

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÕES
RESIDÊNCIAS DE MULTIPAVIMENTOS DA CIDADE DE
MANAUS

LUCIANE FARIAS RIBAS

Manaus
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

LUCIANE FARIAS RIBAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÕES
RESIDENCIAS DE MULTIPAVIMENTOS DA CIDADE DE
MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o Dr^o Raimundo Kennedy Vieira

Manaus
2008

LUCIANE FARIAS RIBAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÕES
RESIDENCIAS DE MULTIPAVIMENTOS DA CIDADE DE
MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovado em 30 de maio de 2008

BANCA EXAMINADORA

Prof^o Dr^o Raimundo Kennedy Vieira
Professor da Universidade Federal do Amazonas

Prof^o Dr^o Raimundo Pereira de Vasconcelos
Professor da Universidade Federal do Amazonas

Prof^o Dr^o Marcos Martinez Silvos
Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro

A Deus, a memória do meu pai
Ribas, a minha mãe Luzanira e ao
meu noivo Gilson pelo amor e
dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Prof^o. Dr^o Raimundo Kennedy Vieira, pelo voto de confiança e por ter acreditado em todos os momentos.

Ao Prof^o. Dr^o Raimundo Pereira de Vasconcelos, coordenador do curso de mestrado em Engenharia Civil, e meu co-orientador por todo apoio a minha pesquisa.

À Prof^a. Dr^a Consuelo Alves por ceder o laboratório de mecânica dos solos para a realização dos meus ensaios, por todo apoio e carinho com que sempre me recebeu quando precisei.

ÀS Prof^{as} Ellen Barbosa e Annunziata Donadio por permitirem usar o laboratório de saneamento, e também por tudo que me ensinaram e devo a vocês tudo o que aprendi sobre pesquisa.

Ao Prof^o Ruy José de Sá pela orientação técnica que muitas vezes foi decisiva, e pela atenção e gentileza com que sempre tratou, sua ajuda é muito importante para todos do mestrado.

A CAPES pelo financiamento da minha bolsa de estudos com a qual pude me dedicar exclusivamente ao mestrado.

Aos meus amigos da primeira turma de mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas: Dani, Edsandra, Edsley, Kellyson, Arlene, Aleixo, Edvar, Rogério e Maiza.

Aos meus mais novos companheiros e amigos Maria Gorett, Samantha e Otávio, muito obrigada por tudo.

Às construtoras que permitiram estudar os resíduos nos canteiros de suas obras, e pelo apoio no momento das coletas.

Ao setor de transporte da Universidade pelo apoio logístico para a realização das coletas.

A dona Mary, ao Sr. Antonio, ao Nilson, ao Jorge, ao Chico e ao Diego que sempre me ajudaram quando precisei deles. Agradeço em fim aos meus amigos que mesmo distantes nunca deixaram de me apoiar Priscila e Wallace Roque.

“Se não vencer pelo talento,
vença pelo esforço”. Dave

RESUMO

A capacidade do planeta para absorver os resíduos provenientes das atividades industriais é limitada, os resíduos gerados em grande volume não são mais absorvidos pelo meio ambiente em tempo suficiente para serem devolvidos na forma de matéria-prima. A construção civil é considerada uma dessas indústrias que geram resíduos em grandes volumes, por isso, como tudo na natureza tem um ciclo, deve-se repensar as atividades produtivas desse setor para que sejam cíclicas, de forma a absorver em sua totalidade os resíduos gerados por ele mesmo. Para que esses resíduos da construção civil venham a ser reaproveitados, sem comprometer a qualidade do empreendimento, é necessário desenvolver metodologias de estudo que permitam analisar as variáveis de produção dos resíduos, as quais influenciam na qualidade desses resíduos para a sua reciclagem. O objetivo desta pesquisa é a caracterização do resíduo de obras residenciais de multipavimento para seu beneficiamento como agregado para concreto sem função estrutural, analisando os fatores que influenciam sua produção e qualidade para a reciclagem. Esse estudo foi realizado na zona centro-sul da cidade de Manaus, delimitada por uma área caracterizada pela maior concentração de obras no padrão escolhido, e que se encontravam nas fases de alvenaria e acabamento por gerarem maior volume de resíduo. Para garantir a origem exata do resíduo coletado e evitar contaminações, foi desenvolvido um método de coleta específico. O método ainda permitiu definir o tamanho das amostras para a realização dos ensaios. Os ensaios foram os estabelecidos pela NBR15116, a qual especifica os parâmetros de aceitação para o uso dos agregados reciclados em concretos. Com as amostras divididas em agregados graúdos e miúdos, classificou-se por composição e as que atenderam aos parâmetros da referida norma foram usadas como agregado em concretos com substituição de 100% dos agregados naturais, e submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados das propriedades analisadas permitiram identificar como os fatores de produção influenciaram na qualidade dos agregados reciclados. As propriedades das amostras apresentaram resultados semelhantes. E um dos fatores que mais influenciou nas propriedades dos agregados foi o tipo de material. Os concretos com substituição de 100% dos agregados miúdos naturais por reciclados obtiveram melhores resultados da resistência à compressão devido à presença de argamassa e de fragmentos de materiais cerâmicos. Quanto aos agregados graúdos reciclados, os resultados não foram satisfatórios devido ao teor de argamassa aderida. Baseado nos resultados das análises das propriedades e do concreto foram estabelecidas orientações de tratamento do resíduo para melhorar as propriedades dos agregados provenientes dos resíduos gerados pelo tipo obra escolhido, aumentando o seu potencial de reutilização, inclusive no próprio canteiro.

