



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MARIA ELANE DIAS DE OLIVEIRA

**AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO:
INFLUÊNCIA EM PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO**

Feira de Santana
Setembro/2012

MARIA ELANE DIAS DE OLIVEIRA

**AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: INFLUÊNCIA EM
PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade
Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Ciências em
Engenharia Civil e Ambiental.**

Orientadores: Prof. Dr. Washington Almeida Moura

Prof^a. Dr^a. Cintia Maria Ariani Fontes

Feira de Santana

Setembro/2012

Maria Elane Dias de Oliveira

**AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: INFLUÊNCIA EM
PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Feira de Santana, 19 de setembro de 2012.

Aprovada por:

Prof. Washington Almeida Moura, D.Sc. (Orientador)
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

Prof^a. Cintia Maria Ariani Fontes, D.Sc. (Orientadora)
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

Prof. Paulo César Correia Gomes, D.Sc.
(Universidade Federal de Alagoas)

Prof^a. Vanessa Silveira Silva, D.Sc.
(Universidade Federal da Bahia)

Prof. José Mário Feitosa Lima, D.Sc.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

DEDICATÓRIA

À minha mãe Maria Gessé *in memoriam* pelo
exemplo de mulher e amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me dar força para alcançar mais um objetivo em minha vida.

A minha mãe por ser minha maior referência de vida, pela força, pelo incentivo, por todo carinho que recebi e por estar ao meu lado grande parte desta jornada. Mãe esta conquista também é sua.

Ao meu pai, meus irmãos, sobrinhos e cunhados que confiaram e torceram por esta conquista alcançada.

Ao Marcelo Pedreira, pelo companheirismo, pela força, pelo incentivo em cada etapa, pela paciência e por ser meu psicólogo. Sua contribuição foi imprescindível para determinação de alguns ensaios. Obrigada por ter encarado essa jornada ao meu lado.

Ao professor Dr. Washington Almeida Moura, que acreditou no meu potencial e aceitou fazer parte deste trabalho como orientador. Ele sempre que podia estava presente na realização dos ensaios realizados e discussão dos resultados. Sua contribuição foi bastante relevante para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho, envolvendo-se e incentivando-me.

A professora Dr. Cintia Maria Ariani Fontes, que também foi minha orientadora nesta jornada. Seu conhecimento influenciou bastante na execução dos ensaios e na interpretação dos resultados.

À CAPES, por ter sido a financiadora deste projeto, sua contribuição foi essencial.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

As minhas amigas Júlia Neves, Bianca Figueirêdo e Dalila Santos pela companhia ao longo desse mestrado. Cada uma participou e contribuiu de modo especial neste trabalho.

Aos meus companheiros também de turma, Saulo Rocha, Rogério de Jesus, Marcelo Pedreira e Magno Mota pela parceria e apoio prestado ao longo desses 2 anos.

Aos funcionários do PPGCEA, Catia, Hebert e principalmente à Mariana que me ajudou nas questões burocrática, sentimental, experimental e por toda a força e incentivo da sua parte.

Aos funcionários do Laboratório de materiais e estrutura, principalmente a Nete que me auxiliou e me ajudou a desenvolver os ensaios realizados. Seu companheirismo e sua dedicação foram muito importantes.

Ao Sr. Zequinha na execução da alvenaria e a aplicação da argamassa de revestimento para o ensaio de aderência. Obrigada pela paciência e pelo companheirismo durante a execução, sua participação foi essencial.

A Suane, a Rosana pela participação do ensaio de aderência e retração e pela companhia nos fins de semana em laboratório. Ao Sr. Nilson por toda a ajuda prestada e ao Jorge pelo auxílio na execução do ensaio de sedimentação e aderência.

Aos meus amigos de Fortaleza, que mesmo distante, torceram pelo meu sucesso e acreditaram no meu potencial.

A Dona Lúcia e Sr. Paulo pelo acolhimento em sua família aqui em Feira de Santana, pelo apoio e incentivo nas horas difíceis.

Aos professores do mestrado que contribuíram para ampliar meus conhecimentos, alargando meu universo de pesquisa.

Aos meus ex-professores de graduação Eduardo, Sérgio, Adeildo, Mariano e Mauricio que me incentivaram a fazer o mestrado.

Enfim, a todos que de forma direta e indiretamente ajudaram, incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: INFLUÊNCIA EM PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO

Maria Elane Dias de Oliveira

Setembro/2012

Orientador: Prof. Dr. Washington Almeida Moura

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cintia Maria Ariani Fontes

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

O consumo excessivo dos recursos naturais na construção civil vem contribuindo para uma maior degradação do meio ambiente. Uma alternativa para minimizar este consumo é a produção de agregado proveniente do resíduo de construção e demolição para produção de concreto e argamassa. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do agregado proveniente de RCD na produção de argamassa de revestimento. Neste sentido o agregado natural foi substituído pelo agregado reciclado nos teores de 0%, 25%, 50% e 75%, em massa. As misturas foram produzidas com o traço 1:6 (cimento:agregado) e o índice de consistência fixado em 295 ± 10 mm. A influência do agregado de RCD foi avaliada através das propriedades no estado fresco (consistência, retenção de água e massa específica) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração, retração por secagem, absorção de água por imersão e absorção por capilaridade). Os resultados mostraram que a retenção de água aumentou com a incorporação de RCD à mistura. No estado endurecido, as argamassas com agregado de RCD apresentaram melhor desempenho mecânico quando comparadas à argamassa com agregado natural, sendo o comportamento mais expressivo para a mistura com 75% de RCD.

Palavras-chave: argamassa de revestimento, agregado reciclado, propriedades das argamassas

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

**RECYCLED AGGREGATE CONSTRUCTION AND DEMOLITION: INFLUENCE ON
PROPERTIES OF MORTAR FOR COATING**

Maria Elane Dias de Oliveira

September/2012

Orientador: Prof. Dr. Washington Almeida Moura

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cintia Maria Ariani Fontes

Department: Civil and Environment Engineering

Excessive consumption of natural resources in construction has contributed to greater environment degradation. An alternative to minimize this consumption is the production of aggregate arising from construction and demolition waste for the production of concrete and mortar. This study aimed to evaluate the influence of aggregate from CDW in the production of mortar coating. In this sense the natural aggregate was replaced by the recycled aggregate contents of 0%, 25%, 50% and 75% by weight. The mixtures were produced with dash 1:6 (cement:aggregate) and consistency index set at 295 ± 10 mm. The influence of aggregate CDW was evaluated through properties in the fresh state (consistency, water retention and density) and hardened state (compressive strength, tensile strength in bending, tensile bond strength, drying shrinkage, absorption water immersion and wicking). Results showed the increase water retention by incorporating CDW to the mixture. In the hardened state, the mortar with aggregate CDW had better mechanical performance compared to the mortar with natural aggregate, the behavior is more significant for the mixture with 75% of CDW.

Keywords: mortar coating, recycled aggregate, properties of mortars

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	17
2.1 GERAÇÃO DO RCD.....	17
2.2 CLASSIFICAÇÃO DO RCD.....	18
2.3 DESTINAÇÃO TRADICIONAL DO RCD	19
2.4 RECICLAGEM DO RCD	21
2.4.1 Agregados reciclados de RCD	22
2.4.1.1 Propriedades dos agregados reciclados	23
2.4.1.1.1 Composição granulométrica.....	24
2.4.1.1.2 Massa unitária.....	25
2.4.1.1.3 Massa específica.....	26
2.4.1.1.4 Absorção de água.....	27
3 ARGAMASSA	28
3.1 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	28
3.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	30
3.2.1 Trabalhabilidade	31
3.2.1.1 Consistência.....	31
3.2.2 Retenção de água	33
3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	35
3.3.1 Resistência à compressão	35
3.3.2 Resistência de aderência à tração.....	36
3.3.3 Absorção de água por imersão	38
3.3.4 Retração por secagem	39
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL	41
4.1 MATERIAIS	41

4.1.1	Cimento	41
4.1.2	Agregados	42
4.1.3	Água	47
4.2	DEFINIÇÃO DO TRAÇO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	47
4.3	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	50
4.3.1	Retenção de água	50
4.3.2	Massa específica	51
4.4	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	52
4.4.1	Resistência à compressão	52
4.4.2	Resistência à tração na flexão	53
4.4.3	Resistência de aderência à tração	53
4.4.4	Retração por secagem	55
4.4.5	Absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios	55
4.4.6	Absorção de água por capilaridade	56
5	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	57
5.1	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	57
5.1.1	Retenção de água	57
5.1.2	Massa específica	59
5.2	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	61
5.2.1	Resistência à compressão axial	61
5.2.2	Resistência à tração na flexão	64
5.2.3	Resistência de aderência à tração	67
5.2.4	Retração por secagem	71
5.2.5	Absorção por imersão, massa específica e índice de vazios	74
5.2.6	Absorção por capilaridade	78
6	CONCLUSÃO	81
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO	83
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICE	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Deposição do RCD em locais públicos na cidade de Feira de Santana/BA	20
Figura 2	Utilização do RCD em regularização de terreno	20
Figura 3	Composição gravimétrica do RCD.....	42
Figura 4	Curvas granulométricas dos agregados naturais e reciclados.....	44
Figura 5	Ensaio de absorção: a) Amostra submersa na balança. b) Nível da água.....	45
Figura 6	Curva de absorção do agregado reciclado no tempo	47
Figura 7	Aspecto do teste de aplicação da argamassa: a) Aspecto da argamassa aplicada. b) Espessura da argamassa.....	48
Figura 8	Determinação da consistência (mesa de consistência)	48
Figura 9	Aparelho para determinação de retenção de água	51
Figura 10	Recipiente cilíndrico de PVC para determinação da massa específica	51
Figura 11	Prensa hidráulica para o ensaio mecânicos	52
Figura 12	Célula de carga	53
Figura 13	Alvenaria de bloco de concreto: a) Construção da alvenaria. b) Aplicação do chapisco na alvenaria.....	54
Figura 14	Equipamento para determinação da resistência de aderência à tração	54
Figura 15	Adensamento dos CPs para determinação da retração	55
Figura 16	Corpos-de-prova imersos em água para execução do ensaio de absorção	56
Figura 17	Ensaio de absorção de água nas argamassas	56
Figura 18	Curva de comportamento das argamassas quanto à retenção de água	58
Figura 19	Gráfico da retenção de água relativa	58
Figura 20	Curva de comportamento das argamassas, quanto à massa específica.....	60
Figura 21	Gráfico da massa específica relativa	60
Figura 22	Curva de comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão aos 28 dias	63
Figura 23	Gráfico de resistência à compressão relativa.....	63
Figura 24	Curva de comportamento das argamassas com diferentes teores de RCD, quanto à tração na flexão.....	65
Figura 25	Resistência à tração na flexão relativa das argamassas com diferentes teores de agregado reciclado.....	66
Figura 26	Curva de comportamento das argamassas quanto à resistência de aderência à tração	69

Figura 27	Gráfico da resistência de aderência à tração relativa, em função ao teor de agregado reciclado	70
Figura 28	Comportamento das argamassas quanto à retração por secagem	72
Figura 29	Comportamento das argamassas quanto à perda de massa.....	73
Figura 30	Comportamento das argamassas estudadas quanto à absorção de água por imersão	75
Figura 31	Absorção de água por imersão relativa das argamassas	75
Figura 32	Comportamento quanto à massa específica das argamassas	76
Figura 33	Comportamento quanto ao índice de vazios das argamassas	77
Figura 34	Gráfico de absorção de água por capilaridade das argamassas	78
Figura 35	Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade	79
Figura 36	Coeficiente de capilaridade relativo das argamassas.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Propriedades física e mecânica do cimento.....	41
Tabela 2	Resultados da caracterização dos agregados naturais e reciclados.....	43
Tabela 3	Resultados de absorção do agregado reciclado	46
Tabela 4	Traços unitários e o percentual de substituição dos agregados naturais e reciclados	49
Tabela 5	Resultados da retenção de água nas argamassas	57
Tabela 6	Massas específicas das argamassas estudadas.....	59
Tabela 7	Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias	62
Tabela 8	Resultados de resistência à tração na flexão das argamassas produzidas.....	65
Tabela 9	Resistência de aderência à tração ajustando o coeficiente de variação	67
Tabela 10	Valores de retração por secagem e perda de massa das argamassas	71
Tabela 11	Resultados de absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios das argamassas	74
Tabela 12	Resultados de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.....	78
Tabela 13	Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas.....	91

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento urbano e o crescimento do setor da construção civil estão contribuindo com o aumento significativo da geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) nas cidades do Brasil. O gerenciamento do RCD nas obras e a carência de políticas municipais são fatores que agravam ainda mais este problema.

Dados apresentados por John (2000) indicaram que no Brasil foram consumidos cerca de 210 milhões de toneladas de agregados para argamassas e concretos, anualmente. Em relação ao RCD, no Brasil é gerado, em média, 0,52 tonelada por habitante, por ano, o que representa de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999). A falta de novos estudos sobre o volume gerado desse resíduo no Brasil faz com que até hoje este dado seja utilizado. Dentro desse contexto, pode-se dizer que o setor da construção civil é responsável tanto pela elevada geração de RCD, como também pela extração intensa de recursos naturais.

O resíduo proveniente da construção civil é constituído, principalmente, de argamassa, concreto, material cerâmico, pedras, solo, metais, madeiras, gesso, entre outros. Devido ao grande volume de RCD gerado, o custo de transporte e à distância do local de geração desse resíduo para aterro de inerte, o mesmo começou a ser depositado de forma desordenada, contribuindo para o aumento do impacto ambiental. Na tentativa de deter e inverter os efeitos de degradação do meio ambiente, em 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 307, que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD, de forma a minimizar esse impacto. Mesmo assim, a maior parte desse resíduo continua sendo disposto em margens de estradas, cursos d'água e outros locais irregulares.

Uma das alternativas para minimizar os problemas causados pelo descarte irregular dos RCD seria o aterro de inerte. Porém, o mesmo exige disponibilidade de grandes áreas, próximas aos centros urbanos. Em paralelo, a escassez de áreas dificulta a implantação destes aterros. A construção civil por consumir grande quantidade de produtos diversificados, se apresenta como alternativa viável para reciclar o RCD, podendo, desta forma, contribuir para a sustentabilidade através da inserção deste resíduo em seu ciclo produtivo.

Nos últimos anos, o resíduo de construção e demolição vem tendo algumas possibilidades de aplicação neste setor: como agregado miúdo e agregado graúdo para base e sub-base de pavimentação e concreto. Existem normas brasileiras como, a NBR 15115 (ABNT, 2004) e a NBR 15116 (ABNT, 2004), que tratam sobre o uso dos agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil na execução de camadas de pavimentação e em concreto sem função estrutural, respectivamente. Para o concreto estrutural ainda não existe uma norma brasileira que regulamente a inserção do RCD, mas diversos estudos vêm sendo realizados com este propósito (ZORDAN, 1997; LEITE, 2001; ÂNGULO, 2005; CABRAL, 2007; NORONHA e CABRAL, 2009).

Existe também, uma norma brasileira, a NBR 13529 (ABNT, 1995), que recomenda o uso de resíduo de construção e demolição em argamassa. Mesmo assim, poucas são as pesquisas sobre esse assunto (MIRANDA, 2000; MIRANDA e SELMO 2006; BERKEMBROCK e COSTA, 2009; TANAKA et.al., 2010).

Considerando a necessidade de mais estudos sobre a utilização de resíduo de construção e demolição em argamassas, este trabalho visa contribuir para que este resíduo possa ser utilizado como agregado miúdo. Para isso, será utilizado o resíduo que abrange toda a parte inerte, podendo proporcionar um melhor custo na fase de separação do RCD. Logo, a inserção do RCD pode contribuir para minimizar os efeitos decorrentes da geração e do descarte desse resíduo de forma irregular.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar a influência da substituição parcial de agregados naturais por agregados reciclados de construção e demolição em propriedades de argamassas de revestimento.

Objetivos específicos:

- caracterizar os agregados de RCD, do ponto de vista físico;

- verificar a influência da substituição de diferentes teores de agregados naturais por agregados de RCD nas propriedades da argamassa no estado fresco (consistência, retenção de água e massa específica) e no estado endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração, retração por secagem, absorção de água por imersão, massa específica, índice de vazios e absorção de água por capilaridade).

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em seis capítulos, de modo que se apresente de forma objetiva e clara.

O primeiro capítulo trata da importância do estudo, a justificativa, bem como os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo faz-se uma explanação sobre a geração, classificação, reciclagem dos resíduos de construção e demolição. Também trata-se das propriedades dos agregados reciclados.

O terceiro capítulo faz uma abordagem sobre as argamassas de revestimento, abrangendo as suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

No quarto capítulo apresenta-se o programa experimental, com a metodologia dos ensaios, caracterização dos materiais, bem como a definição do traço e produção das argamassas utilizadas e as propriedades avaliadas.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa experimental.

O sexto capítulo traz as conclusões deste trabalho e propostas para estudos futuros.

2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e, também, grande geradora de resíduos. Estes resíduos são denominados resíduos de construção civil (RCC) ou resíduos de construção e demolição (RCD). A seguir serão apresentados aspectos relativos ao resíduo de construção e demolição.

2.1 GERAÇÃO DO RCD

A geração dos resíduos de construção e demolição nas cidades cresceu significativamente a partir de meados da década de 90 (PINTO e GONZÁLES, 2005). O RCD é gerado na substituição de componentes, em reformas e construção, no processo construtivo, e muitas vezes, por certas deficiências na construção: erros ou indefinições na elaboração dos projetos e na sua execução, qualidade dos materiais empregados, perdas na estocagem e no transporte (LIMA, 2005).

A geração de RCD é um problema que afeta diversos países do mundo. Na Itália, por exemplo, a cada ano, mais de 20 milhões de toneladas de resíduos de construção e de demolição são gerados. Eles são constituídos, principalmente, de detritos provenientes da demolição de estruturas de alvenaria ou concreto armado (CORINALDESI e MORICONI, 2009).

Ainda não há informações precisas sobre a quantidade de resíduos de construção e demolição gerados no Brasil. Em algumas grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador, a geração média desses resíduos foi de 0,18 toneladas por habitante/ano, correspondendo a cerca de 31% do total coletado de resíduos domésticos (NUNES, 2004). Apesar de ser uma estimativa, este valor é muito baixo comparado aos apresentados por Pinto (1999), que encontrou 0,52 toneladas por habitante/ano à época do levantamento. Segundo IBAM (2001), citado por Cabral (2007), nos países desenvolvidos a média de geração de resíduos provenientes de novas edificações encontra-se abaixo de 100 kg/m². Enquanto que, no Brasil, este índice gira em torno de 300 kg/m² edificado.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DO RCD

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define os resíduos de construção como: “os 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 do terreno, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gessos, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, dentre outros, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (CONAMA, 2002, pag. 2).

A referida Resolução apresentou uma nova classificação para os resíduos da construção civil, descrita a seguir:

- 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, meio-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.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 2004, publicou a NBR 10004, na qual apresentou uma classificação para os resíduos sólidos: Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos). Esta última subdividiu-se em, Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes). São considerados Classe II B “os resíduos sólidos que são submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizáveis a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor”. Pode ser incluída nessa categoria grande parte dos resíduos sólidos da construção civil, como resto de concreto, tijolos, material de escavação do solo, entre outros.

