizado para produção de novos concretos e argamassas.

Segundo Miranda (2005), quando devidamente reciclados, os resíduos de cerâmica vermelha podem ser aplicados em aterros, como bases e sub-bases de pavimentos e materiais de enchimento, na fabricação de pavimento asfáltico ou utilizados na correção de pH de solos. Em usos mais nobres, pode-se citar a fabricação de vasos ornamentais, tijolos maciços e argamassas não estruturais. Todavia, dificilmente resíduos de cerâmica vermelha estarão isentos de cal, sobretudo se forem de alvenarias ou de revestimentos cerâmicos antigos. Muito comumente, esses resíduos estão associados a argamassas de assentamento ou de revestimento, ou ainda argamassas colas.

Assim sendo, em função da sua origem, o agregado reciclado pode ser definido como material heterogêneo. Sua composição varia de uma região para outra e na própria unidade recicladora. Isso se deve por ser um resíduo produzido num setor que envolve uma grande variedade de técnicas, métodos e materiais. Além disso, a dificuldade de separação na origem (obras de construção e demolição) dificulta a sua padronização.

De acordo com Lima e Leite (2012), muitos autores internacionais investigam a reutilização de agregados provenientes de concreto. No entanto, no Brasil, a maior parte dos resíduos de construção e demolição é composta de tijolos, blocos cerâmicos, telha cerâmica e argamassa.

Para a utilização dos agregados reciclados, Mehta e Monteiro (2008) consideram como características importantes a se conhecer: porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Essas características serão abordadas no seguinte capítulo.

3 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Neste capítulo, será apresentada uma revisão bibliográfica discorrendo a respeito dos sistemas de revestimento, das propriedades dos materiais constituintes, das principais propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido e ainda a influência do teor de finos nas características das argamassas.

3.1 Definições e usos

Argamassa é uma mistura homogênea constituída pela proporção adequada de aglomerantes de origem mineral (cimento e cal), agregados miúdos (areia) e água, podendo conter aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada) (NBR 13.281 - ABNT 2005f).

Na bibliografia, é possível constatar que as argamassas podem ser classificadas de várias formas, de acordo com sua utilização, os aglomerantes empregados, o traço, etc. A NBR 13.281 (2005f) traz indicações de utilização dos diferentes tipos existentes. No quadro 5, sintetiza-se essas informações.

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

Quadro 5 - Tipos de argamassa conforme o uso

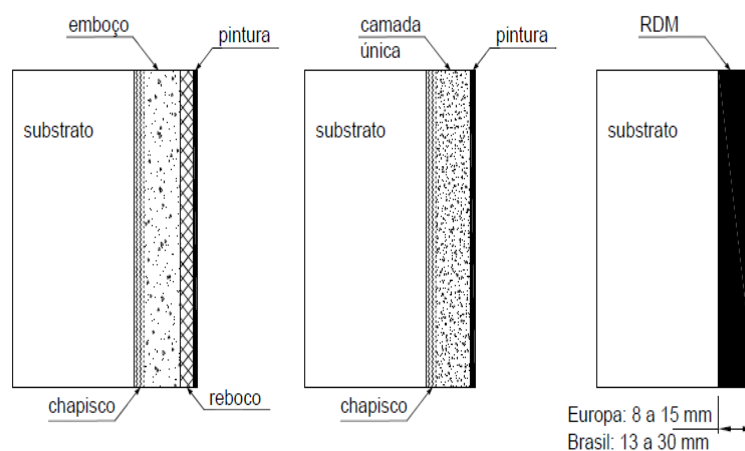
3.2 Sistemas de revestimento

As argamassas de revestimento e os sistemas que elas integram são de interesse desse trabalho. Ressaltam-se, abaixo, algumas definições em relação aos elementos que compõem os sistemas de revestimento, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013a):

- a) Base ou substrato: parede ou teto constituídos por material inorgânico, não metálico, sobre os quais o revestimento é aplicado.
- b) Revestimento de argamassa: é o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, (figura 10), apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.

Em relação à função de cada camada nos revestimentos de argamassa, a NBR 13529 (ABNT, 2013a) define:

- a) Chapisco: Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
- b) Emboço: Camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final.
- c) Reboco: Camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.



(a) revestimento com emboço + reboco + pintura (b) camada única+ pintura (c) revestimento monocamada

Figura 10 - Camadas que compõem os sistemas de revestimento

O substrato é a base para aplicação das camadas de revestimento. Usualmente, as mais empregadas são bases de alvenaria cerâmica ou de concreto. Os substratos, principalmente aqueles em que não é aplicada uma camada de chapisco, podem exercer grande influência no desempenho final dos revestimentos.

O chapisco não é uma camada de revestimento, mas uma camada de preparação de base para que proporcione a melhor aderência da argamassa ao substrato. Muitas vezes, a superfície do bloco, (cerâmico ou de concreto), não favorece uma boa aderência, devido à baixa rugosidade superficial ou baixa/elevada absorção capilar. Nesse caso, aplica-se o chapisco para se obter uma maior superfície de contato e uniformizar a absorção. A execução do chapisco pode se dar por vários métodos, sendo que os mais comuns são chapisco convencional e chapisco rolado. O chapisco convencional, mais comumente utilizado em Santa Maria, é confeccionado com argamassa de traço 1:3 (cimento: areia grossa, em volume). Este deve ser lançado com a colher de pedreiro vigorosamente sobre a base, de modo a garantir rugosidade.

Em estudo realizado por Miranda (2000), a aplicação de chapisco mostrou-se muito útil na redução da quantidade de fissuras das argamassas com agregados reciclados, chegando às vezes a impedir totalmente o seu surgimento, o que foi atribuído ao aumento da resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento.

O emboço, quando não é realizado o revestimento de camada única, é a camada intermediária e promove a regularização da base. Normalmente acaba adquirindo a maior espessura dentre as camadas que compõem o revestimento de argamassa. Quase sempre, é constituído de uma mistura de areia, cimento e cal, que atua como a base para a aplicação da camada de reboco, devendo promover uma boa ancoragem com ele para garantir, assim, uma boa aderência entre as duas camadas.

O reboco é a camada do revestimento incumbida de promover o acabamento superficial, aplicada sobre o emboço. Deve possuir uma espessura fina, propiciando uma superfície adequada para receber ou constituir-se como o acabamento do conjunto. Geralmente, é aplicado através do uso de desempenadeiras em movimentos circulares.

A seguir, a Tabela 1, reproduzida da NBR 13749 (ABNT, 2013b), estabelece as espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos.

Tabela 1 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura [e] (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749, (ABNT, 2013).

3.3 Funções dos sistemas de revestimento

É de consenso de vários autores (Bauer, Barros, Bonin, Carasek, Masuero)² que são os sistemas de revestimento que possuem desempenho, por isso, além das características das argamassas, é necessário analisar o sistema como um todo.

De acordo com Cincotto et al. (1995), ao longo do tempo, o desempenho das argamassas de revestimento é afetado por fatores associados às condições de exposição e à ação dos usuários. Estão divididos esses fatores em: extrínsecos, associados à solicitação externa sobre o sistema de revestimento (ações do meio ambiente, tais como temperatura, umidade, chuvas e ventos dentre outros) e intrínsecos, que dizem respeito às propriedades e aos atributos de materiais, componentes e sistemas, relacionados às condições de superfícies.

As funções básicas dos revestimentos, de acordo com Carasek (2007), são as de proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos e integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais. A autora diz ainda que, para atender as funções de um sistema de revestimento, certas propriedades tornam-se imprescindíveis ao bom desempenho das argamassas de revestimento no estado fresco, como a trabalhabilidade, consistência, plasticidade, adesão inicial, viscosidade, entre outras. E, no estado endurecido, devem possuir baixa retração e permeabilidade à água, aderência adequada, capacidade de absorver deformações e resistência mecânica (principalmente a superficial).

Bauer (2005) concorda que para garantir um desempenho satisfatório dos sistemas de revestimentos de parede durante o seu tempo de vida útil, é de fundamental importância que

² Informação verbal obtida no XI SBTA (Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas) 2015 em um debate.

se cumpram determinadas funções que, vão desde a proteção à alvenaria, a regularização das superfícies, o isolamento térmico e acústico, a estanqueidade à água, até as funções de natureza estéticas.

3.4 Propriedades dos materiais constituintes

Para Bauer (2005), o estudo dos materiais constituintes das argamassas, bem como suas funções, justifica-se por inúmeros fatores, dentre os quais se destaca a falta de regras claras para a especificação dos materiais, que, na maioria das vezes, são definidos por critérios empíricos, baseados em experiências de profissionais, o que resulta em um índice crescente de manifestações patológicas nos revestimentos.

Os principais materiais constituintes do sistema de revestimento de argamassa tradicional são cimento, cal, agregado miúdo (comumente areia) e água.

3.4.1 Aglomerantes

a) Cimento:

A NBR 5732 (ABNT, 1991) define cimento Portland comum como um “Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.” E acrescenta que, durante a moagem, é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.

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

A pega do cimento é uma propriedade importante, uma vez que está relacionada ao desenvolvimento das reações de hidratação do cimento após o contato com a água. É

caracterizada pelo enrijecimento progressivo da pasta de cimento até o seu completo endurecimento.

Para Bauer (2005), o período de utilização deve ser relacionado ao tempo de pega, principalmente nas operações de reaproveitamento de grandes quantidades de argamassa durante a aplicação do revestimento, evitando a perda de desempenho da argamassa.

Tabela 2 – Tipos e constituição dos cimentos Portland normatizados no Brasil

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)				Norma ABNT
		Clínquer + gesso	Escória (sigla E)	Pozolana (sigla Z)	Mat. Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100%		0%		NBR 5732
	CP I – S	95 a 100%		1 a 5%		
Composto	CP II – E	56 a 94%	6 a 34%	0%	0 a 10%	NBR 11578
	CP II – Z	76 a 94%	0%	6 a 14%	0 a 10%	
	CP II – F	90 a 94%	0%	0%	6 a 10%	
Alto Forno	CP III	25 a 65%	35 a 70%	0%	0 a 5%	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	50 a 85%	0%	15 a 50%	0 a 5%	NBR 5736
Alta resistência inicial	CP V – ARI	95 a 100%	0%	0%	0 a 5%	NBR 5733

Fonte: ABCP, 2010

b) Cal:

A cal é um aglomerante obtido pela calcinação dos calcários (CaCO_3) ou dolomíticos ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) por meio de uma reação química de decomposição térmica, que dá origem a cal virgem, que, ao ser hidratada, forma a cal hidratada. A cal desenvolve seu endurecimento por meio da reação química de transformação da cal em carbonato de cálcio, pela fixação do gás carbônico presente no ar (processo de carbonatação).

Bauer (2000) afirma que a cal hidratada oferece algumas vantagens sobre a cal virgem, entre elas, a maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento, além de ser um produto seco e pronto para ser utilizado com maior facilidade de mistura na elaboração das argamassas do que a pasta de cal resultante da cal virgem.

Cincotto et al. (1995) salientam que a cal é um aglomerante responsável por propriedades peculiares na construção civil. Destaca-se a plasticidade que a cal confere às

pastas e argamassas no estado fresco, permitindo maiores deformações no estado endurecido e sem fissuração, o que geralmente não ocorre quando empregado somente cimento Portland.

Segundo Carasek (2007), as argamassas no estado fresco, que contêm cal, apresentam preenchimento mais eficiente dos vazios do substrato, quando relacionadas às argamassas de cimento, em decorrência da sua maior trabalhabilidade e plasticidade. Conseqüentemente, nessas argamassas, quando endurecidas, verifica-se menor aparecimento de fissuras, por ocorrer menor retração hidráulica durante a cura ou por efeito de movimentação térmica dos componentes.

Barbosa (2013) diz que, de acordo com a normalização brasileira, as principais propriedades a serem analisadas para a determinação da sua qualidade são a composição química e a finura. Ressalta, também, que a quantidade de óxidos presentes na cal apresentam o grau de pureza e os teores de anidrido carbônico e o resíduo insolúvel são demonstrativos do nível de impureza.

Tabela 3 - Cal hidratada para construção – exigências químicas

Requisitos		Critérios Limite		
		CH I	CH II	CH III
Anidrido carbônico	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e de magnésio não hidratados (CaO + MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: NBR 6453 (ABNT, 2003)

3.4.2 Agregados

A areia natural é o tipo de agregado miúdo mais utilizado nas argamassas. Por sua vez, o agregado miúdo é o material de maior proporção na composição das argamassas. Graças a isso, o agregado tem importante papel em diversas propriedades como retração, resistência mecânica e módulo de deformação. Entre as principais funções das areias nas argamassas

estão as de minimizar os efeitos da retração e reduzir o custo, visto que esse agregado tem valor bem inferior ao do aglomerante.

Para a escolha adequada dos agregados, Bauer e Sousa (2005) indicam que diversas características do material devem ser observadas. Entre elas, cuidar para que o material utilizado não contenha matéria orgânica ou outras impurezas que possam provocar diferentes manifestações patológicas nas argamassas. Ainda de acordo com esses autores, o módulo de finura é um importante parâmetro para a classificação das argamassas em fina, média e grossa (quadro 6).

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

Carneiro (1999) também constatou que as argamassas dosadas a partir de distribuições granulométricas contínuas possuem melhores características no estado fresco e endurecido. Ele afirma, ainda, que a distribuição granulométrica contínua da fração de finos passantes na peneira 0,15 mm é importante para a redução do consumo de água.

Classificação quanto ao módulo de finura (Bauer e Souza, 2005)		Indicação de uso (Carneiro 1993)
Areia	Módulo de finura	
Grossa	$MF > 3,00$	Chapisco
Média	$2,00 \leq MF \leq 3,00$	Emboço
Fina	$MF < 2,00$	Reboco
Média+ Fina		Massa única

Quadro 6 - Classificação dos agregados e usos

Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial.

Segundo Miranda (2000), quanto aos agregados provenientes de entulho de construção, sabe-se que eles podem sofrer grande variação de seus materiais constituintes de acordo com a etapa em que a obra se encontra e, após reciclados, podem ser constituídos por um largo espectro de dimensões de grãos, obedecendo ou não aos limites dos agregados

miúdos, sendo as partículas compreendidas entre 4,75 mm e 75 µm. Assim, dependendo dos finos em sua composição, ele pode ser considerado como uma mistura de agregado miúdo com adição plastificante³.

Levy (1997) observou que se obtêm diferentes propriedades das argamassas quando é alterado o tipo de material utilizado como agregado reciclado (argamassa, bloco cerâmico, bloco de concreto). Isto se deve às características físicas e químicas de cada material. Além disso, o entulho de construção pode possuir impurezas como argila, gesso, madeira, vidros, etc., que modificam as propriedades mecânicas das argamassas geradas em relação às argamassas feitas com agregados naturais.

3.5 Agregados reciclados

Quando se trabalha com agregados reciclados, surgem variáveis com as quais, normalmente, não há preocupação, no caso do uso de agregados naturais. Entre as dificuldades encontradas na produção de argamassas com agregados reciclados, além do receio em utilizar matéria-prima reciclada, destacam-se a variabilidade, a contaminação e o elevado teor de finos dos agregados.

3.5.1 Variabilidade

Segundo Santana et al. (2001), uma vez que a composição do RCD é variável, dependendo de uma série de fatores, tais como a localização regional da obra, da época do ano, do tipo de obra, tipo de técnica construtiva empregada, dentre outros, tal variabilidade é refletida nos agregados reciclados produzidos. Isto repercute em algumas características dos agregados reciclados, tais como forma, textura, massa específica e absorção de água.

Dal Molin et al. (2009) salientam que a variabilidade apresentada na composição dos agregados reciclados é uma das barreiras na difusão de seu uso como matéria prima alternativa na confecção dos concretos.

³ São consideradas adições plastificantes todos os materiais que tenham como função principal contribuir para a coesão e plasticidade das argamassas.

Miranda (2000) também destaca que, do ponto de vista industrial, talvez a principal dificuldade na utilização do entulho reciclado, tanto para concretos quanto para argamassas, seja a sua elevada heterogeneidade ou variação na composição. Em uma obra, o entulho pode conter maior teor de material cerâmico durante a execução da alvenaria (se esta for de bloco cerâmico), ou de argamassa na fase de revestimentos. Todavia, até o momento, não estão quantificados os limites para os quais essa variação deve ser levada em consideração, tanto em termos de variação mineralógica quanto granulométrica, para o seu emprego em argamassas de construção.

Nesse sentido, Zordan (1997) demonstrou a variabilidade da composição, em função do período de coleta, obtida na Central de Moagem de Ribeirão Preto. As amostras foram coletadas com diferenças de um mês entre elas. Conforme apresentado na figura 11, observa-se que fases cerâmicas e pedra variaram em percentual maior de 10% em uma mesma central em quatro meses.

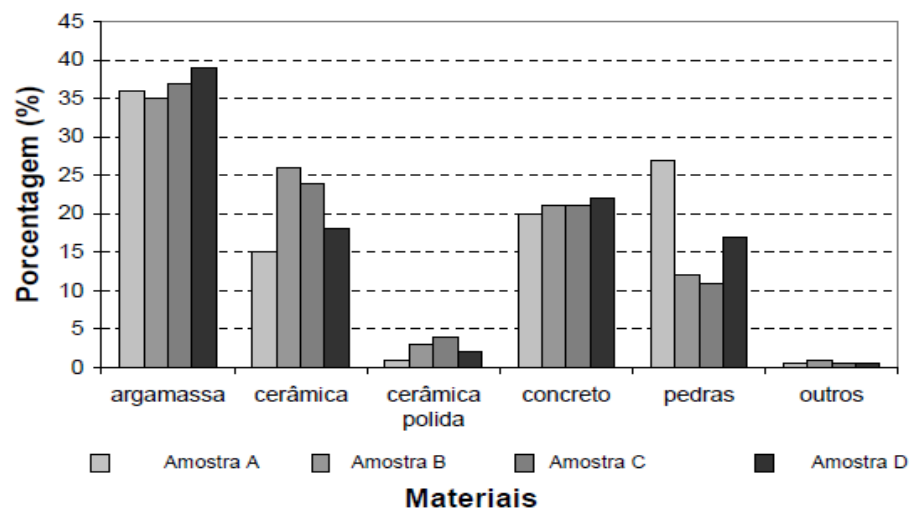


Figura 11 - Variabilidade dos agregados reciclados na Central de Ribeirão Preto

Fonte: Zordan (1997)

Ao utilizar agregados reciclados, deve-se considerar que a variabilidade existente na sua composição afeta a granulometria, a forma e a textura dos grãos, a absorção de água e, conseqüentemente, as propriedades de argamassas como retenção de água, permeabilidade, resistência mecânica, entre outras.

Sendo assim, Angulo (2000), ao constatar a significativa variabilidade da composição dos agregados reciclados, apontou a formação de pilhas de homogeneização como medida para redução da variabilidade desses agregados.

3.5.2 Contaminação e impurezas

Existe também o problema da contaminação do entulho, capaz de inviabilizar a sua reciclagem, mas que pode ser evitada através de técnicas racionais de construção e de demolição. Para isso, é necessário que haja maior observação em relação aos materiais contaminantes ou impurezas, que se encontram presentes nos RCD, pela dificuldade de remoção após a britagem, produzindo efeitos negativos às argamassas, não só às propriedades mecânicas, mas também à durabilidade.

Lima (1999) define, como contaminantes nos materiais reciclados, os materiais minerais não inertes ou que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas, como cloretos, sulfatos, matéria orgânica, produtos industrializados leves, como papel e plástico, além de vidro, ou materiais orgânicos, como betume, vegetação, terra, madeira e outros.

Miranda e Selmo (2003) citam, como contaminações mais esperadas na areia reciclada, o excesso de materiais pulverulentos, matéria orgânica e presença de gesso de construção, que devem ser, a priori, combatidas pela seleção prévia dos RCD. Para os autores, entre as contaminações, o gesso e os seus limites para aceitação, na forma de sulfatos, são os que mais preocupam, e precauções favoráveis para a redução dos efeitos do gesso nessas argamassas podem ser previstas de antemão, como o uso de cimentos mais resistentes a sulfatos, como o CP III e o CP IV.

Os teores admissíveis de impurezas dependem do uso pretendido para o agregado de RCD. A NBR 15116 (ABNT, 2004) apresenta teores máximos de contaminantes como requisitos para a utilização de agregados reciclados em concreto sem função estrutural (tabela 4).

Com relação à contaminação por aço ou pedaços de arame, Levy (1997) diz que pequenas quantidades podem causar manchas ou pequenos danos à superfície do concreto, principalmente em presença de cloretos. A remoção dos metais presentes nos RCD pode ser realizada antes do seu beneficiamento através de separação magnética, para não danificar os

equipamentos de britagem, ou no decorrer do processo de beneficiamento, pois o aço não se fragmenta devido à sua característica dúctil.

Tabela 4 - Requisitos dos agregados reciclados para concreto sem função estrutural

Propriedades	Agregado reciclado classe A				Normas de ensaios	
	ARC		ARM		Agregado graúdo	Agregado miúdo
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo		
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)	≥ 90	-	<90	-	Anexo A NBR 15116	-
Absorção de água (%)	≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	ABNT NBR NM 53	ABNT NBR NM 30
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1			ABNT NBR 9917	
	Sulfatos	1			ABNT NBR 9917	
	Materiais não minerais	2			Anexo A NBR 15116	Anexo B NBR15116
	Torrões de argila	2			ABNT NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3			-	
Teor de material passante na malha 75 μm (%)	≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 20	ABNT NBR NM 46	
Para efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.						

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004)

Quanto ao teor de vidro, Hansen (1992) salienta que deve ser limitado, já que esse material pode levar a reações álcali-sílica quando em contato com o cimento na presença de umidade, mesmo que se utilize cimento com baixo teor de álcalis.

3.5.3 Teor de material pulverulento

A NBR 15116 (ABNT, 2004i) também limita o teor de finos $<75 \mu\text{m}$, dos agregados reciclados mistos, em 20%, (tabela 4) sempre que se utiliza o agregado reciclado destinado ao preparo de concretos sem função estrutural. No entanto, para o uso do agregado reciclado em argamassas, a norma não apresenta requisitos ou estabelece exigências técnicas mínimas para o seu controle. A norma europeia EN 13139 (2002), por sua vez, limita em, no máximo, 5% o

teor de finos $<63 \mu\text{m}$, para o uso em argamassas de revestimento, dos agregados obtidos do processamento natural, manufaturado ou de material reciclado.

Miranda e Selmo (2003) relatam que a presença de finos inferiores a $75\mu\text{m}$ podem trazer consequências no seu desempenho, como fissuras, diminuição de aderência, entre outras. A influência dos finos nas propriedades das argamassas será abordada no item 3.8.

3.6 Influência de propriedades dos agregados reciclados nas propriedades das argamassas

Algumas propriedades dos agregados reciclados são muito diferentes dos agregados naturais e exercem grande influência nas propriedades das argamassas. Entre as propriedades mais importantes estão a granulometria, teor de finos, forma e textura dos grãos, massa específica, massa unitária e absorção de água.

3.6.1 Granulometria e teor de finos

A composição granulométrica dos agregados é uma característica muito relevante devido à sua influência na trabalhabilidade, resistência mecânica, absorção de água, permeabilidade, no consumo de aglomerantes, entre outras propriedades das argamassas.

Segundo Barbosa (2013), a composição granulométrica altera a ductilidade e a resistência mecânica das argamassas, uma vez que pode promover a existência ou não de vazios entre os grãos, aumentar o consumo de cimento e produzir compostos com alta porosidade, como no caso de granulometria uniforme. O empacotamento das partículas pode ser maximizado com a correta seleção dos diâmetros e suas quantidades, fazendo com que os espaços vazios sejam preenchidos com partículas de tamanhos adequados. Entretanto, deve-se considerar a morfologia das partículas, que podem variar significativamente, visto que materiais diferentes como areia de rio (arredondada) e rocha britada (irregular) têm empacotamentos diferenciados. O mesmo ocorre para areia de rio e agregado reciclado.

Nascimento (2007) diferencia dois tipos principais de areias recicladas para aplicações não estruturais quanto à sua granulometria, enumerando-as como areia reciclada com finos e areia reciclada lavada.

- Areia reciclada com finos: areia artificial obtida por beneficiamento de resíduos da construção civil, classe A, de concretos e argamassas de cimento Portland ou mistos com cerâmica, em processo de separação via seca, com partículas passantes em peneira de abertura de malha igual a 4,75 mm. De forma alternativa, essa areia também pode ser chamada de areia reciclada não lavada.
- Areia reciclada lavada: areia artificial obtida por beneficiamento de resíduos da construção civil, classe A, de concretos e argamassas de cimento Portland ou mistos com cerâmica, passante em peneira de abertura de malha menor ou igual a 4,75 mm, e resultante de processo de classificação via úmida, para a remoção de finos de dimensão inferior a 75 μm .

Em uma central de reciclagem brasileira, Miranda (2000) verificou que os teores de finos ($<75 \mu\text{m}$) em agregados alcançaram até 30 % da massa total.

Duailibe (2008) constatou que, ao serem usados em argamassas, os agregados reciclados, com a fração mais fina e maior superfície específica, precisam mais água de mistura e formam materiais com poros menores e com maiores potenciais de sucção.

3.6.2 Forma e textura superficial dos grãos

Para Mehta e Monteiro (2008), a forma dos grãos diz respeito às características geométricas do agregado, que podem ser arredondadas (partículas formadas pelo atrito com perda de vértices e arestas), angulosas (agregados que possuem vértices e arestas bem definidas), achatadas ou alongadas. Já a textura superficial relaciona-se à superfície do agregado, se é lisa ou áspera, sendo baseada em uma avaliação visual. A forma e a textura superficial dos grãos dos agregados têm maior influência nas propriedades da argamassa no estado fresco que no estado endurecido.

Segundo Barbosa (2013), a forma e a textura das partículas dos agregados têm influência na trabalhabilidade, na compacidade, etc., isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água de amassamento empregada nas argamassas. As partículas de textura

áspera, ou de formas angulosas ou alongadas, requerem mais pasta de cimento que as partículas lisas e esféricas para se produzir misturas trabalháveis, aumentando o custo do produto final. A autora relata, ainda, que há um aumento de aderência devido à textura áspera, que está relacionado com o efeito das forças de natureza físico-química e com o efeito de intertravamento mecânico entre agregado e pasta. Sendo assim, a textura áspera vai exigir mais água, reduzindo um pouco, mas não totalmente essa vantagem.

Angulo (2000) também relata que os agregados reciclados, em geral, são mais angulares, irregulares, com superfície mais porosa e com textura mais áspera que os agregados naturais. No entanto, essas características podem sofrer variações dependendo da composição do resíduo e do equipamento usado na britagem.

Assim, a forma e a textura dos agregados de RCD reciclados são diferentes das dos agregados naturais. Quanto à forma, aqueles agregados são considerados mais angulares, influenciando na trabalhabilidade de argamassas e concretos no estado fresco. Na tabela 5, são apresentadas as diferenças entre formas de grãos presentes nos agregados naturais e agregados reciclados de RCD.

Tabela 5 - Forma dos grãos

AGREGADOS	FORMA DOS GRÃOS	
	Esfericidade	Arredondamento
Areia Natural	0,9/0,7	0,7/0,5
Bloco cerâmico	0,5/0,3	0,5/0,3
Tijolo	0,7/0,5	0,7/0,5
Bloco de concreto	0,9/0,7	0,7/0,5

Fonte: Adaptado de Hamassaki et al. (1996)

3.6.3 Massa específica e massa unitária

A massa específica é uma propriedade influenciada pela porosidade do material, enquanto que a massa unitária é influenciada pela porosidade, a distribuição de tamanho e a forma dos grãos.

A massa específica e a massa unitária dos agregados reciclados diferem das observadas nos agregados naturais devido à composição do agregado.

Conforme Lima (1999), os agregados reciclados apresentam, em sua maioria, massas específicas e unitárias menores que os agregados naturais, refletindo-se nas massas específicas de argamassas e concretos elaborados com esse material, que também são menores que as de argamassas e concretos convencionais. O autor relata também que os agregados reciclados de concreto apresentam massa específica maior que os provenientes de alvenaria.

A massa unitária considera os vazios presentes e é imprescindível na dosagem das argamassas para a conversão do traço em massa para traço em volume, que é comumente utilizado na produção das argamassas em obra.

3.6.4 Absorção de água

Conforme Carneiro et al. (2001), os agregados reciclados apresentam uma absorção de água superior à do agregado natural, devido à sua grande porosidade e à maior quantidade de finos. Para Lima (1999), a absorção do agregado reciclado é diretamente proporcional à porosidade dos componentes do resíduo utilizado, sendo que os agregados reciclados de alvenaria e de argamassa apresentam taxas de absorção na faixa de 15%, enquanto que, para os agregados reciclados de concreto, situam-se próximo aos 10%, dependendo das características do concreto original e da granulometria atingida.

Leite (2001, p. 76) indica que, se a absorção não for considerada, haverá diminuição substancial da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco, sendo necessário acrescentar mais água à mistura. Esse fato implicará redução da resistência mecânica ou aumento do consumo de cimento e conseqüente aumento de custos. O mesmo ocorre para argamassas.

Para Angulo (2000), o efeito da relação água/cimento é maior quanto menor a dimensão das partículas, com tendência ao aumento da absorção de água em relações água/cimento maiores. Para agregados graúdos, esse efeito é desprezível. Quanto ao efeito da dimensão da partícula, nota-se um aumento na quantidade de argamassa aderida ao grão quanto menor a dimensão.

A tabela 6 ilustra a absorção de água de alguns materiais quando transformados em agregado miúdo. Pode-se perceber grande diferença de absorção de água entre os diversos tipos de materiais.

Tabela 6 - Absorção de água de alguns materiais processados como agregados miúdos

Absorção de água				
Material	Areia Natural	Bloco cerâmico	Tijolo	Bloco de concreto
Absorção	0,7%	9,6%	17,4%	5,6%

Fonte: Adaptado de Hamassaki et al. (1996)

3.7 Propriedades das argamassas

Segundo Sousa e Bauer (2002), o entendimento das propriedades das argamassas, no estado fresco, é importante para a indústria da construção porque esses materiais são normalmente aplicados em sua forma plástica, fato que se torna complexo para o meio técnico se for levado em consideração o universo de materiais (cimento, agregados, teor de água, adições, aditivos), técnicas de transporte e aplicação (bombeada, aplicação manual, projetada...) e tipos de substrato (blocos de concreto, cerâmicos, concreto celular...) atualmente disponíveis.

De acordo com Silva e Bauer (2009), as solicitações mais comuns às quais são submetidos o revestimento são: variações térmicas, ações de vento, ações de umidade, carregamentos estáticos e dinâmicos, deformações diferenciais, ações de peso próprio, abrasão e impactos. Por isso, compreender as propriedades físico-mecânicas das argamassas é de suma relevância, sendo que, através delas, é possível especificar os tipos de argamassas que mais atendam às necessidades em vistas da qualidade e da durabilidade do sistema de revestimento.

A NBR 13.281 (ABNT, 2005f) apresenta a classificação das argamassas conforme suas características e propriedades. Essa classificação encontra-se no AXEXO B. No entanto, conforme comentado por Bonin et al., não vai além de uma caracterização das argamassas,

por conseguinte não existe, nesse texto normativo, informações a respeito da adequação do emprego de uma determinada argamassa para uma condição de serviço específica.

Segundo Nakakura e Cincotto (2004), essa classificação das propriedades é baseada na classificação francesa denominada MERUC⁴, uma das mais sofisticadas dentre as existentes, elaborada pelo Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB, 1993).

A seguir, apresentam-se as principais propriedades das argamassas segundo as classificações da NBR 13281 (ABNT, 2005) e MERUC (quadro 7). Além dessas, estas duas propriedades são consideradas importantes para a utilização das argamassas: consistência e variação dimensional. A classificação francesa também se encontra no AXEXO B.