Palavras chave: resíduo, entulho, agregado reciclado, concreto, reciclagem.

ABSTRACT

The capacity planet to absorb the residues proceeding from the industrial activities is limited, the residues generated in large volume are not absorbed by the environment in enough time to be returned in the raw material form. The civil construction is considered one of these industries that generate residues in large volumes, therefore, as everything in the nature has a cycle, must be rethink the productive activities of this sector to be cyclical, to absorb in its totality the residues generated for themselves. For these civil construction residues come to be reused, without compromising the quality of the enterprise, it is necessary to develop study methodologies that allow analyzing the variable of the residues production, which influence the quality of these residues for its recycling. The research objective is the residues characterization of multifloor residential for their benefit as aggregate for concrete without structural function, analyzing the factors that influence its generation and quality for the recycling. The study was conducted in central-south zone of Manaus city, bounded by an area with the highest concentration of works in default chosen, who were in the masonry and finishing phases by generating greater volume of residue. To guarantee the exact origin of the collected residue and avoid contamination, was developed a method of collecting specific. The method still allowed to define the size of the samples for the accomplishment of the tests. The tests had been the established for the NBR15116, which specifies the parameters of acceptance for the use of recycled aggregates in concrete. With the samples divided in coarse and small aggregates, it was classified by composition and those that met the parameters of the related standard were used as aggregate in concrete with replacement of 100% of natural aggregates, and submitted to the compressive strength test. The results of the analyzed properties had allowed to identify as the production factors had influenced in the quality of recycled aggregates. The properties of the samples showed similar results. And one of the factors that more influenced in the properties of aggregates was the type of material. The concrete with 100% replacement of natural small aggregates for recycled got better results of the compressive strength test due the presence of mortar and ceramic materials fragments. As for coarse and small aggregates recycled, the results were not satisfactory due the mortar adhered content. Based on the properties analyses results and the concrete were established guidelines of the residue treatment to improve the properties of aggregates proceeding from the residues generated for the building type chosen, increasing its potential for reuse, even in their own garden.