2.3 DESTINAÇÃO TRADICIONAL DO RCD

A geração elevada do RCD e a falta de gestão fazem com que ocorra um número significativo de áreas degradadas, na forma de bota-foras clandestinos ou de deposições irregulares (PINTO e GONZÁLES, 2005). Esta forma de deposição ilegal dos RCD ocorre, muitas vezes, por questões relacionadas ao custo de transporte e à distância do local de geração desse resíduo para aterros de inertes, bem como à falta de conscientização da população sobre a destinação adequada.

O descarte irregular dos resíduos pode ocasionar proliferação de insetos e roedores, prejudicando a vida da população. Além disso, o RCD disposto de modo aleatório ocasiona uma poluição visual no local. Devido a estes fatores, faz-se necessário uma destinação adequada aos resíduos de construção e demolição.

A Figura 1 ilustra o descarte irregular dos RCD em vias públicas e também a falta de controle em relação à deposição desse resíduo.



Figura 1 Deposição do RCD em locais públicos na cidade de Feira de Santana/BA

Em períodos de chuva este tipo de resíduo vem sendo muito utilizado tanto pela população quanto pela Prefeitura para cobrir cavas. A busca de regularização de terrenos é um exemplo desta aplicação, como pode ser visto na Figura 2.



Figura 2 Utilização do RCD em regularização de terreno

No Brasil, o Estado interfere eliminando os resíduos de RCD em aterros de inertes, por intermédio dos seus órgãos de controle ambiental. Vale ressaltar que este tipo de aterro só aceita os resíduos que são considerados Classe A, segundo a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002). Apesar do aterro de inerte ser uma alternativa viável, Rocha e Cheriaf (2003) comentaram que existe uma grande dificuldade na disposição final dos resíduos gerados, pois a falta de soluções tecnológicas apropriadas e de instalações adequadas à eliminação dos resíduos causa sérios problemas ambientais. Além disso, o aterro requer grandes áreas para dispor o RCD. Nas grandes cidades a disponibilidade nem sempre é possível, devido a grande procura de terreno para edificações, em consequência do crescimento populacional.

2.4 RECICLAGEM DO RCD

Reciclagem consiste em introduzir o resíduo no ciclo de produção, em substituição total/parcial de uma matéria-prima (ROCHA e CHERIAF, 2003).

Segundo John e Ângulo (2003) a reciclagem de resíduos de construção e de demolição pode ter sido afetada pelos processos de transporte e estocagem dos resíduos gerados, pois frequentemente as caçambas que são colocadas junto ao meio-fio acabavam sendo contaminadas por outros tipos de resíduos (restos de comida entre outros). Logo, o gerenciamento é uma solução para este problema, pois segundo Lima (2005) é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar esse material, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implantar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

Atualmente há uma grande discussão, a nível nacional, sobre a reciclagem como uma alternativa para o volume de RCD gerado nas cidades brasileiras. Hoje a reciclagem do RCD é uma necessidade para a preservação do meio ambiente, e o seu reaproveitamento faz parte de uma das mais importantes alternativas disponíveis para a redução dos problemas gerados por esses materiais. Deste modo, é possível reduzir os gastos em aterros sanitários e aterros de inertes, bem como, proporcionar uma conscientização sobre a degradação ambiental, seguindo a tendência a países desenvolvidos (MIRANDA e SELMO, 2006).

Lima (2005) relatou que o processo de reciclagem é muito importante por preservar recursos naturais, diminuindo o material aterrado ou jogado a céu aberto, evitando a poluição do ar, da terra e da água. Contribui ainda, para o adequado manejo dos resíduos sólidos, minimizando os problemas com vetores e doenças associadas aos resíduos. Através da reciclagem, o RCD pode ter grande potencial para a solução dos problemas a estes associados, pela viabilidade que apresenta de incorporação desses resíduos nos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos da construção (ROCHA e CHERIAF, 2003). Pode-se destacar iniciativas de algumas cidades como Belo Horizonte, Minas Gerais, São Paulo, entre outras, que decidiram investir no beneficiamento do RCD, através da instalação de usinas de reciclagem para produção de agregados. Esta alternativa pode vir a melhorar a escassez de agregados naturais nas regiões metropolitanas.

Por força das Organizações nacionais e internacionais de controle do meio ambiente, que ganharam grande importância com a ISO 14000, a questão da reciclagem e reaproveitamento de resíduos passou a ser estratégica em termos das políticas econômica e industrial (ROCHA e CHERIAF, 2003). Logo, a reciclagem de RCD pode ser uma das melhores alternativas para destinação desse resíduo.

2.4.1 Agregados reciclados de RCD

O reaproveitamento RCD vem sendo cada vez mais estudado, principalmente como aplicação na indústria da construção civil. E uma das formas de reciclagem é transformar este resíduo em agregado para argamassa e concreto, em substituição a parte dos agregados naturais.

Segundo Ângulo e John (2001), os processos de reciclagem de RCD em centrais de moagem não estão sendo bem explorados, limitando-se à geração de componentes reciclados voltados para o consumo público municipal. Este consumo é insuficiente para solucionar o problema como um todo, considerando-se a quantidade total de RCD gerada nos municípios.

Entretanto, para que o RCD seja empregado de forma adequada, alguns aspectos devem ser levados em conta. Ângulo (2000) recomendou que antes de inserir o agregado reciclado na construção civil é necessário conhecer sua composição e outras propriedades. Isso constitui o primeiro passo para que se possa avaliar o desempenho do produto obtido a partir desses

resíduos. Por conseguinte, é possível determinar, de forma adequada, a sua influência no material reciclado produzido. Cabral (2007) relatou que a composição gravimétrica do resíduo de construção e demolição e o tipo de equipamento utilizado para britar o mesmo são um dos fatores que afetam as características físicas, químicas e mecânicas dos agregados reciclados.

Outro fator muito importante é a origem do RCD, pois esta indica os tipos de impurezas ou contaminantes que, provavelmente, estão na composição do mesmo. Uma vez detectada a presença dos contaminantes, deve ser efetuada a sua retirada. Leite (2001) relatou que esse não é um processo fácil, muito menos econômico. Depende do tipo de processo de beneficiamento usado nas usinas de resíduos de construção, mas é certo que a retirada manual de toda e qualquer impureza existente torna o processo desvantajoso, do ponto de vista econômico.

Para Mehta e Monteiro (2008), outro obstáculo para o uso de resíduo de construção e demolição como agregado é o custo de britagem, graduação, controle do pó e separação dos constituintes indesejáveis.

A grande heterogeneidade do RCD pode representar uma dificuldade encontrada para sua utilização no concreto. Visto que, esse resíduo pode influenciar diferentemente nas propriedades do concreto, uma vez que sua composição pode variar muito de uma amostra de material para outra (PEDROZO, ROCHA e CHERIAF, 2008).

Apesar de todas as precauções, que devem ser levadas em consideração, o resíduo de construção e demolição como agregado graúdo e/ou miúdo pode ser utilizado na construção. Inclusive a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 2004, estabeleceu as normas que tratam dos resíduos da construção civil: NBR 15116, que aborda sobre os agregados reciclados de resíduos sólidos de construção para sua utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural; NBR 15115, que trata dos agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil na execução de camadas de pavimentação.

2.4.1.1 Propriedades dos agregados reciclados

Os agregados, miúdo e graúdo reciclados diferem dos agregados, miúdo e graúdo naturais, por apresentarem algumas características distintas. Dentre elas tem-se a composição granulométrica, massa unitária, massa específica e absorção de água.

2.4.1.1.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica influencia nas propriedades das argamassas e concretos tanto no estado fresco, como no estado endurecido. No estado fresco a granulometria contínua proporciona uma melhor trabalhabilidade. No estado endurecido proporciona uma argamassa e/ou um concreto mais denso, favorecendo assim, uma melhor resistência à compressão, bem como as outras propriedades mecânicas.

Miranda (2000) relatou que é necessário um controle na granulometria dos agregados, para a produção de argamassas com agregado reciclado. O autor verificou que dimensões de grãos menores que 0,15 mm causam fissuração, pois quanto maior a quantidade de finos tiver no material maior a demanda de água nas argamassas. Nesses grãos existe também uma maior presença de contaminantes. Devido a estes fatores foi necessário descartar a fração menor que 0,15 mm.

Zordan (1997) estudou a utilização do RCD como agregado, na confecção de concreto, e verificou quatro amostras de resíduos, sendo que cada amostra representou uma coleta diferente. O autor observou que todas as amostras indicaram uma granulometria contínua. Este tipo de granulometria representou um bom desempenho no concreto, uma vez que, a presença de diferentes diâmetros permitiu um melhor rearranjo entre as partículas do agregado.

Berkembrock e Costa (2009), Gomes et al. (2010), Sales e Cabral (2009) produziram argamassas com resíduo de construção e demolição com dimensão máxima característica de 2,4mm. A escolha dos autores foi feita pelo fato do agregado com dimensões entre 4,8mm e 2,4mm proporcionarem um acabamento áspero na argamassa de revestimento. Vale ressaltar que a NBR 13529 (ABNT, 1995) aceita o uso de agregado reciclado em argamassas de revestimento, desde que a dimensão máxima característica seja 2,4 mm.

Pimentel et al. (2007), Silva et al. (2009), Lintz, Silva e Pugliero (2009) estudaram argamassas com agregado reciclado. Todos utilizaram agregado reciclado com dimensão máxima

característica de 1,2mm. Os autores justificaram essa dimensão pelo fato do material mais fino proporcionar um melhor acabamento no revestimento. Apesar, dos autores justificarem um melhor acabamento com a dimensão máxima característica de 1,2mm, vale ressaltar que a quantidade de finos pode influenciar na retração da argamassa.

2.4.1.1.2 Massa unitária

É importante o conhecimento da massa unitária do agregado. Sem esta informação não é possível saber o consumo em volume de cada componente no concreto e na argamassa.

Mehta e Monteiro (2008) descreveram que a massa unitária dos agregados naturais varia entre 1,30 kg/dm³ a 1,75 kg/dm³. Pedrozo, Rocha e Cheriaf (2008), em estudo da influência de agregados reciclados finos proveniente de RCD em substituição do agregado miúdo natural em concretos e argamassas, encontraram valores de 1,16 kg/dm³ para o agregado miúdo reciclado e 1,52 kg/dm³ para agregado miúdo natural. Portanto, a massa unitária do agregado reciclado foi 31% menor.

Lintz, Silva e Pugliero (2009), em estudo do comportamento de argamassas com agregado reciclado, constataram que a massa unitária do agregado miúdo natural foi de 1,54 kg/dm³ e do agregado miúdo reciclado foi de 1,16 kg/dm³, portanto 33% menor.

Berkembrock e Costa (2009) estudaram argamassas produzidas com rejeito da argamassa e verificaram que a massa unitária do agregado reciclado foi 1,13 kg/dm³. Os autores não fizeram comparação com a massa unitária do agregado miúdo natural.

Gomes et al. (2010) produziram argamassas de revestimento com agregados reciclados e constataram que a massa unitária do agregado miúdo natural foi de 1,54kg/dm³ e a massa unitária do agregado miúdo reciclado foi 1,44kg/dm³, portanto 7% menor.

Através das pesquisas realizadas pelos autores citados, pode-se constatar que a massa unitária do agregado miúdo reciclado varia de 1,13kg/dm³ a 1,44kg/dm³. Esta variação de resultados da massa unitária pode ser explicada devido à variação da composição gravimétrica destes resíduos.

2.4.1.1.3 Massa específica

A massa específica do agregado influencia na densidade da argamassa e do concreto, ou seja, um agregado mais denso proporciona um concreto ou argamassa também mais denso. Outro aspecto da importância da massa específica é no cálculo de dosagem dos materiais, pois sem esta informação não é possível saber o consumo, em massa, de cada componente.

Gomes et al. (2010) realizaram estudo em argamassa com agregado reciclado e verificaram que a massa específica do agregado miúdo reciclado foi de $2,49\text{kg/dm}^3$ e para o agregado miúdo natural o valor foi de $2,62\text{kg/dm}^3$.

Assunção, Carvalho e Barata (2007) caracterizaram os agregados provenientes de RCD para produção de argamassa de revestimento, e constataram que a massa específica do agregado miúdo reciclado foi de $2,48\text{kg/dm}^3$ e no agregado miúdo natural o valor foi de $2,60\text{kg/dm}^3$.

Estudo realizado por Lintz, Silva e Pugliero (2009), em comportamento de argamassa com RCD verificaram que a massa específica do agregado reciclado foi $2,14\text{kg/dm}^3$, enquanto o agregado miúdo natural apresentou o valor de $2,62\text{kg/dm}^3$.

Sales e Cabral (2009) estudaram argamassas com agregados provenientes de RCD e verificaram que a massa específica do agregado miúdo reciclado foi de $2,39\text{kg/dm}^3$ e para o agregado miúdo natural foi de $2,58\text{kg/dm}^3$.

Tanaka et al. (2010), em estudos de agregado reciclado em argamassas, constataram que a massa específica do agregado miúdo reciclado foi de $2,65\text{kg/dm}^3$. O resíduo foi proveniente de material cerâmico e cimentício. Este valor difere dos resultados encontrados por outros autores.

A massa específica nos agregados reciclados é geralmente menor comparando com agregados naturais. Os autores citados justificaram esse resultado em virtude da grande porosidade que o agregado reciclado apresenta, mas também pode ser justificado pela composição gravimétrica do resíduo.

2.4.1.1.4 Absorção de água

A absorção de água nos agregados reciclados é maior que a absorção de água nos agregados naturais. Este fator também é explicado pela alta porosidade. Devido à alta absorção de água que o agregado reciclado apresenta, os concretos e as argamassas produzidas com este tipo de agregado necessitam de uma relação a/c tanto maior quanto maior for o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado proveniente de RCD, para uma mesma trabalhabilidade.

Silva et al. (2009) analisaram as propriedades dos agregados proveniente de RCD para uso em argamassa e verificaram que a absorção de água do agregado miúdo reciclado variou entre 3,8% e 9,7%. Este fator pode ser explicado devido à ausência da fração de finos $< 75\mu\text{m}$ nas amostras. Os estudos foram realizados em 21 canteiros de obras em Recife/PE.

Sales e Cabral (2009), em argamassa com agregado reciclado, verificaram que a absorção de água do agregado miúdo reciclado foi de 7,3%, enquanto a absorção do agregado miúdo natural foi de 0,6%. Nota-se que a diferença entre os valores é muito alta, isto pode ser ocasionado devido a porosidade que o agregado reciclado apresenta.

Berkembrock e Costa (2009), em estudos com argamassas produzidas com resíduo de tijolo solo-cimento, encontraram valor de absorção de água em agregados reciclados proveniente de RCD de 3%. Este valor de absorção é muito baixo comparando-se com os encontrados pelos outros autores citados. O autor não justificou o resultado encontrado.

Estudo realizado por Pedrozo, Rocha e Cheriaf (2008) verificaram que em argamassas e concretos, quanto maior o teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado maior a quantidade de água para manter a mesma trabalhabilidade. Logo, este fator é influenciado pela alta absorção do agregado reciclado.

Devido às diferenças que as propriedades dos agregados reciclados apresentam em relação aos agregados naturais torna-se necessário verificar a sua influência nas propriedades do concreto e das argamassas.

3 ARGAMASSA

As argamassas são materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimento cerâmico e pedras (CARASEK, 2007).

A utilização de argamassas em construções, vem desde muito tempo. Paulo (2006) comentou que o homem primitivo procurou criar condições favoráveis para se proteger, passando a edificar abrigos. Neste sentido, vêm sendo desenvolvidas técnicas e materiais para melhorar a qualidade das argamassas.

A primeira patente de manufatura de argamassa foi feita na Europa, em 1883 (PAULO, 2006). No Brasil, as pesquisas em argamassas foram iniciadas em 1964, motivadas por problemas de descolamentos de revestimentos de pisos e paredes, causados por inesperado e elevado consumo de materiais cerâmicos, além da falta da mão-de-obra qualificada (FIORITO, 1994).

Segundo Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas de acordo com a natureza do aglomerante (argamassa aérea e hidráulica); com o tipo de aglomerante (cal, cimento, gesso, cimento e cal, cal e gesso); com o número de aglomerante (simples e mista); com a consistência da argamassa (seca, plástica e fluida); com a plasticidade da argamassa (magra, cheia e gorda); com a densidade de massa da argamassa (leve, normal e pesada); com a forma de preparo (preparada em obra, mistura semipronta, industrializada e dosada em central).

3.1 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A NBR 13529 (ABNT, 1995, pág. 3) definiu a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classificou as argamassas para revestimento em: revestimento interno (indicada para ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de

regularização: emboço ou camada única) e revestimento externo (indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização: emboço ou camada única). Segundo Carasek (2007) após a aplicação do revestimento externo, a superfície recebe acabamentos tais como, pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros.

Para que estas argamassas tenham qualidade, devem satisfazer as condições expostas na NBR 13749 (ABNT, 1996):

- os materiais e as respectivas proporções de dosagem devem ser compatíveis com o acabamento e as condições de exposição previstas;
- ter resistência mecânica compatível com o acabamento decorativo selecionado;
- quando coloridas, o pigmento empregado deve resistir à ação da radiação ultravioleta e à alcalinidade das argamassas.

Segundo Costa (2005) as argamassas de revestimento têm a função de proporcionar estanqueidade à água às fachadas, para o conforto térmico e acústico do ambiente construído, para a segurança ao fogo e estética às edificações. Springer Junior (2008) expressou as funções de um sistema de revestimento dizendo que estas vão desde a proteção da alvenaria, regularização das superfícies, até funções de natureza estética, uma vez que se constitui do elemento de acabamento final das vedações. Normalmente, os sistemas de revestimento atuam em suas funções e propriedades em conjunto com o substrato.

Segundo Springer Junior (2008), o sistema de revestimento argamassado é constituído por, primeiramente um substrato para a aplicação da argamassa. A necessidade de preparo do substrato depende basicamente da sua natureza, porosidade e rugosidade superficial. A argamassa de chapisco, segundo Silva et. al. (2009), citado por Springer Junior (2008), tem como principal função criar uma superfície rugosa que serve como uma camada de ancoragem entre o revestimento e o substrato, chamada de ponte de aderência, bem como regular a capacidade de absorção de água inicial do substrato.

Por ser uma das partes integrantes das vedações do edifício, o revestimento de argamassa deve apresentar um conjunto de propriedades que irão contribuir para a obtenção do adequado comportamento das vedações e, conseqüentemente, do edifício como um todo (BAÍÁ e SABBATINI, 2008).

Devido a estes requisitos a argamassa de revestimento requer estudos que possam atender às especificações recomendadas. Como necessita de areia para sua obtenção e, cada vez mais, as jazidas de agregados naturais estão ficando mais escassas, uma das possibilidades de substituir estes agregados é utilizando o resíduo de construção e demolição.

A NBR 13529 (ABNT, 1995), que trata de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, recomenda o uso de RCD, desde que seja um material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolos, com dimensão máxima característica de 2,4 mm.

Estudos em argamassa com agregados reciclados foram realizados por Lima (1999) que propôs diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos; Miranda (2000) estudou fatores que influenciaram na fissuração de revestimentos de argamassa com agregado reciclado; Lima (2005) analisou o aproveitamento de resíduo de construção na fabricação de argamassas; Costa et al. (2005) pesquisaram sobre a aderência da argamassa reciclada de rejeito da indústria cerâmica em bloco de concreto não estrutural.

3.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Para cumprir suas funções, os revestimentos de argamassa devem possuir algumas propriedades que se apresentam no estado fresco. Gomes (2005) informou que conhecer o comportamento da argamassa no estado fresco é muito importante, pois as deficiências geradas nessa fase poderão ocasionar prejuízos na qualidade do revestimento, comprometendo, conseqüentemente, sua vida útil. A seguir destacam-se as propriedades necessárias às argamassas de revestimento, no estado fresco.