Norma Brasileira (NBR 13281)	Norma Francesa (MERUC)
a) Resistência à compressão	a) M - densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
b) resistência à tração	b) E - módulo de deformação (MPa)
c) densidade de massa no estado fresco	c) R - resistência à tração na flexão (MPa)
d) densidade de massa no estado endurecido	d) U - retenção de água no estado fresco (%)
e) capilaridade	e) C - coeficiente de capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2})
f) retenção de água	
g) resistência de aderência	

Quadro 7 - Propriedades utilizadas na classificação das argamassas

3.7.1 Índice de consistência e percentual de água

De acordo com Carasek (2007), a consistência é definida como a propriedade das argamassas que, sob a ação de cargas, possui maior ou menor facilidade de deformar-se e a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.

A consistência é a propriedade da argamassa, relacionada à trabalhabilidade que pode ser definida através de um índice. A trabalhabilidade é uma das mais relevantes propriedades das argamassas no estado fresco. É a propriedade da argamassa recém-misturada que determina a facilidade com a qual pode ser misturada, lançada, adensada e acabada.

⁴ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation - Classification MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

Segundo Cincotto (1995), a trabalhabilidade é influenciada pela continuidade da distribuição granulométrica do agregado, seu módulo de finura e forma dos grãos, além do teor de aglomerantes e utilização ou não da cal. Essa característica está associada com a plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão e massa específica. A consistência também está associada a essas propriedades, sendo essa a razão de ser utilizada como uma medida da trabalhabilidade.

Para Bahia e Sabbatini (2002), uma argamassa de revestimentos é considerada trabalhável quando deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, mesmo sem ser fluida, mantém-se coesa ao ser transportada, mas não adere a colher ao ser lançada e distribui-se facilmente preenchendo todas as reentrâncias da base. Vale destacar que alguns aspectos como as características dos materiais constituintes e o seu proporcionamento interferem nessa propriedade.

Segundo Bauer, (2005), a execução dos revestimentos exige propriedades particulares das argamassas, tais como a plasticidade, para se deformar sobre a superfície do substrato quando do lançamento e aplicação, fluidez para envolver a rugosidade do substrato e retenção de água para manter a trabalhabilidade durante a aplicação. (Figura 12)

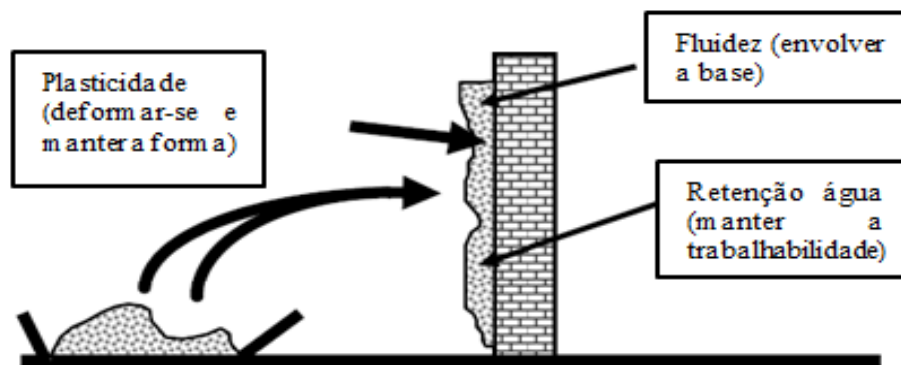


Figura 12 - Condições de aplicação das argamassas

Fonte: Bauer (2005)

3.7.2 Retenção de água

Bahia e Sabbatini (2008, p. 17) definem retenção como “a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação.” Esses autores dizem, ainda, que a retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequente ganho de resistência.

De acordo com Cincotto (1985), a capacidade de retenção de água de uma argamassa varia largamente com o potencial de sucção da superfície aplicada (bloco, tijolo, etc). O aumento nessa propriedade pode ser conseguido por aumento dos materiais constituintes com elevada área específica (aumentando a área a ser molhada, aparecendo tensões superficiais que tendem a manter a água adsorvida nas partículas) ou com emprego de aditivos cujas características impedem a rápida perda de água.

Ainda segundo a autora, quando não ocorre uma retenção adequada da água pela argamassa, ocorre que a absorção excessiva da água pela superfície (do bloco) irá expandi-lo, aumentando o potencial de retração na secagem. Com isso, a argamassa, perdendo rapidamente muita água, provocará uma redução na resistência de aderência e ficará mais rígida (maior módulo de deformação) quando endurecida, implicando menor capacidade de absorver deformações. A argamassa poderá perder resistência, visto que a hidratação do cimento e da cal serão prejudicadas com a perda inadequada de água. Como resultado, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas.

Em adição, Carasek (2007) constata que a retenção de água interfere no tempo disponível de aplicação, regularização e desempenho da argamassa. No estado endurecido, a retenção de água afeta as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal que são as responsáveis pela evolução do endurecimento da argamassa. Como a retenção interfere na velocidade de evaporação da água de amassamento, pode influir na retração por secagem.

Resende (2004) comenta que uma retenção de água em torno de 85% é importante para o ganho de resistência mecânica e de aderência, ocasionado devido ao endurecimento adequado da argamassa.

3.7.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A massa específica aparente, ou densidade de massa, é definida como a relação entre a massa do material e o volume, incluindo os vazios a uma temperatura estabelecida. Os vazios presentes na argamassa contêm ar aprisionado ou espaços, deixados pela evaporação do excesso de água de amassamento. Essas duas propriedades interferem em outras propriedades das argamassas no estado fresco. Para Nakakura e Cincotto (2004), por exemplo, o teor de ar incorporado interfere diretamente, na resistência à compressão.

De acordo com Bahia e Sabbatini (2008), um teor de ar muito elevado pode ser prejudicial na resistência e na aderência da argamassa devido ao grande número de vazios.

Com base em Nakakura e Cincotto (2004), o teor de ar incorporado é a quantidade de ar aprisionado na argamassa fresca e influencia diretamente a densidade de massa relativa da argamassa nos estados fresco e endurecido, pois o ar possui densidade menor que a argamassa e ocupa uma fração da sua massa. Quanto ao tempo de mistura, a NBR 13276 (2005) fixa quatro minutos. Para as autoras, esse tempo é adequado para as argamassas mistas, já que a incorporação de ar é igual ou muito próxima do teor incorporado em obra.

Neno et al. (2013), utilizando agregado reciclado de concreto, assim como outros autores, constataram que, quanto maior o percentual de substituição de agregado natural por agregado reciclado, menor é a densidade de massa.

3.7.4 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

De acordo com Cincotto (1985), a resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento, aumenta continuamente com o tempo e reflete o grau de hidratação da argamassa (que influencia em outras propriedades). Não obstante, enfatiza que valores de resistência isolados não são válidos para determinar a qualidade da argamassa.

Segundo Carneiro (1993), quanto menor a porosidade da argamassa, maior será a resistência mecânica e, assim, quanto maior o teor de ar incorporado e os vazios capilares, menor será a resistência.

Para Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços

mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

Bahia e Sabbatini (2008) também definem a resistência como propriedade dos revestimentos de suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas devido à ação superficial, ao impacto e à contração termo higroscópica. A resistência depende da natureza dos agregados e aglomerantes empregados na argamassa e da técnica de execução buscando a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento. Os autores dizem ainda que a resistência mecânica aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento.

Barbosa (2013) enfatiza que há significativa influência da temperatura e da umidade no desempenho e na vida útil das argamassas e diz ainda que a resistência é inversamente proporcional ao consumo de água (relação água cimento), devido ao aumento do índice de vazios.

3.7.5 Resistência potencial de aderência à tração

A aderência é uma propriedade do estado endurecido da argamassa que exerce uma grande influência sobre a qualidade final do revestimento executado.

De acordo com a definição de Maciel et al. (1998, p. 31), aderência

é a propriedade do revestimento manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

Referendada em Cincotto et al. (1995), a aderência da argamassa ao substrato representa a propriedade mecânica com maior relevância ao se avaliar um sistema de revestimento. Além disso, o desempenho estrutural depende do desenvolvimento adequado da aderência e da interação de vários fatores que influenciam diretamente essa propriedade. Segundo Bahia e Sabbatini (2008), a aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e sua limpeza superficial.

Selmo (1989) menciona que a avaliação da aderência de revestimentos em argamassa pode ter várias finalidades, como a comparação de diferentes composições ou traços de argamassa, o controle de execução de serviços ou a realização de diagnósticos de revestimentos com problemas patológicos.

Carasek (2007) aponta que, entre os fatores que exercem influência na aderência das argamassas sobre bases porosas, estão as próprias características das argamassas como reologia, adesão inicial e retenção de água; as características do substrato como a sucção de água, rugosidade e porosidade; as condições climáticas como temperatura, umidade e vento; e ainda na forma de execução a energia de impacto empregada, a limpeza e preparo da base, a cura.

De acordo com Gonçalves (2004), a variabilidade dos resultados num ensaio de aderência à tração é elevada, pois as variáveis são em grande número, dentre as quais se podem citar: tipo de substrato, tipo de tratamento da base, composição da argamassa, energia de lançamento, altura e distância de lançamento, espessura do revestimento, tipo de pastilha (circular ou quadrada), local do ensaio (juntas, centro do bloco), condições ambientais, entre outros.

Segundo a NBR 13528 (2010, p. 3),

a forma de lançamento da argamassa ao substrato é um fator que interfere no comportamento do revestimento, principalmente ao que se refere ao mecanismo de aderência. As argamassas projetadas mecanicamente podem apresentar valores de resistência de aderência superiores e coeficiente de variação inferior, em relação às argamassas aplicadas manualmente, isto porque a projeção mecânica proporciona maior superfície de contato e compacidade após a aplicação, reduzindo a porosidade e permeabilidade dos revestimentos.

3.7.6 Variação dimensional

Na concepção de Kopschitz et al. (1997), a retração é um fenômeno que ocorre nas argamassas nas primeiras idades, do ponto de vista da variação dimensional. Esse tipo de deformação acontece principalmente por causa da perda de água da argamassa para o ambiente e para a base, por evaporação, na aplicação em substratos comuns.

De acordo com Cincotto et al. (1995), a argamassa endurecida, exposta a um ambiente com umidade relativa baixa, tende a perder água para o ambiente e se contrair devido à tendência de aproximação das paredes dos poros capilares quando da saída da água, com a

consequente contração volumétrica do elemento endurecido. Esse fenômeno é conhecido como retração hidráulica (ou retração por secagem).

Fiorito (2009) relata que o endurecimento dos revestimentos é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às relações de hidratação. O autor diz, ainda, que a retração, em geral, evolui durante a pega e após o endurecimento das argamassas, em condições normais de exposição ao ar. A retração que ocorre com a argamassa ainda fresca é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da água de mistura.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), na argamassa endurecida, após a saída da água livre presente nos vazios capilares, a retração é provocada pela perda da água adsorvida, isto é, perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta. A restrição da retração provoca, já nas primeiras horas, o aparecimento de esforços de tração e, consequentemente, um estado de tensões interno. Na retração livre, ou seja, em corpos de prova não aplicados a nenhum tipo de base, o agregado é responsável por essa restrição. Nas argamassas aplicadas em substratos como os tijolos e o concreto, a restrição da retração ocorre também por causa da própria aderência da argamassa à base. Os mesmos autores apontam que a retração por secagem é reversível, enquanto que a argamassa endurecida pode movimentar-se no sentido contrário ao da retração quando sujeita, por exemplo, à molhagem.

Fiorito (2009) destaca que as espessuras dos emboços e revestimentos com argamassas são limitadas a valores máximos devido a sua retração. Argamassas ricas e espessas estão mais sujeitas a fissuras. Por outro lado, argamassas mais plásticas (menor módulo de elasticidade) estão menos sujeitas.

3.7.7 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade é uma propriedade importante para as argamassas, visto que avalia a resistência do material à deformação elástica, ou seja, quanto maior o módulo, maior a rigidez do material.

O desempenho de uma argamassa de revestimento está diretamente ligado à capacidade de absorver deformações, que são medidas através do módulo de elasticidade. Isso significa afirmar que, se a argamassa for impedida de se deformar ou não possuir elasticidade suficiente, surgirá tensões de tração no revestimento, podendo aparecer fissuras.

De acordo com Silva e Campitelli (2008), a qualidade e a durabilidade de um revestimento de argamassa estão diretamente ligadas à capacidade de absorver deformações que podem ser medidas através do módulo de elasticidade dinâmico. Os autores argumentam, ainda, que o módulo de elasticidade está relacionado ao comportamento elástico do revestimento e pode fornecer informações a respeito da deformabilidade e da rigidez de um revestimento de argamassa. Essa propriedade mecânica é de grande interesse, pois está ligada aos fenômenos patológicos dos revestimentos de argamassa, em especial, às fissuras.

Fiorito (2009) enfatiza que os revestimentos em geral são constituídos de camadas de materiais diferentes ligadas entre si e, como estão intimamente ligadas, qualquer deformação em uma dessas camadas resultará no surgimento de tensões em todo o conjunto. Tais tensões dependem da espessura, do módulo de elasticidade e das características físicas de cada camada.

A passagem de uma onda ultrassônica por um sólido baseia-se no princípio da propagação das ondas elásticas, segundo a qual a velocidade de propagação (v) depende das propriedades elásticas do meio e está relacionada com o módulo de elasticidade dinâmico.

Para Cincotto et al. (1995), elasticidade é a capacidade de deformação que as argamassas apresentam sem que ocorra ruptura, retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhes são impostas.

Silva (2006, p. 22) também destaca que “[...] o módulo de deformação é a relação entre a tensão aplicada a um corpo e a deformação produzida por esta tensão.” Quanto menor o módulo de deformação da argamassa (menor teor de cimento), maior é sua deformabilidade e, conseqüentemente, maior a capacidade de absorver deformações.

Nesse sentido, Nakakura e Cincotto (2004) consideram o módulo de deformação uma das mais importantes características que devem ser exigidas das argamassas, já que a capacidade de absorver deformações auxilia na estanqueidade da edificação.

3.7.8 Absorção de água por capilaridade

Permeabilidade é a passagem de água no estado líquido ou gasoso, através da argamassa endurecida. A absorção capilar é o processo físico pelo qual o material cimentício retém água nos poros capilares, ocorrendo na fase líquida da água. Quanto mais interligados os poros capilares, maior e mais rápida será a absorção.

Segundo Barbosa (2013), a absorção de água representa a capacidade que a argamassa possui de reter água de amassamento contra sucção da base ou a evaporação. Essa característica é importante, porque permite a adequada hidratação do cimento e o endurecimento de forma gradativa.

Para Nakakura e Cincotto (2004), a existência de poros interligados ou não, bem como de diferentes diâmetros, faz que alguns contribuam para a permeabilidade e outros, não. Se a porosidade for elevada e os poros estiverem interligados, eles contribuem para o deslocamento de fluidos, de modo que a permeabilidade também pode ser alta. Por outro lado, se os poros forem descontínuos ou ineficazes para o deslocamento de fluidos, a permeabilidade será baixa, mesmo com porosidade alta.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a água tem capacidade para criar e degradar materiais naturais e artificiais, como o concreto e a argamassa, sendo esse um fator essencial por trás da maioria dos problemas de durabilidade das matrizes cimentícias, já que a água é um agente de transporte para íons agressivos. Por isso, é importante definir a absorção da argamassa para conferir a sua durabilidade, levando-se em consideração que valores baixos de absorção sugerem argamassas melhores.

3.8 Influência do teor de finos em propriedades das argamassas

A conceituação do que sejam finos, em tecnologia de argamassas de cimento Portland ou outros aglomerantes mistos, é muito importante. Na bibliografia as dimensões para a especificação de finos podem variar, mas, em geral, as normas atuais endossam limites muito próximos de 75 μm . Nascimento (2007), em estudo sobre esta temática, denomina as partículas da reciclagem removidas pela lavagem e com dimensões abaixo de 75 μm como “finos”, dado ser um termo mais adequado para a descrição de propriedades físicas que lhe são características, tais como maior área específica e efeitos coesivos, em geral presentes.

O mesmo termo será utilizado neste trabalho, no entanto a remoção das partículas será realizada por peneiramento a seco, evitando a formação de lodo, desperdício de água e possibilitando a utilização do material passante em outras aplicações.

Conforme já descrito em 3.5.3, a NBR 15116 (2004i) limita o teor de finos <75 μm em 20%, para agregado miúdo, quando se utiliza o agregado reciclado misto destinado ao preparo de concretos sem função estrutural. E a norma europeia EN 13139 (2002) limita em, no

máximo, 5% o teor de finos $<63 \mu\text{m}$, dos agregados obtidos do processamento natural, manufaturado ou de material reciclado, para o uso em argamassas de revestimento.

Miranda (2005) destaca como um problema das areias recicladas, o fato de apresentarem, em geral, um teor de finos $< 0,075 \text{ mm}$ e uma absorção de água elevados, o que influencia nas propriedades do estado fresco (consistência e retenção de água) e endurecido (resistência mecânica e retração por secagem) das argamassas, bem como no desempenho dos revestimentos, principalmente quanto ao surgimento de fissuras, permeabilidade e aderência ao substrato.

Para Westerholm et al. (2008), os resultados de seu estudo mostram que as propriedades e a quantidade de agregado fino têm uma forte influência sobre o consumo de água e trabalhabilidade da argamassa, ou seja, a reologia. Esses autores concluem que grandes quantidades de finos podem aumentar o módulo de elasticidade da argamassa.

Para Silva et al. (2009), observando-se as fachadas dos edifícios com revestimentos de argamassas, constata-se que a fissuração é um dos fenômenos patológicos de maior incidência. A retração no estado fresco de uma argamassa conhecida por retração plástica é o resultado da contração volumétrica devido, principalmente, à perda de água. Essa deformação é uma das principais causas relacionadas à fissuração nas primeiras horas do revestimento.

Oliveira e Cabral (2011) relatam que a gradual incorporação de agregado reciclado exige uma maior quantidade de água para atingir a consistência desejada. Concluem que, possivelmente, deve-se à presença de partículas finas ($< 75 \mu\text{m}$), porque aumenta a superfície específica e a porosidade do material.

Na avaliação da perda da consistência para as misturas em argamassas, Miranda (2000) observou que houve uma tendência em diminuir ou permanecer constante com o aumento do teor de finos, tendo em vista que estes atuaram como retentores de água. O autor considerou também que, para uma consistência abaixo de 240 mm, a aplicação da argamassa como revestimento ficaria muito dificultada, sendo necessário “reamassá-las” com água, o que, no caso da execução de revestimentos, não é operacionalmente adequado.

Para Silva et al. (2007), a retenção de água, geralmente elevada nas argamassas com RCD, é favorável para evitar a absorção rápida por parte do substrato e da evaporação, de modo que evitam a hidratação completa do cimento, fazendo com que parte do cimento passe a funcionar como *filler*.

Miranda (2000) sugere, para a reciclagem de entulho em usinas visando à produção de argamassas, que se faça um controle granulométrico do entulho entre as dimensões de 2,4 mm

até 0,15 mm, descartando o material passante nessa abertura de malha e utilizando outro tipo de material como plastificante, como, por exemplo, a cal.

Lima (1999) observou, em suas pesquisas, que a resistência mecânica de argamassas com agregado reciclado, na maioria das vezes, é maior que a de argamassas convencionais. O mesmo autor atribui esse comportamento à pozolanicidade e ao efeito *filler* dos finos do agregado reciclado, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas das argamassas.

3.8.1 Influência do teor de finos na fissuração das argamassas

Existe um consenso entre os autores que estudam argamassas, que a fissuração é, se não o principal, um dos problemas mais frequentes das argamassas em geral. Cincotto (1997) afirma que, entre os problemas observados em revestimentos de argamassa no país, a fissuração e o descolamento são os mais frequentes.

Bahia e Sabbatini (2008) também incluem as fissuras e as trincas entre as principais manifestações patológicas, juntamente com o descolamento e a formação de manchas de umidade. Contudo, dão destaque ao problema da formação de fissuras e trincas.

Conforme Silva e Bauer (2009), apesar do crescimento das técnicas de produção e novos materiais empregados nas argamassas de revestimento, as técnicas de aplicação destas ainda esbarram no empirismo e na falta de controle de qualidade, o que reflete um índice cada vez mais crescente de manifestações patológicas relacionadas aos tipos de materiais utilizados e à forma de execução do revestimento.

A NBR 13749 (2013b) define como um dos tipos de fissuras em revestimentos as fissuras mapeadas: “Podem se formar por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, quer sejam de aglomerantes, quer sejam de finos no agregado, ou por excesso de desempenamento”.

Miranda (2000) analisando os parâmetros que podem prevenir a fissuração de revestimentos de argamassas que contêm agregado reciclado, constatou que o teor de finos e a forma de execução têm influência na fissuração dos revestimentos de argamassa. Ainda de acordo com o autor, o limite máximo de finos $<75 \mu\text{m}$, total, para evitar a fissuração de revestimentos argamassados, deve ser 25%.

Miranda e Selmo (2003) concluem que os revestimentos de argamassa feitos com agregado reciclado possuem maior tendência à fissuração do que se feitos com agregado

natural, geralmente devido à presença de material cerâmico. A maior fissuração dos revestimentos de argamassa com RCD reciclado deve-se, principalmente, ao elevado teor e natureza dos finos desse agregado.

Cincotto (1995) destaca que a ocorrência de fissuras num revestimento de argamassa decorre da elasticidade e das resistências à tração inadequadas diante das tensões de tração resultantes da retração por secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento.

Da Silva et.al. (2009) sugerem usar, sempre que possível, a areia reciclada com dimensão máxima 4,75mm e substituir no máximo 50% de agregado natural por agregado reciclado.

Miranda (2000) sugere que seja fixado um tempo de moagem ou britagem para reduzir os riscos de fissuração em revestimentos de argamassa com entulho, usando uma metodologia racional de dosagem da argamassa. Além disso, recomenda que o equipamento não seja utilizado como uma betoneira, mas apenas para a moagem do entulho, para que seja feita uma mistura prévia de todo o material reciclado antes de sua utilização, produzindo assim argamassas mais homogêneas.

Para o autor, as fissuras dos revestimentos de argamassa podem surgir tanto na sua fase plástica quanto endurecida, sendo que as primeiras podem também ter origem na técnica de execução do serviço, além de causas intrínsecas às argamassas de revestimentos.

Selmo et al. (1999) revestiram nove painéis de 2,5 m² de alvenaria de bloco de concreto com argamassa de cimento, cal e agregado reciclado no traço 1:2:9 em volume úmido, com tempos de sarrafeamento precoce e ótimo, mas não puderam afirmar qualquer influência dessa variável no surgimento de fissuras devido à presença de insolação no momento da aplicação, que pareceu ser fator preponderante em relação à técnica.

Maciel et al. (1998) consideram que a compressão exercida no revestimento após aplicação da argamassa e durante o acabamento superficial, quando iniciado no momento correto, contribuem para o não aparecimento de fissuras.

Quanto à influência da espessura na fissuração dos revestimentos, Medeiros e Sabbatini (1994) observaram que a espessura dos revestimentos não interfere no surgimento de fissuras nas primeiras idades (até 30 dias após a execução).

Kovler e Frostig (1998) concluíram que a melhor forma de reduzir os riscos de fissuração é pela redução do módulo de elasticidade e da redução da deformação por retração.

Sabbatini (1991) ressalta que o revestimento pode ou não ter a capacidade de resistir aos esforços a que é submetido e, quando não resiste muitas vezes, ocorre a fissuração. Entre as alternativas para reduzir a fissuração, o autor indica:

- que os aglomerantes sejam de baixa a média reatividade, pois, nos revestimentos endurecidos, a resistência à tração, sendo elevada, diminui sua capacidade de deformação;
- que os agregados tenham granulometria contínua e com o teor adequado de finos, uma vez que o excesso destes irá aumentar o consumo de água de amassamento e, com isso, induzir a uma maior retração de secagem do revestimento. A recomendação da granulometria contínua prende-se ao fato de que, gerando um menor volume de vazios no agregado, menor será o volume de pasta e, por consequência, menor a retração;
- que a técnica de execução seja levada em conta, porque ela estabelece o grau de compactação do revestimento e os momentos de sarrafeamento e desempenho.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos pré-estabelecidos, foi realizada a investigação, frente à influência do teor de finos, dos agregados reciclados mistos nas argamassas de revestimento, nos períodos estabelecidos pelas normas de ensaio. Para isso, quatro misturas, com agregado reciclado britado e peneirado, tiveram suas propriedades comparadas às das misturas contendo agregado reciclado britado e à mistura de referência contendo como agregado, areia natural.

Para o desenvolvimento das etapas da pesquisa, foram utilizadas as infraestruturas dos laboratórios do LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), da Universidade Federal de Santa Maria. Os ensaios de laboratório foram conduzidos de forma a investigar a influência do teor de substituição de agregado natural por reciclado misto e do teor de finos dos agregados nas propriedades das argamassas.

O procedimento experimental foi realizado nas seguintes etapas:

- definição e caracterização dos materiais;
- preparo dos agregados reciclados;
- definição das argamassas;
- análise das propriedades das argamassas no estado fresco;
- análise das propriedades das argamassas no estado endurecido;
- análise de propriedades higrotérmicas;
- análise da influência do teor de finos na argamassa compondo um sistema de revestimento.

Um fluxograma do processo experimental completo é apresentado no apêndice E.

4.1 Definição e caracterização dos materiais empregados nas argamassas

Os materiais utilizados nesta investigação experimental são:

- Cimento Portland - CII E 32, em conformidade com os valores mínimos normatizados pela NBR 11578 (2014);

- Cal hidratada: Cal hidratada especial CH II, em conformidade com a NBR 7175 (2011);
- Água: A água utilizada na moldagem dos corpos de prova foi proveniente da rede de abastecimento, fornecida pela CORSAN;
- Agregados: Nesta pesquisa, foram utilizados dois tipos de agregados: o agregado natural e o agregado reciclado de RCD;
 - Agregado natural: O agregado natural trata-se de um material obtido através da extração em leito de rio, encontrada na região de Santa Maria/RS, previamente lavada e seca em estufa a 105 - 110°C;
 - Agregado reciclado (RCD): O Resíduo de construção e demolição a ser utilizado foi proveniente da reciclagem da parte mineral do RCD (proveniente de tijolos, blocos cerâmicos, telhas, argamassas endurecidas, resíduos de concreto, rochas e piso cerâmico), fornecido pela empresa GR 2, empresa de gestão de resíduos de Santa Maria. Será previamente lavado, seco em estufa a 105 - 110°C e usado em duas formas: somente britado / britado e peneirado a seco. A escolha desse material deu-se pelo fato de essa ser a única usina de reciclagem em Santa Maria e região.

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado no experimento foi o Cimento Portland composto com escória de alto forno – CP II E – 32, cujas características estão apresentadas na tabela 7.

As características do aglomerante (cimento) foram obtidas pelo fabricante e através de ensaios realizados no LMCC da UFSM, conforme as seguintes normas:

- NBR 11579/ 2012/2013: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (nº 200).
- NBR NM 23/2001: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica.
- NBR NM 43/2002: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal.
- NBR NM 65/2002: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.

Tabela 7 - Características do Cimento Portland CP II E – 32

Características químicas		
Ensaio	Valores	Limites de norma %
CaO	59,2	
SiO₂	21,8	
Al₂O₃	5,55	
Fe₂O₃	2,33	
SO₃	1,74	
MgO	2,91	
K₂O	0,98	
MnO	0,46	
Na₂O	0,14	
TiO₂	0,31	
P₂O₅	0,12	
Perda ao fogo	4,88	
Características físicas e mecânicas		
Ensaio	Valores	
Massa específica (kg/dm³)	3,01	
Área específica BET (m²/g)	1,18	
Finura #0,075 mm	1,80	
Início de pega (min)	195	(NBR11578) ≥ 60
Fim de pega (min)	259	(NBR11578) ≤ 600
Água de consistência normal (%)	26,9	
Resistência 3 dias (MPa)	23,9	(NBR11578) ≥ 10
Resistência 7 dias (MPa)	31,5	(NBR11578) ≥ 20
Resistência 28 dias (MPa)	41,3	(NBR11578) ≥ 32

4.1.2 Cal

Foi utilizada a cal hidratada especial CH-II, é uma cal dolomítica com altos teores de cálcio e magnésio e foi obtida através da calcinação do calcário em fornos com temperaturas entre 900°C e 1000°C. As características fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 - Características da Cal Hidratada

Características da Cal Hidratada Especial CH II		
	Valores	Limites de norma (%)
Perda ao Fogo (%)	23,64	
Ri+SiO₂ (%)	8,85	
CO₂ (%)	4,09	≤ 5
CaO (%)	43,56	
MgO (%)	23,75	
Umidade (%)	0,60	
#200 (%)	6,77	≤ 15
Oxidos Totais (%)	88,15	≥ 88
Teor de anidrido sulfúrico (SO₃) (%)	0,12	
Teor de enxofre (S) (%)	0,05	
CaO Combinado com CaSO₄ (%)	0,08	
CaO Combinado com CaCO₃ (%)	5,19	
Água combinada (%)	18,95	
CaO hidratado (%)	58,93	
CaO não-hidratado (%)	0	
MgO hidratado (%)	14,87	
(CaO + MgO) Não hidratados (%)	8,88	≤ 15
Massa unitária g/cm³	0,59	
Capacidade de incorporação de areia	1,00:4,80	

4.1.3 Agregados

Como agregado miúdo, foram utilizados areia natural e agregado miúdo reciclado, proveniente de RCD misto, secos em estufa a 105 - 110°C para remoção da umidade. As características físicas dos agregados foram obtidas através de ensaios realizados no LMCC, na UFSM, seguindo as normas vigentes e estão apresentadas na tabela 9. Os dados na íntegra, do ensaio de composição granulométrica estão apresentados no APÊNDICE A.

- NBR NM 248 (ABNT, 2003): Composição granulométrica dos agregados.
- NBR NM 52 (ABNT, 2009): Agregado miúdo - Determinação de massa específica. A massa específica é definida como sendo a massa por unidade de volume e tem grande importância para calcular o traço para a produção de argamassa.
- NBR NM 45 (ABNT, 2006): determinação da massa unitária e do volume de vazios.

- NBR NM 46 (ABNT, 2003): determinação do material fino que passa através da peneira 0,075mm por lavagem. Essa norma define, como material pulverulento, as partículas de minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.
- NBR NM 49 (ABNT, 2001): Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas.

Tabela 9 – Características físicas dos agregados natural e reciclado

Ensaio realizado	Unidade	Norma	Resultado médio	
			Areia natural	Areia reciclada britada
Módulo de finura	-	NM 248/2003	1,96	2,21
Diâmetro Máx.	(mm)	NM 248/2003	2,36	4,75
Massa unitária	(g/cm ³)	NM 45/2006	1,70	1,41
Massa específica	(g/cm ³)	NM 52/2009	2,66	2,51
Teor de material pulverulento	%	NM 46/ 2003	0,3	24,9
Impurezas orgânicas	-	NNM 49/2001	Coloração mais clara que a solução padrão	Coloração mais clara que a solução padrão

4.2 Preparo dos agregados reciclados

Na primeira parte da pesquisa, foi realizada a caracterização dos materiais referente às suas propriedades físicas, com a finalidade de verificar a composição granular do agregado gerado a partir do resíduo de construção e do agregado natural com o intuito de deixar os agregados com granulometria semelhante. As propriedades físicas avaliadas foram a granulometria, o teor de material pulverulento, a massa específica e a massa unitária.

Neste trabalho, buscou-se utilizar o material apenas com transformação física. Muitos estudos são feitos com percentuais definidos de RCD provenientes de argamassa ou cerâmica, no entanto entende-se que materiais vindos de demolições são heterogêneos e provenientes de várias etapas da obra, sendo compostos de concreto, argamassas, cerâmica vermelha e, muitas vezes, esses materiais estão associados, sendo impossível dissociá-los, como é o caso de cerâmicas vermelhas unidas por argamassa de assentamento, ou com argamassas de revestimento.

Então, optou-se por usar o material com os percentuais que ele possuísse naturalmente, desde que, em uma mesma carga, não houvesse muita variabilidade.