Key words: residue, rubbish, recycled aggregate, concrete, recycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos de caçamba de 6m³	53
Figura 2 - Porção miúda do resíduo após peneiramento na 4,8mm.	53
Figura 3 - Porção graúda do resíduo após peneiramento na 4,8mm.	53
Figura 4 - Máquina de rompimento de corpo-de-prova por compressão simples	54
Figura 5 - Composição característica dos fragmentos pertencentes ao grupo 1 e 2	57
Figura 6 - Composição característica dos fragmentos pertencentes ao grupo 3 e 4	58
Figura 7 - Divisão administrativa da cidade de Manaus - Zonas	62
Figura 8 - Área da zona centro-sul delimitada pela pesquisa.	63
Figura 9 - Área reservada no canteiro de obras para a coleta das amostras.	66
Figura 10 - Amostras separadas na peneira 4,8mm em miúdo e graúdo	69
Figura 11 - Porcentagem de agregado graúdo, miúdo e composição por amostras do tipo ARC	71
Figura 12 - Sobras de bloco cerâmico da obra F	72
Figura 13 - Resíduo da obra A no canteiro com perdas de tijolos	73
Figura 14 - Curva granulométrica média dos agregados graúdos reciclados e do seixo	78
Figura 15 - Amostras A2 (1) e F1(2) após britagem manual	79
Figura 16 - Curva granulométrica média dos agregados miúdos reciclados e da areia	81
Figura 17 - Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra I1(1) e H1(2)	95
Figura 18 - Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra H3 (1) e I3 (2)	96
Figura 19 - Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra B3(1), C1(2) e C2(3)	97
Figura 20 - Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra E3(1), F1(2) e G3(3)	97
Figura A1 - Ficha de identificação das amostras	118
Figura B1 - Curvas granulométricas das amostras de agregado graúdo ARC	121
Figura B2 - Curvas granulométricas das amostras de agregado graúdo ARM	122
Figura B3 - Curvas granulométricas das amostras de agregado miúdo ARC	122
Figura B4 - Curvas granulométricas das amostras de agregado miúdo ARM	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de material coletado nos canteiros das obras escolhidos	52
Tabela 2 – Traços da misturas com agregados reciclados	60
Tabela 3 – Quantidade de material coletado por amostras e por fração graúda e miúda	68
Tabela 4 – Quantidade de material para os ensaios da NBR 15116	69
Tabela 5 – Classificação do agregado reciclado de acordo com NBR15116	70
Tabela 6 – Composição por amostras do tipo ARC	73
Tabela 7 – Composição por amostras dos agregados graúdo ARM	75
Tabela 8 – Porcentagem de agregados graúdo e miúdo	77
Tabela 9 – Diâmetro máximo e porcentagens de material fino dos agregados graúdo reciclados e seixo	79
Tabela 10 – Porcentagens de material fino e módulo de finura dos agregados miúdo reciclados e areia.	81
Tabela 11 – Médias e desvios padrão das massas unitária e específicas dos agregados graúdo	84
Tabela 12 – Médias e desvios padrão das massas unitária e específica dos agregados miúdo	86
Tabela 13 – Porcentagem de material fino inferior a 75µm dos agregados graúdo reciclados e seixo.	87
Tabela 14 – Porcentagem de material fino inferior a 75µm, dos agregados miúdo reciclados e areia.	88
Tabela 15 – Teor de torrões de argila e materiais friáveis nos agregados graúdo reciclados e seixo.	89
Tabela 16 – Teor de torrões de argila e materiais friáveis nos agregados miúdo reciclado e areia.	90
Tabela 17 – Taxa de absorção das amostras de agregado graúdo ARC e ARM com imersão de 24 horas.	91
Tabela 18 – Taxa de absorção das amostras de agregados graúdo ARC, ARM e seixo.	92
Tabela 19 – Taxa de absorção das amostras de agregados miúdo ARC, ARM e areia.	92
Tabela 20 – amostras de agregado graúdo e miúdo reciclado e o requisitos da NBR15116.	94
Tabela 21 – Dados relativos a dosagem das misturas AGR+A dos tipos ARC e ARM.	95
Tabela 22 – Dados relativos a dosagem das misturas S+AMR ARC e concreto de referência	96
Tabela 23 – Dados relativos a dosagem das misturas S+AMR ARM e concreto de referência	96
Tabela 24 – Resultados do ensaio de resistência à compressão das misturas AGR+A ARC e ARM.	99
Tabela 25 – Resultados do ensaio de resistência à compressão das misturas S+AMR ARC e ARM.	101
Tabela A1 – Informações gerais sobre as amostras	116
Tabela A2 – Informações gerais sobre os sistemas construtivos das amostras ARC	117
Tabela A3 – Informações gerais sobre os sistemas construtivos das amostras ARM	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perda de materiais em processos construtivos convencionais	26
Quadro 2 - Pesquisas com RCD como agregado	32
Quadro 3 - Composição média de RCD em Hong Kong	35
Quadro 4 - Composição média do RCD da cidade de São Paulo	35
Quadro 5 - Composição média do RCD da Usina de Ribeirão Preto	35
Quadro 6 - Massas específicas de agregados reciclados encontradas	40
Quadro 7 - Massas unitárias de agregados reciclados de concreto	42
Quadro 8 - Limites de consistência para concretos reciclados	45
Quadro 9 - Ensaio de caracterização da areia	51
Quadro 10 - Ensaio de caracterização do seixo	52
Quadro 11 - Ensaio especificados pela NBR 15116	56
Quadro 12 - Ensaio realizados para o cálculo da dosagem	56
Quadro 13 - Requisitos para o uso de agregados reciclados em concreto	58
Quadro 14 - Formulário de levantamento das obras existente na zona centro-sul.	64
Quadro 15 - Datas das coletas das obras escolhidas para a pesquisa.	65
Quadro 16 - Fase das obras no período das coletas.	67
Quadro 17 - Classificação das amostras de agregado miúdo ARM	83