3.2.1 Trabalhabilidade

A principal propriedade da argamassa no estado fresco é a trabalhabilidade, que agrupa várias outras, destacando-se: consistência, plasticidade e coesão. Por ser a trabalhabilidade resultante de diversas ações passíveis de avaliações e não de medições, conclui-se que a trabalhabilidade tem um conceito subjetivo, variando significativamente o resultado da avaliação de um operário para outro (GOMES, 2005).

Para Santos (2008), uma argamassa possui boa trabalhabilidade quando a mesma espalha-se facilmente sobre o substrato e adere à superfície, e ainda, no caso de argamassa de revestimento, quando proporciona facilidade no seu acabamento final.

Para Baía e Sabbatini (2008), a trabalhabilidade ocorre quando deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluida; mantém-se coesa ao ser transportada, mas não adere à colher ao ser lançada; distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base; não endurece rapidamente quando aplicada. Ainda, segundo os autores, a trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa.

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

3.2.1.1 Consistência

Define-se consistência como sendo a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas (CARASEK, 2007). Cincotto et al. (1995) ainda descreveram que a argamassa deve manter a consistência ao longo do tempo de aplicação.

A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante (CINCOTTO et al., 1995). Além do teor de água e

granulometria da areia, a forma e a textura dos grãos dos agregados são fatores que influenciam a consistência (GOMES, 2005).

A NBR 13276 (ABNT, 2005) determina o procedimento de avaliação da consistência da argamassa através da mesa de consistência (flow table). Além deste, existem outros métodos, porém menos utilizados: o método da penetração do cone, o método vane test (ensaio de palheta); ensaio de dropping ball.

Carasek (2007) classificou as argamassas, segundo a consistência, em secas (a pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato), plásticas (uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida) e fluidas (as partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade. Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho).

Em relação a influência do RCD neste parâmetro, Miranda (2000) constatou em seu estudo que, argamassa com resíduos de bloco cerâmico e bloco de concreto se tornou menos trabalhável quando se retirou a fração de agregado menor que 0,15mm. O comportamento da argamassa com resíduo de argamassa foi o oposto do bloco cerâmico e bloco de concreto. O autor justificou que a argamassa apresentou uma maior quantidade de finos aderidos aos agregados, o que auxiliou no aumento da trabalhabilidade.

Lima (2005) observou que com o aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado em argamassas, a demanda de água foi maior para se chegar a consistência padrão determinada segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005).

Estudo realizado por Assunção, Carvalho e Barata (2007), em argamassas de revestimento contendo agregado reciclado, evidenciou que para as argamassas com teores de 30% e 50% de substituição de agregado natural por agregado reciclado, foi necessária uma maior quantidade de água para se obter a mesma consistência que a argamassa sem agregado reciclado. Ou seja, um

maior fator a/c. Os autores explicaram que este fator foi proveniente da finura que o agregado reciclado apresentou.

Sales e Cabral (2009) estudaram argamassas com agregado reciclado, para revestimento e contrapiso, no qual a composição gravimétrica correspondeu a quase 90% de argamassa e material cerâmico. Os autores verificaram que quanto maior o teor de substituição de agregado reciclado, maior o fator a/c. Para obter a mesma consistência que a referência, a mistura com teor de 100% de substituição obteve um fator a/c 20% maior. Já para o teor de substituição de 50% de agregado reciclado se obteve um fator a/c 2% menor. Este valor não era esperado, mas os autores justificaram que o agregado natural também apresentou finura excessiva.

3.2.2 Retenção de água

Retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de assentamento, seja por evaporação, seja pela absorção de água pela base (CARASEK, 2007). A avaliação da retenção de água é determinada pelo método da NBR 13277 (ABNT, 2005), que consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após a sucção, realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão em um funil.

O tempo disponível para o pedreiro aplicar, regularizar e desempenar a camada de revestimento também depende da retenção de água, sendo função da superfície específica dos materiais constituintes da argamassa, uma vez que depende da tensão superficial da pasta aglomerante (CINCOTTO et al., 1995). A retenção de água favorece em algumas propriedades da argamassa endurecida, como: resistência à compressão, resistência de aderência à tração e resistência à tração na flexão, bem como na durabilidade. Santos (2008) afirmou que as argamassas com alto teor de retenção de água possuem um bom desempenho e durabilidade. A retenção de água também permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e, conseqüente, ganho de resistência (BAÍA e SABBATINI, 2008). Como a retenção de água pela argamassa depende muito da capacidade de aprisionamento do líquido pelas partículas finas com elevada atividade de

superfície, é evidente que sua natureza e características têm significado relevante quanto ao poder de retenção (GOMES, 2005).

Tanaka et al. (2010) estudaram o efeito do tipo de areia reciclada em argamassas. Foram produzidas 3 argamassas, compostas por cerâmica, materiais cimentícios e mistura de cerâmica com materiais cimentícios e o traço utilizado foi 1:3, em volume. Os resultados das argamassas apresentaram valores entre 88% a 90% de retenção de água. Os resultados foram bem próximos, mas a argamassa de resíduo cerâmico obteve uma retenção um pouco maior. Os autores justificaram que o traço foi o mesmo e que o teor de material pulverulento foi semelhante para os resíduos, logo não ocasionou influência nas argamassas, ou o ensaio não obteve sensibilidade o bastante.

Estudo feito por Berkembrock e Costa (2009), em argamassa produzida com rejeito de argamassa, encontrou um valor para retenção de água de 90% para as argamassas com agregado reciclado substituindo o agregado natural. Os autores não especificaram a porcentagem de utilização do agregado reciclado. O teor de retenção foi aproximadamente igual ao valor encontrado por Tanaka et al. (2010).

Gomes et al. (2010) estudaram o comportamento de argamassa de revestimento com o uso de RCD. Os autores utilizaram um traço 1:7, em volume, as substituições de agregado reciclado foram 0%, 15%, 30% e 43% e sua trabalhabilidade foi fixada em 260 ± 5 mm. Os resultados de retenção de água foram 82%, 94%, 82% e 85% para as argamassas com 0%, 15%, 30% e 43% de RCD, respectivamente. As argamassas com 0% e 30% de agregado reciclado apresentaram mesmo valor e a argamassa com 15% de agregado reciclado apresentou um maior valor em relação as outras. Os autores disseram que há a necessidade de melhor se investigar esses resultados, pois esperava-se que o alto teor de finos aumentasse a retenção de água nas argamassas, como o caso do resíduo.

3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

3.3.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades mais avaliadas, tanto em concreto como em argamassa. Este parâmetro é obtido para argamassa através do método da NBR 13279 (ABNT, 2005), embora ainda hoje estudos sejam realizados pelo procedimento da NBR 7215 (ABNT, 1996) (SALES e CABRAL, 2009; LINTZ, SILVA e PUGLIERO, 2009).

Pesquisa feita por Lima (1999) verificou que argamassas com agregado reciclado com altos teores de cerâmicos apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos das argamassas com agregado natural e com agregado reciclado sem presença de cerâmicos. O autor atribuiu este comportamento à atividade pozolânica dos materiais cerâmicos, principalmente daqueles provenientes de componentes de baixa qualidade, produzidos com temperatura de queima reduzida, e que por isso apresentaram pozolanicidade, devido a sua estrutura instável.

Assunção, Carvalho e Silva (2007) estudaram a influência do RCD como agregado miúdo em argamassa. Os autores utilizaram um traço 1:5,71, em massa. Os teores de substituição do agregado natural por agregado reciclado foram 0%, 30% e 50% e a trabalhabilidade das argamassas fora fixadas em 270 ± 10 mm. Os fatores a/c foram de 1,08, 1,32 e 1,38, respectivamente. Os resultados mostraram que a resistência à compressão, aos 14 dias, da argamassa com 30% de agregado reciclado em substituição ao agregado natural, foi 17% maior do que a argamassa de referência. Com 50% de agregado reciclado em substituição ao agregado natural, a resistência à compressão da argamassa foi 64% maior do que a de referência. A resistência média à compressão da argamassa de referência foi de 4,51 MPa.

Gomes et al. (2010) estudaram o uso de RCD em argamassa de revestimento. Os autores utilizaram um traço 1:7, em volume, as substituições de agregado reciclado foram 0%, 15%, 30% e 43%. A trabalhabilidade foi fixada em 260 ± 5 mm, logo os fatores a/c foram 2,4, 2,3, 2,1 e 2,1, respectivamente. Foi observado que quanto maior o teor de substituição maior foi a resistência à compressão. Os valores de resistência foram de 1,2MPa, 1,5MPa, 1,8MPa e 2,2MPa para os teores de substituição de 0%, 15%, 30% e 43%, respectivamente. Observou-se que o teor de 43% de substituição proporcionou um aumento de 83% em relação à argamassa com 0% de

substituição. Os autores justificaram que a resistência à compressão nas argamassas contendo RCD foram maiores devido à diminuição do fator a/c.

Lintz, Silva e Pugliero (2009) estudaram substituição de agregado natural por agregado reciclado em argamassa. O resíduo foi composto por concreto e argamassa. O traço utilizado na mistura foi de 1:2, em massa, e os teores de substituição foram de 0% a 100%, com incrementos de 10%. O fator a/c das argamassas foi variado e a consistência das argamassas tiveram valores entre 282,20 mm e 330,35 mm. Os resultados mostraram que a resistência à compressão diminuiu com a incorporação do agregado reciclado nas argamassas, sendo o menor valor para o teor de 60% de agregado reciclado. Os autores verificaram que até o teor de 30% de agregado reciclado os resultados obtidos atenderam as especificações para uso como argamassa armada. Os resultados apontam uma possibilidade de redução da exploração dos agregados naturais.

3.3.2 Resistência de aderência à tração

O termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. Não se pode falar de aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais (CARASEK, 2007).

Segundo Silva (2006), a aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e a absorção de água, a resistência mecânica, a textura superficial e pelas condições de execução do revestimento. A capacidade de aderência da interface argamassa/substrato depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar aprisionado da argamassa.

Os aspectos como mão-de-obra, as técnicas de execução e as condições climáticas durante a aplicação podem ser, também, decisivos no seu desempenho das argamassas quanto à aderência (CARASEK, 2007).

Lima (2005) estudou o resíduo de construção na fabricação de argamassa. Foi utilizado um traço de 1:2:8 (cimento: cal: agregado miúdo), em volume. O resíduo foi composto por bloco cerâmico e argamassa e as substituições de agregado reciclado foram de 0% e 100%. O ensaio foi

aos 28 dias, e o mesmo foi realizado em alvenaria com bloco cerâmico utilizando chapisco para garantir uma melhor aderência. Através da resistência média foram encontrados os valores de 0,16 MPa para argamassa com 0% de agregado reciclado e 0,34 MPa para argamassa com 100% de agregado reciclado. O autor justificou que há uma maior capacidade de retenção de água no agregado reciclado, logo a perda pela temperatura e pelo chapisco será menor e a hidratação do cimento seria melhor, fortificando o contato chapisco/reboco.

Sales e Cabral (2009) estudaram a resistência de aderência à tração em argamassa para revestimento interno. Os autores utilizaram um traço 1:8, em volume, sendo 6 partes de areia fina e 2 partes de arenoso. A primeira mistura foi tomada como referência, ou seja, as 8 partes de foram todas com agregados naturais. A segunda mistura foi produzida substituindo as 8 partes de areia por agregado reciclado, o que corresponde a 100% de substituição. Na terceira mistura foram substituídas 50% das 6 partes da areia fina por agregado reciclado e na quarta mistura foram substituídas 100% das 6 partes de areia fina por agregado reciclado. O resíduo foi composto basicamente por cerâmica vermelha (60%), argamassa (29,93%) e areia + material fino (9,98%). A argamassa de referência obteve resistência de 0,09 MPa, a argamassa com 100% de agregado reciclado apresentou resistência de 0,11 MPa, a argamassa com substituição de 100% de agregado reciclado na parte fina apresentou resistência de 0,13 MPa e a argamassa com substituição de 50% de agregado reciclado apresentou resistência de 0,12 MPa. Apesar das argamassas com utilização de agregado reciclado apresentarem maior resistência de aderência que a argamassa de referência, nenhuma delas atendeu ao limite estabelecido na norma 13749 (ABNT, 1996) que estabelece uma resistência de aderência mínima de 0,20 MPa (revestimento interno).

Assunção, Carvalho e Silva (2007) estudaram a influência do RCD como agregado em argamassa. Foi utilizado um traço 1:5,71, em massa. Foram utilizados teores de agregado reciclado de 0%, 30% e 50% e a trabalhabilidade da argamassa foi fixada em 270 ± 10 mm. O ensaio para determinação da resistência de aderência à tração foi realizado aos 14 dias. Os resultados apresentados foram de 0,53 MPa, 0,36 MPa e 0,55 MPa, para as argamassas com 0%, 30% e 50% de agregado reciclado, respectivamente. Notou-se que a resistência para o teor de 30% de agregado reciclado foi menor que a referência. Já o teor de 50% de agregado reciclado proporcionou resultado superior ao da argamassa de referência. Também foi possível observar

que todas as argamassas puderam ser utilizadas como revestimento, uma vez que a norma NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece no mínimo a resistência de aderência de 0,20 MPa.

3.3.3 Absorção de água por imersão

A NBR 9778 (ABNT, 2005) define absorção de água por imersão como “o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso”. Através desta propriedade pode-se saber a quantidade de água que uma argamassa pode absorver e assim, determinar o local adequado a sua aplicação.

Lima (2005) estudou o resíduo de construção na fabricação de argamassa. Foi utilizado um resíduo composto por bloco cerâmico e argamassa, traço de 1:2:8 (cimento: cal: agregado miúdo), em volume, e os teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado foram de 0% e 100%. A realização do ensaio de absorção de água por imersão foi realizado aos 28 dias. Os resultados obtidos foram 10% para argamassa com 0% de agregado reciclado e 20% para a argamassa com 100% de agregado reciclado. O autor justificou este comportamento pelo fato da argamassa com agregado reciclado precisar de uma maior porcentagem de água para se alcançar a consistência padrão e também à evaporação da água que deixa a argamassa quando o material endurece, provocando uma maior porosidade.

Pimentel et. al. (2007) estudaram a influência dos agregados proveniente de RCD em argamassas armadas. Foram utilizados teores de substituição de agregado natural por agregado de reciclado, de 0% a 100%, com variação de 10% em 10%. O traço foi 1:2 (em massa) e foi fixada a consistência em 200 ± 5 mm. Os resultados de absorção variaram bastante, e as argamassas com 10%, 20%, 30%, 40% 50% 70% e 100% de agregado reciclado apresentaram teores de absorção menores do que a argamassa de 0% de agregado reciclado. Já as argamassas com 60%, 80% e 90% apresentaram resultados de absorção maiores do que a argamassa de referência, sendo o maior valor de 3,5%, para a argamassa com 60% de agregado reciclado. Os autores esperavam que a absorção de água por imersão aumentasse com o aumento do teor de agregado reciclado, entretanto, observaram que houve um comportamento heterogêneo, justificando-o pela grande quantidade de resíduo cerâmico. Entretanto, todas as argamassas apresentaram absorção de água abaixo do limite especificado pela NBR 11173 (ABNT, 1990), que é de no máximo 8%.

Lintz, Silva e Pugliero (2009) estudaram o comportamento de argamassas contendo resíduo de construção. O resíduo foi composto por concreto e argamassa. Utilizou-se um traço de 1:2, em massa, os teores de agregado reciclado foram de 0% a 100%, com incrementos de 10% em 10%. O fator a/c das argamassas foi variado e a consistência das argamassas oscilou entre 282,20mm e 330,35mm. O resultado de absorção da argamassa de referência foi de 6,82%. Percebeu-se que com o aumento do teor de agregado reciclado até 80% a absorção foi aumentando, chegando a 14,24%. Entretanto, com 90% de agregado reciclado esse valor passou para 13,35% e com 100% de agregado reciclado foi de 13,86%. Os autores concluíram que, apenas, as argamassas com até 30% de agregado reciclado atenderam ao limite estabelecido pela NBR 11173 (ABNT, 1990), que é de no máximo 8%.

3.3.4 Retração por secagem

A retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade (CARASEK, 2007).

São muitas as variáveis que influenciam na retração, e podem ser separadas em dois grupos: quanto à composição da mistura são a relação a/c e o volume de pasta; quanto à condição de exposição tem-se o período de cura, a umidade relativa do ambiente, temperatura, relação superfície/volume, grau de restrição e o vento (GRULLÓN PEÑA, 2004).

Miranda (2000) estudou os agregados reciclados na produção de argamassa de revestimento. Para o teor de finos < 75µm, foram adotados vários teores, dentre os quais o teor de 18%. O resíduo utilizado era constituído por argamassa, concreto e bloco cerâmico e o traço definido foi 1:9 (cimento:agregado), em massa. Para as argamassas com agregado reciclado, foi fixada a consistência. As misturas foram classificadas como T2 (55% de cerâmica e 45% de argamassa), que representava 12,22% de RCD, T4 (100% de argamassa), que representava 14,44% de agregado reciclado e T6 (45% de argamassa e 55% de bloco de concreto), que representava 15,55%. Na argamassa de referência o traço foi definido em 1:1:8 (cimento: cal: areia), em massa, com 24% de teor de finos < 75µm. As argamassas praticamente tiveram valores constantes, mesmo assim, as argamassas T2 e T6 tiveram retração um pouco maior que a

argamassa de referência, já a argamassa T4 obteve retração um pouco menor que a argamassa de referência. Os autores relataram que a quantidade de finos não afetou nos resultados e completou que a retração dependeu da perda de água que estava sob pressão nos pequenos poros, que por sua vez, dependeu da distribuição do tamanhos dos poros.

Lima; Lima; Marins (2007) estudaram a retração por secagem de argamassa com agregado reciclado constituído basicamente de concreto, argamassa e tijolo. Foram estudados dois traços, 1:4 e 1:8, em massa e a consistência da argamassa foi fixada em 260 ± 10 mm. Os teores de substituição de agregado por agregado reciclado foram de 0% e 50%. Houve um aumento na retração e perda de massa com a presença de agregado reciclado, independente do traço. Os autores justificaram que a retração estava relacionada com a alta porosidade do agregado proveniente de RCD. Já a perda de massa estava relacionada à presença de água no agregado reciclado, devido a sua porosidade. Ainda segundo os autores o agregado reciclado teve pequena influência sobre a formação de vazios capilares nas argamassas.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O objetivo do estudo foi verificar a influência dos teores de substituições de agregados naturais por agregados reciclados no desempenho de argamassa de revestimento. No projeto experimental foi realizada a caracterização dos materiais, bem como a determinação das propriedades das argamassas no estado fresco e estado endurecido. Os ensaios foram realizados nos Laboratório de Materiais de Construção e de Estruturas da Universidade Estadual de Feira de Santana.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados no estudo foram agregados miúdos reciclado e natural, cimento e água. Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e bibliografia disponível, conforme apresentado a seguir.

4.1.1 Cimento

Foi utilizado no programa experimental o cimento Portland CP II Z – 32 (cimento composto com pozolana) por ser comumente utilizado nas obras da região de Feira de Santana – Bahia.

Para caracterização do cimento foram realizados os ensaios de massa específica e resistência à compressão. Os resultados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 Propriedades física e mecânica do cimento

Propriedades avaliadas	Resultados obtidos	Limite da NBR 11578 (ABNT, 1991)
Massa específica (g/cm ³) – NBR NM 23 (ABNT, 2001)	2,98	–
Resistência à compressão (MPa) – NBR 7215 (ABNT, 1996)	7 dias	≥ 20
	28 dias	≥ 32

Pode ser observado por meio dos resultados, que o cimento utilizado neste estudo atendeu a limites de resistência especificados.