O material utilizado foi proveniente de uma mesma carga de 3m³ de resíduos, fornecida pela usina de Santa Maria. Após passar pelo processo de reciclagem e separação, descrito em 2.4, o material foi levado pela usina de reciclagem, em um caminhão caçambae depositado sobre lona em local próximo ao LMCC. Os resíduos de construção e demolição são mistos, tendo em vista que a empresa não possui equipamentos de separação, tampouco separação manual, apresentando, como materiais principais, cerâmica, argamassas e concretos.

Para a caracterização do material a ser utilizado nesta pesquisa, foram selecionadas duas amostras retiradas de diferentes locais da carga total, e determinada a sua composição gravimétrica, metodologia semelhante à adotada por Malta et al. (2013) e por Lima e Cabral (2013).

Cada amostra, após ser lavada e seca em estufa, foi pesada, contendo 25 kg e passou por um processo de triagem, que consistia na simples averiguação visual e retirada de materiais provenientes de classe B, tais como madeira, vidro, metais e plásticos, além de gesso e materiais não caracterizados como RCD. Foi então realizada a separação manual dos materiais (figura 13), em que foram pesadas as frações constituintes e determinada a composição em percentuais (tabela 10).



Figura 13 – (a) amostra 1; (b) amostra 2 - após a separação manual

Na análise gravimétrica, percebe-se que o material dessa carga é bastante homogêneo, visto que, ao selecionar duas amostras de locais diferentes do todo, obteve-se resultados com percentuais bastante semelhantes.

Tabela 10 - Composição gravimétrica do RCD

Material	Amostra 1		Amostra 2		Média
	kg	%	kg	%	
Tijolo/ bloco cerâmico/ telha	10,26 kg	41%	10,28kg	41,1%	41,1%
Argamassas endurecidas	7,44 kg	29,7%	6,85kg	27,4%	28,5%
Concretos rochas e britas	5,14kg	20,56%	5,5kg	22%	21,28%
Outros	2,16kg	8,74%	2,37kg	9,5%	9,12%
Total	25kg		25kg		100%

Devido ao fato de a usina ainda não possuir peneiras, os resíduos vêm com grande quantidade de solo e presença de alguns materiais não caracterizados como RCD. O material utilizado, neste estudo, foi inicialmente peneirado em peneira 4,75mm, - para a retirada do solo que pode ser usado para aterros – depois lavado (materiais ainda inteiros), foram retirados gesso e materiais não classificados como resíduos classe A e, finalmente, foi seco em estufa. A areia também foi lavada e seca em estufa. Os RCD foram cominuídos em britador tipo mandíbula, (figura 14), com abertura pré-definida, através de testes, fixada em meia volta, aproximando ao máximo à granulometria da areia, depois, homogeneizados, a fim de obter-se um material com características uniformes para a realização dos ensaios.

Realizou-se o ensaio de composição granulométrica de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003) e o RCD ficou dentro do teor aceitável da areia (figura 15). As tabelas com os percentuais retidos em cada peneira encontram-se no apêndice A. Conforme o esperado e já constatado por outros autores, como Miranda (2000) e Ângulo (2005), notou-se que o RCD possui um teor elevado de finos, quando comparado ao agregado natural.

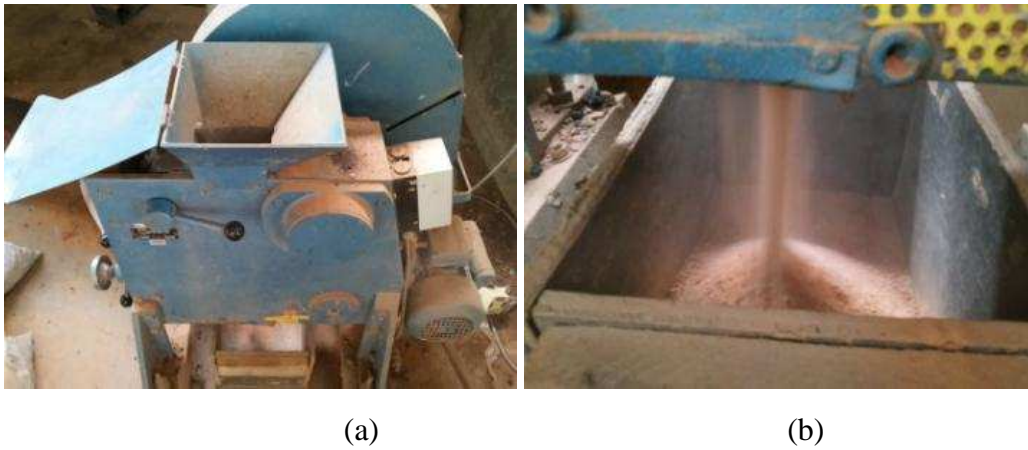


Figura 14 – Agregado reciclado - (a) britador tipo mandíbula utilizado; (b) material resultante do processo

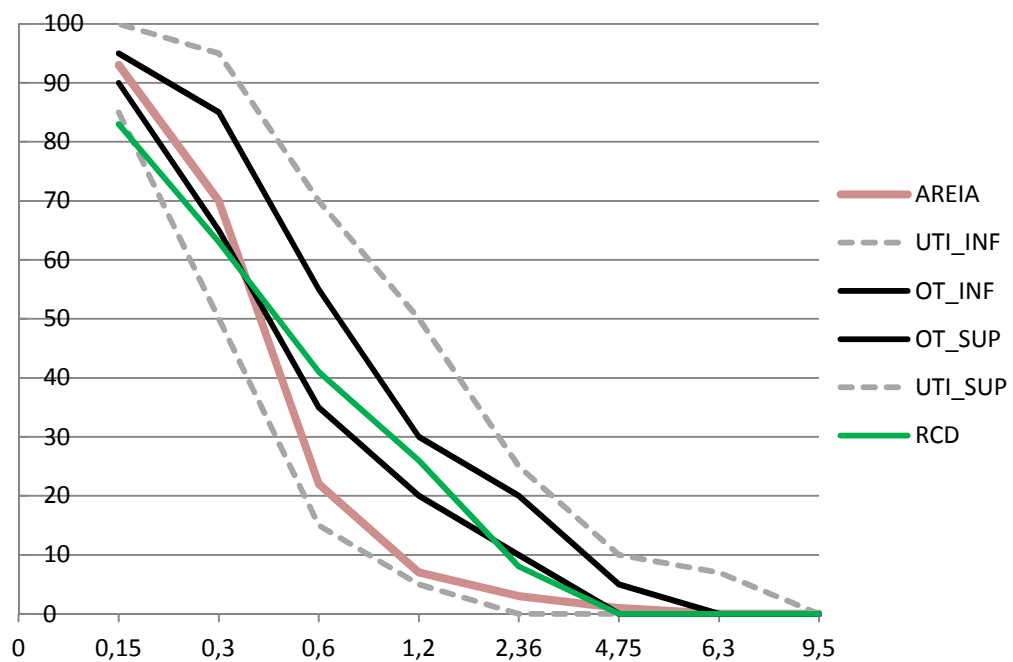


Figura 15 – Curvas granulométricas da areia e do RCD britado

4.3 Ensaios prévios

Em relação à dosagem, o traço adotado foi 1:2:8 (cimento:cal:agregado), em volume, por ser um traço usualmente utilizado para argamassas de revestimento externo em Santa Maria e região.

Para a verificação da fissuração das argamassas, foram produzidas misturas com teores de 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da areia natural por areia reciclada britada (figura 16). Executaram-se as argamassas sobre os substratos, conforme a NBR 15258 (ABNT, 2005g) de determinação de potencial de aderência à tração. O índice de consistência foi fixado em $230 \pm 5\text{mm}$, devido ao fato de as argamassas com 75% e 100% de substituição necessitarem de muita água para alcançar o índice usual para argamassas de revestimento, em torno de $240 \pm 10\text{mm}$.

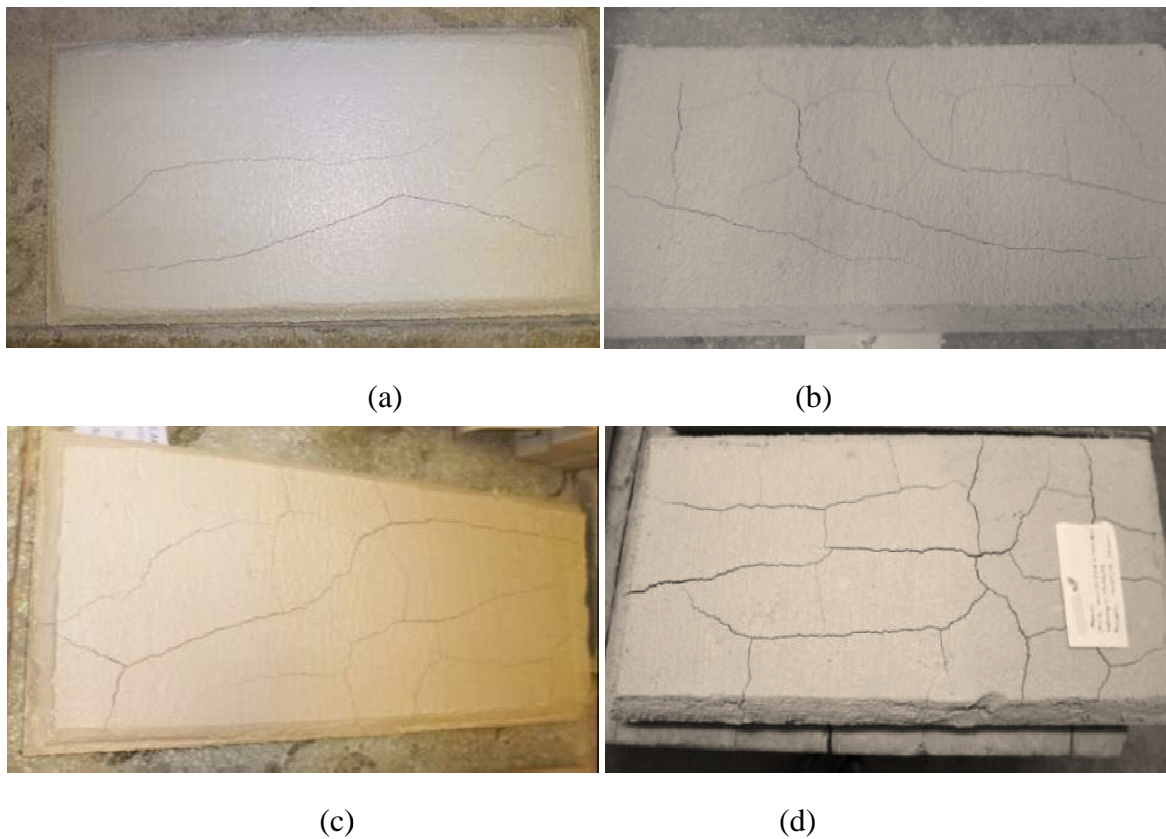


Figura 16 - Aspecto visual do comportamento das arg. com diferentes teores de substituição
(a) 25%; (b) 50%; (c) 75%; (d) 100%

Pela análise visual, constatou-se que as argamassas com 25 e 50% de substituição do agregado natural por reciclado apresentaram fissuras mais finas e superficiais, enquanto as argamassas compostas com 75% e 100% de RCD apresentaram fissuras mais largas e profundas, sendo que todas apresentavam um aspecto brilhoso superficialmente. Foi realizado o ensaio de potencial de aderência à tração e as argamassas em geral apresentaram ruptura

superficial. Nas argamassas compostas com 75% (figura 17), e 100% de RCD não foram obtidos o mínimo de cinco resultados válidos conforme exige a norma.



Figura 17 – Aspecto visual da argamassa com 75% de substituição após o ensaio

A partir dos ensaios iniciais, juntamente com as leituras de referências, definiu-se o traço de 1:2:8 em volume e os percentuais de substituição do agregado natural por reciclado, para análise das propriedades das argamassas, por isso, foram fixados entre 20% e 50%.

Vários autores, entre eles Miranda (2000), atribuem ao elevado teor de finos dos agregados reciclados a maior ocorrência de fissuração nas argamassas. Em vista disso, optou-se por peneiramento a seco, realizado na peneira 75 μm , de parte do agregado reciclado para comparação entre argamassas com diferentes percentuais de finos em suas composições.

Embora alguns autores como Nascimento (2007) sugiram a separação dos finos por lavagem, neste trabalho, optou-se por peneiramento a seco para evitar o desperdício de água e a consequente formação de “lodo”.

4.4 Preparo das argamassas a serem estudadas

Todas as argamassas foram produzidas com Cimento CP II – E 32 e Cal Hidratada Especial CH II, a de referência utilizando como agregado areia natural e as demais utilizando areia natural e agregado reciclado de RCD misto.

Para a realização dos ensaios, foram preparadas nove argamassas, sendo uma argamassa de cal, cimento e agregado miúdo natural, a ser utilizada como referência, quatro

argamassas com substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado, provenientes de RCD britado (ARB), em porcentagens de 20%, 30%, 40% e 50% e quatro argamassas com substituição parcial da areia por agregado reciclado, provenientes de RCD britado e peneirado a seco (ARBP), também em percentuais 20%, 30%, 40% e 50% (Tabela 11).

Nesta pesquisa, foram utilizadas as siglas CF (com finos) para as argamassas com substituição de areia por agregado reciclado britado e SF (sem finos) para as argamassas com agregado britado e peneirado e as siglas AN para agregado natural, ARB para agregado reciclado britado e ARBP para agregado reciclado britado e peneirado.

Tabela 11 - Argamassas produzidas

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO				
Nomenclatura utilizada	Descrição	Percentual de agregado (%)		
		AN	ARB (com finos)	ARBP (sem finos)
REF.	Argamassa referência com cimento cal e areia natural	100	-	-
20SF	Argamassa com 20% de agregado reciclado britado e peneirado em substituição à areia	80	-	20
20CF	Argamassa com 20% de agregado reciclado britado em substituição à areia	80	20	-
30SF	Argamassa com 30% de agregado reciclado britado e peneirado em substituição à areia	70	-	30
30CF	Argamassa com 30% de agregado reciclado britado em substituição à areia	70	30	-
40SF	Argamassa com 40% de agregado reciclado britado e peneirado em substituição à areia	60	-	40
40CF	Argamassa com 40% de agregado reciclado britado em substituição à areia	60	40	-
50SF	Argamassa com 50% de agregado reciclado britado e peneirado em substituição à areia	50	-	50
50CF	Argamassa com 50% de agregado reciclado britado em substituição à areia	50	50	-

As argamassas foram preparadas de acordo com as diretrizes da NBR 13276 (ABNT, 2005a). Os pesos dos constituintes foram definidos pelo traço 1:2:8 (cimento:cal:agregado miúdo) e as substituições do agregado natural por agregado reciclado foram feitas em massa, considerando as diferentes massas específicas dos materiais, metodologia adotada por outros autores como Jochem (2012), sendo a massa de agregado reciclado, definida pela equação 1:

$$m_{AR} = m_{AN} \times \left(\frac{\gamma_{AR}}{\gamma_{AN}} \right) \times \%substituição \quad (1)$$

Onde:

m = massa (g);

γ = massa específica (g/cm³).

AR – agregado reciclado

AN – agregado natural

4.4.1 Método de mistura das argamassas

O procedimento utilizado para a mistura das argamassas foi realizado com base na NBR 13276 (ABNT, 2005a):

- ✓ Homogeneizar os materiais secos (cal hidratada e areia para a argamassa de referência e cal hidratada, areia e RCD, para as demais argamassas) em um saco plástico.
- ✓ Colocar na argamassadeira.
- ✓ Adicionar metade da água total em 30 segundos na velocidade lenta.
- ✓ Seguir batendo a mistura até 4 minutos.
- ✓ Guardar o material em um saco plástico bem fechado por um período de 16 a 24 horas.
- ✓ Decorrido esse tempo, colocar o material na argamassadeira.
- ✓ Adicionar o cimento e o restante da água.
- ✓ Misturar em velocidade lenta por 4 minutos.
- ✓ Deixar a argamassa descansar por 10 minutos, colocando-se um pano úmido na superfície para evitar a perda de água. Com uma espátula misturar todo o material levemente antes da utilização.
- ✓ O descanso por 10 minutos foi para permitir a absorção do restante da água adicionada pelos agregados reciclados.

Considerando-se que o tempo de espera para adicionar o cimento de 16h a 24h faz com que o agregado absorva água, optou-se por não saturar o material previamente à sua utilização. Ao realizar as misturas, notou-se que a quantidade de água, acrescentada no momento da mistura com cimento, influencia na consistência da argamassa, porque, ao adicionar mais da metade da água no primeiro dia, a argamassa apresentou-se menos plástica no momento da utilização. Sendo assim, adotou-se o procedimento de adicionar metade da água um dia antes, para todas as argamassas.

O método de mistura é semelhante ao utilizado por Miranda (2000), mas o autor, após adicionar o cimento e a água restantes, mistura o material em velocidade lenta por dois minutos, deixa descansar 10 minutos para a absorção da água pelos agregados e mistura novamente por mais dois minutos. Ao realizar o teste das duas formas, percebeu-se pouca variação na consistência, optando-se por fazer a mistura conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005a) e deixar descansar por 10 minutos após o material pronto.

Para preparação das argamassas, foi utilizado um misturador mecânico com uma bacia de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente três litros.

4.5 Ensaios realizados

Para que os revestimentos de argamassas possam cumprir suas funções adequadamente, eles precisam apresentar um conjunto de propriedades específicas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para avaliar a influência dos finos dos agregados reciclados provenientes de RCD e do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado, foram preparadas as argamassas e analisadas as propriedades no estado fresco: índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, retenção de água; e no estado endurecido: resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, resistência potencial de aderência à tração, densidade aparente no estado endurecido, variação dimensional e módulo de elasticidade dinâmico e absorção de água por capilaridade. Foi realizado ainda um ensaio complementar para análise da influência do teor de finos na argamassa, compondo um sistema de revestimento. Os ensaios para determinação das propriedades das argamassas foram executados, segundo as normas vigentes.

4.6 Ensaios para análise das propriedades das argamassas no estado fresco

Para a realização dos ensaios foram preparadas as argamassas já citadas em 4.3.1, misturadas conforme 4.3.2, e foram realizados os seguintes ensaios no estado fresco:

4.6.1 Índice de consistência e percentual de água

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005a) para determinar o índice de consistência das argamassas a serem utilizadas na realização dos ensaios. As misturas foram preparadas e aguardaram-se 10 minutos para a utilização inicial das argamassas, para uma melhor absorção da água. Nesse ensaio, a argamassa preparada preencheu o molde tronco-cônico, colocado no centro da mesa de consistência (flow-table), figura 18. Através desse ensaio, foram determinadas as porcentagens de água para cada traço de argamassa.



(a)

(b)

Figura 18 – Ensaio de índice de consistência (a) argamassa no tronco cônico (b) medição do espalhamento com o paquímetro

Para verificar a manutenção da consistência, esse ensaio foi novamente realizado após 30 minutos e, depois de 1h da leitura inicial e antes de cada verificação, as argamassas foram remisturadas manualmente. As condições de umidade e temperatura de realização desse ensaio foram em torno de $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e umidade relativa de $65\% \pm 5\%$.

4.6.2 Retenção de água

O método para esse ensaio foi realizado, baseado na norma NBR 13277 (ABNT, 2005b), (figuras 19 e 20), possuindo como aparelhagem um Funil Buchner ligado a uma bomba de vácuo.

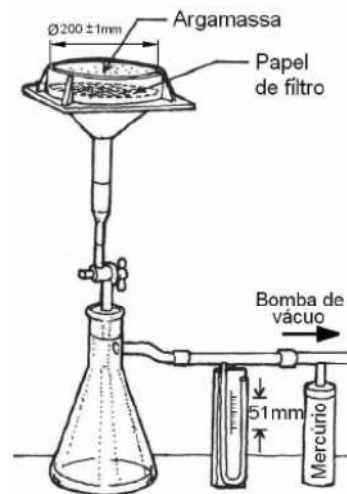


Figura 19 – Funil Buchner, equipamento utilizado no ensaio de retenção de água

Fonte: Carasek (2007)

A retenção de água foi encontrada através de uma relação entre as massas do conjunto vazio, conjunto com argamassa, conjunto após sucção e a relação água/argamassa fresca. A retenção de água foi calculada através das equações:

$$Ra = \left[1 - \frac{ma - ms}{AF \times (ma - mv)} \right] \times 100 \quad (2)$$

Sendo AF:

$$AF = \frac{mw}{m + mw} \quad (3)$$

Onde:

Ra = retenção de água (%);

ma = massa do conjunto com argamassa (g);

m_s = massa do conjunto após sucção (g);
 m_v = massa do conjunto vazio (g);
 AF = fator água/ argamassa fresca;
 m_w = massa total de água acrescentada à mistura (g);
 m = soma das massas dos componentes anidros (g).

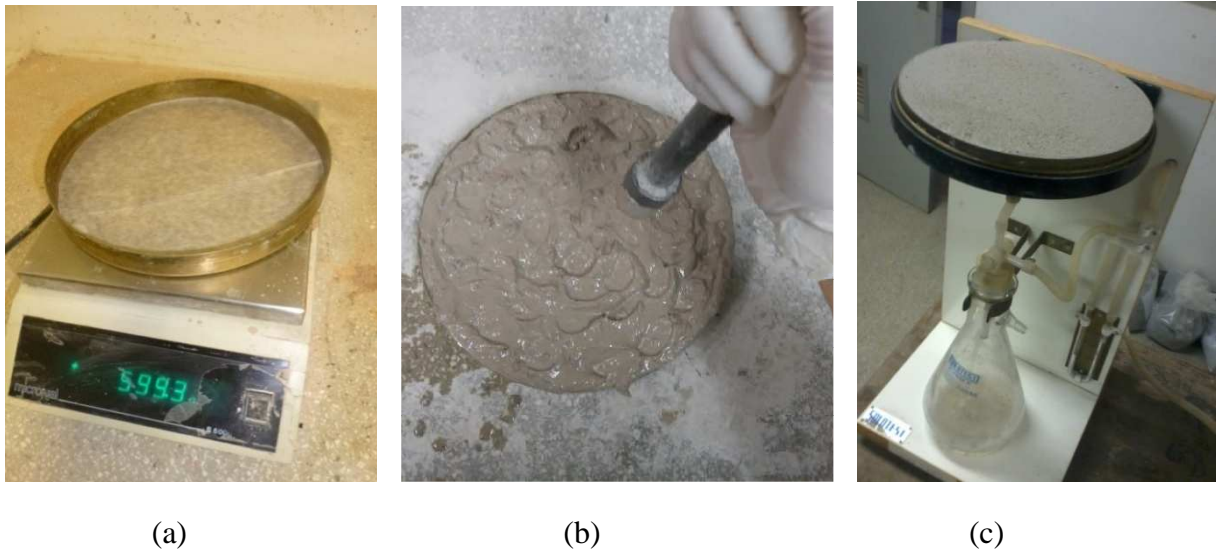


Figura 20 - Ensaio de retenção de água - (a) prato com filtro; (b) golpes na argamassa; (c) funil

4.6.3 Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Esse ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes da norma NBR 13278 (ABNT, 2005c). Figura 21. O método é baseado na medição da massa de um recipiente, de volume conhecido, antes e depois da colocação da argamassa a ser analisada.

Com as massas do recipiente vazio e do recipiente com a argamassa ensaiada, as massas secas e as massas específicas de cada componente da argamassa (inclusive a água) e o volume do recipiente, calcula-se a densidade de massa da argamassa através da equação 4.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \times 1000 \quad (4)$$

Onde:

d = massa específica da argamassa (kg/m^3);
 m_c = massa do recipiente cilíndrico com a argamassa (g);
 m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio (g);
 V_r = volume do recipiente cilíndrico (cm^3).

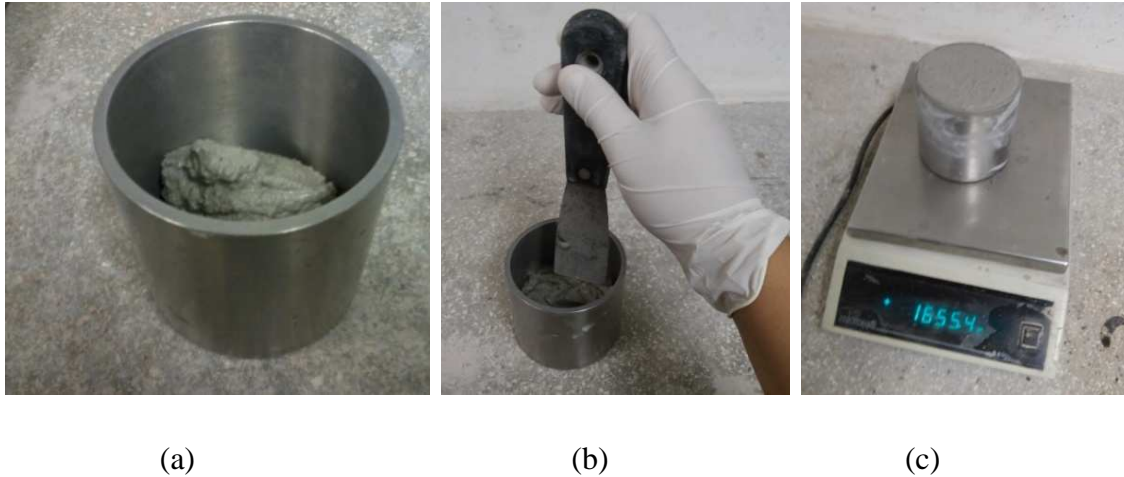


Figura 21 – Ensaio de densidade aparente e teor de ar incorporado - (a) recipiente cilíndrico; (b) golpeamento com a espátula; (c) pesagem da argamassa

Para calcular o teor de ar incorporado na argamassa, utilizam-se as equações 5 e 6.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (5)$$

Sendo:

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (6)$$

Onde:

A é o teor de ar incorporado na argamassa (%);
 d é a massa específica da argamassa no estado fresco (g/cm^3);
 d_t é massa específica teórica da argamassa, sem vazios (g/cm^3);
 m_i é a massa de cada componente da argamassa;
 γ_i é a massa específica de cada material.

4.7 Ensaios para análise das propriedades das argamassas no estado endurecido

As propriedades da argamassa no estado endurecido se relacionam com as propriedades do próprio revestimento. O nível de exigência dessas propriedades varia de acordo com a exposição do revestimento.

Para a realização dos ensaios foram preparadas as argamassas de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005a). Para cada argamassa, foram moldados corpos de prova prismáticos para ensaios de resistência, módulo de elasticidade, densidade aparente. Para a avaliação da resistência de aderência, foi realizada a aplicação em placas normalizadas (substrato padrão) e para a avaliação complementar foi realizada a aplicação em uma parede construída no LMCC.

4.7.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram moldados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005d), com dimensões de 4 x 4 x 16 cm cada, e foram desmoldados após 48 horas. Já os corpos de prova para o ensaio de variação dimensional, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm cada, foram moldados conforme a NBR 15261 (ABNT, 2005i) e desmoldados após 72 horas, para evitar a fissuração ou ruptura na desmoldagem.

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em ambiente laboratorial com temperatura e umidade controlada até a desmoldagem, quando os corpos de prova foram armazenados em câmara climatizada, com umidade relativa de $60 \pm 5\%$ e temperatura de 23 ± 2 °C e permaneceram nesse local até a idade de 28 dias.

4.7.2 Resistência à tração na flexão

Após o preparo de cada mistura, foram moldados corpos de prova prismáticos, de tamanho 4 x 4 x 16 cm, seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005d), nove para cada mistura, três para cada idade a ser posteriormente ensaiados. (Figura 22). Nesse ensaio, a ruptura dos corpos de prova prismáticos foi realizada, nas idades de 7, 14 e 28 dias.



(a)

(b)

(c)

Figura 22 - Ensaio de resistência à tração na flexão - (a) moldagem; (b) corpos de prova; (c) ruptura à tração na flexão

Ressalta-se que a norma estabelece que nenhum valor individual se afaste mais de 0,3 MPa da média, caso isso ocorra, o valor deve ser desconsiderado e deverá ser feita a média dos outros corpos de prova. Deve haver, no mínimo, 2 (dois) corpos de prova para o resultado ser considerado válido. A resistência à tração na flexão é calculada pela equação 7:

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3} \quad (7)$$

Onde:

Rf é a resistência à tração na flexão (MPa);

Ff é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L é a distância entre os suportes (mm).

A é a área da seção, considerada quadrada 40mm x 40mm (mm²).

4.7.3 Resistência à compressão axial

Em conformidade com a mesma norma, NBR 13279 (ABNT, 2005d), com as metades obtidas na ruptura à tração, na flexão de cada corpo de prova prismático, totalizando seis corpos de prova, realiza-se a ruptura à compressão nas mesmas idades ensaiadas à flexão (figura 23).

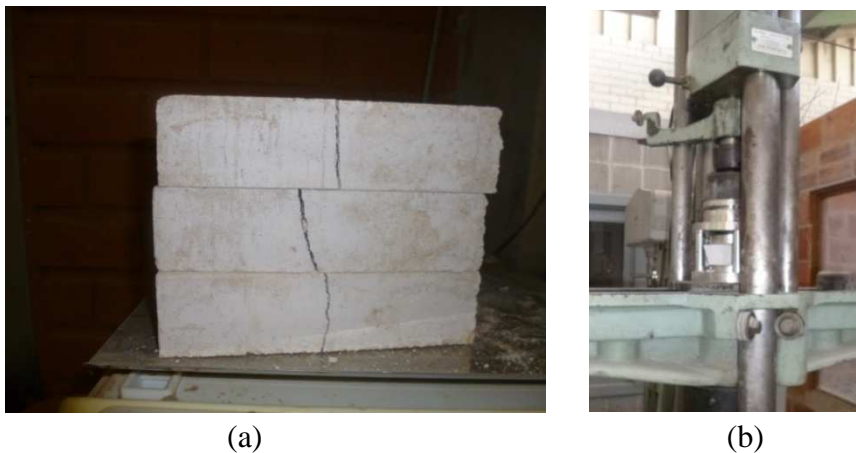


Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão axial - (a) metades; (b) ruptura à compressão axial

A norma estabelece que nenhum valor individual se afaste mais de 0,5 MPa da média. Caso ocorra, o valor deve ser desconsiderado e deverá ser feita a média dos outros corpos de prova. Deve haver, no mínimo, 4 (quatro) corpos de prova para o resultado ser considerado válido. A resistência à compressão é dada pela equação 8:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (8)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão (MPa);
 F_c é a carga máxima aplicada (N);

4.7.4 Resistência potencial de aderência à tração: ensaio em substratos padrão

Para verificar a resistência de aderência à tração nas argamassas, foi realizado o ensaio em conformidade com a NBR 15258 (ABNT, 2005g), cujo revestimento foi aplicado nos substratos padrões de concreto (figura 24).



Figura 24 – Moldagem das argamassas sobre substratos de concreto

A argamassa, recém-moldada, foi aplicada sobre um substrato devidamente limpo, em duas camadas. A primeira, com aproximadamente 5 mm de espessura e em seguida, a segunda, totalizando 2,5 cm (figura 24). Por fim, a superfície foi rasada com régua metálica para obtenção de um acabamento uniforme. O ensaio de arrancamento foi realizado aos 28 dias após a moldagem das argamassas. (Figura 25).



(a)

(b)

Figura 25 - Ensaio de potencial de aderência à tração – (a) arrancamento com dinamômetro; (b) pastilhas após a ruptura

A resistência potencial de aderência à tração foi determinada por meio da equação 9.

$$R = \frac{P}{A} \quad (9)$$

Onde:

R = resistência potencial de aderência à tração (MPa);

P = carga de ruptura (N);

A = área do corpo de prova (mm²)

4.7.5 Variação dimensional (retração ou expansão linear) e variação de massa

Esses ensaios foram realizados em conformidade com a NBR 15261 (ABNT, 2005i). Os moldes utilizados, nesse ensaio são de aço e são moldados corpos de prova prismáticos de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm com comprimento efetivo de 25 cm. O comprimento efetivo é a medida entre as extremidades internas dos pinos colocados nas extremidades dos corpos de prova.