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	13
Objetivo geral	14
Objetivos específicos	14
CAPÍTULO 2 - OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÕES E DEMOLIÇÕES	16
2.1 Conceito de RCD	16
2.2 Impactos ambientais da construção civil	18
2.2.1 Impactos ambientais da extração de matéria-prima	19
2.2.2 Impactos ambientais da geração de RCD	20
2.3 A geração de RCD	23
2.3.1 As perdas na construção civil	25
2.4 A reciclagem dos RCD	26
2.4.1 Legislação Brasileira sobre reciclagem do RCD	29
2.4.2 Pesquisa sobre reutilização de RCD	31
2.4.3 Uso em sub-base e pavimento	32
2.4.4 Uso em argamassas	33
2.4.5 Uso em concreto	33
2.5 As propriedades dos agregados reciclados de RCD	34
2.5.1 A composição dos RCD	34
2.5.2 Granulometria dos agregados reciclados de RCD	38
2.5.3 Massas específicas e unitárias dos agregados reciclados de RCD	39
2.5.4 Teor de material fino nos agregados reciclados de RCD	42
2.5.5 Absorção dos agregados reciclados de RCD	42
2.6 Agregados reciclados para concreto	45
2.6.1 As propriedades dos agregados reciclados e a consistência do concreto	45
2.6.2 As propriedades dos agregados reciclados e a resistência à compressão do concreto	47
2.7 Os RCD na cidade de Manaus	49
2.8 Considerações finais	50
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 Materiais	51
3.1.1 Agregado miúdo natural	51
3.1.2 Agregado graúdo natural	51
3.1.3 Aglomerante mineral	52
3.1.4 Agregado reciclado de resíduo de construções residenciais de multipavimentos	52
3.2 Equipamentos	53
3.3 Métodos	54
3.3.1 Desenvolvimento e aplicação do método de coleta	54
3.3.2 Ensaios para determinação das propriedades do resíduo	56
3.3.3 Determinação da dosagem dos concretos com resíduo	58
3.3.3.1 Procedimento para produção do concreto	60
3.3.4 Determinação da resistência à compressão dos concretos com resíduo	61

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 Método de coleta	62
4.2 Propriedades do resíduo	69
4.2.1 Composição do agregado reciclado	70
4.2.2 Granulometria	77
4.2.3 Massa específica e unitária	84
4.2.4 Teor de material fino inferior a 75µm	87
4.2.5 Teor de torrões de argila e materiais friáveis	88
4.2.6 Absorção	91
4.3 Agregados reciclados e a consistência do concreto	93
4.4 Agregados reciclados e a resistência à compressão do concreto	99
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	103
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÊNDICE A – INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE AS COLETAS	116
APÊNDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS POR AMOSTRAS	119
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO	124

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Os efeitos da intensa atividade humana acumulada ao longo de muitos anos, já podem ser sentidos, e caracterizam-se por processos produtivos geradores de poluentes causadores de alterações no ciclo de vida natural dos elementos da natureza.

Para minimizar esses efeitos já considerados irreversíveis, novos estudos buscam soluções consideradas sustentáveis, ou seja, adaptar as necessidades humanas de acordo com a disponibilidade da natureza.

A capacidade do planeta de absorção dos resíduos provenientes das atividades industriais e extrativistas é limitada. Os resíduos gerados já não podem ser absorvidos pela natureza em tempo suficiente para serem devolvidos na forma de matéria-prima, completando-se o ciclo dos elementos contidos nesses resíduos.

A construção civil é uma das maiores indústrias consumidoras de matéria-prima e geradora de resíduos. Devido a isso, as atividades produtivas desse setor devem ser repensadas para que sejam cíclicas, de forma a absorver em sua totalidade, os resíduos gerados por ele mesmo e diminuindo assim o volume de resíduo a ser depositado na natureza.

O mercado imobiliário cresceu muito nos últimos anos em Manaus, e o crescimento no setor da construção civil em qualquer região sempre significa geração de renda e empregos. Porém há escassez de material pétreo na região.

O agregado mais usado na cidade de Manaus é o seixo rolado, porém o processo de extração do seixo causa danos ambientais por alterar o leito dos rios e desmatar as margens. O custo para a extração e transporte dos agregados em Manaus também são fatores limitantes.