4.1.2 Agregados

a) Agregado natural

O agregado natural utilizado trata-se de uma areia quartzosa fina, proveniente da Cidade de Alagoinhas/Bahia, cujas características estão apresentadas na Tabela 2.

b) Agregado reciclado de construção e demolição (RCD)

O agregado miúdo reciclado utilizado neste estudo foi proveniente do trabalho realizado por Santiago (2008). Segundo a autora o resíduo foi originário de uma obra de reforma de um estabelecimento comercial da cidade de Feira de Santana/BA. Após a coleta o resíduo passou por uma triagem. Desta amostra foram separadas a fase inerte (concreto, argamassa, material cerâmico, entre outros), e as impurezas (papel, papelão, plásticos, madeira, amianto, materiais metálicos, entre outros). Foi determinada a composição gravimétrica do material com os grãos acima de 38mm, pois fração menor tende a apresentar uma quantidade significativa de solo e outros contaminantes de menor dimensão que poderiam estar presentes na amostra de RCD, a partir da sua separação manual. Determinou-se a porcentagem de cada constituinte do RCD. A Figura 3 ilustra a composição gravimétrica do RCD.

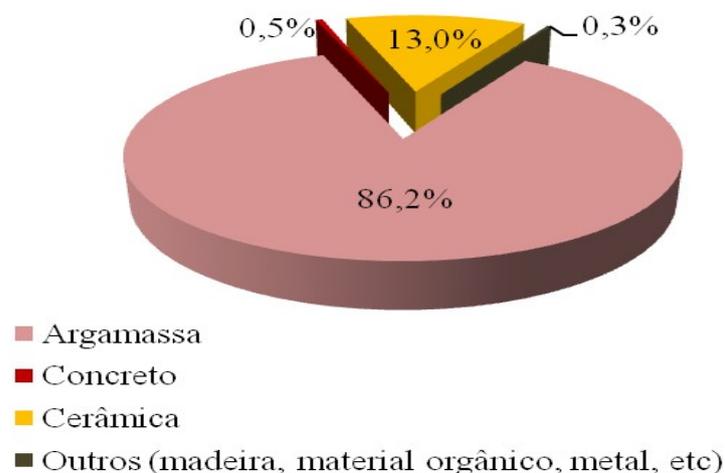


Figura 3 Composição gravimétrica do RCD

Fonte: SANTIAGO, 2008.

Com base na Figura 3 é possível observar que o resíduo de argamassa representa maior parte (86,2%), em seguida vem o resíduo cerâmico, com 13% e o resíduo de concreto que corresponde a 0,5%.

Ainda segundo a autora, após a obtenção da composição gravimétrica, o material passou pela britagem e peneiramento. A britagem do RCD foi realizada em laboratório, utilizando-se um britador de mandíbulas (modelo 2015-C), operando em circuito aberto, com alimentação manual. No peneiramento realizado considerou-se como sendo agregado miúdo, todo material passante pela peneira de abertura de 4,8mm.

No programa experimental proposto, o agregado miúdo beneficiado foi peneirado na peneira de abertura de 2,4mm. Esta escolha se deu devido a NBR 13529 (ABNT, 1995) recomendar o uso de RCD com dimensão máxima característica (DMC) de 2,4mm para argamassa de revestimento.

Os resultados da caracterização dos agregados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados da caracterização dos agregados naturais e reciclados

Propriedades – Métodos de ensaios		Agregado natural (AN)		Agregado reciclado (AR)	
Massa específica NBR NM 52 (ABNT, 2009)	Seco	2,66 g/cm ³		2,27 g/cm ³	
	SSS	2,66 g/cm ³		2,35 g/cm ³	
	Aparente	2,67 g/cm ³		2,48 g/cm ³	
Material pulverulento – NBR NM 46 (ABNT, 2003)		1,65 %		12,30%	
Absorção de água – NBR NM 30 (ABNT, 2001)		0 %		–	
Absorção de água – Leite (2001) adaptado por Reis (2009)		–		21,05 %	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)					
Abertura de peneira (mm)	Agregado natural		Agregado reciclado		
	% RI	% RA	% RI	% RA	
4,75	0,0	0	0,0	0	
2,36	0,3	0	0,3	0	
1,18	1,3	2	16,5	17	
0,6	12,9	15	22,4	39	
0,3	50,1	65	19,5	59	
0,15	28,2	93	18,6	77	
< 0,15	7,2	100	22,6	100	
Módulo de finura (MF)		1,74		1,93	
Dimensão máxima característica (DMC)		1,18 mm		2,36 mm	

RI: retida individual

RA: retida acumulada

Em relação à massa específica dos agregados, pode ser observado que a do agregado reciclado é 17% menor que a do agregado natural. Gomes et al.(2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Lintz, Silva e Pugliero (2009); Sales e Cabral (2009) também encontraram valores de massa específica do agregado reciclado menores que o agregado natural.

Observa-se que a quantidade de material pulverulento no agregado reciclado foi 745% maior que a do agregado natural. Isso demonstra que, de fato, existe muito material fino no agregado reciclado.

A Figura 4 mostra a curva granulométrica dos agregados.

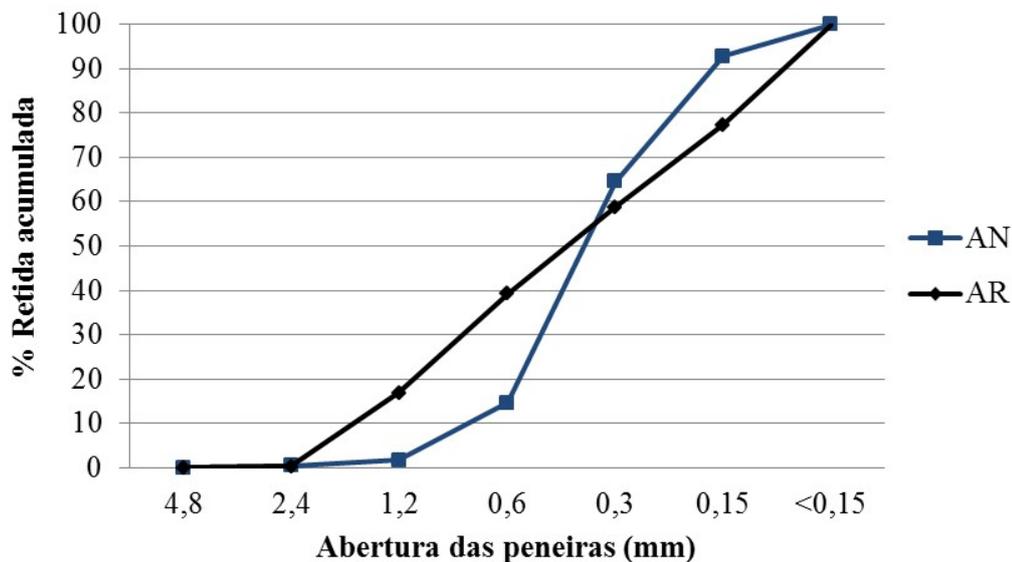


Figura 4 Curvas granulométricas dos agregados naturais e reciclados

Através da Figura 4 é possível analisar que a curva granulométrica do agregado reciclado é contínua. Por outro lado, a curva granulométrica do agregado natural é descontínua, sendo que 50% do material apresenta diâmetros entre 0,6mm e 0,3mm.

Considerando a alta porosidade e elevado teor de material pulverulento do RCD, a absorção de água foi determinada pelo método proposto por Leite (2001) adaptado por Reis (2009), esta escolha se deu porque o agregado reciclado não se enquadrar nos requisitos da NBR NM 30 (ABNT, 2001). O ensaio foi executado em um aparato cujo fundo possui uma malha com

abertura de 0,044mm. A amostra de agregado foi seca em estufa por 24 horas e resfriada à temperatura ambiente. Em seguida, o conjunto peneira e amostra foi preso no aparato da balança hidrostática e submerso em água, durante 24 horas. A lâmina d'água foi mantida abaixo da borda da peneira, para garantir que o material não fosse perdido. Foi realizado o monitoramento do ganho de massa da amostra em intervalos de tempo pré-estabelecidos pelo método de Leite (2001). Após cada leitura foi feito o agitação com uma espátula, para facilitar a saída de ar presente na amostra. Em seguida o conjunto foi deixado em repouso para estabilizar até a leitura subsequente. A Figura 5 ilustra o procedimento do ensaio.

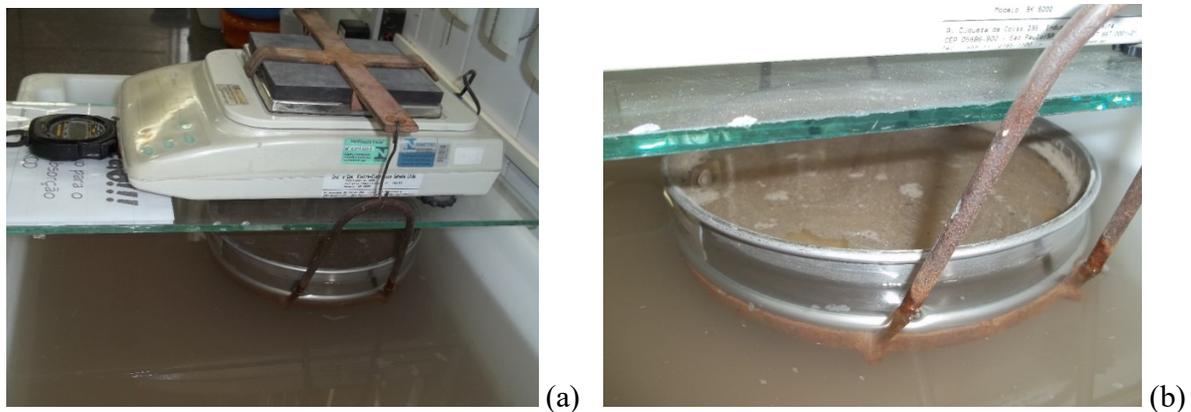


Figura 5 Ensaio de absorção: a) Amostra submersa na balança. b) Nível da água

Com os dados, calculou-se as taxas de absorção do material seco e do material submerso. A partir da média entre estas taxas estabeleceu-se a taxa de absorção final dos agregados (Leite, 2001). A Tabela 3 apresenta os resultados da absorção do material seco e submerso bem como a taxa de absorção final dos agregados.

Tabela 3 Resultados de absorção do agregado reciclado

Tempo (min)	Absorção Seca (%)	Absorção Submersa (%)	Média (%)
0	0,00	0,00	0,00
5	10,47	22,29	16,38
10	11,31	24,07	17,69
15	11,41	24,29	17,85
20	11,46	24,40	17,93
25	11,56	24,63	18,10
30	11,85	25,24	18,54
40	12,30	26,17	19,24
50	12,11	25,77	18,94
60	12,29	26,17	19,23
75	12,35	26,28	19,31
90	12,39	26,39	19,39
105	12,42	26,44	19,43
120	12,60	26,82	19,71
180	12,70	27,05	19,87
360	12,80	27,26	20,03
1440	13,46	28,65	21,05

Através do resultado de absorção de água do agregado de RCD apresentado na Tabela 3 pode ser verificado que houve uma alta taxa de absorção de água, 21,05%. Este fato foi justificado devido ao agregado reciclado ser um material muito poroso. Em função desse resultado, plotou-se a curva de absorção de água do agregado de RCD no tempo visando avaliar o ganho de água no tempo (Figura 6).

Como pode ser observado na Figura 6, nos primeiros 25 minutos de ensaio o a absorção do agregado reciclado correspondeu a 86% do valor total da taxa de absorção de água, ou seja, 18,10%. Este aspecto será levado em consideração para estabelecer uma compensação de água absorvida durante a produção da argamassa.

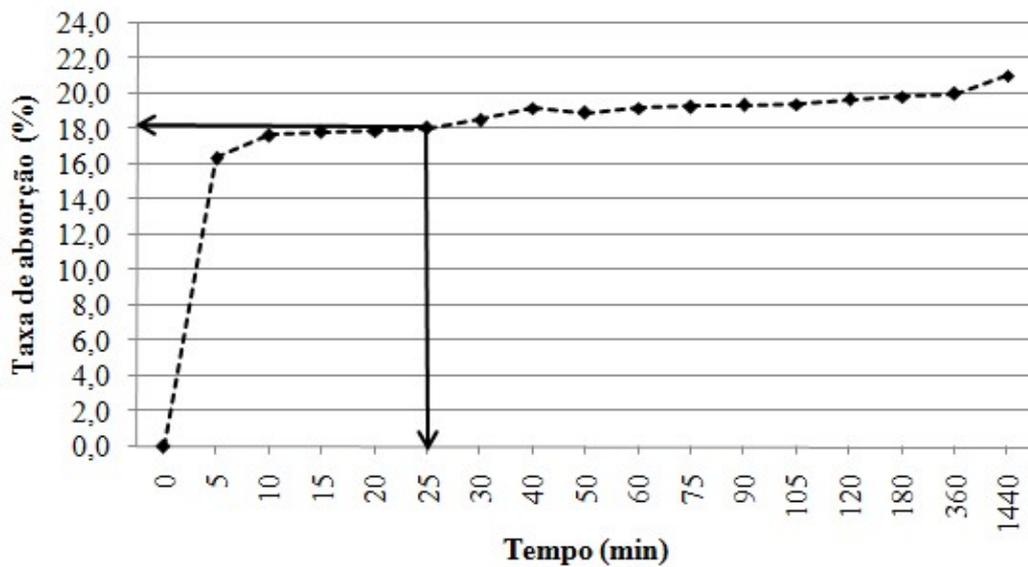


Figura 6 Curva de absorção do agregado reciclado no tempo

4.1.3 Água

A água utilizada no desenvolvimento do estudo foi proveniente da rede de abastecimento da Universidade Estadual de Feira de Santana, cuja a fonte de abastecimento é através de poço artesanal.

4.2 DEFINIÇÃO DO TRAÇO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

O traço unitário utilizado para as argamassas foi de 1:6, em massa (cimento : agregado miúdo). Este traço foi escolhido por ser bastante utilizado em obras, quando a finalidade é argamassa de revestimento. A argamassa deveria apresentar trabalhabilidade adequada durante o seu assentamento, para isso, foi fixada a consistência para todas as argamassas produzidas. Esta consistência foi realizada na aplicação da argamassa de referência (sem agregado reciclado), em um painel de alvenaria de bloco de concreto, como mostra a Figura 7.

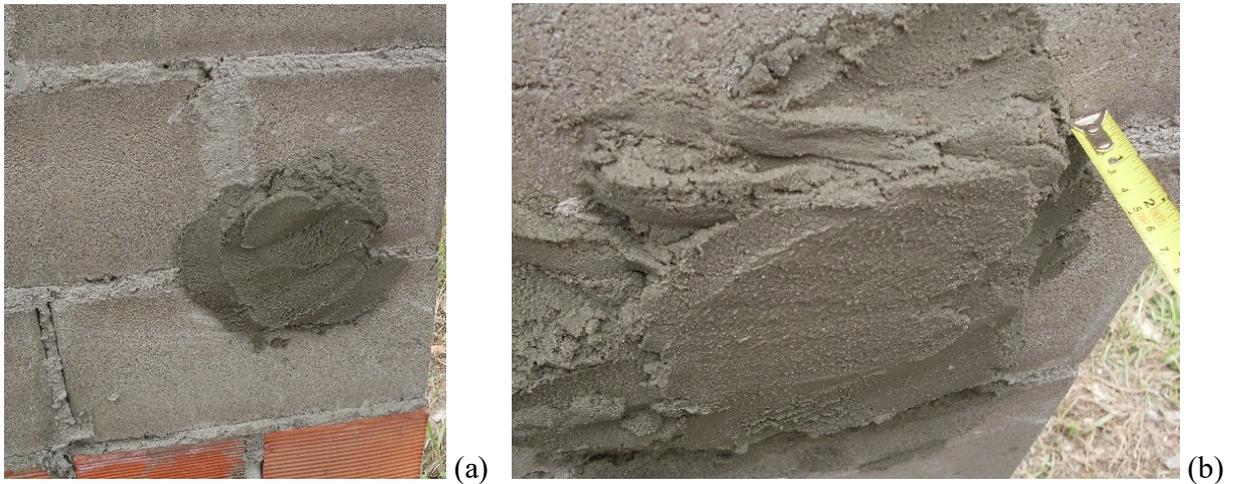


Figura 7 Aspecto do teste de aplicação da argamassa: a) Aspecto da argamassa aplicada. b) Espessura da argamassa.

A aplicação da argamassa no painel foi realizada por um pedreiro, sendo controlada a espessura do revestimento, que foi de 2 cm, como ilustra a Figura 7b. Esta espessura foi definida por ser comumente recomendada quando a finalidade da argamassa é revestimento. Foi controlada a quantidade de água na argamassa para determinar o fator água/cimento. Após a definição do teor de água, de acordo com a trabalhabilidade requerida pelo pedreiro, o traço foi reproduzido em laboratório para medir a consistência, através do espalhamento, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005). A Figura 8 mostra o ensaio realizado na mesa de consistência.



Figura 8 Aspecto da determinação da consistência (mesa de consistência)

A consistência determinada na argamassa de referência foi de 295mm. Assim, foi fixada a consistência de 295 ± 10 mm para todas as argamassas. Uma vez definida a consistência da argamassa de referência, foram produzidas argamassas com agregado reciclado. A substituição do agregado natural pelo agregado reciclado foi de 25%, 50% e 75%, em massa. A Tabela 4 apresenta os traços que foram produzidos no estudo.

Tabela 4 Traços unitários e o percentual de substituição dos agregados naturais e reciclados

Misturas	Traço em massa (cimento:AN:AR)	AN (%)	AR (%)	Consistência (mm)	Fator a/c logo após a mistura	Fator a/c corrigido
A0 (Referência)	1:6:0	100	0	295	1,12	1,12
A25	1:4,5:1,5	75	25	295	1,18	1,22
A50	1:3:3	50	50	295	1,25	1,36
A75	1:1,5:4,5	25	75	300	1,39	1,47

AN – Agregado Natural

AR – Agregado Reciclado

Com base na Tabela 4 é possível observar que foram determinados dois fatores água/cimento. O primeiro foi determinado logo após a mistura das argamassas. Porém, percebeu-se que eram necessários 30 minutos para a aplicação da argamassa em um painel (100cm de altura e 50cm de largura), o que comprometia a sua trabalhabilidade. Esta perda da trabalhabilidade é atribuída, principalmente, à influência da alta absorção do agregado reciclado. Por isso, foi necessário fazer uma correção no fator a/c das misturas A25, A50 e A75 para que estas pudessem ser trabalháveis ao longo da sua aplicação. Logo, a determinação da consistência das argamassas no laboratório foi feita 30 minutos após as misturas, para atender a faixa estabelecida. A água foi inserida no início da mistura das argamassas e a mesma foi controlada 30 minutos após, o que corresponde ao segundo fator a/c.

Definido o fator a/c corrigido para todas as argamassas, estas foram produzidas para determinação dos ensaios no estado fresco (retenção de água e massa específica) e no estado endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, retração por secagem, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade), utilizou-se argamassadeira com capacidade máxima de 5 litros. Exceto para o ensaio de aderência, no qual, foi utilizada a

betoneira, que tinha capacidade máxima de 140 litros. Esta escolha foi devido à grande quantidade de argamassa necessária para execução do ensaio.