A moldagem desse ensaio é realizada em duas camadas, aplicando-se 25 golpes em cada camada com o soquete. Após a moldagem os moldes com argamassa permaneceram em ambiente de laboratório cobertos com plástico filme por 48h. Então foram armazenados em câmara climatizada, com temperatura de (23±2)°C e umidade de (50±5)%. (Figura 26).

Os corpos de prova foram pesados e medidos com o relógio comparador (figura 27), imediatamente após a desforma, com 1 dia, 7 dias e 28 dias a contar da leitura inicial.

A variação dimensional foi determinada pela equação 10:

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_o}{0,25} \quad (10)$$

Onde:

L_i é o comprimento nas idades determinadas

L_o é o comprimento inicial

E variação de massa foi determinada pela equação 11:

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_o}{m_o} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

m_i é a massa nas idades determinadas

m_o é a massa inicial.

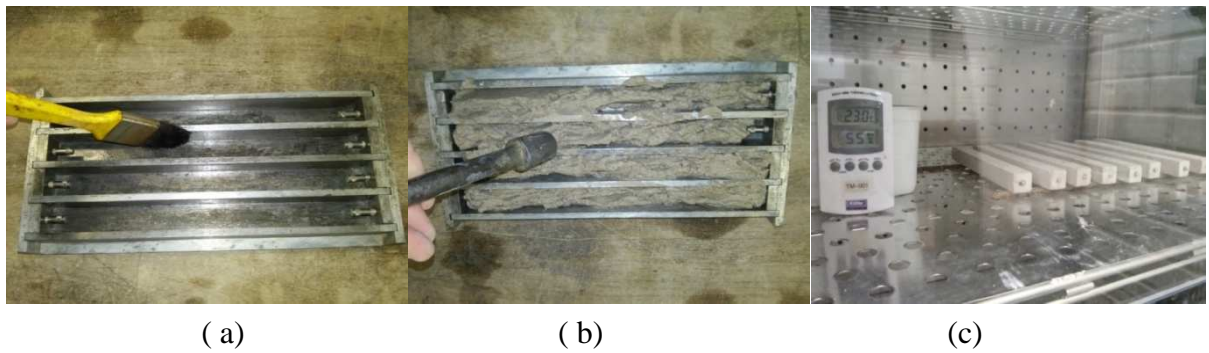


Figura 26 – Ensaio de variação dimensional – (a) molde com pinos; (b) moldagem; (c) câmara climatizada



Figura 27 – Relógio comparador de comprimento

4.7.6 Densidade aparente no estado endurecido

Esse ensaio, realizado em conformidade com a norma NBR 13280 (ABNT, 2005e), obedeceu a estes procedimentos: primeiramente foram moldados e curados três corpos de prova para cada idade, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005d). Aos 28 dias, com o auxílio do paquímetro, foi determinada a altura, a largura e o comprimento de cada corpo de prova em duas posições, em centímetros arredondando ao décimo mais próximo. Depois, determinou-se a massa em gramas em uma balança com resolução de 0,1 g, arredondando ao décimo mais próximo (figura 28).

A densidade aparente foi calculada através da relação entre a massa e o volume das argamassas pelas equações 12 e 13:

$$d = \frac{m}{v} \quad (12)$$

O volume é encontrado multiplicando-se as três dimensões de cada corpo de prova.

$$v = l \times h \times c \quad (13)$$

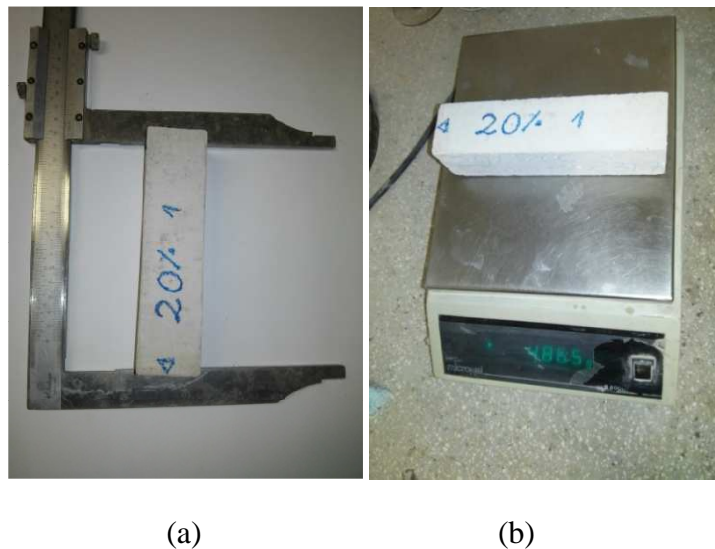


Figura 28 – Ensaio de densidade aparente no estado endurecido - (a) medição com o paquímetro; (b) pesagem

4.7.7 Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica

Esse ensaio foi realizado em conformidade com a NBR 15630 (ABNT, 2009), foram moldados corpos de prova prismáticos, de tamanho 4 x 4 x 16 cm, seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005d), permanecendo em câmara climatizada, com temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ e umidade relativa do ar de $60\% \pm 5$ até a idade de 28 dias. Antes de realizar o ensaio, foi feito o ensaio de densidade de massa aparente das argamassas.

Nesse ensaio primeiramente se verifica a regulagem do tempo medido no equipamento, utilizando a barra de referência (de material com tempo conhecido) e é feita a leitura de tempo que a onda leva para passar pelo corpo de prova (Figura 29). Devem ser registradas três leituras em cada corpo de prova e considerado o menor valor. Com isso, pode-se calcular a velocidade de propagação das ondas e o módulo de elasticidade dinâmico conforme equações 14 e 15.

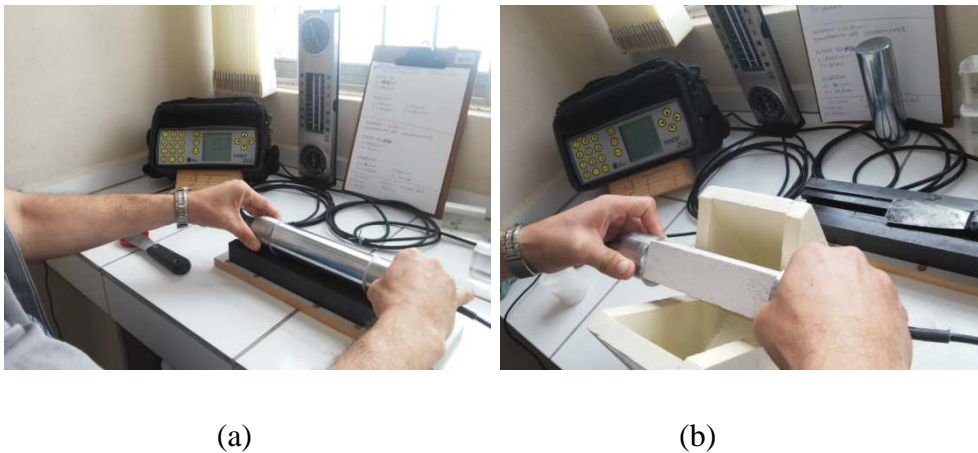


Figura 29 – Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico - (a) regulagem com barra de referência; (b) ensaio na argamassa

$$V = \frac{L}{t} \quad (14)$$

Onde:

V é a velocidade de propagação de onda ultra-sônica (mm/μs)

L é a distância entre os transdutores (mm)

t é o tempo mostrado pelo mostrador digital expresso em μs

$$Ed = v^2 \times \rho \frac{(1+\mu) \times (1-2\mu)}{1-\mu} \quad (15)$$

Onde:

Ed é o módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

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

ρ é a densidade de massa aparente do CP (kg/m³)

μ é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação 0,2

4.7.8 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Esse ensaio foi realizado em conformidade com norma NBR 15259 (ABNT, 2005h), conforme figuras 30 e 31. Foram moldados e curados três corpos de prova para cada idade conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005d), que permaneceram em ambiente de laboratório com temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ e umidade relativa do ar de $60\% \pm 5$ até a idade de 28 dias.

A absorção de água por capilaridade calculada para cada tempo é expressa em g/cm^2 , dividindo a variação de massa pela área da seção transversal do corpo de prova em contato com a água, de acordo com a equação 16.

$$At = \frac{mt - m_0}{16} \quad (16)$$

Onde:

At é a absorção de água por capilaridade em g/cm^3

mt é a massa do CP em cada tempo em g

m_0 é a massa inicial do cp em g

t corresponde aos tempos 10min e 90min

16 corresponde à área do CP em cm^2

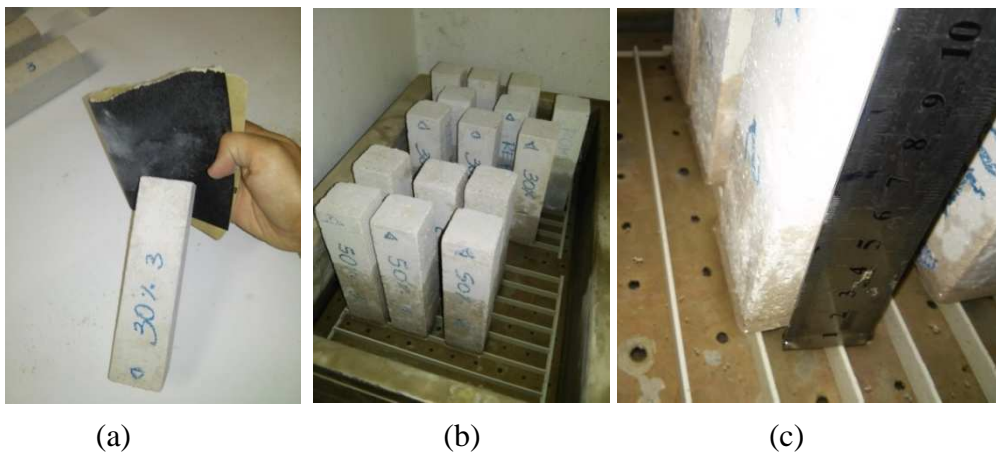


Figura 30 – Ensaio de absorção de água por capilaridade – (a) lixamento dos cps; (b) cps em contato com a água; (c) altura de 5mm de água

O coeficiente de capilaridade é obtido pela equação 17:

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (17)$$

C é o coeficiente de capilaridade em $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$

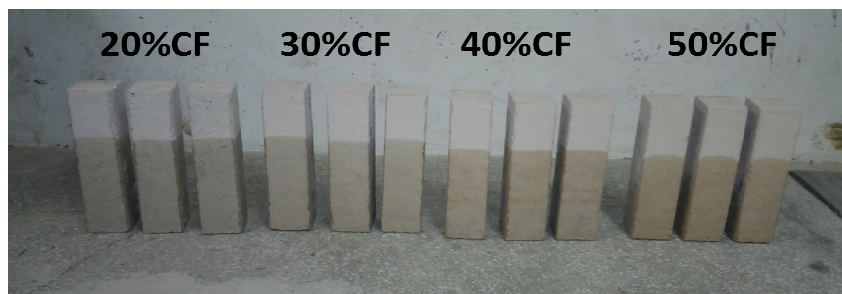


Figura 31 - Corpos de prova após o ensaio de absorção por capilaridade

4.8 Ensaio complementar para análise da influência do teor de finos na argamassa compondo um sistema de revestimento

Após os ensaios de aderência à tração sobre os substratos padrão, optou-se pela realização do ensaio em um sistema de revestimento, para isso foi construída uma parede de alvenaria no LMCC, medindo 300 cm de largura por 200 cm de altura, utilizando tijolos cerâmicos seis furos, por ser um material comumente usado nas cidades do interior do Rio Grande do Sul, executada em área interna, abrigada de chuva, ventos e de insolação direta. Para a execução do revestimento, seguiu-se o cronograma (em dias, apresentado na figura 32) indicado pela NBR 7200 (ABNT, 1998).

Após 14 dias, a parede foi chapiscada com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (cimento: areia grossa), em volume. O chapisco foi curado por três dias antes da execução das camadas de revestimento, para a hidratação dos grãos de cimento.

Optou-se pela realização do chapisco devido aos resultados encontrados por pesquisadores como Morais e Selmo (1999), e Miranda (2000), que constataram ter o chapisco assegurado um melhor desempenho do revestimento, diminuindo o número de

fissuras, possivelmente por propiciar uma maior área de contato e uma melhor distribuição das tensões internas, atuantes no revestimento, desde a sua aplicação.

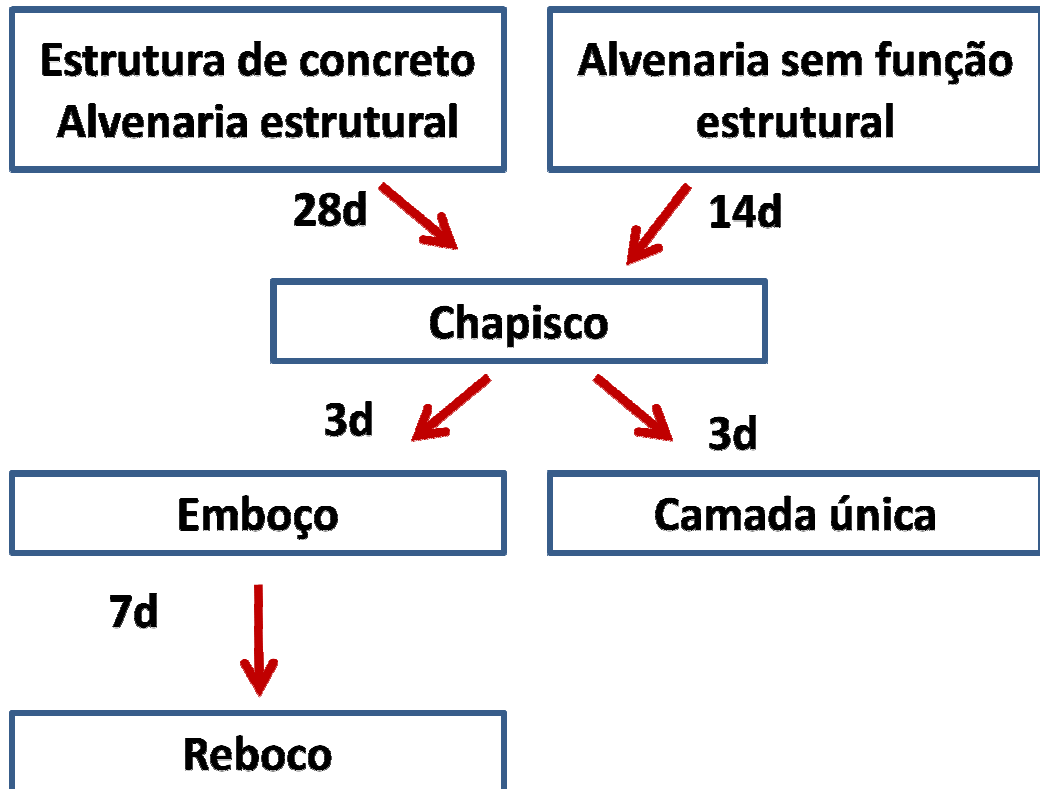


Figura 32 – Cronograma de execução das camadas de revestimento

Foram escolhidas três argamassas e revestidos três painéis. Um com a argamassa de referência, um com a argamassa 30%SF (por ter obtido melhor conjunto de propriedades, entre as argamassas pesquisadas) e um com a argamassa 30%CF (para comparação entre as argamassas SF e CF). Cada argamassa foi preparada em betoneira, da mesma forma que as argamassas produzidas na argamassadeira para os ensaios anteriores. Os agregados e a cal hidratada foram misturados com parte da água 24 horas antes da sua utilização. A aplicação da argamassa foi realizada após a limpeza da superfície. A parede foi molhada meia hora antes da execução do revestimento e foram revestidos os painéis de 90x110 e espessura de 2,5 cm, por um pedreiro experiente (Figura 33). O lançamento foi feito de baixo para cima, logo após, fez-se o sarrafeamento e esperou-se 30 minutos para a execução do desempeno.



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 33 – Execução das argamassas - (a) painéis chapiscados; (b) lançamento; (c) sarrafeamento; (d) desempenho

Decorridos 28 dias, o ensaio foi realizado em conformidade com a NBR 13528 (2010). Os revestimentos foram avaliados quanto ao potencial de aderência à tração e quanto à fissuração. O ensaio foi realizado em 12 corpos de prova, distribuídos aleatoriamente, espaçados entre si, contemplando arrancamentos em juntas e tijolos.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados para a caracterização dos agregados e das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, seguindo os procedimentos experimentais descritos no capítulo anterior. Os dados e os resultados individuais de cada ensaio estão nos apêndices A, B, C e D.

5.1 Caracterização dos agregados e teor de finos dos agregados

Em ensaio de determinação do material fino que passa através da peneira 0,075 mm por lavagem NM 46 (2003), constatou-se um teor de finos de aproximadamente 25% no RCD e 0,3% na areia. Neste trabalho, conforme já mencionado, visando a avaliar a influência do teor de finos, o RCD foi todo britado, homogeneizado e parte dele foi submetida a peneiramento com peneira 75 μ m. O peneiramento alterou a cor do material (figura 34) e algumas de suas características. As características dos três agregados utilizados na produção das argamassas encontram-se na tabela 12.

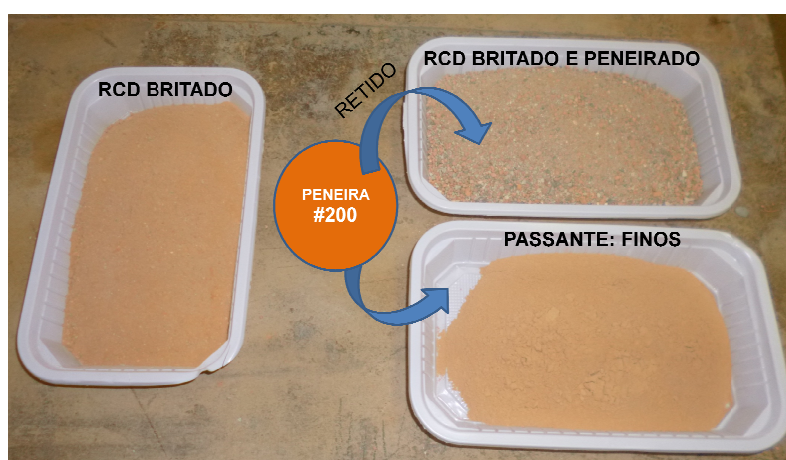


Figura 34 - RCD britado (esq.), peneirado e passante

Tabela 12 - Características dos agregados

Ensaio realizado	Unid,	Norma	Resultado médio		
			Agregado natural (AN)	Agregado reciclado britado (ARB)	Agregado reciclado britado e peneirado (ARBP)
Módulo de finura	-	NM 248/2003	1,96	2,21	2,21
Dim.Máx. característica	(mm)	NM 248/2003	2,36	4,75	4,75
Massa unitária	(g/cm ³)	NM 45/2006	1,70	1,41	1,33
Massa específica	(g/cm ³)	NM 52/2009	2,66	2,51	2,47
Teor de material pulverulento	%	NM 46/ 2003	0,3	24,9	0,2

Através da granulometria de cada agregado, do ensaio de determinação de material pulverulento e das quantidades de materiais secos utilizados para produção das diferentes argamassas, foi determinado o teor de finos, cujos valores encontrados podem ser observados na tabela 13.

Tabela 13 - Teor de finos das argamassas produzidas.

Argamassas	Teor de finos total (%)	Teor de finos dos agregados (%)
REF.	18	< 1
20% SF	18	< 1
20% CF	22	4
30% SF	18	< 1
30% CF	24	6
40% SF	18	< 1
40% CF	26	8
50% SF	18	< 1
50% CF	28	10

Os percentuais totais de finos foram obtidos somando a quantidade de agregado passante na peneira de abertura de malha 75 µm, com a quantidade de cimento e cal, dividindo esse resultado pela quantidade total de materiais secos usados para produção de cada argamassa e multiplicando esse valor por 100. Essa metodologia, para determinação do teor de finos, foi adotada por outros autores, como Bavaresco (2001). Os percentuais de finos

dos agregados foram obtidos dividindo a quantidade de agregado passante na peneira de abertura de malha 75 μ m, pela quantidade total de materiais secos usados para produção de cada argamassa e multiplicando por 100.

Analisando a tabela 13, percebe-se que todas as argamassas com agregado reciclado britado peneirado possuem o mesmo teor de finos da argamassa referência, as argamassas com agregado britado, argamassas CF, possuem maior número de finos quanto maior o teor de substituição.

O percentual total de finos, que tem relação com a plasticidade das argamassas, foi classificado por Carasek (2007) em plasticidade pobre, média e rica (quadro 8).

Plasticidade	% mínima de finos na argamassa	
	Sem aditivo incorporador de ar	Com aditivo incorporador de ar
Pobre (magra)	< 15	< 10
Média (plástica)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	> 25	> 20

Quadro 8 - Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade das argamassas.

Fonte: Adaptado de Carasek (2007)

Quanto à plasticidade, analisando o quadro 8, a maioria das argamassas classifica-se como plástica, com exceção da 40% CF e 50% CF, que são ricas.

5.2 Argamassas produzidas

As argamassas, para análise das propriedades, foram produzidas conforme descrito em 4.3.1 e misturadas conforme 4.3.2. Na tabela 14, estão apresentados os dados das argamassas produzidas. As argamassas foram denominadas de acordo com o percentual de substituição 20, 30, 40 e 50% e de acordo com a presença ou não de finos do agregado, sendo chamadas SF (sem finos), as argamassas com menos de 1% de finos provenientes dos agregados reciclados, nas quais o agregado foi britado e peneirado, e CF (com finos), as argamassas com agregado britado.

Tabela 14 - Argamassas produzidas

Argamassas	Traço (massa seca) (cim: cal: AN: AR)	Água/cimento	Água /agregados	Teor de água (%)	Teor de finos (%)
REF	1:1, 18:10,32	2,25	0,22	18	18
20% SF	1:1, 18: 8,25: 1,92	2,33	0,23	18,8	18
20% CF	1:1,18:8,25: 1,95	2,38	0,23	19	22
30% SF	1:1,18: 7,22: 2,87	2,43	0,24	19,7	18
30% CF	1:1,18:7,22: 2,92	2,48	0,24	20	24
40% SF	1:1,18:6,19: 3,83	2,5	0,25	20,4	18
40% CF	1:1,18:6,19: 3,89	2,55	0,25	20,8	26
50% SF	1:1,18:5,16: 4,79	2,55	0,26	21	18
50% CF	1:1,18:5,16:4,87	2,6	0,26	21,1	28

5.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

A Tabela 15 apresenta, de forma resumida, os valores resultantes dos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco. Na sequência, são apresentadas as análises desses resultados. As leituras e os dados dos ensaios encontram-se no apêndice B.

Tabela 15 - Resumo das propriedades das argamassas no estado fresco

Argamassas	Índice de consistência (mm)	Teor de água (%)	Retenção de água (%)	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)
Ref	243	18	85	2.006	5,2
20% SF	238	18,8	84	1.977	5,1
20% CF	245	19	86	1.953	6,1
30% SF	243	19,7	87	1.961	4,7
30% CF	247	20	88	1.946	5,4
40% SF	240	20,4	87	1.932	5,2
40% CF	244	20,8	88	1.924	5,6
50% SF	237	21	91	1.916	5,1
50% CF	245	21,1	90	1.919	5,3

5.3.1 Índice de consistência e teor de água

A consistência, conforme já descrito em 3.7.1, é a propriedade da argamassa, relacionada à trabalhabilidade que pode ser definida através de um índice. A trabalhabilidade é uma das mais relevantes propriedades das argamassas no estado fresco, visto que é a propriedade da argamassa recém-misturada que determina a facilidade com a qual pode ser misturada, lançada, adensada e acabada.

O ensaio foi realizado na mesa de consistência “flow table” e o índice de consistência foi fixado em 240 ± 10 . Ao fixar o índice de consistência, têm-se diferentes relações água/cimento, bem como água/agregados.

As argamassas foram misturadas conforme 4.3.2 e notou-se que quantidade de água, adicionada à mistura no dia anterior, influencia na consistência da argamassa devido à absorção do agregado, por isso, optou-se por colocar metade da água no dia anterior e metade juntamente com o cimento, em todas as argamassas produzidas. Os resultados médios obtidos no ensaio de índice de consistência e a relação água/cimento das argamassas podem ser observados na figura 35 e tabela 16.

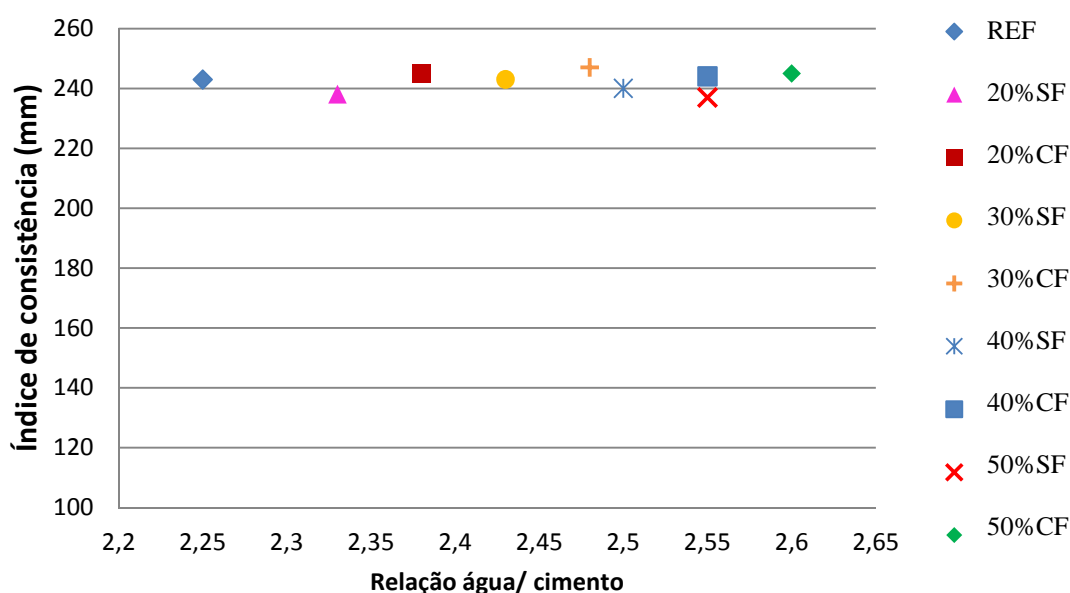


Figura 35 - Relação água/cimento e índice de consistência

Tabela 16 – Médias de Índice de consistência

	Ref.	20% SF	20% CF	30% SF	30% CF	40% SF	40% CF	50% SF	50% CF
Média	243	238	245	243	247	240	244	237	245

Da análise dos resultados do ensaio de consistência, verifica-se que as argamassas com RCD necessitaram de maior teor de água que a argamassa de referência para alcançar um mesmo índice de consistência. Chegou-se, também à conclusão de que esse teor aumenta de acordo com o percentual de substituição. Quanto aos finos, para alcançar a consistência desejada, as argamassas com finos precisaram de um pouco mais de água que as argamassas correspondentes sem finos. Isso se deve, provavelmente, à maior superfície específica do material com finos.

Esses resultados estão de acordo com o obtido por Bavaresco (2001, p. 74), que relatou um maior consumo de água para argamassas com agregado reciclado em relação às argamassas com agregado natural.

Vegas et al. (2009, p. 14) também constataram, ao substituir 25, 50, 75, 80, 90 e 100% do agregado natural por agregado reciclado de concreto, que a demanda de água para a obtenção de uma mesma consistência aumenta e atribuem isso à maior absorção do agregado reciclado em relação ao natural.

Em uma análise empírica, as argamassas com finos apresentaram-se um pouco mais plásticas que as argamassas sem finos, embora apresentem índice de consistência semelhante.

5.3.1.1 Manutenção da consistência

A importância de verificar a manutenção da consistência é saber o tempo que as argamassas se mantêm trabalháveis, sem necessidade de reamassamento com água. Na figura 36, são apresentados os resultados do ensaio de consistência das argamassas em função do tempo de mistura. A perda de consistência (em mm) em função do tempo é dada pela inclinação da reta referente a cada argamassa.

Pela análise da figura 36 e da tabela 17, percebe-se que a argamassa de referência mantém a consistência próxima a 240 mm, mesmo após uma hora da leitura inicial.

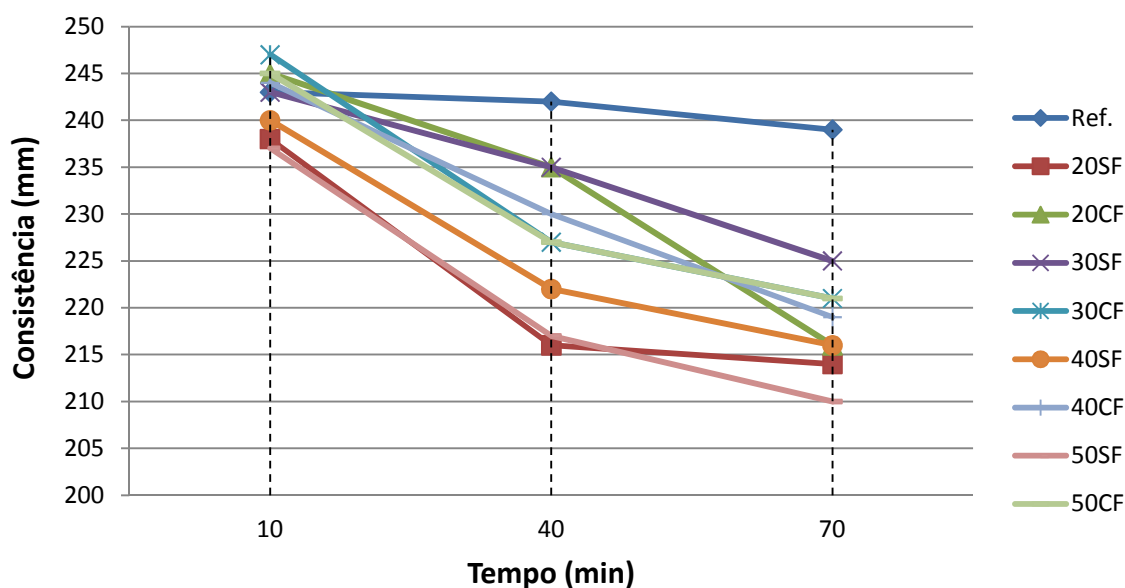


Figura 36 – Manutenção da consistência com o tempo

Tabela 17 - Manutenção da consistência

Médias de consistência com o tempo			
Argamassa	inicial	30 min	1h
REF	243	242	239
20%SF	238	216	214
20%CF	245	235	216
30%SF	243	235	225
30%CF	247	227	221
40%SF	240	222	216
40%CF	244	230	219
50%SF	237	217	210
50%CF	245	227	221

Para uma melhor utilização é importante que a argamassa sofra pouca perda de consistência com o passar do tempo, para que não necessite ser reamassada com água. Nesse ensaio, todas as argamassas com agregado reciclado apresentaram maior perda de consistência que a argamassa de referência. Em uma análise empírica, após 30 minutos algumas dessas argamassas, como a 20%CF, 30%SF, 30%CF, 40%CF, 50%CF, ainda apresentavam-se plásticas e em boas condições de aplicação, mas passados 60 minutos quase todas as argamassas com agregado reciclado já haviam perdido muito de sua plasticidade. As argamassas com agregado reciclado, que tiveram menor perda de consistência após uma hora,

foram as de 20% SF e 30% SF. Na análise geral, a argamassa que teve maior perda de consistência, após uma hora, foi a de 20% CF, seguida da de 30% CF e 50% SF.

Miranda (2000) acredita que exista uma possível influência da taxa de perda de umidade das argamassas na fissuração dos revestimentos.

5.3.2 Retenção de água

A retenção de água, já definida em 3.7.2, é a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação e permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência. Os resultados obtidos no ensaio de retenção de água podem ser observados na figura 37.