Na busca por materiais alternativos que viabilizem os empreendimentos e minimizam os impactos ambientais levou a maioria das construtoras de Manaus a aplicar práticas sustentáveis, mais essas ações são ainda muito tímida. Algumas encontram obstáculos como a

qualificação da mão-de-obra, a qualidade dos materiais da região, e a mudança de cultura. Mas a prática que vem se demonstrando mais aplicável é a reciclagem.

As empresas separam os resíduos como papel, metal, plástico e madeira e destinam às empresas de reciclagem desses materiais. Porém as construtoras amazonenses ainda descartam para o aterro sanitário da cidade o resíduo considerado mineral por não se acreditar no potencial de reutilização dessa fração. Esses resíduos são depositados no aterro sanitário da cidade, que com o aumento do número de empreendimentos poderá futuramente não comportar mais esses resíduos. Existem também os riscos que a deposição desses resíduos oferece aos aterros sanitários, como a contaminação do solo.

O presente trabalho estuda as propriedades da fração mineral do resíduo de construções novas, buscando contribuir para a intensificação do reaproveitamento desses resíduos como alternativa ao uso dos agregados naturais da região.

Buscou-se contribuir para a implantação da prática de reciclagem e despertar nos empresários da construção civil a consciência ambiental, que além de um diferencial para o mercado, pode também ser uma fonte geradora de lucros, visto que poupar o meio ambiente é sempre uma forma de garantir os recursos para novas fontes de renda.

Objetivo geral

Avaliar qualitativamente a fração mineral do resíduo sólido de construções residenciais de multipavimentos quanto aos requisitos físicos e mecânicos para a reutilização como agregado em concreto sem função estrutural.

Objetivos específicos

- Desenvolver um método de coleta do resíduo sólido no canteiro das obras;
- Caracterizar o resíduo sólido de construção visando sua utilização como agregado em concreto sem função estrutural;

- Estudar a dosagem do concreto com o agregado reciclado do resíduo de construção em substituição aos materiais convencionais (seixo e areia);

- Estudar a resistência à compressão do concreto com o agregado reciclado do resíduo de construção em substituição aos materiais convencionais (seixo e areia).

CAPÍTULO 2 – OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÕES E DEMOLIÇÕES

Neste capítulo serão tratados aspectos sobre resíduos de construções e demolições como: conceito, impactos ambientais, fatores de geração e reaproveitamento. Esses aspectos foram considerados como embasamento para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Conceito de RCD

Conhecido tecnicamente pela sigla RCD, que significa “Resíduo de Construções e Demolições”, é também conhecido popularmente como “entulho”. Porém, essa palavra significa tudo o que é resultante de ruínas ou desmoronamentos; detritos; pedregulhos e etc., sendo tudo que contribui para atravancar; e serve para preencher valas (FONTINHA, 1990). Quanto à palavra “resíduo” significa na língua portuguesa qualquer substância que sofreu alteração de qualquer agente exterior, por processos mecânicos, químicos ou físicos (FERREIRA, 1995).

Segundo D’Almeida e Vilhena (2000) o entulho é entendido como o resíduo de construção civil, composto por materiais de demolições, restos de obras e solo de escavações diversas, portanto, é geralmente inerte, passível de reaproveitamento. Porém podem conter materiais tóxicos como restos de tintas e de solventes, peças de amianto e metais diversos.

Para a NBR 10004 (2004) os “Resíduos de Construções e Demolições” são classificados como resíduos de classe II B, por possuir componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. Mas o RCD é heterogêneo e os índices de ocorrência de substâncias tóxicas dependem da origem, do acondicionamento e da composição destes resíduos o que os classificaria em qualquer outra classe (LIMA, 2005). Zordan (2000), além de reafirmar que os RCD podem ser classificados em qualquer classe da NBR 10004 (2004) dependendo da origem e dos materiais constituintes, ainda enfatiza que esta norma analisa esses materiais isoladamente e portanto, não considera a sua heterogeneidade.

A Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) classifica os RCD quanto ao seu potencial de reciclagem em quatro classes distintas:

- (Classe A) são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis, tais como:

a) de construção, demolição, reforma e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações – componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos etc.), produzidas nos canteiros de obras.

- (Classe B) são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

- (Classe C) são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem/ recuperação, a exemplo dos produtos oriundos do gesso.