Os corpos-de-prova foram moldados e adensados, conforme suas normas específicas. Em seguida foram mantidos em cura ao ar por um dia. Após as 24 horas foram desmoldados e encaminhados à cura úmida, no qual permaneceram até a idade de cada ensaio. Os corpos-de-prova para a determinação da resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e absorção de água por capilaridade foram desmoldados após 48 horas e, segundo as respectivas normas, foram curados em ambiente com temperatura do ar de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(50 \pm 5)\%$.

Para cada mistura foram moldados 3 corpos-de-prova (CPs) cilíndricos, com diâmetro de 50mm e altura de 100mm, para o ensaio de absorção de água por imersão, 3 CPs prismáticos, de dimensões (285 x 25 x 25) mm para determinação de retração por secagem e 6 CPs prismáticos, de dimensões (40 x 40 x 160) mm, sendo 3 CPs para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão e 3 CPs para determinação da absorção de água por capilaridade.

4.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

As argamassas no estado fresco foram avaliadas quanto à retenção de água e massa específica.

4.3.1 Retenção de água

A determinação da retenção de água foi segundo a NBR 13277 (ABNT, 2005). Para o ensaio de retenção de água foi utilizado uma bomba a vácuo (modelo 131 e tipo 2VC) como mostra a Figura 9.



Figura 9 Aparelho para determinação de retenção de água

4.3.2 Massa específica

A massa específica das argamassas no estado fresco foi determinada atendendo à metodologia definida pela NBR 13278 (ABNT, 2005). A Figura 10 mostra o recipiente utilizado no procedimento do ensaio.



Figura 10 Recipiente cilíndrico de PVC para determinação da massa específica

4.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

No estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração, retração por secagem, absorção de água por imersão, massa específica, índice de vazios e absorção de água por capilaridade.

4.4.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005). O equipamento utilizado para determinação da resistência à compressão foi uma máquina servo-hidráulica, microprocessada (modelo HD-200T) para ensaios, com capacidade de 200 toneladas, como ilustra a Figura 11.



Figura 11 Prensa hidráulica para os ensaios mecânicos

4.4.2 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para esta determinação foi utilizado uma célula de carga com capacidade de 5 toneladas, como ilustrado na Figura 12.



Figura 12 Aspecto da célula de carga

4.4.3 Resistência de aderência à tração

Para determinação da resistência de aderência à tração foi construído um painel de alvenaria, com bloco de concreto, como ilustra a Figura 13a. Foram colocadas mestras para controlar a espessura da argamassa (2cm). Após 7 dias, o painel foi chapiscado para que se obtivesse uma melhor aderência entre o substrato e a argamassa (Figura 13b), uma vez que, foi testada a aplicação da argamassa sem o chapisco e a mesma não obteve aderência necessária.

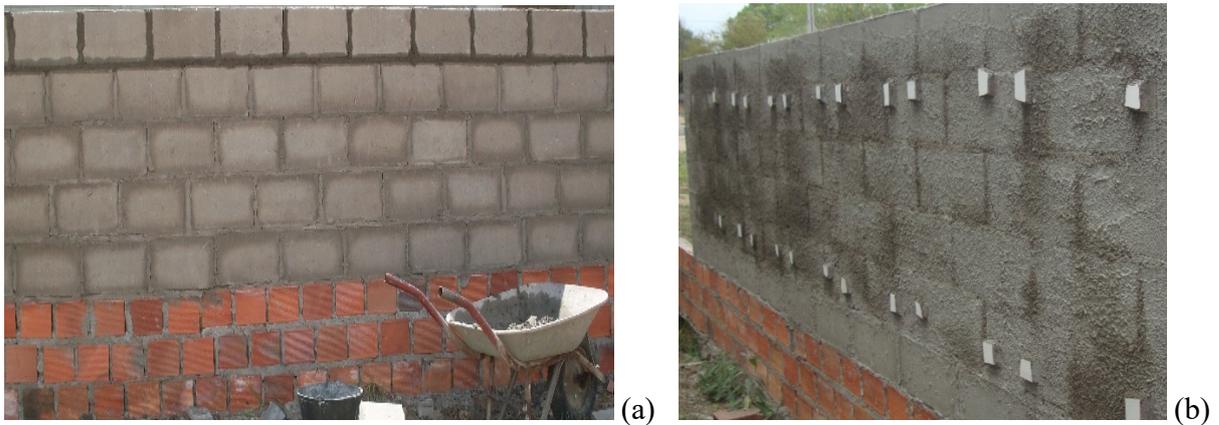


Figura 13 Alvenaria de bloco de concreto: a) Construção da alvenaria. b) Aplicação do chapisco na alvenaria.

O traço do chapisco utilizado foi 1:3 (cimento : areia), em massa. Utilizou-se uma areia grossa e o cimento foi o mesmo da argamassa de revestimento (CP II – Z). O chapisco foi aplicado buscando uma uniformidade em toda a sua superfície, de modo a reduzir a influência nos resultados de resistência de aderência à tração.

A resistência de aderência entre o substrato e a argamassa de revestimento foi determinada segundo a NBR 13528 (ABNT, 2010). A Figura 14 ilustra o equipamento utilizado (modelo 3105 C).



Figura 14 Equipamento para determinação da resistência de aderência à tração

4.4.4 Retração por secagem

A retração por secagem das argamassas foi avaliada com base nos procedimentos da ASTM C 157 (2003). O adensamento dos CPs foi executado na mesa de consistência padrão, somente com uma camada, para evitar a segregação e exsudação da argamassa. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o processo de adensamento da argamassa.



Figura 15 Adensamento dos CPs para determinação da retração

4.4.5 Absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado através da norma NBR 9778 (ABNT, 2005). Neste ensaio também foram obtidos os parâmetros de massa específica e índice de vazios. A Figura 16 mostra um aspecto do procedimento de execução da absorção por imersão.



Figura 16 Corpos-de-prova imersos em água para execução do ensaio de absorção

4.4.6 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade nas argamassas foi realizada conforme a norma NBR 15259 (ABNT, 2005). Através da Figura 17 é possível observar o aparato utilizado para que as superfícies das amostras permanecessem em contato direto com a água.



Figura 17 Ensaio de absorção de água nas argamassas

5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados das propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

5.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

No estado fresco, foram realizados os ensaios de retenção de água e massa específica, cujos resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

5.1.1 Retenção de água

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados de retenção de água para as argamassas produzidas.

Tabela 5 Resultados da retenção de água nas argamassas

% de RCD	Retenção de água (%)
0	66
25	73
50	80
75	84

A Figura 18 mostra a curva de comportamento das argamassas quanto à retenção de água.

Com base nos resultados pode-se observar que quanto maior o teor de RCD maior a porcentagem de retenção de água.

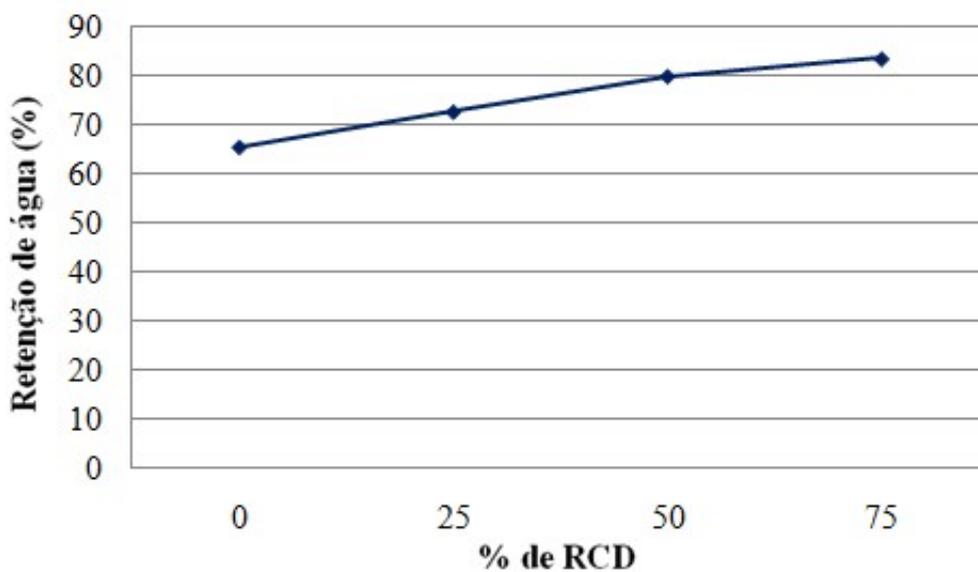


Figura 18 Curva de comportamento das argamassas quanto à retenção de água

A Figura 19 ilustra a retenção de água relativa das argamassas.

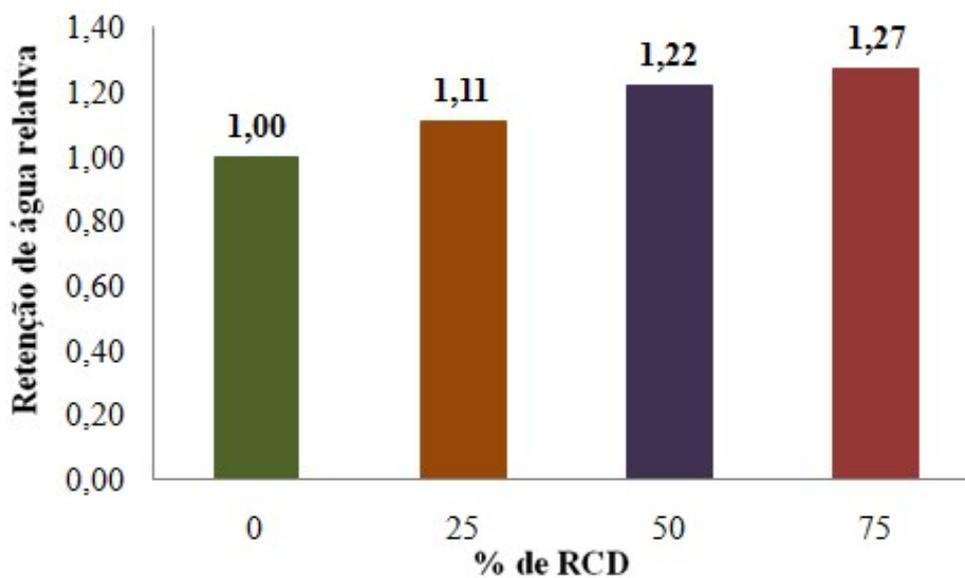


Figura 19 Gráfico da retenção de água relativa

Pode-se observar que o aumento na retenção de água foi de 11% quando se utilizou 25% de agregado reciclado na argamassa, em relação à argamassa de referência. Para o teor de 50% de agregado reciclado o aumento foi de 22%. Por outro lado, quando se utilizou 75% de agregado

reciclado na argamassa, a retenção foi 27% maior do que a da argamassa de referência. O aumento da retenção observado nas argamassas com agregado reciclado pode ser justificado pelo fato do resíduo apresentar um alto teor de finos, favorecendo uma maior retenção de água, devido ao aumento da superfície específica do grãos de agregado reciclado.

Tanaka et. al. (2010) encontraram um valor em torno de 89% de retenção de água, para argamassas composta por resíduo cerâmico. A justificativa foi a presença de finos que ajudou na retenção de água nas argamassas, devido a elavada superfície específica.

Goems et. al. (2010) encontraram valores de retenção de 82%, 94%, 82% e 85% para as argamassas com teores de 0%, 15%, 30% e 43%, respectivamente. O resíduo era composto por rejeito de argamassa. Os autores justificaram a necessidade de melhor investigação dos resultados, pois esperavam que a quantidade de finos no resíduo aumentasse a retenção de água nas argamassas.

5.1.2 Massa específica

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados de massa específica das argamassas produzidas.

Tabela 6 Massas específicas das argamassas estudadas

% de RCD	Massa específica (Kg/m ³)
0	2006
25	1999
50	1985
75	1954

A Figura 20 mostra a curva de comportamento das argamassas quanto à massa específica.

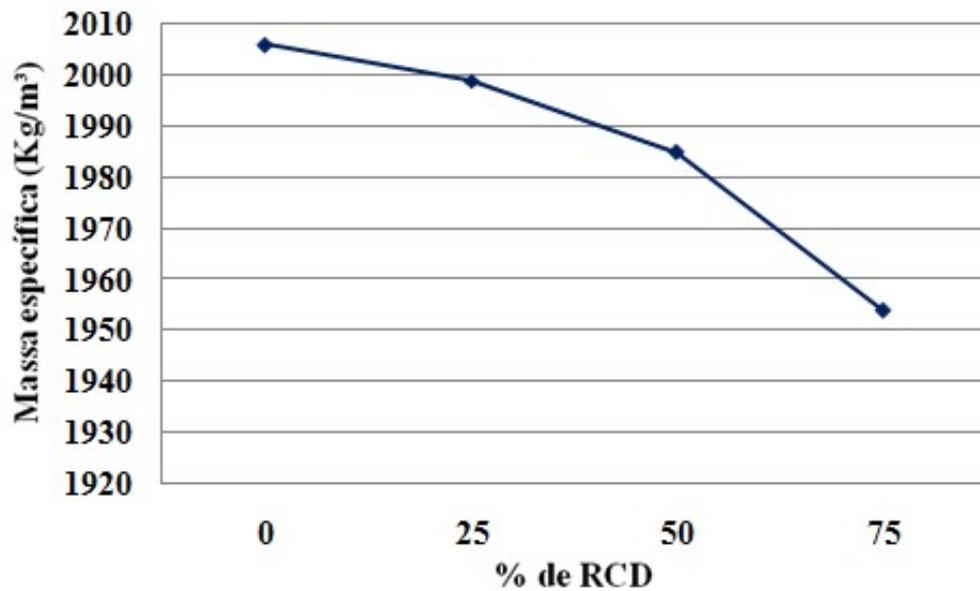


Figura 20 Curva de comportamento das argamassas, quanto à massa específica

Com base no gráfico apresentado na Figura 20 pode-se constatar que a utilização de agregado reciclado na argamassa proporcionou uma pequena redução na sua massa específica. Quanto maior o teor de agregado reciclado menor a massa específica.

A Figura 21 ilustra a massa específica relativa das argamassas.

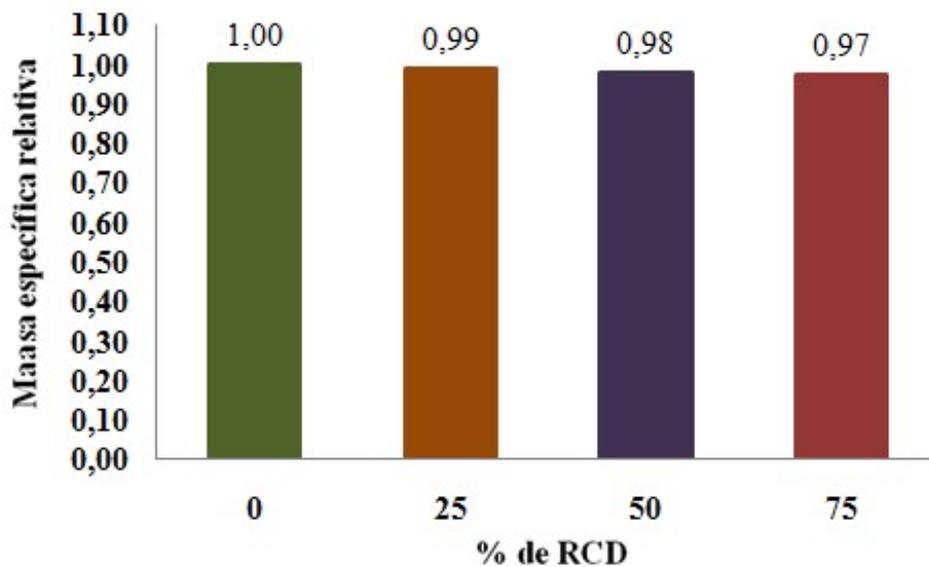


Figura 21 Gráfico da massa específica relativa

Observa-se que para o teor de 25% de agregado reciclado a massa específica da argamassa diminuiu 1%, em relação à argamassa de referência. A argamassa com 50% e 75% apresentaram redução de, respectivamente, 2% e 3% em relação à massa específica da argamassa de referência.

A redução da massa específica das argamassas com os teores de resíduo é explicada pelo fato de que a massa específica do agregado reciclado foi menor do que a do agregado natural. Entretanto, a variação na massa específica das argamassas não foi tão expressiva como verificado em relação aos agregados. Fator este que deve ser melhor analisado, uma vez, que a quantidade de agregado reciclado inserida na argamassa, deveria exercer uma maior influência em sua massa específica.

5.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

No estado endurecido foram avaliadas a resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração, retração por secagem, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade, cujos resultados serão apresentados a seguir.

5.2.1 Resistência à compressão axial

Os resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas produzidas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias

% de RCD	Resistência individual (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	4,8	4,3	0,3	7,2
	4,2			
	5,7*			
	4,1			
	4,4			
	4,1			
25	4,6	4,9	0,2	4,9
	4,8			
	4,9			
	5,9*			
	5,3			
	5,0			
50	5,4	5,4	0,1	2,0
	5,2			
	6,1*			
	5,3			
	5,4			
	3,8*			
75	5,8	5,6	0,3	4,6
	5,3			
	5,3			
	5,9			
	5,5			
	5,7			

* Descartados para atender as exigências da NBR 13279 (ABNT, 2005), pois o desvio absoluto máximo admitido é de 0,5MPa.

Na Figura 22 está apresentado o gráfico de comportamento das argamassas.

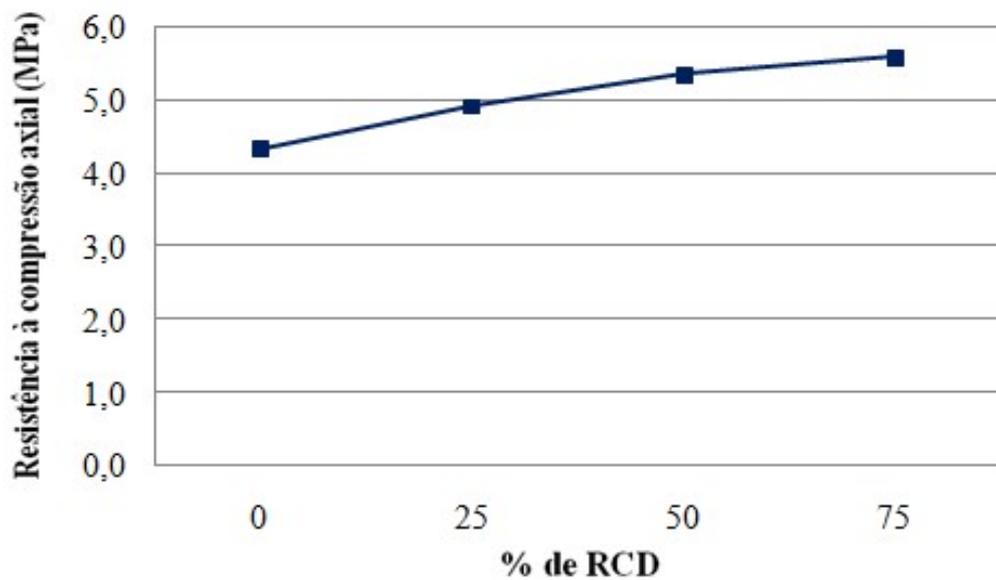


Figura 22 Curva de comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão aos 28 dias

Como pode ser observado na Figura 22 quanto maior o teor de agregado reciclado na argamassa maior a sua resistência à compressão. A Figura 23 mostra o gráfico da resistência à compressão relativa das argamassas estudadas.