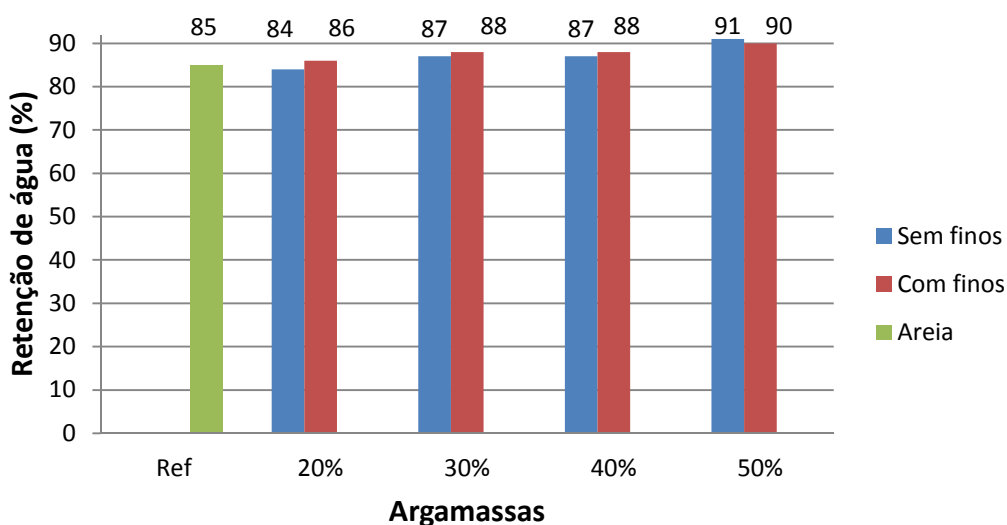


Figura 37 - Retenção de água das argamassas

Pela análise da figura 37 observa-se que todas as argamassas, contendo agregados reciclados, retêm mais água que a argamassa de referência e, em geral, a retenção de água aumenta com o aumento do teor de agregado proveniente de RCD, sendo considerada alta, de

acordo com a NBR 13281 (1995)⁵, somente quando 50% do agregado natural é substituído. As argamassas CF, em geral, apresentaram maior retenção que as SF, com exceção da argamassa com 50% de substituição. Esse comportamento pode ter ocorrido devido à pequena variabilidade no teor de água necessário para atingir uma mesma consistência nas argamassas com 50% de substituição. Como não foram realizados ensaios com maiores percentuais de substituição, não pode-se afirmar que a partir de 50% haja um comportamento inverso entre as argamassas CF e SF. De acordo com a ASTM C 270-07, todas as argamassas produzidas com entulho reciclado apresentaram uma boa capacidade de retenção, superior a 75%.

Para Miranda, (2000, p. 85 e 98), em seu trabalho, a propriedade de retenção de água não apresentou uma tendência de comportamento bem definida, nem com a natureza do entulho, nem com o aumento do teor de finos. Segundo o autor, a retirada de material com fração menor que 0,15 mm implica, para as argamassas com agregados reciclados de blocos cerâmico e de concreto, menores trabalhabilidade e retenção de água.

5.3.3 Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado

Conforme já definidas em 3.7.3, essas duas propriedades interferem em outras propriedades das argamassas no estado fresco, por exemplo, uma argamassa com menor densidade de massa e maior teor de ar incorporado, em geral, apresenta melhor trabalhabilidade. Os resultados médios obtidos nos ensaios de densidade de massa no estado fresco podem ser observados na figura 38 e tabela 18.

Tabela 18 - Densidade de massa e teor de ar incorporado

	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Densidade de massa (kg/m³)	2.006	1.977	1.953	1.961	1.946	1.932	1.924	1.916	1.919
Teor de ar (%)	5,2%	5,1%	6,1%	4,7%	5,4%	5,2%	5,6%	5,1%	5,3%

⁵ A NBR de 1995 estabelece retenção alta quando é $\geq 90\%$, a norma atual não estabelece parâmetros.

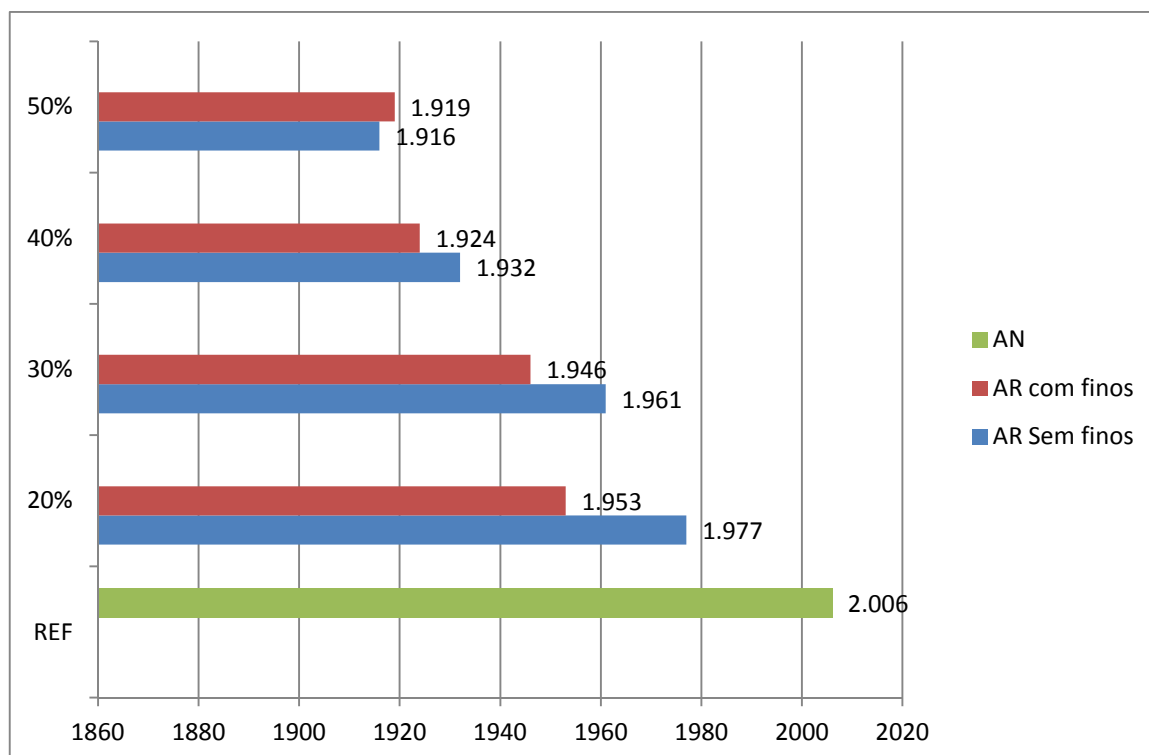


Figura 38 - Densidade de massa no estado fresco

Na análise da figura 38, percebe-se que as densidades de massa de todas as argamassas com agregado reciclado, são menores que a argamassa referência e, ainda, que a densidade diminui com o acréscimo de RCD. Isso se dá, possivelmente devido à menor massa específica do material, e esse comportamento já era esperado, conforme já constatado por outros autores.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por autores como Neno et al. (2013) que, utilizando o agregado reciclado de concreto e Jiménez et al. (2013), o agregado reciclado de cerâmica vermelha em substituição parcial à areia, constataram que, quanto maior o percentual de substituição de agregado natural por agregado reciclado, menor é a densidade de massa.

Dando sequência à análise, percebe-se que as argamassas “com finos”, em geral, são menos densas que as “sem finos”, com exceção da argamassa com 50% de substituição, que apresenta valores de densidade quase iguais, sendo superior o valor da argamassa com agregado reciclado sem finos. Esse resultado é semelhante ao encontrado no ensaio de retenção de água. Na tabela 19, é apresentada a classificação das argamassas em leve, normal e pesada, de acordo com o valor de densidade de massa.

Tabela 19 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm ³)	Principais agregados empregados	Usos/ observações
Leve	<1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \leq a \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	>2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem e radiação

Fonte: Carasek (2007)

Segundo a classificação de Carasek (2007), todas as argamassas produzidas neste trabalho são classificadas como argamassas normais, pois as massas específicas ficaram entre 1400 e 2300 kg/m³.

Bavaresco, (2001, p. 57), utilizando o traço 1:2:9 (cimento:cal:agregado), com 50% de substituição do agregado natural por agregado reciclado proveniente de cerâmica vermelha, encontrou o valor de 1950 kg/m³. Valor superior ao encontrado neste trabalho, possivelmente pela diferença de traço e do tipo de agregado reciclado utilizado.

Quanto ao teor de ar incorporado nas argamassas, os resultados médios obtidos nos ensaios podem ser observados na figura 39 e tabela 18.

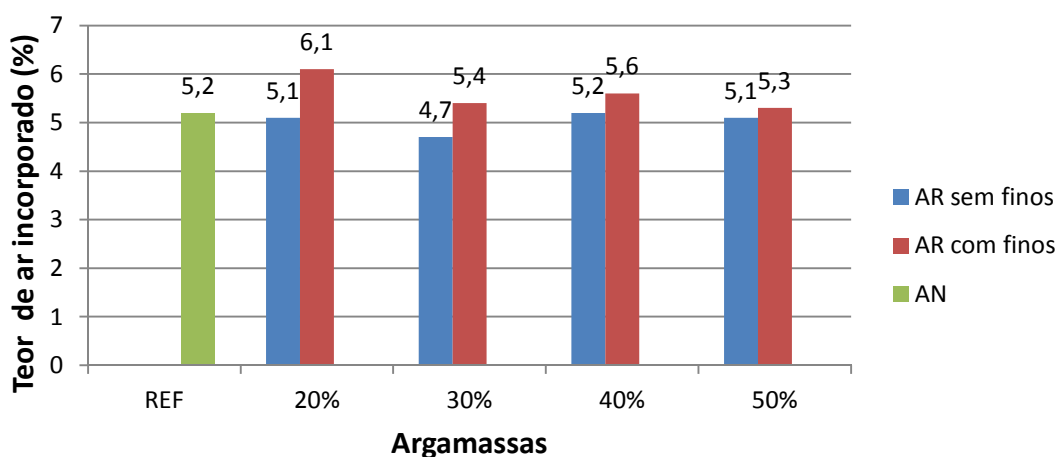


Figura 39 - Teor de ar incorporado das argamassas

Pela análise, percebe-se que a presença de finos têm influência no teor de ar incorporado das argamassas, sendo que as argamassas com agregado reciclado britado possuem maior teor de ar incorporado que as argamassas com ARBP. Já o percentual de substituição não teve influência direta no teor de ar incorporado.

Esses resultados encontrados estão de acordo com Jiménez et al. (2013) que, em seu estudo, produziram argamassas no traço 1:7 (cimento:agregado), com substituições de 0%, 5%, 10%, 20% e 40% de agregado natural por agregado reciclado proveniente de cerâmica vermelha e constataram que o teor de ar incorporado nas argamassas não foi afetado pela relação de substituição.

Jochem (2012, p. 94) constatou, em seu trabalho, que, quanto menor o teor de ar incorporado nas argamassas, maior é a resistência mecânica, o que não ocorreu neste trabalho. Acredita-se que, devido à variação de teor de ar incorporado ter sido pequena, não teve grande influência na resistência mecânica das argamassas.

5.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Na Tabela 20, são apresentados, de forma resumida, os resultados médios dos ensaios realizados nas argamassas no estado endurecido. Na sequência, encontram-se as análises dos resultados. Os dados dos ensaios, bem como valores individuais e desvios padrão, estabelecidos pelas normas, encontram-se no apêndice C.

Tabela 20 - Resumo das propriedades das argamassas no estado endurecido

Arg.	Resistência à tração na flexão 28d. (MPa)	Resistência à compressão 28d. (MPa)	Resistência potencial de aderência 28d. (MPa)	Varição dimens. 28d. (mm/m)	Varição de massa 28d. (%)	Densidade aparente no estado endurecido 28d. (kg/m ³)	Módulo de elasticidade dinâmico 28d. (MPa)	Absorção por capilaridade 90min (g/cm ²)
Ref	1,3	2,5	0,30	-0,81	-8,25	1945	8404	2,26
20%SF	1,3	3,6	0,27	-0,97	-10,9	1827	7555	2,13
20%CF	1,1	3,2	0,25	-1,21	-11,84	1888	6645	2,47
30%SF	1,3	4,0	0,31	-1,06	-10,54	1865	5644	2,30
30%CF	1,2	2,8	0,28	-1,37	-11,89	1891	7844	2,60
40%SF	1,4	3,9	0,25	-1,08	-11,87	1798	5856	2,67
40%CF	1,2	3,2	0,28	-1,4	-12,0	1908	5843	2,57
50%SF	1,7	4,3	0,24	-1,19	-12,32	1850	5538	2,67
50%CF	1,2	2,7	0,32	-1,58	-12,48	1789	6127	2,57

5.4.1 Resistência à tração na flexão

Conforme exposto em 3.7.4, a resistência é a propriedade dos revestimentos de suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas devido à ação superficial, ao impacto e à contração termo higroscópica.

A resistência à tração na flexão foi determinada de acordo com o prescrito na NBR 13279 (ABNT, 2005). Os valores médios obtidos para cada argamassa podem ser observados na figura 40 e na tabela 21.

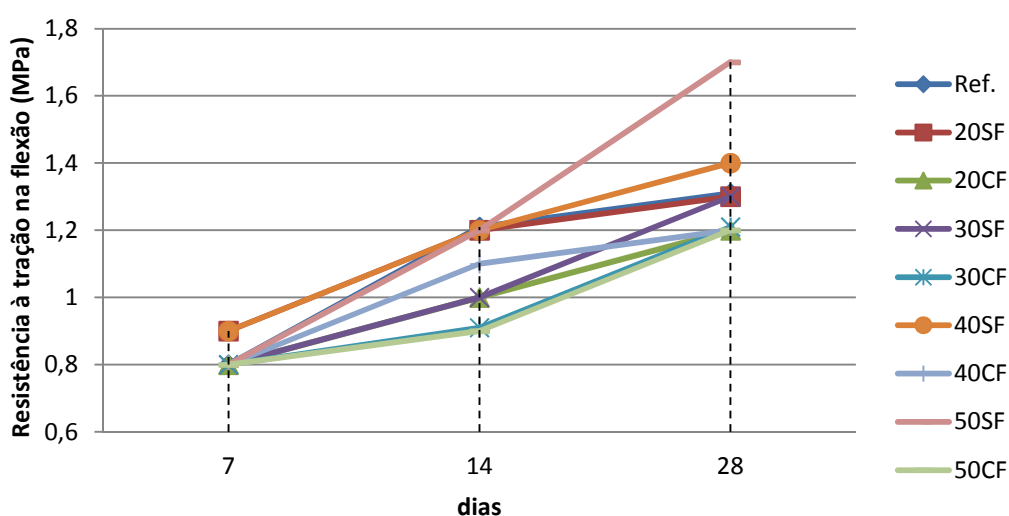


Figura 40 - Resistência à tração na flexão 7, 14 e 28 dias

Tabela 21 - Médias de resistência à tração na flexão

Idade	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
7 d	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
14d	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	1,2	1,1	1,2	0,9
28d	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,4	1,2	1,7	1,2

Pela análise da figura 40, percebe-se que todas as argamassas com agregado reciclado apresentam resistência à tração na flexão muito semelhantes à argamassa de referência aos 7 dias. Aos 28 dias, todas as argamassas “CF” apresentam resistências menores, enquanto as “SF” com 20 e 30% apresentam valores iguais e a 40% SF e 50% SF alcançaram valores superiores à argamassa referência, com destaque a 50% SF, que alcançou 1,7 MPa.

Na figura 41, apresenta-se os valores médios de resistência à tração na flexão aos 28 dias, comparando as argamassas com e sem finos, provenientes dos agregados reciclados.

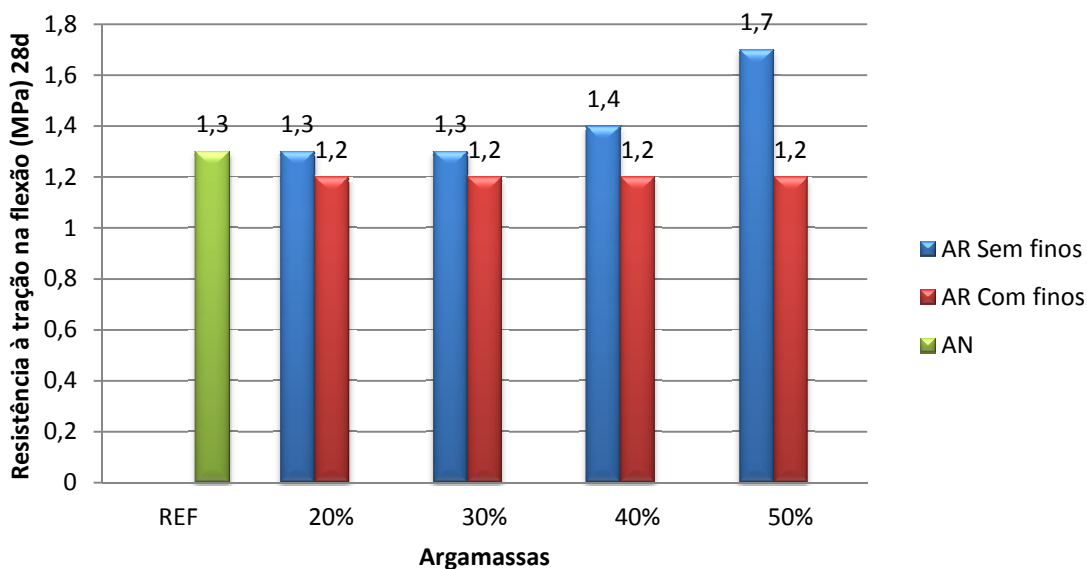


Figura 41 - Resistência à tração na flexão, argamassas com e sem finos

Ao analisar a figura 41, percebe-se que, em geral, as argamassas com agregado reciclado sem finos apresentaram valores maiores que as argamassas correspondentes com finos. Alguns autores associam a pozolanicidade aos finos presentes nos agregados reciclados, no entanto, neste trabalho, percebe-se que as argamassas com agregados peneirados atingiram maiores valores de resistência à tração na flexão, que as argamassas com finos. Sendo assim, acredita-se que a pozolanicidade está mais associada ao tipo de material constituinte dos agregados reciclados que à finura do material.

Resultados médios semelhantes foram encontrados por Rudnitski et al. (2013 p. 7 e 8), que, utilizando o traço 1:2:8 (cimento:cal:agregado miúdo), encontraram, no ensaio de resistência, à tração na flexão, o valor de 1,6 MPa para argamassa com 50% de substituição da areia por agregado reciclado cinza e o valor de 1,5 MPa para a argamassa com 50% de substituição por agregado proveniente de cerâmica vermelha, valores superiores ao da argamassa de referência, que alcançou 1,1 MPa.

5.4.2 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial também foi determinada de acordo com o prescrito na NBR 13279 (ABNT, 2005d). Os valores médios obtidos para cada argamassa podem ser

observados nas figuras 42 e 43 e na tabela 22. Na figura 43, apresenta-se a comparação das argamassas com e sem finos provenientes de agregado reciclado, em relação à resistência à compressão axial.

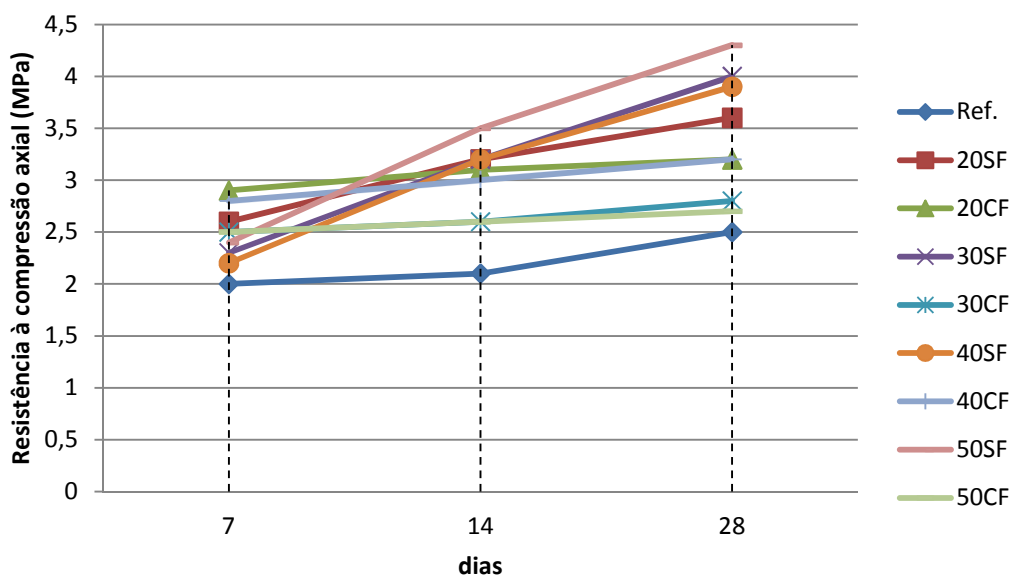


Figura 42 - Resistência à compressão axial 7 d, 14 d e 28 d

Tabela 22 – Médias de resistência à compressão axial (MPa)

Idade	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
7 d	2,0	2,6	2,9	2,3	2,5	2,2	2,8	2,4	2,5
14 d	2,1	3,2	3,1	3,2	2,6	3,2	3,0	3,5	2,6
28 d	2,4	3,6	3,2	4,0	2,8	3,9	3,2	4,3	2,8

Analisando a figura 42, nota-se que todas as argamassas com agregado reciclado possuem maiores valores de resistência à compressão que a argamassa de referência, já aos 7 dias, e esse comportamento se mantém aos 28 dias, mesmo possuindo maior relação água/cimento. Os valores médios de resistência à compressão aos 7 dias são próximos para todas as argamassas e as argamassas CF tiveram um pequeno aumento de resistência entre 14 e 28 dias, enquanto as SF tiveram um aumento maior. A ASTM C-270 (1999) fixa o valor mínimo de resistência à compressão em 2,5 MPa. A argamassa referência alcançou esse valor e todas as argamassas com agregado reciclado tiveram valores superiores.

Na figura 43, pode-se observar a comparação das argamassas com mesmo teor de substituição e diferentes teores de finos. Assim como no ensaio de resistência à tração na

flexão, as argamassas com agregado reciclado britado e peneirado (SF) tiveram maiores valores de resistência à compressão que as argamassas correspondentes com agregado reciclado britado (CF), sendo a argamassa com 50% SF, a que obteve o maior valor médio de 4,3 MPa, seguida da 30% SF, que alcançou 4,0 MPa. Conforme já descrito, acredita-se que o agregado reciclado confira maior pozolanicidade à argamassa, devido à sua constituição e não à sua finura.

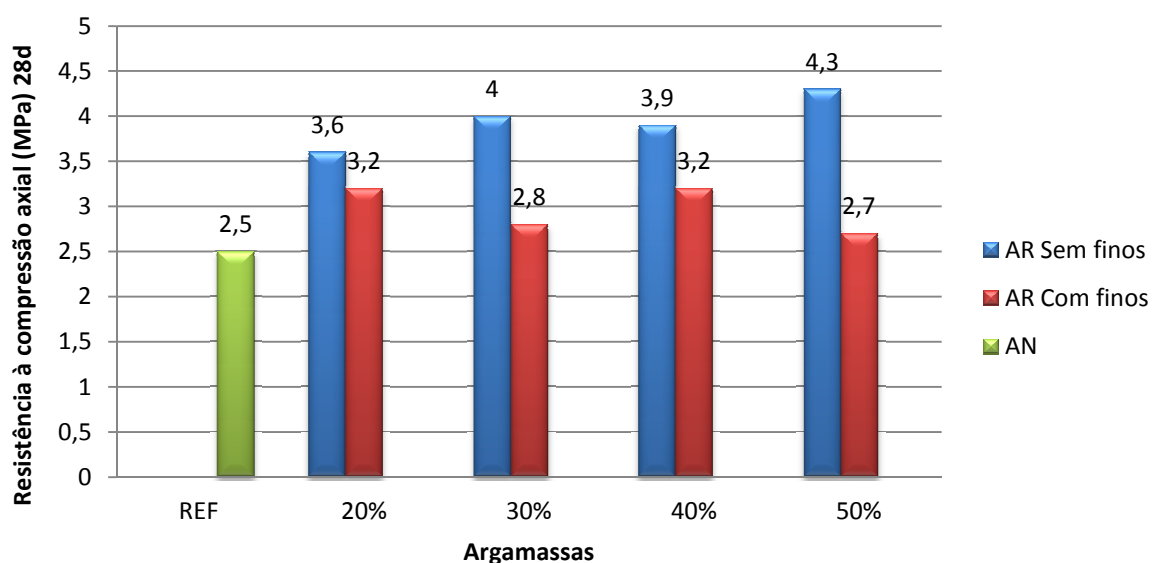


Figura 43 - Resistência à compressão axial, argamassas com e sem finos

Santana et al. (2001, p.287) encontraram resultados entre 3,2 e 4,5 MPa para resistência à compressão, para as argamassas estudadas, sendo superiores as de 30% e 50% de substituição por agregado reciclado. Miranda, (2000, p. 90), utilizando o traço 1:9 (cimento agregado), obteve valores entre 2,5 e 4,5 MPa, para traços com substituição parcial da areia por agregado reciclado misto. Para traços com substituição total de areia, os valores atingiram 7,5 MPa.

Bavaresco (2001, p. 63) encontrou, para o traço 1:2:9 (cimento:cal:agregado) com 50% de substituição de agregado natural por agregado reciclado, os valores de 3,47 MPa para agregado proveniente de material misto e 2,25 MPa para agregado proveniente de material cimentante, aos 28 dias.

Oliveira e Cabral (2011) ensaiaram argamassas com 10, 20, 30, 40, e 50% de substituição do agregado natural por reciclado e relataram que a resistência à compressão aumenta com a incorporação de agregado reciclado. Para eles, isso possivelmente, seja devido

ao acréscimo de água, ocasionado pela maior absorção do material devido aos finos. Essa água adicional pode propiciar uma maior hidratação dos grãos de cimento. No entanto, relatam que, a partir de uma determinada quantidade, a água necessária para manter a consistência desejada é tanta, que ocasiona a perda de resistência à compressão.

Lima e Leite (2012), em seu estudo, utilizando o traço 1:8 (cimento agregado), observaram um ganho de resistência à compressão quando substituídos 50% de agregado natural por agregado reciclado misto

5.4.3 Resistência potencial de aderência à tração

Os resultados médios obtidos nos ensaios de resistência potencial de aderência à tração, realizados em substratos padrão, em conformidade com a NBR 15258 (ABNT, 2005g), podem ser observados na tabela 24 e na figura 45. Conforme apresentado em 4.3, nos ensaios prévios, já nos primeiros dias, constatou-se fissuração em todas as argamassas, mas apenas uma leve fissuração superficial nas argamassas com agregado reciclado britado e peneirado. Os ensaios foram realizados novamente nas argamassas, com foco na técnica de execução.

Sendo assim, no novo ensaio, após as placas serem rasadas, passados 10 (dez) minutos da execução, percebeu-se exsudação da água, formando uma fina película de água sobre as argamassas. Partindo disso, as argamassas foram novamente rasadas e, após 4 horas, foram envelopadas com saco plástico, para evitar a rápida perda d'água e permaneceram por dois dias. Após esse procedimento, foram retiradas dos sacos e colocadas em câmara climatizada, com temperatura e umidade controlada, para descartar a fissuração devido às variações termo-higrométricas.

Tabela 23 - Valores médios da resistência potencial de aderência à tração aos 28 dias

Argamassa	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Resistência (MPa)	0,3	0,275	0,25	0,31	0,28	0,25	0,28	0,27	0,32
Forma de ruptura predominante	A	A	A*	A	A*	A	A*	A	A*

*Ruptura superficial

O resultado final foram placas sem nenhuma fissura (figura 44), apresentando resultados satisfatórios em termo de potencial de aderência para uso interno, conforme pode ser observado na figura 45 e na tabela 23.



Figura 44 – Argamassas produzidas: todas sem fissuras

Na figura 45, pode-se observar a comparação dos valores médios de potencial de aderência à tração das argamassas com mesmo percentual de substituição, com teores de finos diferentes. As linhas tracejadas representam o valor mínimo estabelecido pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para revestimentos internos (0,2 MPa) e externos (0,3 MPa).

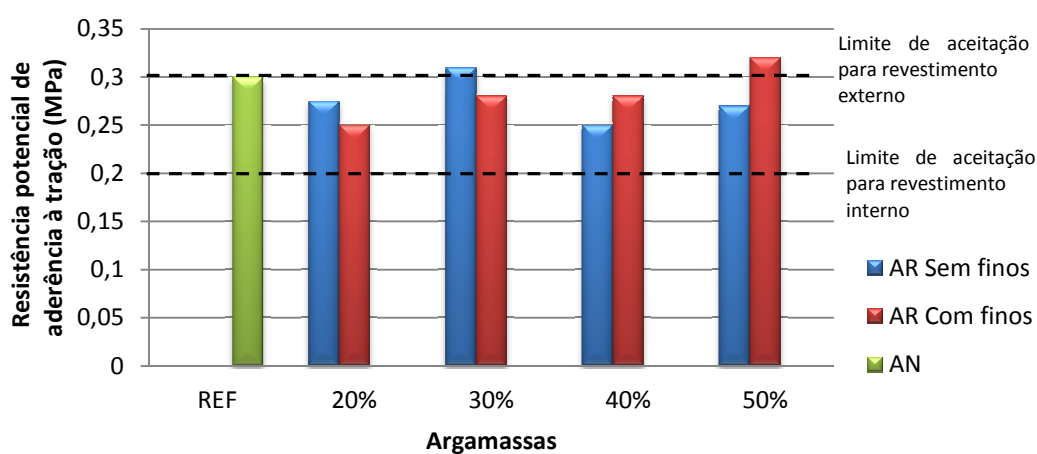


Figura 45 - Resistência potencial de aderência à tração

As argamassas com maior potencial de aderência à tração foram: 50% CF com média 0,32 MPa e 30% SF, que obteve média 0,31 MPa, seguidas da argamassa de referência com 0,30 MPa. As que tiveram piores resultados foram a 20% CF e 40% SF, com média 0,25 MPa. Analisando a forma de ruptura das argamassas, constata-se que todas as argamassas tiveram ruptura na argamassa, no entanto as argamassas produzidas com agregado britado (com finos) tiveram ruptura superficial.

5.4.4 Variação dimensional e variação de massa

O endurecimento dos revestimentos é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às reações de hidratação. De acordo com o que foi descrito em 3.7.6, a retração, em geral, evolui durante a pega e após o endurecimento das argamassas, em condições normais de exposição ao ar.

Na tabela 24 e nas figuras 46 e 48, são apresentados os resultados médios de variação dimensional e a variação de massa, obtidos nas idades ensaiadas.

Tabela 24 - Médias da variação dimensional e variação de massa, 1d, 7d e 28d

Argamassa	0 A 1 DIA		0 A 7 DIAS		0 A 28 DIAS	
	v. dimen. mm/m	v. massa %	v. dimen. mm/m	v. massa %	v. dimen. mm/m	v. massa %
REF	-0,28	-6,79	-0,72	-8,16	-0,81	-8,25
20SF	-0,28	-9,12	-0,82	-10,80	-0,97	-10,90
20CF	-0,17	-9,39	-1,02	-11,74	-1,21	-11,84
30SF	-0,28	-8,59	-0,98	-10,41	-1,06	-10,54
30CF	-0,36	-9,78	-1,19	-11,76	-1,37	-11,89
40SF	-0,42	-10,07	-0,96	-11,80	-1,08	-11,88
40CF	-0,47	-9,98	-1,01	-11,93	-1,4	-12,0
50SF	-0,39	-10,26	-1,05	-12,24	-1,19	-12,32
50CF	-0,77	-11,10	-1,44	-12,35	-1,58	-12,48

Analisando a tabela 25 e a figura 46, constata-se que as argamassas com agregado reciclado apresentam maior retração que a argamassa referência. Nas argamassas com agregado reciclado, a retração é maior com o aumento do teor de substituição. Quanto ao teor

de finos, as argamassas CF tiveram uma maior retração em relação às argamassas com o mesmo teor de agregado reciclado sem finos.