- (Classe D) são os resíduos perigosos, oriundos do processo da construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. No entanto algumas exceções, como é o caso do gesso, que é considerado um resíduo não inerte pela NBR 10004 (Classe II-A), e os resíduos de tinta, solventes, e óleos, considerados resíduos perigosos (Classe I). Tal classificação é de grande importância para que os resíduos possam receber o tratamento e destinos adequados, sem resultar em riscos ambientais.

Baseando-se nas considerações acima sobre as definições de RCD, pode-se dizer que o resíduo proveniente de atividades de construção, demolição e reformas são materiais de composição mineralógica variada, de grande potencial para reaproveitamento, podendo conter

substâncias tóxicas dependendo dos tipos de materiais usados no processo e da forma de tratamento na fonte geradora.

2.2 Impactos ambientais da construção civil

Os efeitos causados pelo uso indiscriminado dos recursos naturais, já estão sendo sentidos há algumas décadas, alguns pesquisadores atribuem isto à revolução industrial, pois naquela época não havia preocupação com a escassez de matéria-prima e muito menos como poderia afetar a vida no planeta. Atualmente, as práticas sustentáveis, a redução de emissão de poluentes, o reuso e reciclagem de resíduos, são ações importantes para a diminuição de algumas catástrofes anunciadas tais como: a escassez de água, o aumento da temperatura global e grandes enchentes.

As alterações climáticas que atualmente estão ocorrendo vêm causando grandes desastres ambientais, com um número elevado de vítimas humanas. Estudos desde 1850 constataram que a temperatura tem um aumento gradual à milhares de anos, considerado natural. Mas há algumas décadas esse acréscimo de temperatura vem ocorrendo mais bruscamente (GAUDARD, 2006). O crescimento populacional é apontado como o responsável pelo aumento acelerado da temperatura. Com o aumento da população a demanda por bens e serviços também aumenta intensificando as atividades industriais. As indústrias por sua vez consomem mais matérias-primas, e essa extração que é indiscriminada diminui as reservas ambientais. Além disso, os meios de produção das indústrias são grandes geradores de poluentes, principalmente de gases que provocam o aumento do efeito estufa.

Para construção civil os efeitos mais significativos do aquecimento global, segundo Hayashi (2000) são: a dissolução da calota polar que levará ao aumento do nível dos oceanos, e o aumento da velocidade máxima dos ventos. Porém talvez a sua contribuição para o agravamento desses efeitos seja maior, tanto pelo consumo de matérias-primas não renováveis, quanto pelo volume de resíduos gerado.

2.2.1 Impactos ambientais da extração de matéria-prima

A extração de matérias-primas exige um alto consumo de energia para produção dos materiais, sendo em ambos os processos geradores de resíduos e emissores de poluentes, como na produção do cimento que é um dos maiores emissores do gás agravante do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂).

As necessidades de se obter materiais de construção e pavimentação resultaram na abertura de inúmeras pedreiras e portos de areia, provocando mais assoreamentos e enchentes, assim como em mais erosão e deslizamento (LIMA, 2005).

No Japão, a construção civil em 1995 consumiu cerca de 50% dos materiais que circulam na economia, ou seja, 9,4 ton/hab.ano, nos Estados Unidos da América – EUA, é entorno de 7,5 ton/hab.ano (JOHN, 2000). O setor da construção na Comunidade Européia consome aproximadamente 40% do total de energia e é responsável por 30% da emissão de CO₂ na atmosfera (SIJOSTROM, 2000).

No Brasil o setor é responsável pelo consumo de 20 a 50% dos recursos naturais extraídos (ALAVEDRA et al, 1997). O consumo dos agregados naturais varia de 1 a 8 ton/hab.ano, além dos recursos extraídos, deve-se mencionar a geração da poluição, como emissão da poeira e gás carbônico, principalmente durante a produção de cimento (PENTALLA, 1997; JOHN, 1998). Estima-se sobre o consumo de matéria-prima na construção civil no Brasil, baseado na produção de 35 milhões de toneladas por ano de cimento, que são utilizados 210 milhões de toneladas de agregados na produção de concreto e argamassa (JOHN, 2000).

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro em 2002, 70% da brita produzida no Brasil está associada ao uso com cimento e 30% ao uso com asfalto betuminoso. Apesar disto a demanda é reprimida pelo pouco incentivo a habitação popular no Brasil. Além dessa falta de incentivo

a produção de bens com agregados britados, tem a questão ambiental, que impõem limites técnicos e geográficos quanto à implantação de áreas para a exploração, encarecendo a produção por causa do transporte. Outra questão é quanto à vida útil da jazida podendo torna-se escasso o mineral explorado, além do impacto ambiental com a infertilidade de solos, erosões, desmatamento etc. (BASTOS FILHO, 2005).