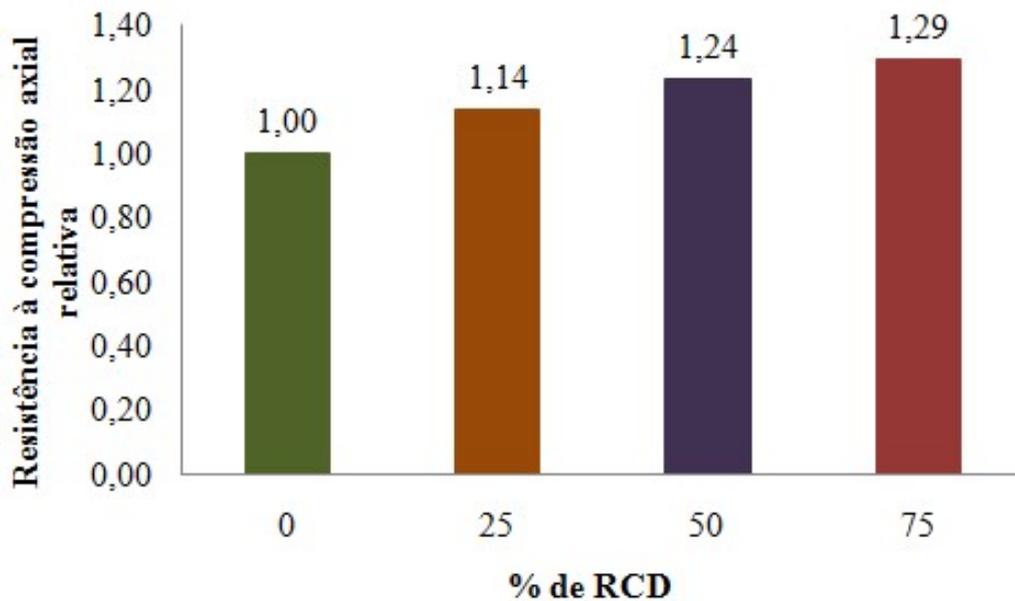


Figura 23 Gráfico de resistência à compressão relativa

Observa-se que quando o teor foi de 25% de agregado reciclado a resistência da argamassa aumentou 14%, em relação à argamassa de referência. A argamassa com 50% de agregado reciclado apresentou resistência 24% maior. Para o teor de 75% de agregado reciclado, o aumento na resistência foi de 29%, em relação à argamassa de referência.

Este aumento de resistência em relação ao aumento de teor de agregado reciclado pode ser explicado, principalmente, pelos seguintes fatores:

- I. a granulometria do agregado reciclado é contínua, o que favorece um melhor empacotamento na argamassa que contém esse resíduo. Já a granulometria do agregado natural é descontínua fazendo com que a argamassa de referência apresente maior volume de vazios, em relação às argamassas com agregado reciclado.
- II. Apesar de demandarem mais água, as argamassas com agregado reciclado apresentam maior retenção. A retenção de água favorece a resistência à compressão, uma vez que a água retida pode ajudar na hidratação do cimento, na cura interna da argamassa e reduzir a formação de capilares.
- III. A possibilidade de existência de grãos anidros de cimento no agregado reciclado, que com a sua hidratação pode favorecer a um aumento de resistência.
- IV. A rugosidade do agregado reciclado pode ter influenciado na maior ancoragem com a pasta de cimento.

Comportamento similar foi observado por Assunção, Carvalho e Silva (2007), que verificaram a influência do RCD como agregado em argamassas. As misturas com agregado reciclado, para os teores de substituições de 30% e 50%, apresentaram maior resistência.

Gomes et al. (2010) também encontraram o aumento na resistência das argamassas quando estudou os teores de 15%, 30% e 43%.

5.2.2 Resistência à tração na flexão

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de resistência à tração na flexão.

Tabela 8 Resultados de resistência à tração na flexão das argamassas produzidas

% de RCD	Resistência à tração na flexão individual (MPa)	Resistência à tração na flexão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	0,6	0,6	0,1	8,7
	0,7			
	0,7			
25	0,8	0,6	0,2	31,5
	0,5			
	0,6			
50	0,7	0,6	0,1	9,8
	0,6			
	0,6			
75	1,2	1,0	0,3	29,4
	1,2			
	0,7			

O gráfico apresentado na Figura 24 mostra o comportamento quanto à resistência à tração na flexão das argamassas. Através dos resultados obtidos verifica-se que as misturas com 25% e 75% de agregado reciclado apresentam coeficientes de variação elevados, porém os desvios padrão encontram-se dentro do limite exigido pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

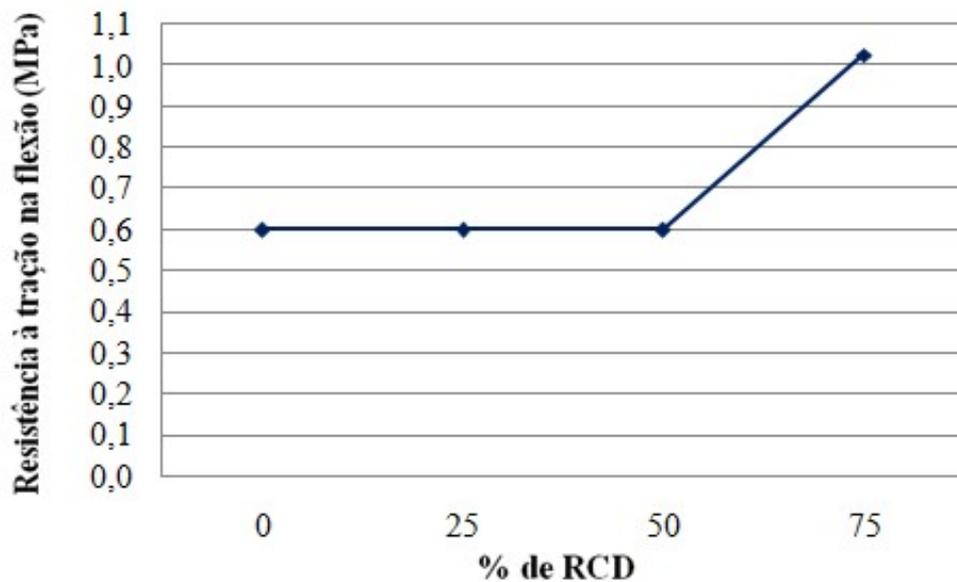


Figura 24 Curva de comportamento das argamassas com diferentes teores de RCD, quanto à tração na flexão

Pode ser observado na Figura 24 que não houve variação na resistência à tração na flexão média entre as argamassas de referência e com 25% e 50% de agregado reciclado. Já para argamassa com 75% de agregado reciclado houve um acréscimo significativo na resistência. A Figura 25 mostra o gráfico da resistência à tração na flexão relativa das argamassas.

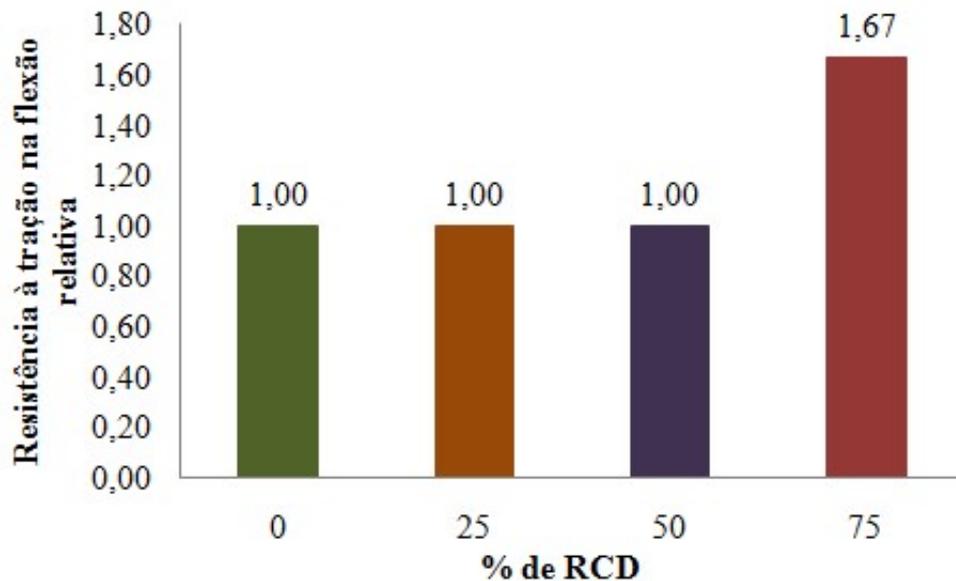


Figura 25 Resistência à tração na flexão relativa das argamassas com diferentes teores de agregado reciclado

Observa-se que a resistência à tração na flexão das argamassas com os teores de 25% e 50% de agregado reciclado foi igual a da argamassa de referência. Por outro lado a argamassa com o teor de 75% de agregado reciclado apresentou uma resistência à tração na flexão 67% maior, em relação à argamassa de referência.

O comportamento das argamassas quanto à resistência à tração na flexão não foi o mesmo da resistência à compressão, exceto para argamassa com 75% de agregado reciclado. Pode-se dizer que para teores com até 50% de agregado reciclado, a presença do resíduo não influenciou neste parâmetro, o mesmo não aconteceu para o teor de 75% de agregado reciclado. Um fator que pode ter influenciado foi o coeficiente de variação elevado.

Gomes et al. (2010) obtiveram um comportamento semelhante de resistência à tração na flexão quando utilizaram 15%, 30% e 43% de agregado reciclado nas argamassas.

5.2.3 Resistência de aderência à tração

Os resultados de resistência de aderência à tração apresentaram alguns valores discrepantes, decorrentes do processo de execução, para os teores de 0% e 50% de agregado reciclado. Esses valores foram descartados e calculadas as médias, conforme apresentado na tabela 9. O conjunto dos resultados (sem descarte) está apresentado no apêndice.

A Tabela 9 mostra os resultados com as médias de resistência de aderência à tração ajustadas.

Tabela 9 Resistência de aderência à tração ajustando o coeficiente de variação

% de RCD	C.P	Resistência individual (MPa)	Resistência média ajustada (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Umidade (%)
0	1	0,66	0,46	0,20	44,1	1,84
	2	0,24				
	3	0,25				
	4	0,70				
	5	0,64				
	6	0,64				
	7	0,39				
	8	0,23				
	9	0,36				
25	1	0,42	0,46	0,05	10,9	2,25
	2	0,52				
	3	0,40				
	4	0,45				
	5	0,53				
	6	0,50				
	7	0,41				
	8	0,50				
	9	0,42				
50	1	0,36	0,43	0,12	27,4	3,29
	2	0,42				
	3	0,52				
	4	0,60				
	5	0,52				
	6	0,34				
	7	0,28				
	8	0,53				
	9	0,29				

CONTINUAÇÃO

% de RCD	C.P	Resistência individual (MPa)	Resistência média ajustada (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Umidade (%)
75	1	0,50	0,59	0,13	21,6	4,22
	2	0,44				
	3	0,58				
	4	0,71				
	5	0,68				
	6	0,74				
	7	0,67				
	8	0,60				
	9	0,37				

Apesar dos ajustes depois de descartados pontos discrepantes, observa-se que a argamassa de referência (0% de agregado reciclado), continuou com o coeficiente de variação elevado, 44,1%.

Cincotto et al. (1995) afirmaram que os resultados de aderência à tração apresentaram um coeficiente de variação bastante elevado, quando estes são analisados indiscriminadamente. Os autores explicam que decorre do fato de que a resistência de aderência à tração é a medida da interação argamassa/substrato e, sendo assim depende tanto das características da argamassa, quanto do substrato (que por si só apresentam alta variabilidade em suas características), além da forma de aplicação.

Moura (2007) estudou a aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto e verificou que o coeficiente de variação compreende de 7,31% a 102,55%.

Na Figura 26 mostra o comportamento das argamassas produzidas, com relação à resistência de aderência à tração.

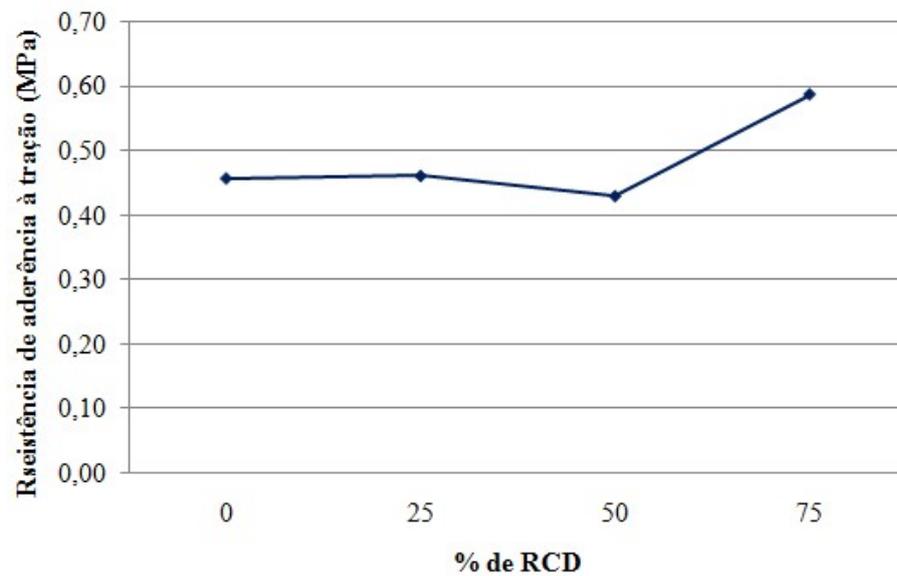


Figura 26 Curva de comportamento das argamassas quanto à resistência de aderência à tração

De acordo com o comportamento apresentado na Figura 26 pode-se notar que a resistência média das argamassas com 0% e 25% de agregado reciclado foi a mesma. A argamassa com 50% de agregado reciclado apresentou uma pequena redução de resistência, em relação à argamassa de referência. Por outro lado, a resistência da argamassa com 75% de agregado reciclado foi maior.

O gráfico da resistência de aderência à tração relativa pode ser observado na Figura 27.

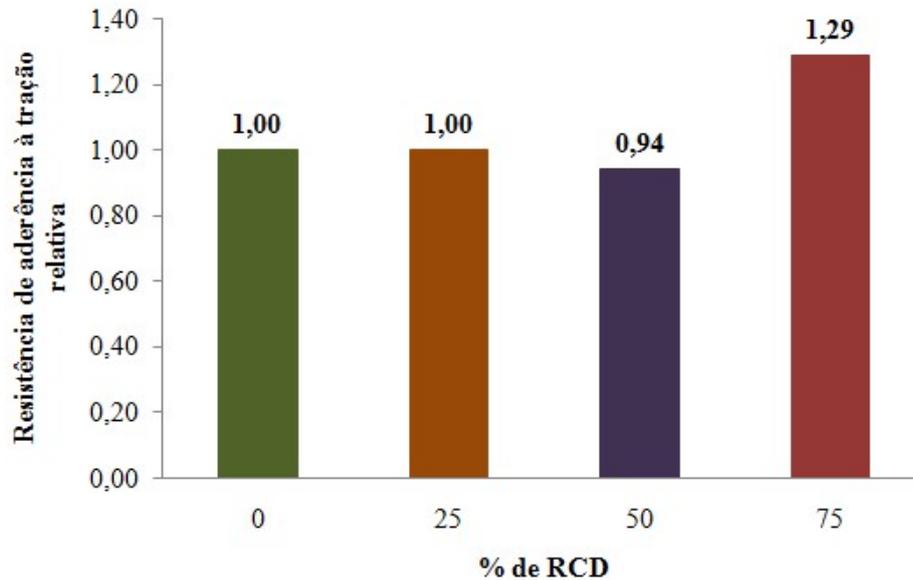


Figura 27 Gráfico da resistência de aderência à tração relativa, em função ao teor de agregado reciclado

Observa-se que a argamassa com o teor de 50% de agregado reciclado apresentou uma redução de 6% em relação à argamassa de referência. A argamassa com o teor de 75% de agregado reciclado apresentou um acréscimo de 28%, em relação à argamassa de referência. O comportamento das argamassas quanto à resistência de aderência foi semelhante ao da resistência à tração na flexão. Apesar do pequeno decréscimo de resistência de aderência à tração na argamassa com 50% de agregado reciclado.

Pode-se atribuir este comportamento aos seguintes fatores: a fração de material cerâmico presente no resíduo, depois de moído, pode ter contribuído para adesividade entre a argamassa e o substrato; a fração oriunda de argamassa presente no resíduo pode conter grãos anidros de cimento, que com sua hidratação pode favorecer um aumento na resistência.

Lima (2005) estudou argamassa com 0% e 100% de agregado reciclado e verificou que houve um aumento da resistência de aderência, com a substituição de 100% de agregado natural por agregado reciclado. Sales e Cabral (2009) também constataram que a incorporação de agregado reciclado na argamassa aumentou a resistência de aderência. A mesma tendência nos resultados de resistência de aderência foi encontrada por Assunção, Carvalho e Silva (2007), que estudaram a utilização dos teores de 30% e 50% de agregado reciclado.

5.2.4 Retração por secagem

A Tabela 10 mostra os resultados de retração por secagem e perda de massa das argamassas em função da idade.

Tabela 10 Valores de retração por secagem e perda de massa das argamassas

Tempo de secagem (dias)	Referência		25% de RCD		50% de RCD		75% de RCD	
	Retração por secagem ($\mu\epsilon$)	Perda de massa (g)	Retração por secagem ($\mu\epsilon$)	Perda de massa (g)	Retração por secagem ($\mu\epsilon$)	Perda de massa (g)	Retração por secagem ($\mu\epsilon$)	Perda de massa (g)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	112,4	-35,5	72,6	-32,8	79,4	-27,8	160,0	-29,5
2	183,9	-46,7	197,9	-42,6	157,4	-36,7	272,0	-41,7
3	288,4	-52,5	329,1	-49,1	264,6	-44,1	449,3	-49,3
4	269,0	-56,5	414,7	-52,8	345,2	-48,4	601,3	-54,4
5	470,9	-59,0	480,2	-54,2	452,4	-51,0	660,0	-56,2
6	513,2	-60,5	559,7	-56,0	560,8	-54,1	796,0	-58,4
7	488,1	-60,1	604,4	-57,0	648,1	-56,2	877,3	-59,9
8	505,3	-60,4	657,0	-57,7	779,1	-58,1	944,0	-60,4
9	510,6	-60,5	702,8	-58,3	853,2	-59,3	1058,7	-61,5
14	518,5	-60,1	814,2	-59,5	992,1	-61,2	1373,3	-64,4
19	586,0	-60,5	846,9	-59,6	1088,6	-61,8	1422,7	-65,2
24	604,5	-60,4	879,7	-59,7	1150,8	-62,2	1481,3	-65,3
29	632,3	-60,5	909,5	-59,7	1195,8	-62,4	1556,0	-66,0
34	674,6	-60,3	925,5	-59,8	1185,2	-62,3	1613,3	-66,6
39	641,5	-60,0	944,4	-59,7	1202,4	-62,3	1681,3	-66,8
44	656,1	-60,0	973,2	-59,8	1261,9	-62,6	1674,7	-67,0
49	682,5	-59,9	982,1	-59,5	1272,5	-62,5	1689,3	-67,5
77	742,1	-59,1	1066,6	-59,3	1361,1	-62,9	1822,7	-67,8
105	768,5	-59,2	1105,4	-59,4	1379,6	-63,1	1873,3	-68,1
133	748,0	-59,2	1087,5	-59,3	1365,1	-62,9	1845,3	-68,0
163	771,8	-59,2	1120,3	-59,1	1404,8	-62,8	1888,0	-67,9

Percebeu-se que houve um aumento da retração por secagem de todas as argamassas, durante um período de 163 dias. Também foi possível perceber a perda de massa das argamassas neste mesmo período. A Figura 28 mostra o comportamento das argamassas produzidas, em relação à retração por secagem, durante o período de 163 dias.