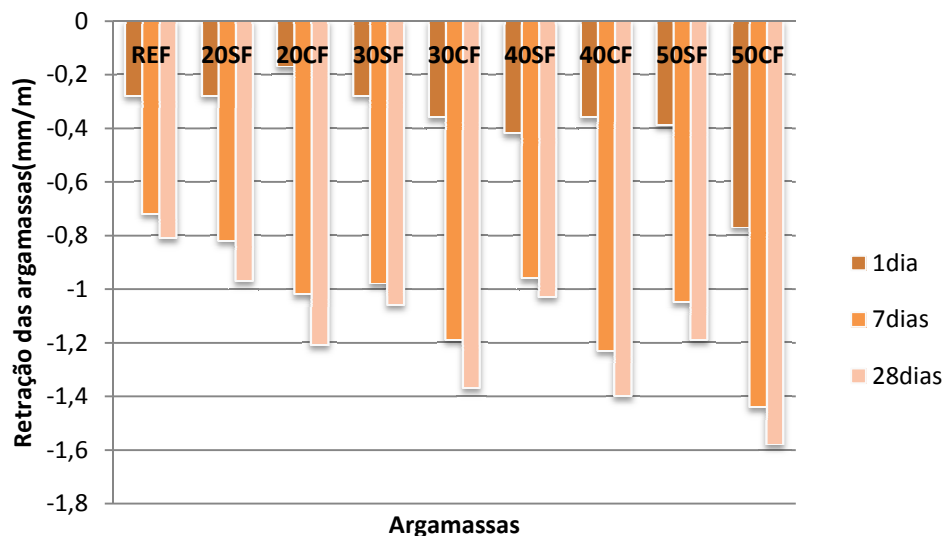


Figura 46 - Retração das argamassas 1d, 7d e 28d

Comportamentos semelhantes foram encontrados por Vegas et al. (2009, p. 14), que também obtiveram o mesmo resultado ao substituírem agregado natural por agregado reciclado de concreto, percebendo, após isso, que a retração livre é maior nas argamassas com agregado reciclado.

Para Hamassaki et al. (1996, p. 115), as argamassas fabricadas com agregados reciclados apresentaram maiores valores de retração, devendo-se utilizá-las em argamassas de assentamento ou revestimentos internos. Segundo os autores essa maior retração pode ser atribuída à excessiva quantidade de finos presentes no agregado reciclado. No entanto, ao utilizar o agregado reciclado peneirado, a retração das argamassas foi, em geral, maior que com o agregado natural, o que sugere que a retração depende mais das características do material que dos finos.

Miranda (2000, p. 93 a 96) encontrou os maiores valores de retração para argamassas com maiores teores totais de finos menores que $75 \mu\text{m}$, sem nenhuma correlação evidente com a relação a/c das argamassas.

Em geral, houve uma pequena retração entre 0 e 1 dia, uma retração maior no intervalo de 1 a 7 dias e uma pequena retração entre 7 e 28 dias (figura 47), com exceção da argamassa

com 50% de agregados reciclados com finos, que já apresentou uma retração elevada no intervalo de 0 a 1 dia, quando comparada às demais.

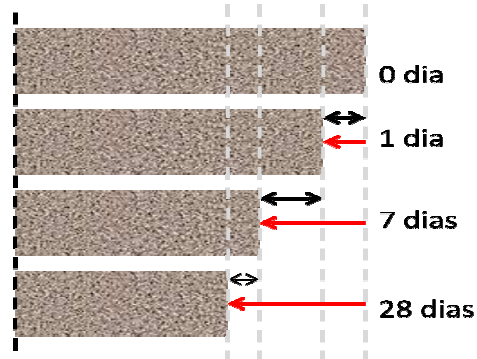


Figura 47 - Comportamento das argamassas em geral, quanto à retração

Em relação à variação de massa, analisando a figura 48, conclui-se que todas as argamassas apresentaram redução de suas massas, sendo a argamassa de referência a que apresentou menor perda de massa em todas as idades de ensaio. A variação de massa tem relação com a retração das argamassas e também com a retenção de água, tendo em vista que, à medida que as argamassas retraem, perdem massa.

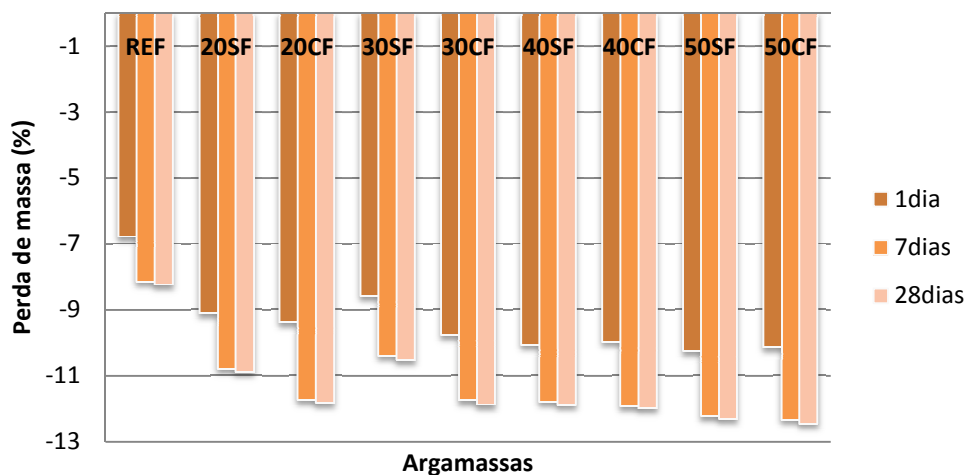


Figura 48 - Variação de massa 1d, 7d e 28d.

Diferente da variação dimensional, na variação de massa, a maior perda de massa se dá no intervalo 0 a 1 dia, provavelmente devido à perda de água e percebe-se também que há

pouca variação entre 7 e 28 dias, indicando a estabilização da massa. Com o aumento da substituição de areia por agregado reciclado, notou-se uma maior perda de massa em todas as argamassas, com exceção da argamassa com 30% sem finos.

5.4.5 Densidade aparente no estado endurecido

Os resultados médios obtidos nos ensaio de densidade aparente no estado endurecido podem ser observados na figura 49.

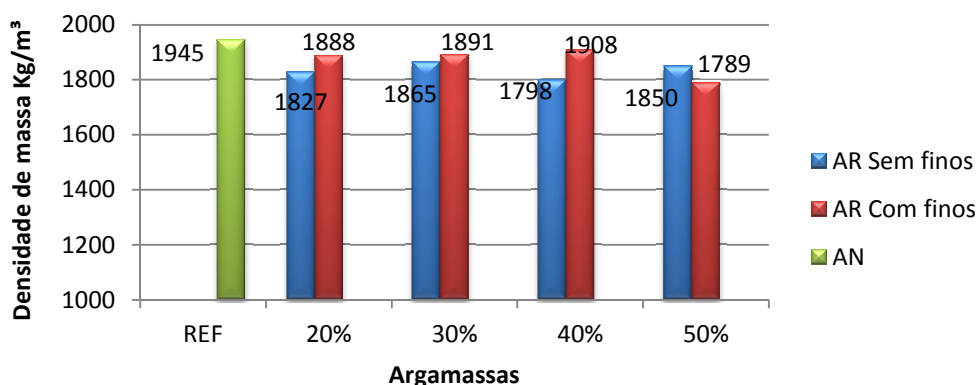


Figura 49 - Densidade de massa no estado endurecido

Da análise da figura 49, observa-se que a argamassa de referência é mais densa que as argamassas com agregados reciclados em sua composição. Em geral, as argamassas com finos são mais densas que as argamassas sem finos, com exceção da argamassa com 50% de substituição.

Jiménez et al. (2013), em seu estudo, produziram argamassas no traço 1:7 (cimento:agregado), com substituições de 0%, 5%, 10%, 20% e 40% de agregado natural por agregado reciclado, proveniente de cerâmica vermelha e constaram que a densidade de massa das argamassas endurecidas é menor nas argamassas com agregado reciclado e diminuiu à medida que a relação de substituição aumentou. Neste trabalho, as argamassas com agregado reciclado também se apresentaram menos densas que a argamassa de referência, no entanto não se reduziram com o aumento do percentual de substituição.

5.4.6 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade é uma propriedade importante para as argamassas, porque avalia a resistência do material à deformação elástica, ou seja, quanto maior o módulo, maior a rigidez do material. Os resultados médios obtidos nos ensaio de módulo de elasticidade dinâmico podem ser observados na figura 50 e tabela 25.

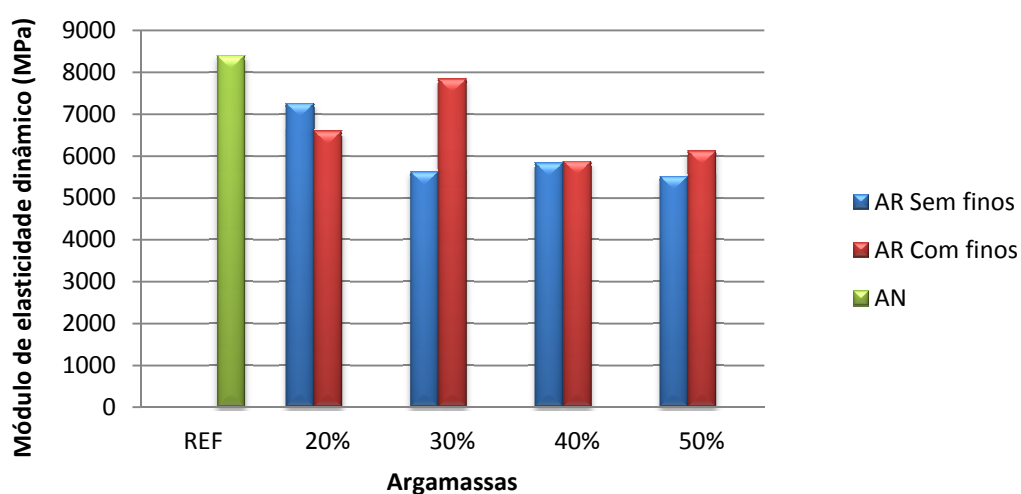


Figura 50 – Médias do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias

Tabela 25 - Valores médios de módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

CP	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Média	8404	7262	6645	5644	7844	5843	5856	5538	6127

Analisando a figura 50, verifica-se que os menores valores médios de módulos de elasticidade dinâmico foram obtidos nas argamassas 50% SF 5,5 GPa e 30% SF 5,6 GPa. Menores módulos de elasticidade dinâmico indicam argamassas mais elásticas e de melhor utilização (mais difícil fissuração).

Jochem (2012) encontrou, para argamassas com agregado reciclado com granulometria entre 1,2 e 0,15 com 18% de finos, o valor de 6,4 GPa e, para a argamassa com agregado natural com 18% de finos, em torno de 4,0 GPa. Esses resultados lhe permitiram

relacionar o aumento de finos nas argamassas de revestimento com o aumento do módulo de elasticidade. Neste trabalho, os finos não foram determinantes no módulo de elasticidade.

Silva e Campiteli (2008) constataram que as resistências mecânicas influenciam no resultado do módulo de elasticidade dinâmico. Em seu trabalho, as argamassas com menor módulo foram as que apresentaram maiores valores de resistência à compressão.

Ao contrário dos resultados encontrados neste trabalho, Neno et al. (2013) encontraram valores de módulo de elasticidade dinâmico superiores para as argamassas com agregado reciclado em relação à argamassa referência. No entanto, realizaram substituições de agregado natural por agregado proveniente de concreto, utilizando outro traço.

5.4.7 Absorção e coeficiente de capilaridade

A absorção de água por capilaridade, já descrita em 3.7.8, é o processo físico pelo qual o material cimentício retém água nos poros capilares. Quanto mais interligados os poros capilares, maior e mais rápida será a absorção. A água tem capacidade para degradar materiais como a argamassa, já que é agente de transporte para íons agressivos. Por isso, é importante definir a absorção da argamassa para conferir a sua durabilidade. Valores baixos de absorção sugerem argamassas melhores. Na figura 51 e tabela 27, apresentam-se as médias da absorção de água por capilaridade aos 10 min e 90 min.

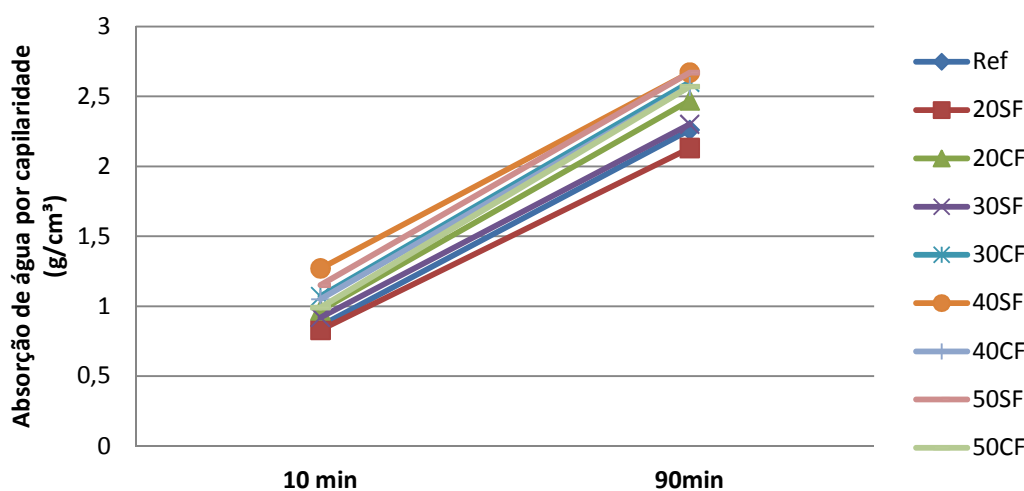


Figura 51 – Absorção de água

Tabela 26 - Médias de Absorção de água (g/cm³)

	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
10min	0,86	0,83	0,97	0,92	1,07	1,27	1,05	1,15	0,99
90min	2,26	2,13	2,47	2,3	2,6	2,67	2,57	2,67	2,57

Analisando a figura 51, pode-se perceber que, em geral, as argamassas com agregado reciclado possuem uma maior absorção de água que a argamassa de referência, com exceção da argamassa com 20% de substituição da areia por agregado reciclado sem finos.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Pinto (1986, p. 61 a 64), que observou uma maior absorção dos traços com agregados miúdos reciclados, possivelmente por uma maior porosidade das partículas do agregado.

Todavia esses resultados são diferentes dos dados encontrados por Neno et al. (2013) que, em seu trabalho, contataram que a taxa de absorção de água diminuiu com o acréscimo de agregado reciclado. Essa diferença pode ter ocorrido porque ele utilizou agregado de concreto.

Já Lima e Leite (2012) produziram duas argamassas de referência com cimento e areia nos traços 1:4 e 1:8 e duas argamassas com 50% de substituição em volume, do agregado natural por agregado reciclado misto e constataram que as argamassas com agregado reciclado possuem uma maior taxa de absorção e maior retração por secagem.

A argamassa 30% SF apresentou resultados muito semelhantes à argamassa referência, tanto aos 10 quanto aos 90 minutos, e as argamassas com 40% SF e 50% SF foram as que tiveram maior absorção tanto aos 10 quanto aos 90 minutos. Observou-se, ainda, que, aos 10 minutos, a absorção equivale à aproximadamente 40% da absorção, aos 90 minutos, em todas as argamassas. O aumento do teor de finos aumentou a absorção nas argamassas com 20 e 30% de substituição. Na figura 52 e na tabela 27, são apresentadas as médias encontradas para o coeficiente de capilaridade.

Tabela 27 - Médias Coeficiente de capilaridade (g/dm².min^{1/2})

	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Média	22,4	20,7	23,9	22,0	24,4	22,4	24,4	24,3	24,1
Desvio rel. Max.	1%	1%	2%	4%	3%	1%	1%	3%	2%

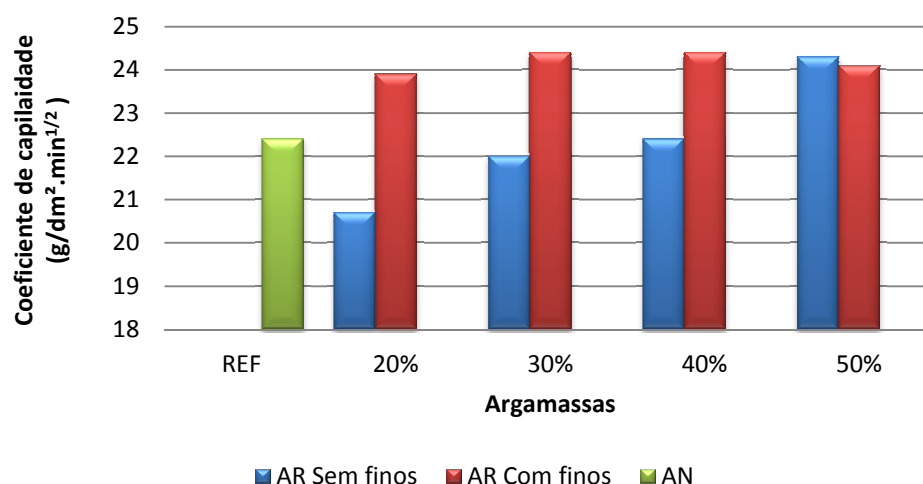


Figura 52 – Coeficiente de capilaridade

Analisando os resultados, percebe-se que todas as argamassas com ARB (com finos) possuem coeficientes de capilaridade muito semelhantes. As argamassas com ARBP possuem diferentes coeficientes de capilaridade, que aumentam à medida que também aumenta o teor de substituição.

5.5 Relação entre as propriedades das argamassas, os percentuais de substituição e teor de finos

Na bibliografia pesquisada não foi encontrado nenhum trabalho que compara argamassas praticamente idênticas diferenciadas somente pelo teor de finos. Ao analisar argamassas compostas por agregado reciclado com a mesma distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,075 mm, com o mesmo traço, relação água/cimento muito semelhantes e teor de finos diferentes, é possível perceber a influência exclusiva dos finos do agregado nas propriedades das argamassas.

Ao relacionar as propriedades das argamassas observou-se que as argamassas com maiores valores de resistência à compressão 4,3MPa (50%SF) e 4,0MPa (30%SF) tem os menores módulos de elasticidade dinâmico.

Alguns autores atribuem algumas características das argamassas com agregado reciclado, como por exemplo, a maior retração, à excessiva quantidade de finos. No entanto,

ao produzir argamassas com agregado reciclado peneirado percebeu-se que elas também tem uma maior retração que a argamassa com agregado natural, evidenciando que essa propriedade está ligada à composição dos agregados reciclados não só a sua finura.

No quadro 9, apresenta-se um resumo das propriedades analisadas em relação ao tipo de agregado, aumento do percentual de substituição e aumento do teor de finos.

Propriedade da argamassa	Efeito da introdução de agregado reciclado (REF X AR)	Efeito do aumento do percentual de substituição (20%, 30%, 40 % e 50%)	Efeito do aumento do teor de finos (SF X CF)
Teor de água no traço mantendo a consistência	aumenta	aumenta	aumenta
Retenção de água	Aumenta a partir de 20%CF	aumenta	Aumenta até 40%
Densidade aparente no estado fresco	reduz	reduz	Reduz ate 40%
Teor de ar incorporado	indefinido	indefinido	Aumenta
Resistência à tração na flexão	indefinido	aumenta	diminui
Resistência à compressão	aumenta	aumenta	reduz
Resistência potencial de aderência à tração no substrato padrão	indefinido	indefinido	indefinido
Módulo de elasticidade dinâmico	reduz	indefinido	indefinido
Absorção por capilaridade	aumenta	aumenta	indefinido
Variação dimensional (retração)	aumenta	aumenta	aumenta

Quadro 9 - Relação do percentual de substituição e teor de finos com as propriedades das argamassas

Com base nos ensaios realizados e referências consultadas, concluiu-se que para uma futura utilização de argamassas com agregado reciclado, é necessário levar em conta todas essas variáveis conjuntamente, e ainda, avaliar as argamassas compondo um sistema de revestimento, pois são os sistemas que possuem desempenho e não as argamassas isoladas.

5.6 Avaliação complementar de argamassas compondo um sistema de revestimento

Entre as argamassas produzidas, as com 30% e 50% de agregado reciclado britado e peneirado (sem finos) obtiveram valores semelhantes de resistência à compressão superior às

outras argamassas e valores de módulo de elasticidade inferiores às demais argamassas, além disso, a argamassa com 50% SF apresentou maior valor de resistência à tração na flexão. Essas características são muito importantes, no entanto, ao comparar as duas, a argamassa 30% SF, além de apresentar maior potencial de aderência à tração, evidenciou menor variação dimensional, menor absorção de água por capilaridade, menor perda de consistência em uma hora, que são propriedades muito importantes, apresentando no geral, melhor conjunto de propriedades.

Com base na revisão da literatura, pode concluir-se que a incorporação de agregados reciclados em argamassas para substituir agregados convencionais (areia) em pequenas proporções (entre 10% e 30%) pode melhorar as suas propriedades. Já para índices de mais de 50%, a incorporação pode influir negativamente nas propriedades das argamassas.

Neno et al., (2013), com base nos resultados de seu estudo, recomendam usar agregado reciclado substituindo parcialmente a areia, desde que a substituição não seja superior a 20% do volume total da argamassa.

Silva et al. (2010) recomendam a substituição de até 15% do agregado natural por agregado reciclado de cerâmica vermelha.

Moriconi et al., (2005), utilizando 30% de substituição de agregado natural por agregado reciclado de tijolo cerâmico, constataram que as argamassas em geral apresentaram propriedades satisfatórias.

Sendo assim, optou-se por revestir três painéis: um com a argamassa de referência; um com a argamassa 30% SF, (por apresentar melhor conjunto de propriedades no estado endurecido, conforme pode-se observar na tabela 28); e um com a argamassa 30% CF, (para comparação entre argamassas iguais, com e sem finos), para a análise do comportamento quando utilizadas em um sistema de revestimento. (Figura 53)

Segundo Carasek (1997), o tipo de substrato, o tipo de argamassa e o teor de umidade do substrato exercem influência na resistência de aderência, contudo o fator individual de maior influência é o tipo de argamassa. Em seu trabalho, em geral, os substratos secos resultaram nos mais altos valores de resistência de aderência, tendo tais valores decrescido à medida que foi aumentado o teor de umidade.

Miranda (2000) observou, em seu estudo, que a influência do tempo de sarrafeamento na fissuração foi secundária em argamassas que, por sua composição, tipo de substrato e/ou condições atmosféricas, desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar, mas com o sarrafeamento em tempo ótimo, estimado pelo autor em 10 minutos, a tendência de fissuração pode aumentar.

Tabela 28 - Análise das propriedades das argamassas no estado endurecido

Argamassa	Resistência à tração 28d. (MPa)	Resistência à compressão 28d. (MPa)	Resistência potencial de aderência 28d. (MPa)	Variação dimensional 28d. (mm/m)	Variação de massa 28d. (%)	Densidade aparente no estado endurecido 28d. (kg/m ³)	Módulo de elasticidade dinâmico 28d. (MPa)	Absorção por capilaridade 90min (g/cm ²)
Ref	1,3	2,5	0,30	-0,81	-8,25	1945	8404	2,26
20%SF	1,3	3,6	0,27	-0,97	-10,9	1827	7555	2,13
20%CF	1,1	3,2	0,25	-1,21	-11,84	1888	6645	2,47
30%SF	1,3	4,0	0,31	-1,06	-10,54	1865	5644	2,30
30%CF	1,2	2,8	0,28	-1,37	-11,89	1891	7844	2,60
40%SF	1,4	3,9	0,25	-1,08	-11,87	1798	5856	2,67
40%CF	1,2	3,2	0,28	-1,4	-12,0	1908	5843	2,57
50%SF	1,7	4,3	0,24	-1,19	-12,32	1850	5538	2,67
50%CF	1,2	2,7	0,32	-1,58	-12,48	1789	6127	2,57

1º 2º 3º



Pior resultado

Conforme já descrito em 3.7, autores como Miranda (2000) observaram menor fissuração quando a argamassa foi aplicada com chapisco que quando aplicado sobre o substrato sem chapisco.



Figura 53 – Argamassa referência, 30% SF e 30% CF com um dia

Sendo assim, neste trabalho, optou-se pela aplicação de chapisco, pela molhagem do substrato com trincha 30 minutos antes da aplicação, por se tratar de um substrato poroso (alvenaria de tijolo de seis furos). Vale ressaltar que se optou pelo sarrafeamento precoce com o intuito de evitar a fissuração. O desempenho foi realizado após 30 minutos do sarrafeamento.

Pela análise empírica do pedreiro, a melhor argamassa para o lançamento na parede foi a de 30% SF, seguida da argamassa referência e, por último, a 30% CF. Na sua percepção, a argamassa 30% SF se parece com a argamassa referência, enquanto a 30% CF possui mais finos e uma cor mais avermelhada. Ainda, segundo ele, todas as argamassas apresentaram um bom teor de água, sendo facilmente trabalháveis e tiveram uma boa aderência porque, ao serem lançadas, não aderiram a colher e distribuíram-se facilmente, preenchendo todas as reentrâncias da base, sem descolamento.

Resultado semelhante foi encontrado por Miranda (2000), que relatou, em seu trabalho, que o teor total de finos igual a 19% forneceu uma trabalhabilidade considerada de média a boa pelos pedreiros.

Quanto ao potencial de aderência à tração, o ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13528 (2010) e as argamassas apresentaram os valores e tipos de ruptura predominante apresentados na tabela 29. Os dados e resultados individuais do ensaio estão apresentados no Apêndice D.

Tabela 29 - Resultados de potencial de aderência à tração.

Potencial de aderência à tração (MPa)						
CP	REF		30% SF		30% CF	
	Valor	Forma de Ruptura	Valor	Forma de Ruptura	Valor	Forma de Ruptura
1	0,22*	40A 60D	0,43	D	>0,37	A
2	0,68	D	0,45	20B 80D	0,49	20D 80E
3	>0,45	A	0,41	B	0,16*	D
4	0,85	40A 60D	0,33	30B 70D	0,46	D
5	0,25*	D	>0,51	A	0,71	B
6	>0,44	A	0,31	D	0,39	D
7	>0,40	A	0,32	D	>0,53	A
8	0,54	80A 20D	0,33	70A 30D	0,91	40B 60D
9	0,32	50A 50D	0,18*	D	0,62	D
10	0,38	80A 20D	0,78	D	0,41	D
11	>0,42	A	0,43	D	0,76	D
12	0,44	D	0,29*	D	0,73	30B 70D

*Valores inferiores ao limite de 0,30MPa, estabelecido pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para argamassas de revestimento externo.

Na figura 54, são apresentados os tipos de ruptura quando o sistema é composto por argamassa + chapisco + substrato, conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010).

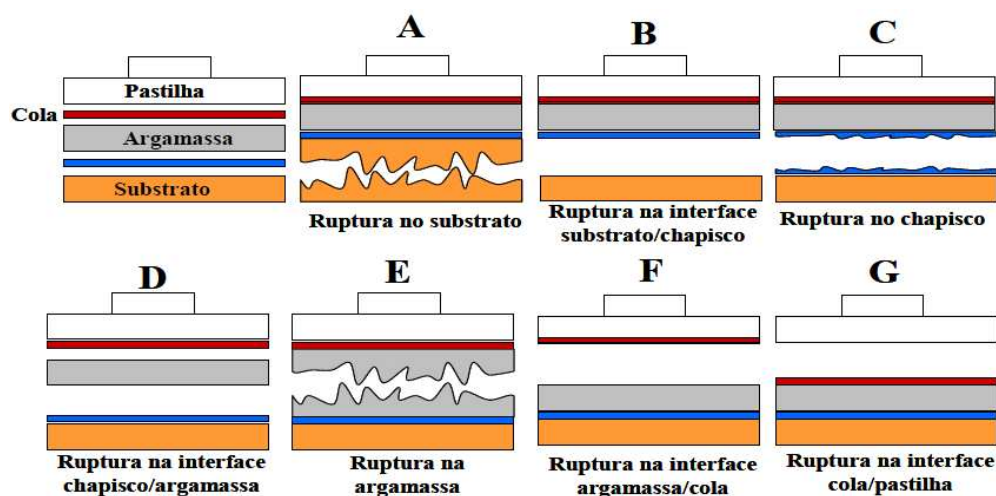


Figura 54 – Formas de ruptura no ensaio de potencial de aderência à tração

A NBR 13749 (ABNT, 2013) apresenta algumas exigências em relação aos revestimentos de argamassas. Em relação ao aspecto, determina que o revestimento deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições tais como cavidades, fissuras, manchas e eflorescência. Analisando a figura 53, percebe-se que a argamassa com 30%CF apresentou algumas manchas, no entanto acredita-se que pode ter sido devido ao excesso de desempenho.

Pela análise da tabela 29, constata-se que, quanto à resistência de aderência à tração (R_a), todas as argamassas poderiam ser usadas para revestimento interno e externo, pois os limites mínimos, segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), são de 0,2 MPa para revestimento interno e 0,30 MPa para revestimento externo. A norma estabelece que o revestimento é aceito se pelo menos 8 valores forem iguais ou superiores aos limites indicados.

Quanto à forma de ruptura, a NBR 13528 (ABNT, 2010) determina que quando a ruptura é na interface substrato/chapisco (B) e chapisco/argamassa (D) o valor da resistência de aderência é o valor obtido no ensaio. No caso das demais rupturas o valor de aderência não é determinado e é maior que o valor obtido no ensaio. Nas figuras 55, 56 e 57 apresentam-se as argamassas após o arrancamento.



Figura 55 – Argamassa de referência, rupturas predominantes do tipo A e D



Figura 56 – Argamassa 30%SF, rupturas predominantes do tipo B e D



Figura 57 - Argamassa 30%CF, rupturas predominantes do tipo B e D

Quanto à fissuração, no primeiro dia a argamassa 30% CF apresentou três pequenas fissuras, finas e superficiais, distantes entre si, enquanto as outras não apresentaram. Na figura 59, pode-se observar uma dessas fissuras.



Figura 58 - Fissura na argamassa 30%CF com 1dia

São muitos os fatores intervenientes na fissuração das argamassas quando aplicados a paredes, a começar pelas condições climáticas do local, insolação, incidência de ventos. Outros fatores como preparo da base (com ou sem chapisco), molhagem prévia ou aplicação da argamassa no substrato seco, forma de execução, lançamento, tempo de sarrafeamento e desempenho também podem ser apontados como causas de fissuração dos revestimentos.

Por ter sido molhado meia hora antes, o conjunto substrato + chapisco pode ter absorvido parte da água da argamassa e, como a argamassa com finos necessita mais água para envolver a superfície específica do material fino, isso pode ter gerado pequenas fissuras. Outros motivos poderiam ser a maior variação dimensional (retração), maior módulo de elasticidade dinâmico, indicando uma argamassa mais rígida e maior absorção de água por capilaridade, quando comparada às outras duas argamassas.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) relata que quando superficial, a fissura pode ser preenchida com o material de acabamento do revestimento ou preenchimento com a própria argamassa.

Foi desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, (CSTB, 1982), um método para avaliar a susceptibilidade à fissuração de revestimentos de argamassa. Esse método baseia-se no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem e, também, quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Ou seja, quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, maior será a resistência de tração induzida e haverá maior

propensão do revestimento fissurar. Na tabela 30, são apresentados os critérios de classificação quanto à susceptibilidade à fissuração do revestimento de argamassa, de acordo com o CSTB.