Em Manaus, o processo de extração do seixo rolado se dá por dragagem, há também um desmatamento das margens dos cursos d'água, a fim de possibilitar o acesso de equipamentos e pessoal, e deposição de estéreis e rejeitos, revolvimento e turbilhonamento das margens e fundo dos cursos d'água. Em muitos casos, devido ao número de balsas e dragas, prejudica o trânsito de embarcações.

2.2.2 Impactos ambientais da geração de RCD

Com o crescimento populacional mundial as atividades no setor da construção civil se intensificaram, e conseqüentemente, o volume de resíduos também aumentou, sendo maior essa ocupação populacional nas áreas dos grandes centros. Isso torna a escolha de locais de deposição dos resíduos um problema, favorecendo a deposição em locais inadequados, tais como: nos terrenos baldios, na margem das estradas, nas áreas de depressão e até mesmo nas margens dos cursos d'água assoreando e obstruindo a passagem de água. O que ocasiona nos períodos chuvosos, inundações e desabamentos, principalmente em áreas mais carentes.

O acúmulo de resíduos também facilita a proliferação de ratos, baratas, mosquitos, cobras, etc., levando muitas vezes a transmissão de doenças epidêmicas (LIMA, 2005). A falta de fiscalização para cumprimento das leis ambientais, também contribui para o agravamento da situação dessas deposições irregulares.

Outra questão importante é quanto aos resíduos perigosos presentes no RCD. Em 1995, a Environmental Protection Agency – EPA identificou quatro tipos de resíduos

perigosos nos resíduos de construção e demolição provenientes de 21 aterros de RCD dos EUA, os quais foram avaliados segundo critérios de qualidade da água de abastecimento em relação ao nível de contaminantes, níveis máximos de contaminantes secundários (substâncias que causam efeitos como alteração de gosto p. ex.) e presença de substâncias carcinogênicas, e detectou ainda, 93 substâncias consideradas perigosas, das quais 24 delas, em concentração acima do limite da regulamentação. Nos resíduos de construção e demolição ainda encontra-se resíduos com excesso de pinturas, selantes e telhas de cimento amianto; resíduos de óleos com fluidos de freio, óleos de máquinas, baterias, lâmpadas fluorescentes, resíduos como madeira tratada e carpetes de vedação (ÂNGULO, 2006). Em 1998, A EPA passou a considerar os resíduos de demolição e de reforma mais contaminados que os resíduos da construção, alegando que os resíduos de demolição são baseados em sistemas construtivos com diversos tipos de materiais unidos, e ainda perigosos como cimento amianto e pintura à base de chumbo.

A regulamentação do Kansas nos EUA é rigorosa quanto à deposição de alguns materiais em aterros de RCD como cimento amianto, matéria-orgânica, mobília, equipamentos elétricos contendo substâncias perigosas, pneus e tambores com óleos. A regulamentação ressalta ainda alguns materiais que não são RCD como pneus usados, madeira tratada de fonte industrial e poda de árvores (KDHE, 2002 apud ÂNGULO, 2006). Há também nas resinas em peças de madeira a presença de formaldeído que causam alergia em trabalhadores de demolições (LAMBERT; DOMIZIO, 1993 apud EPA, 1995).

O modelo de tratamento de resíduos adotado pela maioria das cidades brasileiras, é baseado na prática do aterramento alterando áreas naturais (várzea, vales, mangues e outras regiões de baixadas), que servem de escoadouros dos elevados volumes de água concentrados nas superfícies urbanas impermeabilizadas, essa gestão é corretiva, repetitiva e onerosa (LIMA, 2005).

O aterramento é a alternativa mais utilizada para o reaproveitamento dos RCD, sendo os mesmos aplicados sem nenhuma espécie de beneficiamento, as construtoras praticam essa técnica para se livrarem do resíduo gerado que ocupa espaço no canteiro. Essa prática favorece a contaminação do solo por lixiviação ou solubilização de certas substâncias nocivas, como materiais de pintura ou substâncias de tratamento de superfícies, presentes na composição do RCD. Além destes materiais, estes resíduos podem conter amianto ou metais pesados, que mesmo em pequenas quantidades são altamente nocivos (LIMA, 2005).