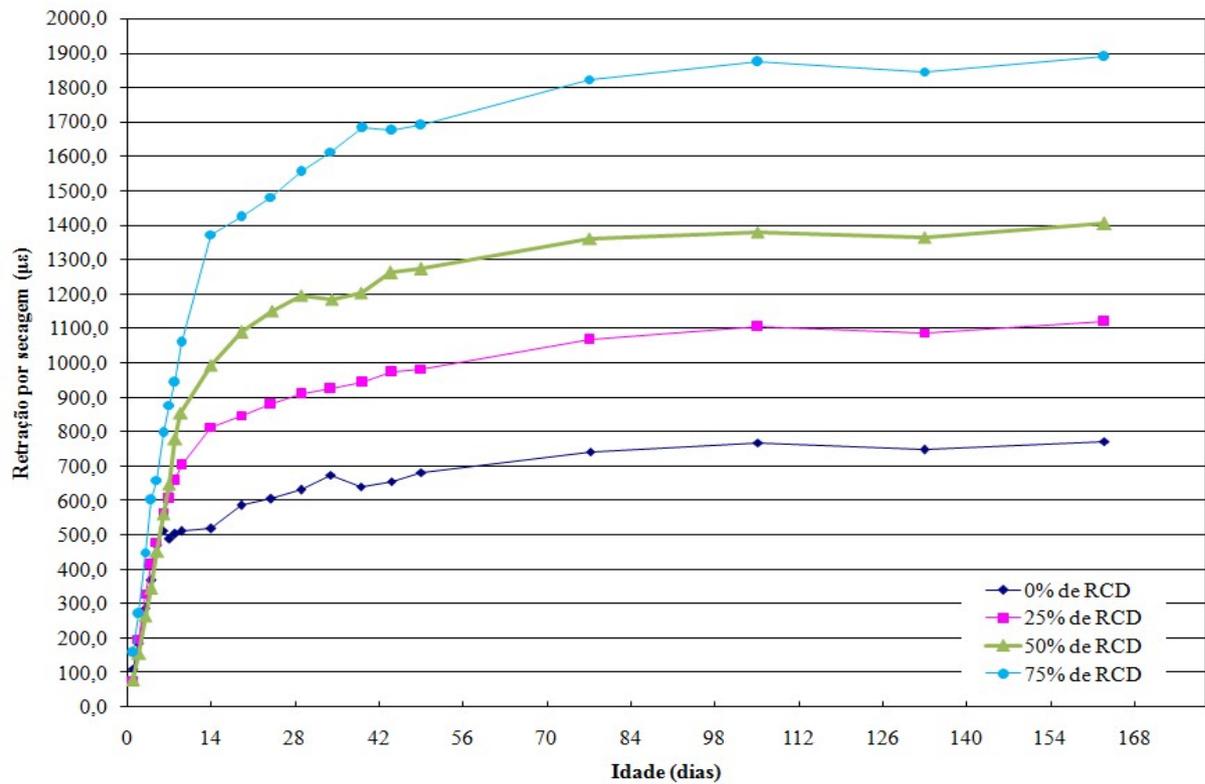


Figura 28 Comportamento das argamassas quanto à retração por secagem

A Figura 29 ilustra o comportamento da curva das argamassas quanto à variação de massa no período de 163 dias.

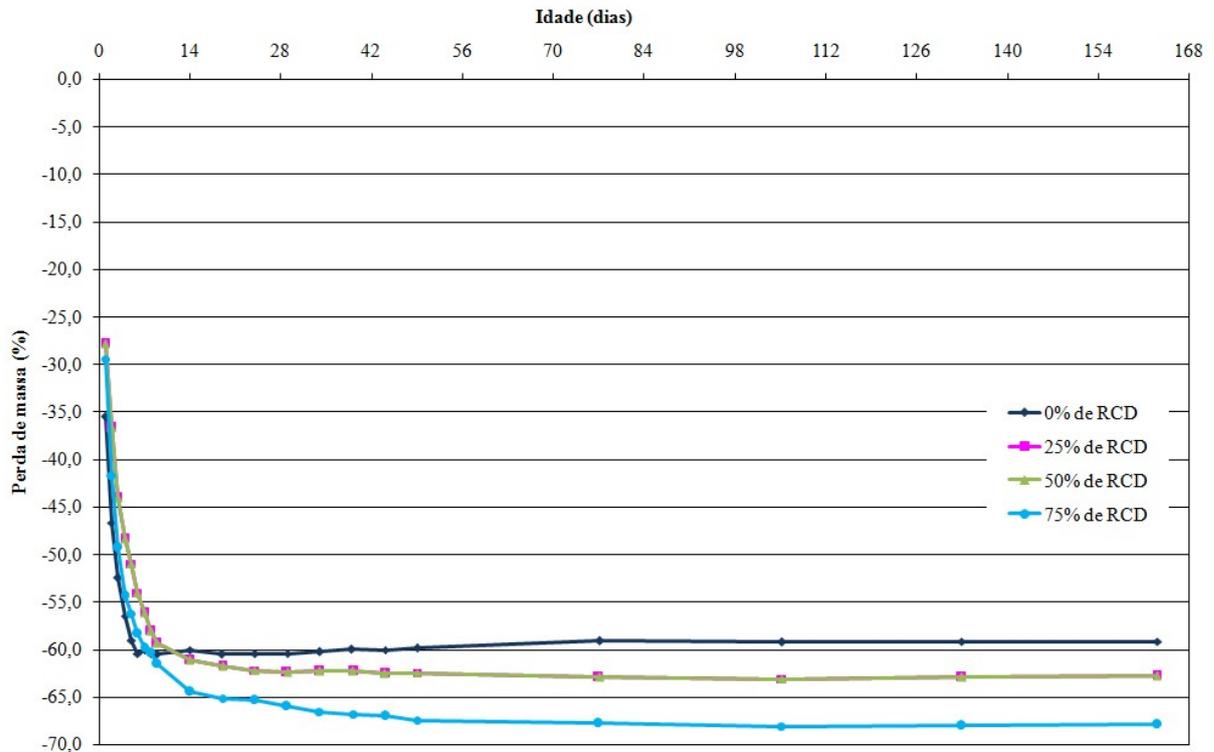


Figura 29 Comportamento das argamassas quanto à perda de massa

As argamassas com teores de agregado reciclado apresentaram retração maior que a argamassa de referência, ou seja, quanto maior o teor de substituição de agregado reciclado maior a retração por secagem. Aos 14 dias, a argamassa de referência apresentou valor de retração de 518,5 $\mu\epsilon$, enquanto que nas argamassas com 25%, 50% e 75% de agregado reciclado esses valores foram de 814,2 $\mu\epsilon$, 992,1 $\mu\epsilon$ e 1373,3 $\mu\epsilon$, respectivamente. O teor de 75% de agregado reciclado foi 165% maior que a referência, para este tempo. A retração por secagem nas argamassas com agregado reciclado foi maior, provavelmente, devido à grande quantidade de finos ($< 75\mu\text{m}$) que este resíduo apresentou, requerendo maior fator água/cimento para produção destas argamassas e à fração cerâmica presente no RCD.

Como pode ser observado na Figura 29 o comportamento das argamassas, quanto à variação de massa, foi semelhante ao de retração. Quanto maior o teor de agregado reciclado na mistura maior a perda de massa ao longo do período de ensaio.

Miranda (2000) estudou os agregados reciclados, provenientes de concreto, argamassa e bloco cerâmico, na produção de argamassa de revestimento. Averiguou que em algumas

argamassas com agregado reciclado houve um pequeno aumento na retração, comparada a argamassa de referência. Já em outras argamassas com agregado reciclado verificou que houve uma redução na retração, comparada com a argamassa de referência. Ao final concluiu que a retração decorreu da perda de água que estava sob pressão nos pequenos poros, que por sua vez, dependeu da distribuição do tamanho dos poros.

Lima, Lima e Marins (2007) estudaram a retração de argamassa com agregados provenientes dos resíduos de concreto, argamassa e tijolo e constataram que a retração aumentou quando se incorporou o agregado reciclado nas argamassas. Justificaram que a retração estava relacionada com a alta porosidade do agregado reciclado.

5.2.5 Absorção por imersão, massa específica e índice de vazios

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão.

Tabela 11 Resultados de absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios das argamassas

% de RCD	Absorção de água por imersão (%)	Coefficiente de variação (%)	Massa específica (g/cm ³)	Coefficiente de variação (%)	Índice de vazios (%)	Coefficiente de variação (%)
0	15,91	0,69	2,70	0,89	30,08	0,89
25	17,05	0,97	2,59	1,11	30,66	0,38
50	19,39	0,42	2,58	0,09	33,35	0,32
75	20,40	1,36	2,56	0,17	34,33	0,96

Na Figura 30 apresenta-se o gráfico do comportamento da absorção de água por imersão das argamassas estudadas.

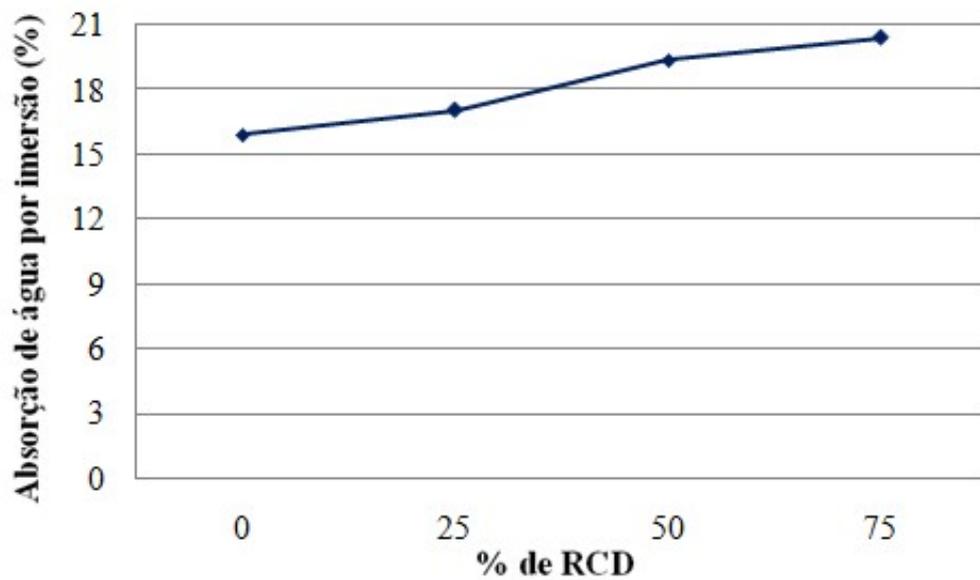


Figura 30 Comportamento das argamassas estudadas quanto à absorção de água por imersão

Com base na Figura 30 foi possível observar que quanto maior a quantidade de agregado reciclado na argamassa, maior foi a absorção de água por imersão.

A Figura 31 ilustra o gráfico de absorção de água por imersão relativa das argamassas.

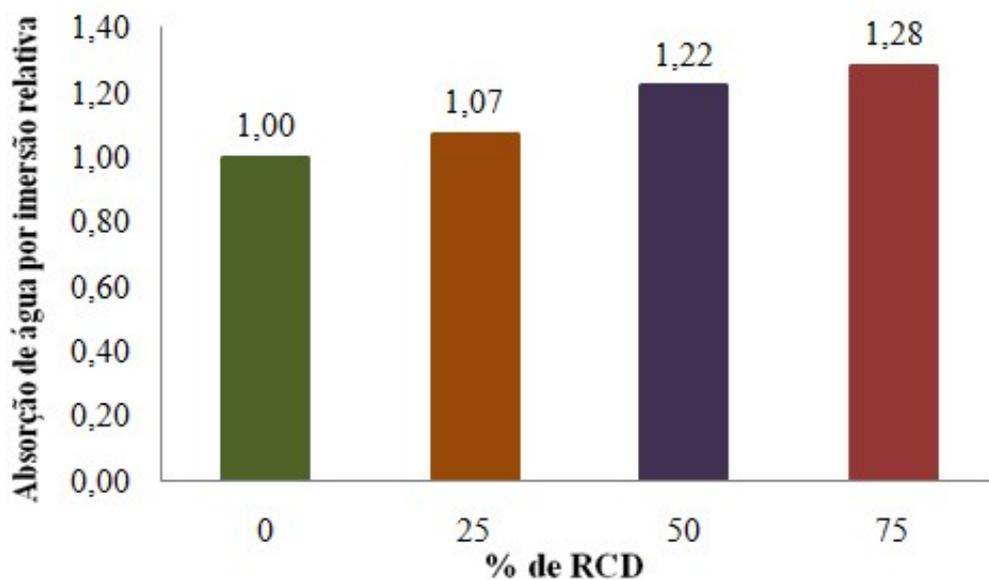


Figura 31 Absorção de água por imersão relativa das argamassas

As argamassas com teor de 25%, 50% e 75% de agregado reciclado apresentaram um acréscimo na absorção de 7%, 22% e 28%, respectivamente, em relação à absorção da argamassa de referência. Este fato se deve ao agregado reciclado ser mais poroso que o agregado natural. Outra justificativa para a alta taxa de absorção de água nas argamassas com agregado reciclado foi o seu fator água/ cimento mais elevado do que a argamassa de referência.

Lima (2005) estudou a fabricação de argamassa com agregado reciclado proveniente de bloco cerâmico e argamassa, e percebeu que o acréscimo de agregado reciclado proporcionou um aumento na absorção de água por imersão. Esse aumento foi justificado devido ao fator a/c elevado, proporcionando uma maior porosidade na argamassa endurecida, por conta da evaporação da água. O mesmo comportamento foi constatado por Lintz, Silva e Pugliero (2009), entretanto o agregado reciclado foi proveniente de resíduo de concreto e argamassa.

Em relação à massa específica das argamassas, a Figura 32 apresenta a curva de comportamento das mesmas.

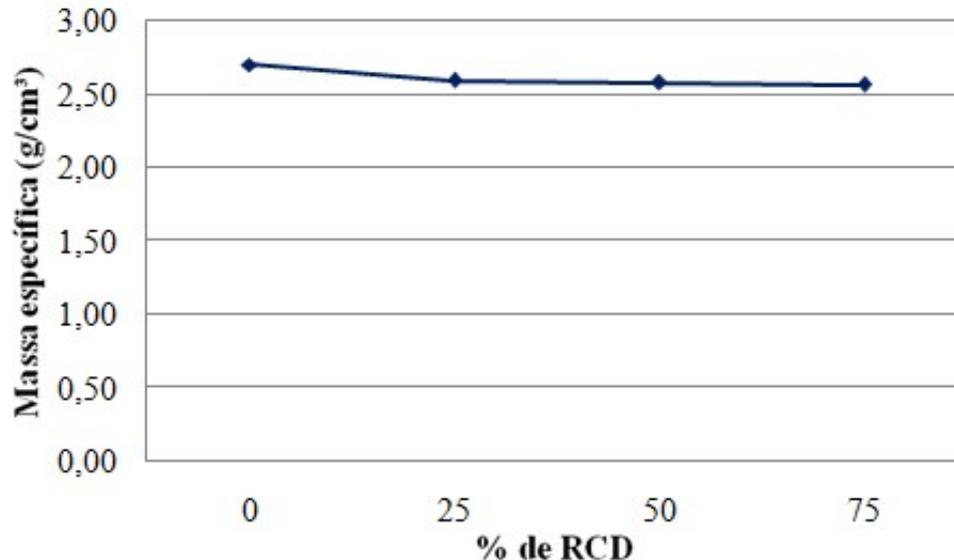


Figura 32 Comportamento quanto à massa específica das argamassas

Percebeu-se que quanto maior a quantidade de agregado reciclado na argamassa menor a massa específica da argamassa. As argamassas com teores de 25%, 50% e 75% de agregado reciclado apresentaram valores de massa específica 4%, 5% e 6% respectivamente menores,

quando comparadas com a argamassa de referência. Este comportamento pode ser explicado devido a menor massa específica do agregado reciclado em relação ao agregado natural. Outro fator que pode ter influenciado foi que a relação a/c das argamassas com agregado reciclado foi maior, conseqüentemente foi mais porosa do que a argamassa de referência. Estes resultados são compatíveis com a absorção de água por imersão, uma vez que, quanto maior a absorção das argamassas menor a sua massa específica.

A curva de comportamento das argamassas, no que se refere ao índice de vazios pode ser visualizada na Figura 33

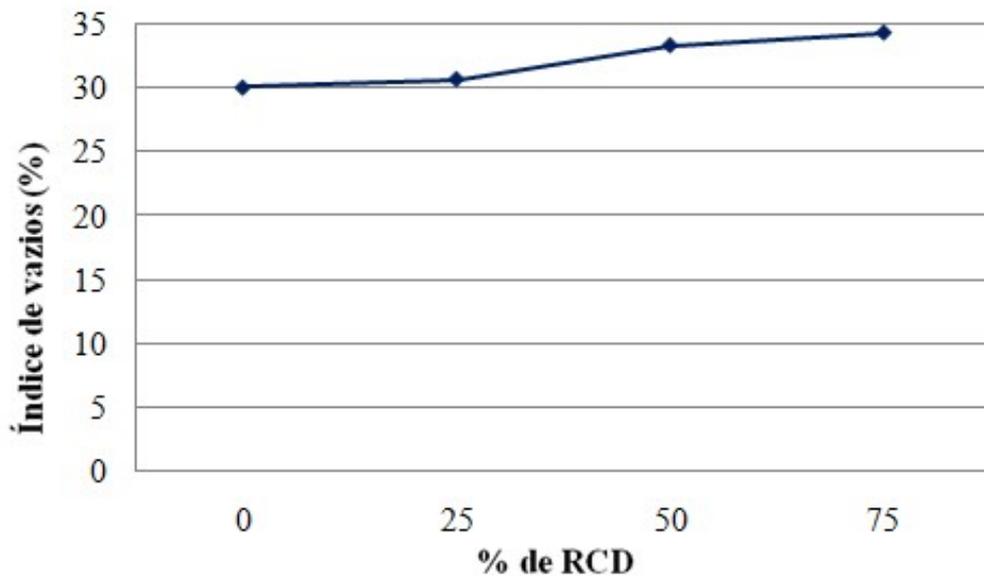


Figura 33 Comportamento quanto ao índice de vazios das argamassas

Como pode ser observado na Figura 33, quanto maior o teor de agregado reciclado na argamassa, maior o seu índice de vazios. A argamassa com o teor de 25% de agregado reciclado apresentou um aumento de 2% comparado com a argamassa de referência. As argamassas com teores de 50% e 75% de agregado reciclado esse aumento foi mais expressivo de 11% e 14% respectivamente, comparando com a argamassa de referência. Nesse ensaio não se considera apenas os vazios da matriz e o agregado, mas também o vazio do próprio agregado. Logo, os valores de índices de vazios nas argamassas com agregado reciclado são maiores devido ao fato do agregado reciclado ser mais poroso. O comportamento das argamassas quanto ao índice de

vazios foi coerente comparando com o comportamento das argamassas quanto à massa específica e absorção de água por imersão.

5.2.6 Absorção por capilaridade

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados de absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade.