Tabela 30 - Classificação do revestimento quanto à susceptibilidade à fissuração

Características (aos 28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa susceptibilidade	Média susceptibilidade	Alta susceptibilidade
Retração por secagem $\Delta l/l$ (mm/m)	$\Delta l/l \leq 0,7$	$0,7 < \Delta l/l < 1,2$	$\Delta l/l \geq 1,2$
Módulo de elasticidade dinâmico E (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 1200$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/ resistência à tração na flexão E/R_t	$E/R_t \leq 2500$	$2500 < E/R_t < 3500$	$E/R_t \geq 3500$

Fonte: CSTB, 1982

Segundo Silva (2011), o método desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, (CSTB, 1982), que utiliza a medida de retração por secagem, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão, não se mostrou eficiente para os resultados dos ensaios apresentados na sua pesquisa. Em contrapartida, substituindo a retração por secagem por retração livre linear, os critérios do método do CSTB podem ser utilizados com grande confiabilidade para avaliar a tendência à fissuração dos revestimentos nas primeiras idades.

Tabela 31 – Características das argamassas produzidas

Argamassas produzidas	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Variação dimensional (mm/m)		Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Teor de finos total (%)	Teor de finos dos agregados (%)
		0 a 1 d	0 a 28 d			
REF.	1,3	-0,28	-0,81	8404	18	< 1
30% SF	1,3	-0,28	-1,06	5644	18	< 1
30% CF	1,2	-0,36	-1,37	7844	24	6

Analisando a tabela 31 e considerando a observação de Silva, nota-se que, quanto à retração, as argamassas REF e 30% SF se enquadram em média susceptibilidade à fissuração e a 30% CF, em alta susceptibilidade, considerando a retração livre linear. Quanto ao módulo de elasticidade dinâmico, as argamassas REF e 30% CF se enquadram em média susceptibilidade à fissuração, enquanto a 30% SF está na faixa de baixa susceptibilidade. Já

para a terceira classificação, que é a razão entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão, todas as argamassas se enquadram em alta susceptibilidade à fissuração.

Quanto ao teor de finos, a argamassa com 30% CF excede o limite de 5% de finos do agregado estabelecido EN 13139 (2002), para argamassas de revestimento.

No estudo de Rudnitski et al. (2013), utilizando o traço 1:2:8, com consistência fixada em 255 ± 10 mm, produziram argamassas com substituição da areia por resíduos reciclados, nos teores de 10, 25, 50, 75 e 100% com dois tipos de agregado, um proveniente de cerâmica vermelha e o outro proveniente de argamassas e concretos e observaram que todas as argamassas produzidas fissuraram.

Na pesquisa de Miranda (2000), de todos os revestimentos realizados, no traço 1:9(cimento: agregado), somente a argamassa T4 (com agregado 100% de resíduo de argamassa moída), com 32% de finos e a argamassa mista de cimento, cal e areia, apresentaram fissuras visíveis desde a sua execução, sendo que a argamassa T4 sofreu maior fissuração que a mista. Miranda concluiu que a razão para tal fato é o maior teor de finos da argamassa 32% T4. Em ambas, as fissuras surgiram com idades entre 1 hora de aplicação e 5 dias.

O autor notou ainda que a influência do tempo de sarrafeamento na fissuração foi secundária nas argamassas que, por sua composição, tipo de substrato e condições atmosféricas desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar. Para ele, o sarrafeamento em tempo precoce, estimado em 10 minutos, pode evitar fissuras, pois quando se espera um tempo maior para executar o sarrafeamento, as tensões internas devidas à perda de água já podem ter começado a se desenvolver, por uma maior ancoragem da argamassa ao substrato. Assim, possivelmente, os movimentos de sarrafeamento e desempenamento gerem um desequilíbrio no estado de tensões internas do revestimento fresco, fragilizando pontos da microestrutura e interferindo na resistência à tração nas primeiras idades, gerando maior número de fissuras.

Neste trabalho, o sarrafeamento foi realizado em tempo precoce e, assim mesmo, percebeu-se uma pequena fissuração na argamassa com 30% CF nas primeiras horas. Considerando que essa argamassa tem a mesma dosagem, mesmo teor de cimento, quase a mesma relação água cimento, mesmo percentual de agregado reciclado que a argamassa 30% SF, acredita-se que o teor total de finos possa ter sido a principal causa das fissuras.

Poon e Kou (2013) compararam duas argamassas de referência utilizando como agregados areia de rio e agregado de britagem de rochas, com argamassas efetivadas em substituições de 25, 50, 75, e 100%, utilizando três tipos de agregado reciclado misto. Os

resultados experimentais mostraram que as propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão e resistência à flexão foram menores do que as argamassas realizadas com os agregados naturais. No entanto, a força de união da interface entre a argamassa de alvenaria e tijolos, determinado pelo teste de aderência, foi mais elevada para as argamassas preparadas com agregados reciclados.

Corinaldesi et al. (2007, p. 62), estudando argamassas com substituição de agregado natural por três tipos de agregado reciclado, (resíduos de concreto, resíduos de tijolos e resíduos mistos de uma usina), encontraram menor resistência mecânica nas argamassas com agregado reciclado que na argamassa de referência. Contrapondo-se a isso, encontraram maior potencial de aderência nas argamassas com agregado reciclado, em especial, a de resíduos mistos que alcançou 1,14 MPa contra 0,39 MPa da argamassa referência. Observaram, também, que as argamassas com agregado de tijolo e de concreto alcançaram 0,52 MPa e 0,98 MPa respectivamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Este trabalho permitiu avaliar a influência dos finos provenientes exclusivamente dos agregados reciclados mistos, nas propriedades das argamassas. As conclusões deste trabalho são referentes ao agregado reciclado produzido e utilizado nesta pesquisa.

A incorporação de agregados reciclados mistos nas argamassas demonstrou ser uma possível solução para a minimização de impactos ambientais, com grande potencial para uso na indústria da construção. Entre as argamassas produzidas neste trabalho, mereceu maior destaque a argamassa com substituição de 30% de agregado natural por agregado peneirado, pois apresentou melhor conjunto de propriedades em relação às demais.

Após a análise dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões quanto ao uso de agregado reciclado para produção de revestimentos:

a) Quanto à influência da natureza do agregado:

As características físicas das partículas da areia reciclada são fatores que influenciam significativamente nas propriedades das argamassas. A forma e a textura dos agregados de RCD reciclados são diferentes dos agregados naturais, tendo em vista que são irregulares, contêm superfície mais porosa e apresentam textura mais áspera. Sendo assim, as argamassas com areia reciclada exigiram maior quantidade de água para obter a mesma trabalhabilidade da argamassa referência. Essas comprovações, embora tenham apresentado resultados previsíveis, tornaram mais evidente que as argamassas com ARB necessitam de mais água que as argamassas com ARBP em sua confecção, o que também já era esperado, devido à maior superfície específica do agregado com finos. No entanto, essa diferença no teor de água não foi muito grande, já que, entre a argamassa com agregado natural e a argamassa com 50% de substituição do agregado natural por agregado reciclado britado, foi apenas de 3%.

A massa unitária e a massa específica do agregado reciclado são menores que a do agregado natural, o que implica um maior consumo de cimento. No entanto, como as

substituições foram parciais, houve um aumento no consumo de cimento de apenas 2,5% quando substituído 50% do agregado. Apesar dessas comprovações, considerando-se que várias argamassas com agregado reciclado tiveram resultados médios de resistência mecânica, iguais ou superiores à argamassa referência, dependendo da substituição, o consumo de cimento poderia ser reduzido.

b) Quanto à influência do percentual de substituição

Nas argamassas no estado fresco, observou-se um padrão comportamental com o aumento do percentual de substituição. Nesse tipo de argamassa, a retenção de água aumenta com o aumento de substituição e a densidade de massa diminui.

Quanto às propriedades das argamassas no estado endurecido, percebeu-se maior influência do aumento de substituição de agregado natural por reciclado nas argamassas SF. Nessas argamassas, observou-se a influência em algumas propriedades como resistência mecânica à tração e à compressão, visto que, quanto maior o percentual de substituição, maiores foram os resultados médios de resistência. A absorção de água por capilaridade e a retração por secagem também aumentaram de acordo com o percentual de substituição.

Entre todas as argamassas, a com 30% de substituição de agregado natural por ARBP apresentou melhor conjunto de propriedades. Em relação à argamassa de referência, apresenta algumas propriedades semelhantes e algumas melhores, como menor módulo de elasticidade dinâmico, maior resistência de aderência, maior resistência mecânica à compressão axial.

c) Quanto à influência do teor de finos nas propriedades das argamassas

Ao analisar argamassas compostas por agregado reciclado com a mesma distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,075 mm, com o mesmo traço, relação água/cimento muito semelhantes e teor de finos diferentes, é possível perceber a influência exclusiva dos finos do agregado nas propriedades das argamassas.

O teor de material pulverulento no agregado reciclado é de 25%, enquanto que, na areia é de 1%, por isso, optou-se pelo peneiramento para retirada dos finos para a comparação de argamassas iguais com e sem finos, provenientes do agregado.

No estado fresco, quanto à densidade de massa, o aumento de finos nas argamassas tornou-as menos densas até o teor de substituição de 40% de agregado natural por agregado

reciclado, sendo que, com 50% de substituição, ocorreu o inverso. O teor de ar incorporado foi maior nas argamassas CF, que nas argamassas SF. Quanto à retenção de água, o aumento de finos aumentou a retenção até o teor de substituição de 40%, ocorrendo o inverso para o teor de 50%.

No estado endurecido, todas as argamassas com finos apresentaram maior retração livre e maior variação de massa que as argamassas correspondentes sem finos. No concernente às argamassas sem finos, verificou-se que apresentaram maiores valores de resistência à tração e à compressão que as argamassas com finos.

No ensaio de potencial de aderência à tração em substratos padrão, todas as argamassas sem finos tiveram ruptura na argamassa, enquanto que as argamassas com finos tiveram ruptura superficial, no entanto, os valores de resistência foram variáveis, não apresentando um padrão de comportamento em relação aos finos presentes.

d) Quanto à fissuração

Quando aplicadas em substratos padrão, as argamassas estão livres para movimentar-se, estando entre as principais causas de fissuração a grande retração livre linear nas primeiras horas e a rápida perda de água para o substrato ou por evaporação. Sendo assim, ao rasar novamente as placas, evitando que a água exsudada ficasse na superfície da argamassa e, ao envelopá-las em saco plástico, garantiu-se a não fissuração de todos os revestimentos.

Quando aplicadas em paredes, as argamassas estão sujeitas a mais esforços e, nesse caso, o teor de finos mostrou ter influência na fissuração dos revestimentos, porquanto, comparando-se as argamassas com 30% SF e 30% CF, observa-se que não existe diferença significativa na distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,075 mm e as relações água /cimento são muito semelhantes, sendo o teor de finos praticamente a única diferença entre as duas argamassas. A argamassa com 30% SF apresentou um teor total de finos de 18% (igual à argamassa referência), enquanto que a com 30% CF apresentou 24% de finos e somente a argamassa 30% CF fissurou.

Outro possível motivo do aumento da fissuração de revestimentos de argamassa com areia reciclada com elevado teor de finos é a utilização de cal, gerando um teor total de finos excessivo na composição.

A recomendação de se ter baixo módulo de elasticidade em argamassas para evitar o surgimento de fissuras de retração por secagem não foi isoladamente determinante na

fissuração dos revestimentos, já que a argamassa de referência apresentou maior módulo que a argamassa 30% CF e não fissurou.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos resultados encontrados neste trabalho, sugere-se a realização de ensaios em sistemas construtivos, utilizando argamassas com agregado reciclado britado e peneirado, para a verificação do atendimento à norma de desempenho NBR 15575 (2013). A inter-relação entre normas prescritivas e normas de desempenho deve possibilitar a futura utilização segura dos agregados reciclados.

Sugere-se também que se realizem ensaios em câmara de envelhecimento, para verificar o comportamento das argamassas produzidas com entulho reciclado em idades mais tardias.

Acredita-se que as argamassas produzidas com agregado reciclado proveniente de RCD misto, mesmo em outras composições, quando britado e peneirado, possam ter comportamentos semelhantes. Sugere-se então a realização de ensaios com outros lotes de RCD.

Alguns autores acreditam que, dependendo dos finos em sua composição, a argamassa pode ser considerada como uma mistura de agregado miúdo com adição plastificante. Com base nesses resultados, sugere-se testar as argamassas com elevado teor de material pulverulento reduzindo o teor de cal hidratada.

Cabe salientar que este estudo utilizou, como parâmetros, algumas normas estrangeiras, que estabelecem limites mínimos a serem alcançados em cada propriedade para a utilização das argamassas em revestimentos e outros trabalhos já realizados, devido à carência de normas brasileiras que disponham essas informações. Partindo desse pressuposto, sugere-se a complementação da NBR 13.281 (ABNT, 2005) com intervalos de valores a serem alcançados nas principais propriedades para determinada utilização das argamassas.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

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

_____. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de densidade de massa e teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005c.

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

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

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

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração, 2010.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004e.

_____. **NBR 15113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação, instalação e operação. Rio de Janeiro, 2004f.

_____. **NBR 15114:** Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, instalação e operação. Rio de Janeiro, 2004g.

_____. **NBR 15115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004h.

_____. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004i.

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

_____. **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, 2005h.

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

_____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação da onda ultrasônica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. 2001

_____. **NBR NM 43:** Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. 2002.

_____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma do Mercosul. 2006.

_____. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Norma do Mercosul. 2003.

_____. **NBR NM 49:** Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. 2001.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Norma do Mercosul. 2009.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Norma do Mercosul. Rio de Janeiro, 2001.

ABRECON. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil.** Relatório pesquisa setorial. Outubro, 2013.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** 167 p., Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASTM C270: Mortar for unit masonry. Philadelphia, USA, 14 p., 1999.

BAHIA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** 4^a Ed. São Paulo: Nome da Rosa, (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras). 2008, 89 p.

BARBOSA, M. T. G. **Argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.** In: Emil Sánchez, Nova Normalização Brasileira para a alvenaria estrutural. Interciência, 2013, 401 p.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção.** 5^a ed., Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAUER, E. Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades. In: Elton Bauer. (Org.). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** 1^a ED. Brasília. DF, v. 1, 2005.

BAVARESCO, C. R. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas.** 2001. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BONIN L.; KAZMIERCZAK C.; MASUERO A. Comentários sobre as normas brasileiras aplicáveis à produção de revestimento de argamassa. **Comunidade da construção.** 26 p., Porto Alegre.

<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/278/anexo/ativoscome.pdf>

Acessado em março de 2015.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 280 p., Tese (Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 2007.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental,** Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 171-180, abr./jun., 2012.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, 2, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, p. 133-146, 1997.

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

CARASEK, H. Argamassas. In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed., v. 2, cap. 26, IBRACON: São Paulo, 2007.

CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia**: sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre. 1993. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

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

CARNEIRO, A. P. et al. Características do entulho e do agregado reciclado. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001, cap. 5, p.142-187.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas**. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 1999. (Boletim Técnico).

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). **Note d'information sur les caractéristiques et le comportement des enduits extérieurs d'imperméabilisation de murs à base de liants hydrauliques**. Cahiers du CSTB, Paris, Livraison 230, n. 1778, juin, 1982.

_____. **CSTB. Certification des enduits monocouches d'imperméabilisation**. Modalités d'essais. Cahiers du CSTB, Paris, Livraison 341, n. 2669-4, juillet-août, 1993.

CINCOTTO, M. A. Argamassas: pontos para reflexão e debate. **Revista Obra planejamento e construção**. São Paulo, n. 96, p.19-20, nov., 1997.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1999, Vitória/ES. **Anais...** Vitória: PPGEC/ANTAC, v.1, p. 59-68, 1999.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT 2378), 1995. 118 p. Boletim Técnico, 68 IPT, 1995.

CORINALDESI, V.; MONOSI, S.; MORICONI, G. **Effect of different recycled aggregates on mortar performance** In: Sustainable Construction Materials and Technologies – Chun, Claisse, Naik & Ganjian (eds) Taylor & Francis Group, London, 2007, p. 59-62

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. Brasília, 2002. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 nov., 2002. Atualizada pela Resolução 448 em 2012.

DA SILVA, N. G.; GLEIZE, P. J. P., GOMES, L. A. Metodologia para avaliação da fissuração em revestimento de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2009, 8, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 8, 2009.

DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B.; LOVATO, P.; CABRAL, A. E. B. Componentes com agregado reciclado para habitação de interesse social. In: BARBOSA, A. S.; SAVASTANO, H. (Org.). **Tecnologias construtivas inovadoras e gestão produtiva.** Porto Alegre: ANTAC, 2009, Coletânea Habitare, v. 8, p. 26-59.

DUAILIBE, G. J. **Avaliação de propriedades hidrodinâmicas em materiais granulares e argamassas com cinza pesada e agregado reciclado.** 2008. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

EN 1052-3: Methods of test for masonry. Determination of initial shear strength. 2002.

EN 13139: Aggregates for mortar. 2002.

FIORITO, A. **Manual de Argamassas e Revestimentos:** Estudos e procedimentos de execução. São Paulo: PINI, 232 p., 2009.

GONÇALVES, S. R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa:** estudo de caso. 2004. 148p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. Uso do 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: 1996, p. 107-115.

HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry.** Londres: E & FN Spon, 1992.

HANSEN, T. C.; BOEGH, E. Elasticity and drying shrinkage of recycled-aggregate concrete. **Journal American Concrete Institute**, Detroit, MI, v.82, n.5, p. 648-652, set./out. 1985.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International**, Detroit, MI, v.5, n.1, p.79-83, jan. 1983.

HENGEN, M. F., Avaliação do Plano de Gerenciamento dos RCC em Santa Maria. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2012, 3, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves: Fundação ProAmb, 2012.

HENZ C. L. **Análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento**. Trabalho final de graduação. Porto Alegre, novembro 2009.

IBGE, Censo 2010.

JADOVSKI, I. ; MASUERO, A. Estudo dos custos de implantação, operação e manutenção de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, 11, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: ENTAC, 2006.

JIMÉNEZ, J.R., AYUSO J. LÓPEZ M., FERNÁNDEZ J.M., BRITO J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. **Construction and Building Materials** 40, 2013, p. 679–690.

JOCHEM, L. F., **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD**: características físicas e propriedades da microestrutura. 2012, 221 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

KOU S.C; POON C. S. Effects of different kinds of recycled fine aggregate on properties of rendering mortar. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, Vol. 2, Issue 1 2013 pages 43-57

KOPSCHITZ, P.; FRANCINETE Jr., P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M.. Estudo da retração e do desenvolvimento de Propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, 2, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997.

KOVLER, K.; FROSTIG, Y. **On the problem of cracking in plaster layers** *Construction and building materials*, p.251-258, 1998.

LANDI, F. R. **Argamassas de assentamento e revestimento**. Escola Politécnica da USP/BNH – CEF: Relatório final, ago. 86 – jul. 87, 1987.

Lei dos Crimes Ambientais, 9.605/1998.

LEITE M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001, 270 p., Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. 1997, 145 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999, 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.18, n. 2, p. 169-176, abr./jun., 2013.

LIMA, P. R. L.; LEITE M. B.. Influence of CDW. Recycled Aggregate on Drying Shrinkage of Mortar. **Journal of Civil Engineering**, volume 2, n., 2, p. 53-57. Jun., 2012.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassas para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: EPUSP, 1998.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado muido reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Salvador, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUTRIES, 1994, 5, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, p. 594-607, 1994.

MELO, A. V. S.; FERREIRA, E. de A. M.; COSTA, D. B. Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre: v. 13, n. 3, p. 99-115, jul./set., 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Ibracon, 3ª. Ed, 674 p., 2008.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**. Porto Alegre: v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar., 2009.

MIRANDA, L. F. R. **Fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com agregado reciclado**. 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MIRANDA, L.; SELMO, S. Argamassa com areia de entulho reciclado. **Revista Técnica. São Paulo**, v. 74, p. 68-71, maio, 2003.

MIRANDA, L. F. R., **Contribuição ao Desenvolvimento da Produção e Controle de Argamassas de Revestimento com Areia Reciclada Lavada de Resíduos Classe A da Construção Civil**. 2005. 441 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU). Rio de Janeiro, IBAM, 200 p., 2001.

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

MORICONI, G.; MONOSI, S.; CORINALDESI, V. **Recycled aggregate mortars**. VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005.

NASCIMENTO, R. A.; SELMO, S. M. de S. **Produção de areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**: contribuição ao desenvolvimento de processo via úmida na usina de Socorro/SP, São Paulo 2007. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2007.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSPPCC/ANTAC, p. 129-136.

NENO C.; BRITO J.; VEIGA R. **Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production**. Materials Research. Vol 17, nº1, p. 168-177, 2014.

NETO, J. C. M.. **Gestão de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: RIMA, 2005, 162 p.

OLIVEIRA M. E. D.; CABRAL E. B. **Argamassas de revestimentos produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE Brasil**. Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, n. 41, 21-34 p., Braga, 2011.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. 1986. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos na construção urbana**. 1999. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PIOVEZAN G. T. A. **Avaliação dos Resíduos da Construção Civil (RCC) gerados no Município de Santa Maria**. 2007. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 e sua última regulamentação, por meio de Decreto Presidencial nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. 2013 Abrelpe 114p.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimento de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos.** 2004. 215 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na Construção Habitacional.** Porto Alegre: ANTAC, Coletânea Habitare, v. 4, 2003.

ROCHA J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. In: ROCHA, J.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na Construção Habitacional.** Porto Alegre: ANTAC, Coletânea Habitare, v. 4, 2003.

SANTANA M. J. A.; CARNEIRO A. P.; SAMPAIO T. S. Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento. In: CARNEIRO, A. P. (Org); SCHADACH, I. A. B; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: Projeto entulho bom.** 2001, 312 p., Salvador: EDUFBA, cap. 8, 2001.

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

SELMO, S. M. S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimentos externos de edifícios.** São Paulo, 1991. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 1991.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** 2001. 329 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia.** Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 21-35, out./dez., 2008.

SILVA, N. G. ; GLEIZE, P. J.; GOMES L. A. **Metodologia para avaliação da fissuração em revestimento de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2009, 8, Curitiba/PR. **Anais...**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009a.

SILVA, E. C. R.; MIRANDA, L. F. R.; MELO, D. V. P.; AMORIM NETO, E.; ARAÚJO, M. C.; Gomes, T. O., Propriedades de agregados reciclados produzidos a partir de RCD gerado em canteiros de obras de Recife/PE para uso em argamassas. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Curitiba/PR . **Anais...**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009b.

SILVA, E. C. R.; BEZERRA, A. J. V.; DA SILVA, C. F. C.; MIRANDA, L. F. R. **Desempenho de revestimentos de argamassa com areias recicladas produzidas em canteiro de obras.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2011, 9, Belo Horizonte/MG. **Anais...**, Belo Horizonte: Universidade Federal de Juiz de Fora e Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SILVA F. G. S.; BAUER E. **Avaliação da fissuração em argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2009, 8, Curitiba/PR. **Anais...**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009c.

SILVA J.; DE BRITO J.; VEIGA MR. **Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production**. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2010; 22(3):236-244.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989, 227 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

SOUSA; BAUER, E. Estudo da reologia das argamassas de revestimento no estado fresco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2002, Natal/RN., **Anais...**, Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 571-577 p., 2002.

SABBATINI, F. H. O uso da cal em argamassas de assentamento. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL: O USO DA CAL NA ENGENHARIA CIVIL, 5, 1985. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: EPUSP/ABPC, p. 37-46, 1985

THE ECONOMIST, revista on line, 7 de junho 2012.

VEGAS, I.; AZKARATE, I.; JUARRERO, A.; FRÍAS, M. **Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón**. *Materiales de Construcción*, Vol. 59, p.5-18, jul./set., 2009.

WESTERHOLM M.; LAGERBLAD B.; SILFWERBRAND J.; ERIC F. **Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars**. *Cement and Concrete Composites*, Volume 30, Issue 4, p. 274–282, Abril, 2008.

What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management The World Bank Urban development series knowledge papers - Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata March 2012, No. 15, 116p

Site <http://www.abcp.org.br/> acessado em junho de 2014

Site <http://www.abrecon.org.br/> acessado em julho de 2014

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**: MDT/UFSM. Editora da UFSM, 8ª ed., Santa Maria, 2012, 72 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Caracterização dos agregados

A.1. Traço utilizado

Traço: 1:2:8 em volume

$V_{\text{areia úmida}} = (\text{massa da areia} / \text{massa unitária}) \times C_i$ (coeficiente de inchamento)

$C_i = 1,24$ adimensional

$8 \text{ dm}^3 / 1,24 = \text{massa da areia} / \text{massa unitária da areia}$

$8 / 1,24 = 6,45 \text{ dm}^3$ então $6,45 \times \text{massa unitária} (1,6 \text{ kg/dm}^3) = 10,32 \text{ kg}$

Traço em massa : 1: 1,18:10,32

A.2. Composição granulométrica dos agregados

Granulometria do agregado natural

Peneiras	1ª determinação		2ª determinação		% retida média	% retida acumulada
	peso retido	% retida	peso retido	% retida		
9,5	0	0,0	0	0,0		
6,3	0	0,0	0	0,0		
4,75	6,5	0,6	5,8	0,6	1	1
2,36	19,9	2,0	19	1,9	2	3
1,2	41,6	4,1	38,3	3,8	4	7
0,6	156,1	15,5	155,6	15,4	15	22
0,3	472,6	47,1	499,2	49,3	48	70
0,15	242,4	24,1	227,9	22,5	23	93
<	65,1	6,5	65,9	6,5		
TOTAL	1004,20	100,0	1011,70	100,0		196
Diâmetro máximo: 2,36			Módulo de finura: 1,96			

Granulometria do agregado reciclado

Peneiras	1ª determinação		2ª determinação		% retida média	% retida acumulada
	peso retido	% retida	peso retido	% retida		
9,5	0	0	0			
6,3	0	0	0			
4,75	0,47	0%	0,35	0%	0%	0
2,36	23	8%	24,19	8%	8%	8
1,2	57,02	19%	51,3	17%	18%	26
0,6	43,9	15%	42,12	14%	14%	41
0,3	66,92	22%	66,14	22%	22%	63
0,15	60,3	20%	60,66	20%	20%	83
<	49,1	16%	51,42	17%	17%	-
TOTAL	300,71	100%	296,18	100%		221
Diâmetro máximo: 4,75			Módulo de finura: 2,21			

APÊNDICE B - Dados e resultados dos ensaios de argamassa no estado fresco

B.1. Manutenção da consistência

Argamassa	medição	inicial	30 min	1h
REF	1	242	244	240
	2	242	242	240
	3	245	240	236
	média	243	242	239
20 % SF	1	234	218	218
	2	230	214	214
	3	234	215	211
	média	233	216	214
20 % CF	1	247	232	211
	2	248	239	218
	3	240	235	220
	média	24,5	235	216
30 % SF	1	241	233	223
	2	243	235	227
	3	246	238	225
	média	243	235	225
30 % CF	1	250	228	217
	2	247	227	220
	3	245	225	225
	média	247	227	221
40 % SF	1	241	218	216
	2	245	219	215
	3	235	228	217
	média	240	222	216
40 % CF	1	243	231	215
	2	245	230	222
	3	245	228	219
	média	244	230	219
50 % SF	1	242	215	205
	2	235	215	216
	3	234	221	210
	média	237	217	21,0
50 % CF	1	243	226	222
	2	251	229	222
	3	240	225	220
	média	245	227	221

B.2. Índice de Consistência

Índice de consistência – Dados das leituras com paquímetro									
	Ref.	20% SF	20% CF	30% SF	30% CF	40% SF	40% CF	50% SF	50% CF
1	242	238	247	241	250	241	243	242	243
2	242	237	248	243	247	245	245	235	251
3	245	239	240	246	245	235	245	234	240
Média	243	238	245	243	247	240	244	237	245

B.3. Retenção de água

Retenção de água - Dados coletados no ensaio em gramas (g) e resultados									
	Ref.	20% SF	20% CF	30% SF	30% CF	40% SF	40% CF	50% SF	50% CF
Prato + papel-filtro (mv)	598,1	598,7	597,3	597,4	598,5	597,3	598,6	596,7	598,4
Prato + papel-filtro + argamassa (ma)	1874,6	1858,3	1811,8	1847,1	1838,9	1834,6	1841,3	1844,9	1824,2
Após 15 minutos (ms)	1845,1	1826,7	1784,0	1819,6	1816,0	1803,3	1815,9	1826,0	1801,0
Água adicionada na argamassa (mw)	450	475	465	485	495	500	510	510	515
(m)	2500	2470,8	2470,8	2456,2	2456,2	2441,4	2441,4	2426,7	2426,7
Retenção (%)	85	84	86	87	88	87	88	91	90

B.4. Densidade de massa e teor de ar incorporado

Densidade de massa e teor de ar incorporado – Dados do ensaio e resultados									
	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Leitura mc (g)	1661,8	1650,4	1640,6	1644,1	1637,8	1632,5	1629,3	1625,9	1627,2
Densidade de massa (kg/m ³)	2.006	1.977	1.953	1.961	1.946	1.932	1.924	1.916	1.919
Teor de ar (%)	5,2%	5,1%	6,1%	4,7%	5,4%	5,2%	5,6%	5,1%	5,3%

Volume : 400cm³ Massa do recipiente vazio: 859,5g

APÊNDICE C - Dados e resultados dos ensaios de argamassa no estado endurecido

C.1. Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: REF 7 dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	28	438	1,03	1a	3.300	2,06
				1b	3.000	1,88
2	25	397	0,93	2a	3.200	2,00
				2b	3.100	1,94
3	27	424	0,99	3a	3.300	2,06
				3b	2.900	1,81
Média			1,0			2,0
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,05			0,15

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: REF 14 dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	36	548	1,28	1a	3.600	2,25
				1b	3.700	2,31
2	35	534	1,25	2a	3.500	2,19
				2b	3.900	2,44
3	33	506	1,19	3a	3.400	2,13
				3b	4.000	2,50
Média			1,2			2,3
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,04			0,20

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: REF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	36	548	1,28	1a	4.000	2,50
				1b	4.300	2,69
2	35	534	1,25	2a	3.800	2,38
				2b	3.900	2,44
3	35	534	1,25	3a	3.800	2,38
				3b	3.900	2,44
Média			1,3			2,5
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,01			0,32

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%SF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	23	369	0,87	1a	4.000	2,50
				1b	3.900	2,44
2	23	369	0,87	2a	4.300	2,69
				2b	4.400	2,75
3	22	355	0,83	3a	3.900	2,44
				3b	4.200	2,63
Média			0,9			2,6
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,02			0,14

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%SF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	26	410	0,96	1a	5.400	3,38
				1b	5.200	3,25
2	27	424	0,99	2a	5.000	3,13
				2b	5.100	3,19
3	28	438	1,03	3a	5.300	3,31
				3b	5.100	3,19
Média			1,0			3,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,14

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%SF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	36	548	1,28	1a	5.600	3,50
				1b	5.400	3,38
2	36	548	1,28	2a	6.300	3,94
				2b	6.000	3,75
3	34	520	1,22	3a	5.700	3,56
				3b	5.900	3,69
Média			1,3			3,6
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,04			0,30

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%SF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	23	369	0,87	1a	3.900	2,44
				1b	3.900	2,44
2	21	342	0,80	2a	3.600	2,25
				2b	3.600	2,25
3	22	355	0,83	3a	3.600	2,25
				3b	3.700	2,31
Média			0,8			2,3
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,11

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%SF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	36	548	1,28	1a	4.800	3,00
				1b	5.300	3,31
2	31	479	1,12	2a	5.100	3,19
				2b	5.400	3,38
3	38	575	1,35	3a	4.900	3,06
				3b	4.900	3,06
Média			1,3			3,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,13			0,17

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%SF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	35	534	1,25	1a	6.300	3,94
				1b	6.000	3,75
2	43	644	1,51	2a	7.000	4,38
				2b	6.300	3,94
3	35	534	1,25	3a	6.600	4,13
				3b	6.600	4,13
Média			1,3			4,0
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,17			0,33

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%SF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	23	369	0,87	1a	3.500	2,19
				1b	3.700	2,31
2	23	369	0,87	2a	3.400	2,13
				2b	3.400	2,13
3	24	383	0,90	3a	3.500	2,19
				3b	3.500	2,19
Média			0,9			2,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,01			0,13

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%SF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	33	506	1,19	1a	4.800	3,00
				1b	5.100	3,19
2	33	506	1,19	2a	4.900	3,06
				2b	4.700	2,94
3	37	561	1,32	3a	5.300	3,31
				3b	5.500	3,44
Média			1,2			3,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,09			0,28

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%SF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	44	657	1,54	1a	6.200	3,88
				1b	6.700	4,19
2	39	589	1,38	2a	6.100	3,81
				2b	6.700	4,19
3	40	602	1,41	3a	6.000	3,75
				3b	6.100	3,81
Média			1,4			3,9
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,10			0,25

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 50%SF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	22	355	0,83	1a	4.000	2,50
				1b	4.000	2,50
2	22	355	0,83	2a	3.800	2,38
				2b	3.800	2,38
3	23	369	0,87	3a	3.700	2,31
				3b	3.900	2,44
Média			0,8			2,4
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,02			0,08

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 50%SF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	28	438	1,03	1a	5.500	3,44
				1b	5.700	3,56
2	35	534	1,25	2a	6.000	3,75
				2b	5.500	3,44
3	35	534	1,25	3a	5.100	3,19
				3b	5.400	3,38
Média			1,2			3,5
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,15			0,27

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 50%SF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	51	753	1,77	1a	6.500	4,06
				1b	7.200	4,50
2	48	712	1,67	2a	6.900	4,31
				2b	6.900	4,31
3	45	671	1,57	3a	6.300	3,94
				3b	7.100	4,44
Média			1,7			4,3
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,10			0,32

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%CF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	21	342	0,80	1a	4.800	3,00
				1b	4.800	3,00
2	20	328	0,77	2a	4.100	2,56
				2b	4.900	3,06
3	22	355	0,83	3a	4.700	2,94
				3b	4.200	2,63
Média			0,8			2,9
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,07

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%CF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	32	493	1,15	1a	5.200	3,25
				1b	5.100	3,19
2	33	506	1,19	2a	5.000	3,13
				2b	5.300	3,31
3	20	328	0,77	3a	4.600	2,88
				3b	5.000	3,13
Média			1,0			3,1
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,27			0,27

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 20%CF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	34	520	1,22	1a	5.200	3,25
				1b	5.100	3,19
2	30	465	1,09	2a	5.000	3,13
				2b	5.300	3,31
3	31	479	1,12	3a	5.100	3,19
				3b	5.000	3,13
Média			1,1			3,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,08			0,11

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%CF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	21	342	0,80	1a	4.000	2,50
				1b	4.200	2,63
2	19	314	0,74	2a	3.900	2,44
				2b	4.100	2,56
3	25	397	0,93	3a	4.300	2,69
				3b	3.900	2,44
Média			0,8			2,5
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,07

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%CF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	24	383	0,90	1a	3.800	2,38
				1b	4.300	2,69
2	25	397	0,93	2a	3.900	2,44
				2b	4.600	2,88
3	20	328	0,77	3a	4.200	2,63
				3b	4.500	2,81
Média			0,9			2,6
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,10			0,26

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 30%CF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	34	520	1,22	1a	4.400	2,75
				1b	4.500	2,81
2	30	465	1,09	2a	4.500	2,81
				2b	4.600	2,88
3	31	479	1,12	3a	4.300	2,69
				3b	4.500	2,81
Média			1,1			2,8
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,08			0,11

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%CF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	22	355	0,83	1a	4.700	2,94
				1b	4.600	2,88
2	20	328	0,77	2a	4.900	3,06
				2b	4.400	2,75
3	21	342	0,80	3a	4.300	2,69
				3b	4.400	2,75
Média			0,8			2,8
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,22

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%CF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	32	493	1,15	1a	4.900	3,06
				1b	4.800	3,00
2	30	465	1,09	2a	5.300	3,31
				2b	5.000	3,13
3	23	369	0,87	3a	4.300	2,69
				3b	4.900	3,06
Média			1,0			3,0
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,17			0,35

Resistência à tração na flexão e a compressão axial						
Argamassa: 40%CF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	30	465	1,09	1a	4.900	3,06
				1b	5.200	3,25
2	33	506	1,19	2a	5.300	3,31
				2b	4.900	3,06
3	34	520	1,22	3a	5.100	3,19
				3b	4.900	3,06
Média			1,2			3,2
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,08			0,16

Resistência à tração na flexão e compressão axial 7, 14 e 28 dias

Resistência à tração na flexão e a compressão axial Argamassa: 50%CF 7dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	21	342	0,80	1a	3.400	2,13
				1b	3.800	2,38
2	20	328	0,77	2a	4.200	2,63
				2b	4.300	2,69
3	21	342	0,80	3a	4.000	2,50
				3b	4.400	2,75
Média			0,8			2,5
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,03			0,39

Resistência à tração na flexão e a compressão axial Argamassa: 50%CF 14dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	28	438	1,03	1a	4.000	2,50
				1b	4.200	2,63
2	30	465	1,09	2a	4.300	2,69
				2b	4.800	3,00
3	22	355	0,83	3a	3.600	2,25
				3b	3.600	2,25
Média			1,0			2,6
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,15			0,45

Resistência à tração na flexão e a compressão axial Argamassa: 50%CF 28dias						
CP	Leitura (mm)	Carga Flexão (N)	Tensão (MPa)	CP	Carga Compressão (N)	Tensão (MPa)
1	31	479	1,12	1a	4.200	2,63
				1b	4.400	2,75
2	34	520	1,22	2a	4.300	2,69
				2b	4.900	3,06
3	33	506	1,19	3a	4.100	2,56
				3b	4.500	2,81
Média			1,2			2,8
Desvio Absoluto Máximo (MPa)			0,05			0,31

Resultados médios de resistência à tração na flexão e compressão axial aos 28 dias.

Resistência média a tração na flexão (MPa)									
Idade	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
7 d	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
14d	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	1,2	1,1	1,2	0,9
28d	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,4	1,2	1,7	1,2

Resistência média à compressão axial (MPa)									
Idade	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
7 d	2,0	2,6	2,9	2,3	2,5	2,2	2,8	2,4	2,5
14 d	2,1	3,2	3,1	3,2	2,6	3,2	3,0	3,5	2,6
28 d	2,4	3,6	3,2	4,0	2,8	3,9	3,2	4,3	2,8

C.2. Potencial de aderência à tração em substratos padrão

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento Argamassa:REF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	525	50	1963,50	0,27			100		22
2	623	50	1963,50	0,32			100		23
3	624	50	1963,50	0,32			100		22
4	530	50	1963,50	0,27			100		23
5	545	50	1963,50	0,28			100		22
6	613	50	1963,50	0,31			100		22
7	684	50	1963,50	0,35			100		23
8	523	50	1963,50	0,27			100		22
9	560	50	1963,50	0,29			100		22
10	677	50	1963,50	0,34			100		22
MÉDIA				0,30					

S é a ruptura no substrato - S/A é a ruptura na interface substrato argamassa - A é a ruptura na argamassa
F é a falha na colagem da peça metálica - * ruptura na argamassa superficial

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento Argamassa: 20% SF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	274	50	1963,50	0,14* ¹			100		22
2	613	50	1963,50	0,31			100		23
3	537	50	1963,50	0,27			100		22
4	566	50	1963,50	0,29			100		23
5	599	50	1963,50	0,31			100		22
6	523	50	1963,50	0,27			100		22
7	525	50	1963,50	0,27		90	10		23
8	426	50	1963,50	0,22		70	30		22
9	516	50	1963,50	0,26			100		22
10	267	50	1963,50	0,14* ²			100		22
MÉDIA				0,274					

Potencial de aderência à tração em substratos padrão

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 20% CF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	412	50	1963,50	0,21			100*		22
2	833	50	1963,50	0,42* ¹			100		23
3	546	50	1963,50	0,28			100		22
4	492	50	1963,50	0,25			100		23
5	359	50	1963,50	0,18			100*		22
6	584	50	1963,50	0,30			100*		22
7	572	50	1963,50	0,29			100*		23
8	596	50	1963,50	0,30			100*		22
9	545	50	1963,50	0,28			100*		22
10	394	50	1963,50	0,20			100*		22
MÉDIA				0,25					

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 30% SF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	180	50	1963,50	0,09* ¹			100		22
2	222	50	1963,50	0,11* ²			100		23
3	294	50	1963,50	0,15* ⁴			100		22
4	490	50	1963,50	0,25		10	90		23
5	758	50	1963,50	0,39			100		22
6	282	50	1963,50	0,14* ³			100		22
7	529	50	1963,50	0,27		50	50		23
8	697	50	1963,50	0,35			100		22
9	698	50	1963,50	0,36			100		22
10	544	50	1963,50	0,28			100		22
MÉDIA				0,31					

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 30% CF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	330	50	1963,50	0,17* ²		100			22
2	583	50	1963,50	0,30			100*		23
3	613	50	1963,50	0,31			100*		22
4	587	50	1963,50	0,30			100*		23
5	422	50	1963,50	0,21			100*		22
6	275	50	1963,50	0,14* ¹		100			22
7	490	50	1963,50	0,25			100*		23
8	684	50	1963,50	0,35			100*		22
9	433	50	1963,50	0,22			100*		22
10	617	50	1963,50	0,31			100*		22
MÉDIA	330			0,28					

Potencial de aderência à tração em substratos padrão

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 40% SF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	430	50	1963,50	0,22			100		22
2	641	50	1963,50	0,33			100		23
3	674	50	1963,50	0,34* ¹			100		22
4	513	50	1963,50	0,26			100		23
5	575	50	1963,50	0,29			100		22
6	364	50	1963,50	0,19			100		22
7	358	50	1963,50	0,18		70	30		23
8	487	50	1963,50	0,25			100		22
9	522	50	1963,50	0,27			100		22
10	438	50	1963,50	0,22			100		22
MÉDIA				0,25					

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 40% CF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	779	50	1963,50	0,40* ¹			100*		22
2	515	50	1963,50	0,26			100*		23
3	652	50	1963,50	0,33			100*		22
4	473	50	1963,50	0,24			100*		23
5	549	50	1963,50	0,28			100*		22
6	540	50	1963,50	0,28			100*		22
7	587	50	1963,50	0,30			100*		23
8	435	50	1963,50	0,22			100*		22
9	491	50	1963,50	0,25			100*		22
10	704	50	1963,50	0,36			100*		22
MÉDIA				0,28					

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento									
Argamassa: 50% SF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	518	50	1963,50	0,26			100		22
2	458	50	1963,50	0,23			100		23
3	471	50	1963,50	0,24			100		22
4	618	50	1963,50	0,31			100		23
5	631	50	1963,50	0,32		100			22
6	541	50	1963,50	0,28		100			22
7	518	50	1963,50	0,26			100		23
8	448	50	1963,50	0,23			100		22
9	613	50	1963,50	0,31			100		22
10	541	50	1963,50	0,28			100		22
MÉDIA				0,27					

Resistência potencial de aderência à tração - Ensaio de arrancamento - Argamassa: 50% CF									
CP	CARGA	D (mm)	SEÇÃO (mm ²)	TENSÃO (MPa)	FORMA DE RUPTURA				ESPESSURA
					S	S/A	A	F	
1	725	50	1963,50	0,37			100*		22
2	684	50	1963,50	0,35			100*		23
3	308	50	1963,50	0,16*			100*		22
4	462	50	1963,50	0,24			100*		23
5	436	50	1963,50	0,22		100			22
6	717	50	1963,50	0,37		100			22
7	548	50	1963,50	0,28			100*		23
8	718	50	1963,50	0,37			100*		22
9	635	50	1963,50	0,32			100*		22
10	FALHA	50	1963,50					x	22
MÉDIA				0,32					

C.3. Densidade aparente no estado endurecido

Argamassa	CP	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Massa (g)	Densidade Kg/m ³
REF	1	15,95	4,1	3,90	496,4g	1946
	2	15,95	4,0	4,0	495,3g	1940
	3	16,0	3,95	4,0	492,8g	1949
	Média					1945
20% SF	1	16,05	4,0	4,1	482,4	1833
	2	16,0	4,05	4,1	485,0	1825
	3	16,0	4,0	4,1	479,0	1825
	Média					1827
20% CF	1	16,0	4,0	4,0	484,2	1891
	2	16,1	3,95	4,0	479,7	1886
	3	16,0	4,0	4,0	483,0	1887
	Média					1888
30% SF	1	15,95	4,00	4,00	474,4	1858
	2	15,9	4,0	3,9	462,0	1862
	3	15,95	4,00	3,95	472,9	1876
	Média					1865
30%CF	1	16,0	3,95	3,95	478,7	1893
	2	16,15	3,95	4,0	481,6	1887
	3	16,05	4,0	3,95	480,3	1894
	Média					1891
40%SF	1	15,85	4,10	3,95	459,5	1790
	2	15,90	4,10	3,9	457,3	1798
	3	15,85	4,10	3,9	457,6	1805
	Média					1798
40% CF	1	15,9	3,9	3,9	459,7	1901
	2	16,0	3,9	3,9	458,1	1906
	3	15,9	3,9	3,85	457,7	1917
	Média					1908
50%SF	1	16,05	4,0	3,95	467,0	1841
	2	16,05	3,95	3,95	465,1	1857
	3	16,15	3,9	3,9	460,7	1852
	Média					1850
50% CF	1	16,0	4,0	3,9	465,5	1795
	2	16,15	4,1	4,0	463,2	1792
	3	16,2	4,1	4,0	470,4	1781
	Média					1789

C.4. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Módulo de elasticidade dinâmico - Dados do ensaio							
	CP	M (g)	L			t	V
Ref	1	496,4	15,95	4,1	3,90	70 - 71 - 71	2,28
	2	495,3	15,95	4,0	4,0	72,8 - 73,1 - 73,1	2,19
	3	492,8	16,0	4,0	3,95	76,2 - 76 - 76	2,10
20%SF	1	482,4	16,05	4,0	4,1	75,1 - 76,4 - 76	2,14
	2	485,0	16,0	4,05	4,1	74,3 - 74,4 - 73,9	2,16
	3	479,0	16,0	3,95	4,0	80,9 - 80,8 - 81	2,00
20% CF	1	484,2	16,05	3,95	3,95	79,1 - 80,7 - 79,5	2,02
	2	479,7	16,1	3,95	4,0	79,9 - 80,1 - 79,7	2,02
	3	483,0	16,0	4,0	4,0	85,1 - 84,6 -	1,89
30%SF	1	474,4	15,95	4,0	4,0	86,3 - 86 - 86,2	1,85
	2	462,0	15,90	4,0	3,9	88,9 - 88,7 - 88,6	1,79
	3	472,9	15,95	4,0	4,0	86,1 - 86,3 - 85,8	1,86
30%CF	1	478,7	16,0	4,0	3,95	75 - 75,1 - 75,1	2,13
	2	481,6	16,15	3,95	4,0	74 - 74,5 - 74,4	2,18
	3	480,3	16,05	4,0	3,95	75,3 - 75,1 - 75,1	2,13
40%SF	1	459,5	15,85	4,1	3,95	81,4 - 82,4 - 82,6	1,95
	2	457,3	15,9	4,1	3,9	83 - 83,1 - 82,7	1,91
	3	457,6	15,85	4,1	3,9	86,5 - 86,2 - 86,3	1,84
40% CF	1	459,7	15,9	3,9	3,9	87,5 - 87,3 - 87,1	1,82
	2	458,1	16	3,85	3,9	85,5 - 85,3 - 85,1	1,88
	3	457,7	15,9	3,9	3,85	86,8 - 87 - 86,4	1,84
50%SF	1	467,0	16,05	4	3,95	91,0 - 91,8 - 90,4	1,77
	2	465,1	16,05	3,95	3,95	86,5 - 85,8 - 85,4	1,85
	3	460,7	16,05	3,95	3,9	86,9 - 86,6 - 87	1,85
50%CF	1	465,5	16	4,0	4,0	86,4 - 86,2 - 85,5	1,87
	2	463,2	16,15	4,1	4,0	81,4 - 81,3 - 80,9	1,99
	3	470,4	16,2	4,1	4,0	81,4 - 81,3 - 81,3	1,99

Resultados de Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)									
CP	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
Cp1	9104	7555	6944	5723	7729	6125	5667	5190	5649
Cp2	8373	7663	6926	5369	7844	5903	6062	5720	6386
Cp3	7735	6570	6066	5841	7733	5500	5841	5704	6347
Média	8404	7262	6645	5644	7844	5843	5856	5538	6127

C.5. Variação dimensional e variação de massa

Variação dimensional e variação de massa – Resultados							
Argamassa	CP	0 A 1 DIA		0 A 7 DIAS		0 A 28 DIAS	
		Variação dimensional mm/m	Variação de massa %	Variação dimensional mm/m	Variação de massa %	Variação dimensional mm/m	Variação de massa %
Ref	1	-0,20	-6,91	-0,60	-8,28	-0,68	-8,36
	2	-0,20	-6,92	-0,72	-8,32	-0,84	-8,45
	3	-0,32	-6,44	-0,76	-7,80	-0,84	-7,91
	4	-0,40	-6,89	-0,80	-8,24	-0,88	-8,32
	Média	-0,28	-6,79	-0,72	-8,16	-0,81	-8,26
	Desvio A. Max	0,12	-0,35	0,12	-0,36	0,13	-0,35
20%SF	1	-0,32	-9,28	-0,84	-10,87	-1,00	-10,94
	2	-0,28	-9,08	-0,88	-10,79	-1,00	-10,89
	3	-0,28	-9,10	-0,84	-10,83	-0,96	-10,91
	4	-0,24	-9,04	-0,72	-10,75	-0,92	-10,85
	Média	-0,28	-9,12	-0,82	-10,80	-0,97	-10,90
	Desvio A. Max	0,04	0,16	0,10	0,07	0,05	-0,05
20%CF	1	-0,20	-9,37	-1,16	-11,73	-1,32	-11,84
	2	-0,12	-9,36	-1,00	-11,78	-1,16	-11,88
	3	-0,16	-9,34	-0,96	-11,76	-1,16	-11,83
	4	-0,20	-9,51	-0,96	-11,70	-1,20	-11,81
	Média	-0,17	-9,39	-1,02	-11,74	-1,21	-11,84
	Desvio A. Max	-0,05	0,12	0,10	0,04	0,11	0,04
30%SF	1	-0,28	-7,87	-0,96	-9,56	-1,04	-9,69
	2	-0,24	-8,60	-0,96	-10,42	-1,08	-10,57
	3	-0,20	-8,86	-0,96	-10,75	-1,04	-10,91
	4	-0,40	-9,04	-1,04	-10,90	-1,08	-11,01
	Média	-0,28	-8,59	-0,98	-10,69	-1,06	-10,54
	Desvio A. Max	0,12	-0,72	0,06	-0,27	-0,02	-0,85
30%CF	1	-0,48	-9,90	-1,40*	-11,80	-1,52	-11,93
	2	-0,32	-9,87	-1,16	-11,83	-1,32	-11,95
	3	-0,32	-9,69	-1,08	-11,76	-1,44	-11,91
	4	-0,32	-9,67	-1,12	-11,64	-1,20	-11,77
	Média	-0,36	-9,78	-1,12	-11,76	-1,37	-11,89
	Desvio A. Max	0,12	0,12	-0,04	-0,12	-0,17	-0,12

Variação dimensional e variação de massa – Resultados							
Argamassa	CP	0 A 1 DIA		0 A 7 DIAS		0 A 28 DIAS	
		Variação dimensional mm/m	Variação de massa %	Variação dimensional mm/m	Variação de massa %	Variação dimensional mm/m	Variação de massa %
40%SF	1	-0,48	-9,98	-0,90	-11,68	-0,96	-11,76
	2	-0,56	-10,02	-1,04	-11,77	-1,12	-11,88
	3	-0,32	-10,13	-1,00	-11,88	-1,08	-11,93
	4	-0,34	-10,17	-0,94	-11,87	-0,98	-11,92
	Média	-0,42	-10,07	-0,97	-11,80	-1,03	-11,87
	Desvio A. Max	0,14	0,10	0,08	-0,12	-0,07	-0,11
40%CF	1	-0,44	-9,93	-1,20	-11,83	-1,40	-11,91
	2	-0,24	-10,06	-1,28	-12,04	-1,40	-12,12
	3	-0,44	-10,04	-1,24	-12,01	-1,40	-12,06
	4	-0,34	-9,88	-1,20	-11,85	-1,40	-11,92
	Média	-0,36	-9,98	-1,23	-11,93	-1,40	-12,00
	Desvio A. Max	-0,12	-0,09	0,05	0,11	0,00	0,12
50%SF	1	-0,34	-10,22	-0,94	-12,22	-1,10	-12,30
	2	-0,40	-10,30	-1,04	-12,30	-1,16	-12,38
	3	-0,44	-10,33	-1,12	-12,32	-1,28	-12,39
	4	-0,40	-10,18	-1,08	-12,12	-1,20	-12,22
	Média	-0,39	-10,26	-1,05	-12,24	-1,19	-12,32
	Desvio A. Max	0,05	-0,08	-0,11	-0,12	0,09	-0,10
50%CF	1	-0,72	-11,09	-1,40	-12,30	-1,56	-12,43
	2	-0,80	-10,66	-1,44	-11,87	-1,56	-12,00
	3*	-0,86	-11,52	-1,50	-12,70	-1,66	-12,83
	4	-0,72	-11,14	-1,42	-12,52	-1,53	-12,65
	Média	-0,77	-11,10	-1,44	-12,35	-1,58	-12,48
	Desvio A. Max	0,09	-0,44	0,06	-0,47	-0,05	0,35

C.6. Absorção de água por Capilaridade e coeficiente de capilaridade

Absorção de água por Capilaridade e coeficiente de capilaridade - Dados e resultados							
Argamassa	CP	M ₀ (g)	M ₁₀ (g)	M ₉₀ (g)	Absorção 10min	Absorção 90min	Coef. De capilaridade
REF	1	491,87	505,24	527,50	0,84	2,22	22,3
	2	494,48	508,54	530,74	0,87	2,27	22,2
	3	496,21	510,32	532,91	0,88	2,29	22,6
	Média				0,86	2,26	22,4
20%SF	1	484,72	498,16	518,72	0,84	2,13	20,6
	2	482,51	496,01	516,67	0,84	2,13	20,7
	3	480,93	494,02	514,93	0,82	2,12	20,9
	Média				0,83	2,13	20,7
20%CF	1	488,5	503,7	527,5	0,95	2,44	23,8
	2	486,4	502,5	526,9	1,0	2,53	24,4
	3	487,8	503,3	526,8	0,97	2,44	23,5
	Média				0,97	2,47	23,9
30% SF	1	475,75	490	512	0,89	2,3	22
	2	476,52	491,1	512,1	0,91	2,2	21
	3	489,37	504,7	527,7	0,96	2,4	23
	Média				0,92	2,3	22
30%CF	1	486,1	503,6	528,8	1,09	2,67	25,2
	2	472,4	489,6	513,7	1,07	2,58	24,1
	3	478,5	495,5	519,4	1,06	2,55	23,9
	Média				1,07	2,6	24,4
40% SF	1	473,10	493,38	516,02	1,26	2,68	22,6
	2	463,62	483,98	506,27	1,27	2,66	22,3
	3	461,5	481,83	504,12	1,27	2,66	22,3
	Média				1,27	2,67	22,4
40% CF	1	458,3	474,2	498,4	1,00	2,51	24,2
	2	459,7	477,1	501,5	1,08	2,61	24,4
	3	464,3	481,4	506,0	1,07	2,61	24,6
	Média				1,05	2,57	24,4
50% SF	1	465,58	483,25	506,73	1,10	2,57	23,5
	2	467,81	488,70	513,37	1,30	2,84	24,7
	3	467,77	484,63	509,47	1,05	2,61	24,8
	Média				1,15	2,67	24,3
50%CF	1	469,3	485,1	509,5	0,98	2,51	24,4
	2	470,9	486,8	510,9	0,99	2,5	24,1
	3	470,7	486,8	510,5	1,00	2,48	23,7
	Média				0,99	2,5	24,1

Médias de Absorção (g/cm³)

	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
10min	0,86	0,83	0,97	0,92	1,07	1,27	1,05	1,15	0,99
90min	2,26	2,13	2,47	2,3	2,6	2,67	2,57	2,67	2,57

	Médias Coeficiente de capilaridade (g/dm².min^{1/2})								
	Ref.	20%SF	20%CF	30%SF	30%CF	40%SF	40%CF	50%SF	50%CF
	22,3	20,6	23,8	22	25,2	22,6	24,2	23,5	24,4
	22,2	20,7	24,4	21	24,1	22,3	24,4	24,7	24,1
	22,6	20,9	23,5	23	23,9	22,3	24,6	24,8	23,7
Média	22,4	20,7	23,9	22,0	24,4	22,4	24,4	24,3	24,1
Desvio rel. Max.	1%	1%	2%	4%	3%	1%	1%	3%	2%

APÊNDICE D – Avaliação de argamassas em um sistema de revestimento

D.1. Ensaio de potencial de aderência à tração em argamassa aplicada à parede de alvenaria



Corte a seco, limpeza e pastilhas coladas



Ensaio de potencial de aderência e argamassas após o ensaio



Pastilhas com as argamassas REF, 30% SF e 30%CF após o ensaio.

Dados e resultados do ensaio complementar de potencial de aderência à tração em paredes de alvenaria

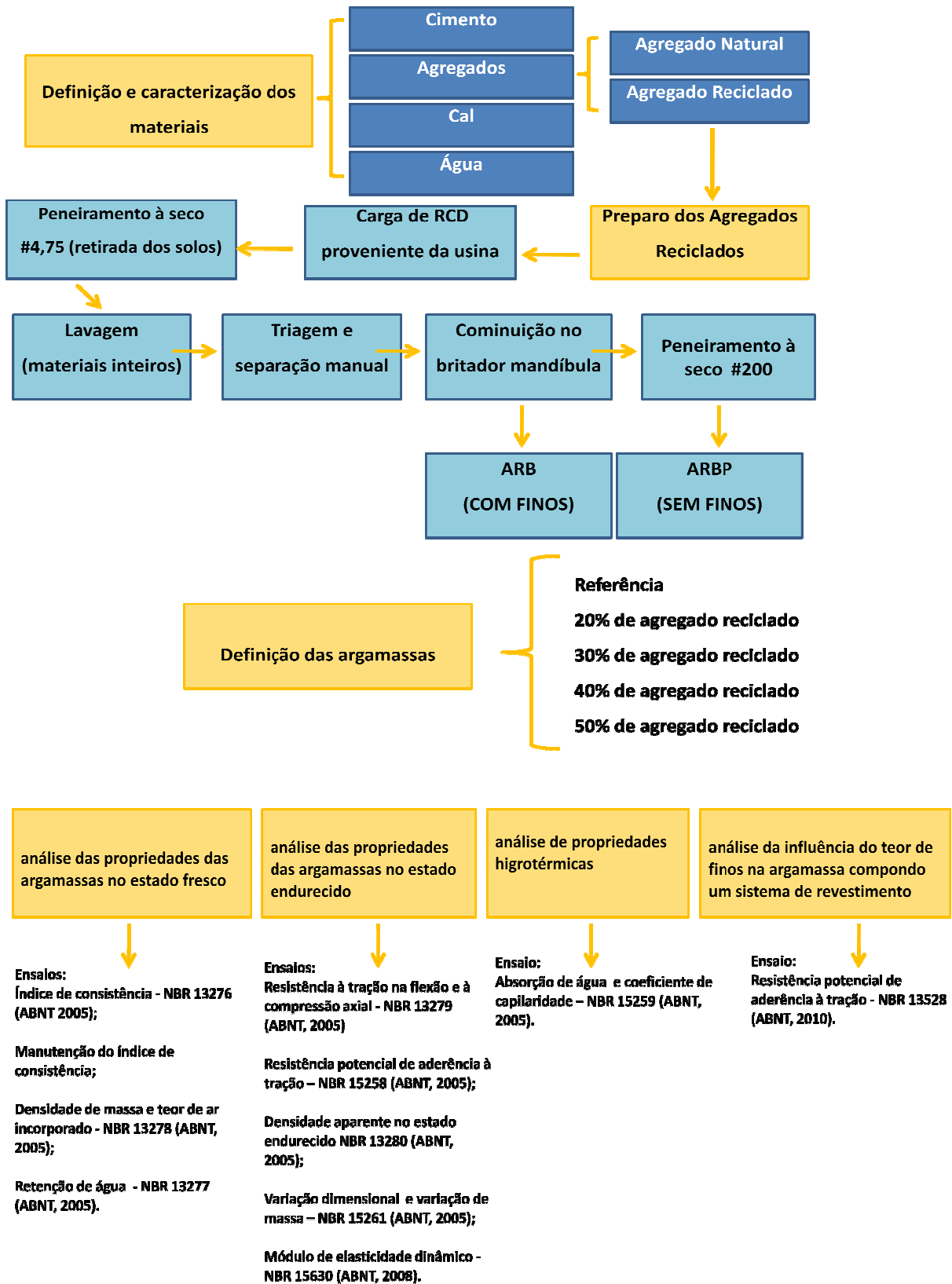
Argamassa Referência – 28 dias														
Corpo de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						
Nº	Esp.	d mm	Área mm ²	Bloco	Junta			A	B	C	D	E	F	G
1	31	50	1963,5	x		424	0,22	40			60			
2	29	50	1963,5		x	1326	0,68				x			
3	27	50	1963,5		x	885	>0,45	x						
4	28	50	1963,5	x		1665	0,85	40			60			
5	29	50	1963,5	x		484	0,25				x			
6	29	50	1963,5	x		868	>0,44	x						
7	29	50	1963,5	x		791	>0,40	x						
8	29	50	1963,5	x		1053	0,54	80			20			
9	28	50	1963,5		x	631	0,32	50			50			
10	31	50	1963,5	x		752	0,38	80			20			
11	31	50	1963,5		x	817	>0,42	x						
12	29	50	1963,5	x		862	0,44				x			

Argamassa 30%SF – 28 dias														
Corpo de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						
Nº	Esp.	d mm	Área mm ²	Bloco	Junta			A	B	C	D	E	F	G
1	30	50	1963,5		x	849	0,43				x			
2	31	50	1963,5	x		893	0,45		20		80			
3	29	50	1963,5		x	814	0,41		x					
4	30	50	1963,5	x		646	0,33		30		70			
5	29	50	1963,5	x		995	>0,51	x						
6	31	50	1963,5		x	603	0,31				x			
7	27	50	1963,5	x		632	0,32				x			
8	30	50	1963,5	x		644	0,33	70			30			
9	29	50	1963,5	x		346	0,18				x			
10	30	50	1963,5	x		1525	0,78				x			
11	30	50	1963,5	x		838	0,43				x			
12	29	50	1963,5	x		570	0,29				x			

Dados e resultados do ensaio complementar de potencial de aderência à tração em paredes de alvenaria

Argamassa 30%CF – 28 dias														
Corpo de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						
Nº	Esp.	d mm	Área mm ²	Bloco	Junta			A	B	C	D	E	F	G
1	32	50	1963,5		x	727	>0,37	x						
2	28	50	1963,5	x		963	0,49				20	80		
3	27	50	1963,5	x		309	0,16				x			
4	27	50	1963,5	x		903	0,46				x			
5	28	50	1963,5	x		1389	0,71		x					
6	29	50	1963,5	x		763	0,39				x			
7	30	50	1963,5		x	1036	>0,53	x						
8	30	50	1963,5	x		1788	0,91		40		60			
9	30	50	1963,5	x		1218	0,62				x			
10	29	50	1963,5		x	810	0,41				x			
11	29	50	1963,5	x		1493	0,76				x			
12	27	50	1963,5		x	1429	0,73		30		70			

APÊNDICE E – Fluxograma do processo experimental



ANEXOS

ANEXO B - Classificação das argamassas

B.1. Classificação das argamassas de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005f).

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

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

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

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

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

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

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

B.2. Classificação MERUC de acordo com o CSTB (1993)

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

Fonte: Henz (2009)