Tabela 12 Resultados de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

% de RCD	Absorção de água por capilaridade aos 10 min. (g/cm ²)	Coeficiente de Variação (%)	Absorção de água por capilaridade aos 90 min. (g/cm ²)	Coeficiente de Variação (%)	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Coeficiente de Variação (%)
0	0,55	5,81	1,22	6,25	9,4	7,18
25	0,67	1,99	1,37	2,83	11,3	3,27
50	0,71	4,04	1,40	2,49	11,3	1,34
75	0,93	1,16	1,81	1,14	14,4	1,61

A Figura 34 e Figura 35 ilustram, respectivamente, os gráficos de absorção e coeficiente de absorção das argamassas produzidas.

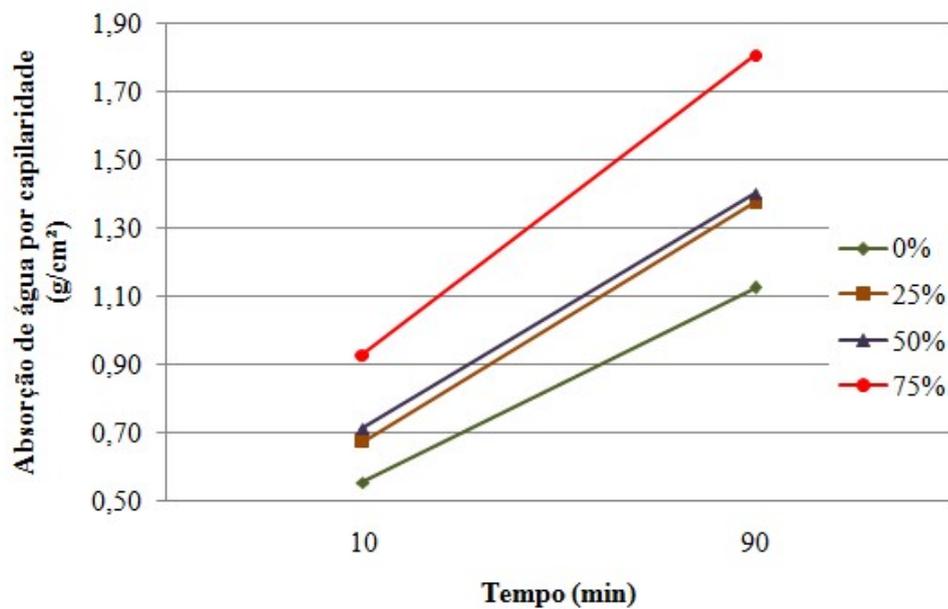


Figura 34 Gráfico de absorção de água por capilaridade das argamassas

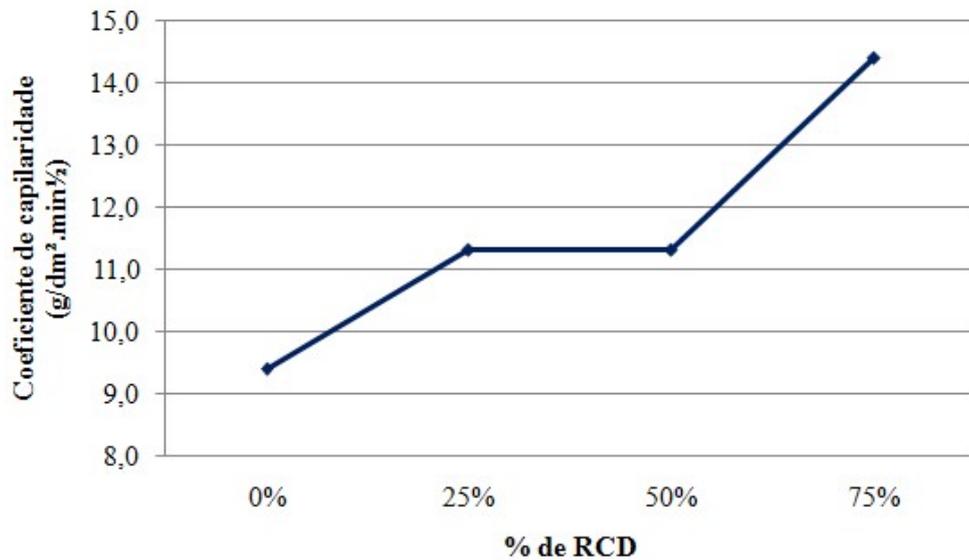


Figura 35 Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade

Observa-se que quanto maior a quantidade de agregado reciclado na argamassa, maior a absorção de água por capilaridade. Já em relação ao coeficiente de capilaridade houve um aumento no valor com a inserção do agregado reciclado. Porém, os teores 25% e 50% apresentaram o mesmo coeficiente.

A Figura 36 mostra o gráfico do coeficiente de capilaridade relativo das argamassas.

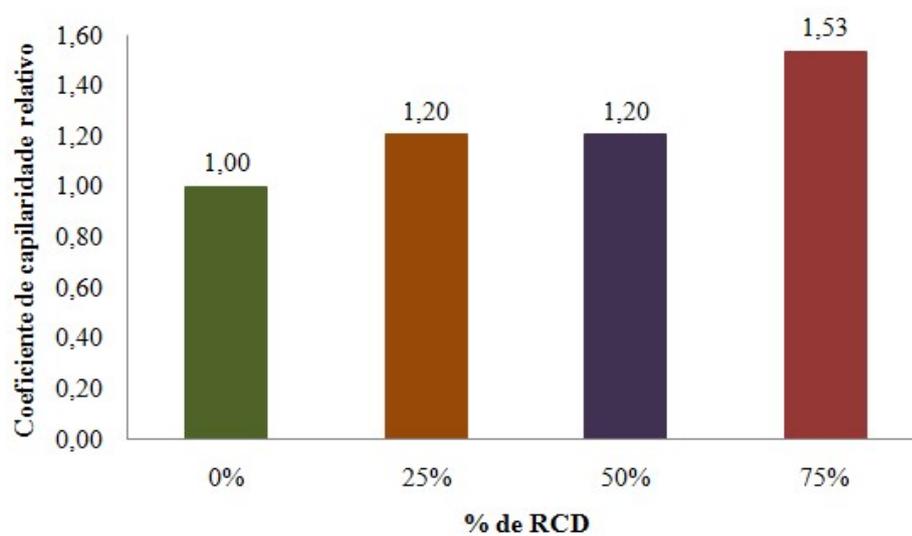


Figura 36 Coeficiente de capilaridade relativo das argamassas

Com base nos resultados pode-se observar que aos 10 minutos de ensaio o teor de 25% de agregado reciclado na argamassa foi 22% maior que a argamassa de referência. Para a argamassa com 50% de agregado reciclado houve um acréscimo de 29% chegando a 69% para o teor de 75% de agregado reciclado, em relação à argamassa de referência. Para o tempo de 90 minutos observou-se este mesmo comportamento: a argamassa com 25% de agregado reciclado apresentou absorção 12% maior do que a absorção da argamassa de referência; o teor de 50% agregado reciclado na argamassa proporcionou a absorção 15% maior do que a absorção da argamassa de referência; já o teor de 75% de agregado reciclado na argamassa proporcionou aumento 48% maior, em relação à absorção da argamassa de referência. A alta absorção nas argamassas com agregado reciclado também pode ser explicado pelo fato de que a água não esteja sendo absorvida somente por capilares da argamassa, mas principalmente pelo agregado reciclado, já que este possui uma alta porosidade.

O coeficiente de capilaridade também foi maior para as argamassas com agregado reciclado. Notou-se que as argamassas com 25% e 50 % de agregado reciclado apresentaram mesmo valor de coeficiente de capilaridade. Por outro lado, a argamassa com 75% de agregado reciclado apresentou o coeficiente de capilaridade 53% maior do que o coeficiente de capilaridade da argamassa de referência. As argamassas com agregado reciclado apresentaram maior coeficiente devido ao fato do agregado reciclado ser bem mais poroso e, conseqüentemente, a sua absorção ser maior do que o agregado natural.

6 CONCLUSÃO

De fato, a reciclagem do resíduo de construção e demolição na construção civil é uma alternativa para destinação final, uma vez que, reduz o impacto ambiental.

Com a finalidade de expandir o conhecimento do RCD, este estudo foi desenvolvido para avaliar o comportamento das argamassas produzidas com 25%, 50% e 75% de agregados de resíduos de construção e demolição em substituição ao agregado natural. Foram analisadas as propriedades das argamassas no estado fresco (massa específica e retenção de água) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração, retração por secagem, absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão).

As conclusões apresentadas neste trabalho dizem respeito aos resultados obtidos com as argamassas produzidas a partir das características específicas dos materiais em proporções e técnicas de execução peculiares.

Com relação à caracterização do resíduo de construção e demolição apresenta-se as seguintes conclusões:

a) apresentou granulometria contínua, o que favoreceu a um melhor arranjo interno entre os materiais que compuseram a argamassa, e o teor de material pulverulento ($< 75\mu\text{m}$) foi 10% maior em relação ao agregado natural.

b) A massa específica do agregado reciclado foi 17% menor do que a massa específica do agregado natural. Além disso, a absorção de água do agregado reciclado foi 21% maior do que a absorção de água do agregado natural.

No que se refere às características das argamassas no estado fresco, pode-se tirar as seguintes conclusões:

a) quanto maior o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, maior a demanda de água, para obter a mesma consistência.

b) A retenção de água das argamassas com agregados reciclados foi maior do que a retenção de água das argamassas com agregado natural. Quanto maior o teor de substituição de agregado reciclado maior a retenção de água das argamassas.

c) A massa específica das argamassas com agregados reciclados é menor do que a massa específica das argamassas com agregados naturais. Quanto maior o teor de agregado reciclado nas argamassas menor a sua massa específica.

De forma geral, as propriedades da argamassa com agregado reciclado no estado fresco apresentaram um bom desempenho.

Quanto às características das argamassas no estado endurecido pode-se concluir:

a) A resistência à compressão foi maior para as argamassas com agregados reciclados do que para a argamassa com agregado natural. Quanto maior o teor de substituição de agregado reciclado maior a resistência à compressão. A resistência à compressão da argamassa com 75% de agregado reciclado chegou a ser 27% maior que a da argamassa de referência.

b) No que se refere à resistência à tração na flexão das argamassas não houve diferença entre as argamassas com teores de 25% e 50% de agregado reciclado, em relação à de referência. Por outro lado, a argamassa com 75% de agregado reciclado proporcionou um aumento na resistência de 66% em relação à argamassa de referência.

c) Quanto à resistência de aderência à tração, a argamassa com substituição de 25% de agregado reciclado apresentou o mesmo valor da argamassa de referência. Houve uma redução de 6% na resistência da argamassa com o teor de 50% de agregado reciclado. A argamassa com o teor de 75% de substituição de agregado reciclado apresentou resistência de aderência de 29% maior do que a da argamassa de referência.

d) As argamassas com agregado reciclado apresentaram maior retração por secagem, comparada a argamassa com agregado natural. Esse aumento foi maior quanto maior o teor de resíduo na argamassa, chegando a 144% para a argamassa com 75% de RCD, aos 163 dias. Em relação à perda de massa o comportamento foi semelhante à retração, pois o acréscimo de

agregado reciclado nas argamassas proporcionou uma maior perda de massa comparando com a argamassa de referência.

e) A absorção por imersão e absorção por capilaridade apresentaram o mesmo comportamento. Quando se utilizou agregado reciclado nas argamassas, a absorção foi maior do que na argamassa com agregado reciclado. O índice de vazios também apresentou um aumento com a inserção do resíduo nas argamassas. Como era esperado, a massa específica das argamassas com agregado reciclado foi menor do que a da argamassa de referência.

Conclui-se que o uso de agregado reciclado é viável para produção de argamassas, mas faz-se necessário proceder uma melhor investigação nas propriedades físicas. A argamassa que apresentou melhor desempenho foi com o teor de 75% de agregado reciclado. Faz-se necessário um estudo que possa confirmar o comportamento quanto às propriedades físicas.

Vale salientar, portanto, que com adequado manejo e o uso dos agregados reciclados pode-se alcançar resultados satisfatórios na produção de argamassa de revestimento. Desta forma, a sua reciclagem poderá contribuir para que se alcance uma construção mais sustentável.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO

Tem-se a clareza de que o presente estudo não esgotou o assunto. Neste sentido, sugere-se como possíveis trabalhos futuros:

- estudar a utilização de diferentes frações do resíduo segregado na argamassa para verificar como cada uma destas frações influenciam no comportamento das mesmas.
- Avaliar melhor a influência da utilização de agregado reciclado na massa específica da argamassa no estado fresco.
- Verificar a influência da utilização de agregado reciclado em argamassas submetidas a ambientes sulfatados.
- Avaliar a utilização de agregado reciclado na argamassa, em teores superiores a 75% para verificar a influência nas propriedades avaliadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 157: **Length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete**. U.S.A., 2003.

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

ANGULO, S. C; JOHN, V. M. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCCC/279). São Paulo, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11173: **Projeto e execução de argamassa armada – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: **Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23. **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30. **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46. **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. **Agregado miúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSUNÇÃO, L. T; CARVALHO, G. F; BARATA, M. S. **Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado**. EXACTA, São Paulo, 2007.

BAÍA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa** – São Paulo: O nome da rosa, 4 Ed, 2008. (coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras – ISBN 85-86872-06-7).

BERKEMBROCK, D; COSTA, J. S. **Argamassa produzida com rejeito da argamassa**. In: 51º Congresso Brasileiro de Concreto, 2009.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concreto produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2007.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil: Volume 1 – Manual de Orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios / Coordenadores: Tarcísio Paula Pinto, Juan Luís Rodrigo Gonzáles**. Brasília, 2005.

CARASEK, H. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. V. 2. 1712p.

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

CINCOTTO, M. A. et al. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307**. Brasília, 2002.

CORINALDESI, V; MORICONI, G. **Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate**. Construction and Building Materials. 23, 289-294. 2009.

COSTA, F. **Processo de produção de revestimento de fachada de argamassa: problemas e oportunidades de melhoria**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

COSTA, J. S; BELINI, V. A.V; MARTINS, C. A; BALDO, J. B. **Aderência da argamassa reciclada de rejeito da indústria cerâmica em bloco de concreto não estrutural**. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudo e procedimentos de execução**. São Paulo: Ed. Pini, 1994.

GOMES, A. O. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas**. Salvador, 2005.

GOMES, P. C. C; SANTOS, M. G. C; FELIX, S. S; SANTOS, R. B. **Obtenção de argamassas com agregados reciclados produzidos na obra para uso em revestimento**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

- GRULLÓN PEÑA, M. R. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2004.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livre Docência) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.
- JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. **Utilização de resíduos na construção habitacional.** Coletânea Habitare ANTAC. Volume 4, capítulo 2 . 8 a 71p. Porto Alegre, 2003
- MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e verificação na cura do chapisco.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.
- NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/359. São Paulo, 2004.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS. Porto Alegre, 2001.
- LIMA, F. S. N. S. **Aproveitamento de resíduo de construção na fabricação de argamassas.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.
- LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- LIMA, P. R. L; LIMA; M. B. L; MARINS; C. C. **Drying shrinkage of recycled aggregate mortar.** In: International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies: Ecological Materials and Technologies for Sustainable Building (IC-NOCMAT), 2007.
- LINTZ, R. C. C; SILVA, R. P; PUGLIERO, V. S. **Estudo do comportamento de argamassas contendo resíduos de construção.** In: 51º Congresso Brasileiro de Concreto, 2009.
- MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.
- MIRANDA, L. F. R; SELMO, S. M. S. **CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finer than 75 μ m on mortar properties.** Construction and Building Materials. 20, 615–624. 2006.

- MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO. Mistura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- NORONHA, J. P, CABRAL, A. E. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto**. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto, 2009.
- NUNES, K. R. A. **Avaliação de Investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição**. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro/RJ, 2004.
- PAULO, R. S. V. M. N. **Caracterização de argamassas industriais**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) – Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia cerâmica e do vidro. 2006.
- PEDROZO, R. F. E; ROCHA, J. C; CHERIAF, M. **Estudo da influência de agregados reciclados finos de RCD em substituição do agregado miúdo natural em propriedades de concretos e argamassas**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.
- PIMENTEL, L. L; KUBO, K. G; SIVIERI, M; ROSSI, A. **Avaliação de propriedades físico-mecânicas de argamassa com resíduos da construção civil para fins de utilização em elementos de argamassas armadas**. In: 49º Congresso Brasileiro de Concreto, 2007.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.
- PINTO, T. P, GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. 1 ed., Brasília, Caixa Econômica Federal, 2005.
- REIS, C. N. **Influência da utilização de agregado miúdo de RCD na aderência aço – concreto reciclado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana/BA, 2009.
- ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Coletânea Habitare ANTAC. Volume 4, capítulo 3 . 72 a 93p. Porto Alegre, 2003
- SALES, A. T. C; CABRAL, M. F. F. **Argamassas com agregados reciclados de resíduo de construção**. In: Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduo na Construção, 2009.
- SANTIAGO, E. Q. R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para obtenção de concretos leves**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana/BA, 2008.
- SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Natal/RN, 2008.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR, 2006.

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 canteiro de obras de Recife/PE para uso em argamassas.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009.

SPRINGER JUNIOR, H. **Contribuição ao estudo dos revestimentos argamassados externos em substratos de concreto com vistas à minimização da geração de resíduos.** Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Programa de Pós- Graduação em Gestão Tecnológica: Mestrado em Qualidade Ambiental, Centro Universitário Feevale. Novo Hamburgo, 2008.

TANAKA, G. M; COSTA, M. R. M. M; SILVA, N. C; DYMINSKI, A. S. **Efeitos do tipo de areia de resíduo de construção e demolição (RCD) nas propriedades de argamassa de cimento e areia.** In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil (FEC). Departamento de Hidráulica e Saneamento. Campinas/SP, 1997.

APÊNDICE

APENDICE 1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A Tabela 13 ilustra os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração individual, das argamassas produzidas.

Tabela 13 Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas

% de RCD	C.P	Resistência individual (MPa)	Forma de ruptura	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
0	1	0,78	E	0,53	0,25	46,94
	2	0,66	A			
	3	0,24	C			
	4	0,25	C			
	5	0,97	E			
	6	0,70	E			
	7	0,64	E			
	8	0,64	E			
	9	0,39	C			
	10	0,23	C			
	11	0,36	C			
25	1	0,65	E	0,51	0,11	22,02
	2	0,42	D			
	3	0,59	E			
	4	0,52	E			
	5	0,40	E			
	6	0,45	B			
	7	0,78	E			
	8	0,53	B			
	9	0,50	B			
	10	0,41	E			
	11	0,50	E			
	12	0,42	D			
50	1	0,36	E	0,39	0,17	43,83
	2	0,42	E			
	3	0,08	D			
	4	0,52	C			
	5	0,16	E			
	6	0,60	E			
	7	0,52	E			
	8	0,34	E			
	9	0,28	E			

CONTINUAÇÃO						
% de RCD	C.P	Resistência individual (MPa)	Forma de ruptura	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
50	10	0,53	E	0,39	0,17	43,83
	11	0,63	E			
	12	0,29	D			
75	1	0,50	D	0,55	0,16	28,80
	2	0,44	D			
	3	0,25	E			
	4	0,58	D			
	5	0,71	E			
	6	0,68	D			
	7	0,74	E			
	8	0,67	E			
	9	0,60	E			
	10	0,37	D			

A: substrato; B: substrato/chapisco; C: chapisco; D: argamassa/chapisco; E: argamassa; F: cola/argamassa; G: cola.