Os aterros de materiais inertes são considerados uma solução para a eliminação dos pontos irregulares de deposição, porém existe um problema quanto à geração de gases pela decomposição de alguns componentes do RCD. O gesso, por exemplo, libera o gás sulfídrico (H₂S), que além do odor gerado pode provocar muitos efeitos adversos para a saúde humana (EUN et al, 2007).

Ângulo (2006) atribui aos seguintes fatores para a consideração de que os resíduos de construção e demolição em aterros, mesmo sendo considerados inertes, são perigosos:

a) a presença de materiais como plásticos, tintas, óleos, asfaltos, madeiras podem contaminar aterros de RCD.

b) embora grande parte das contaminações dos RCD tenha origem de materiais orgânicos presentes na fração mineral, algumas contaminações como a do ferro e manganês podem ocorrer;

c) os problemas de contaminação englobam risco à saúde da população no entorno, dos funcionários envolvidos nestas atividades e ao meio ambiente; e

d) a contaminação por substâncias orgânicas podem causar incêndios com complexo tempo de extinção.

2.3 A geração de RCD

Aproximadamente 60% dos componentes do RCD são considerados inertes, como argamassa, concretos e telhas, e recicláveis, porém são depositados ao longo do espaço urbano, ocupando áreas valorizadas ou de preservação com um material que pode ser reutilizado (CLOCCHI, 2003).

A quantificação do resíduo também caracteriza perdas de materiais durante o processo de construção, isso significa que materiais foram consumidos além do necessário, o que contribui para o aumento do uso dos recursos não renováveis, implicando em maior impacto ambiental.

Segundo Lauritzen (1998) a intensidade da atividade de construção em cada país, a tecnologia empregada, as taxas de desperdícios e manutenção determinam a intensidade de geração de entulho de construções e demolições para cada país. Em países da Europa a estimativa de geração de RCD é de 600 a 918 kg/hab.ano superior a de resíduos urbano de 390 kg/hab.ano, porém nos EUA essa porcentagem de RCD do resíduo urbano é menor devido à baixa participação do setor de construção na economia do país (JOHN, 2000). No Brasil, Pinto (1999) propôs uma metodologia para estimativa de geração de RCD, esse método foi realizado em 10 cidades, e de acordo com os dados são gerados 0,52 toneladas de entulho por habitante e por ano, representando de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Rocha e Sposto, em 2005, realizaram uma pesquisa sobre a geração de RCD no Distrito Federal, a qual constatou que cerca de 5.500ton/dia de resíduos sólidos de construção e demolição são gerados (SPOSTO, 2006).

A geração de resíduos na construção civil, deve-se à produção de materiais e componentes, às atividades no canteiro, à manutenção, reformas e demolições. Em países da Comunidade Européia estima-se que aproximadamente 2/3 dos resíduos são de obras de

manutenção e demolições e o restante de construções novas (BROSSINK et al,1996 apud JOHN, 2000), nos EUA, 8% dos RDC são de construções novas e 33% de demolições não residenciais (EPA, 1998). Os resíduos da construção no Brasil representam de 19 a 52% do RCD enquanto que os resíduos de demolição representam de 50 a 81% do RCD (ÂNGULO, 2000), isso se deve a intensa atividade de construção estimulada pelo desenvolvimento econômico e social de países em desenvolvimento, por isso o volume de resíduos de construção gerado é geralmente superior ao de demolição (CARIJÓ, 2005). Desses resíduos de construção as construtoras são responsáveis pela geração de 20% a 25% desse entulho, o restante corresponde obras particulares (TÉCHNE, 2001).

Além da quantidade, deve ser analisada a composição do resíduo gerado, o qual segundo John (2000) é muito variável e depende da fonte geradora, ou seja, se é de construção, reforma ou demolição, depende também da natureza da obra (residencial, comercial ou industrial), da tecnologia construtiva, da fase da obra, etc. Em Toronto, Canadá, por exemplo, cerca de 35% dos resíduos de construção e/ou demolição gerados são madeiras, o que pode ser explicado pela tradição construtiva da região (SWANA , 1993 apud PINTO, 1999), Já na Bélgica, resíduos de concreto e alvenaria juntos são responsáveis por aproximadamente 83% do total de RCD gerado, sendo a madeira responsável apenas por 2% (CARNEIRO, 2005).

No Brasil, estima-se que em média 65% do material descartado é de origem mineral, 13% madeira, 8% plástico e 14% outros materiais (TÉCHNE, 2001). Em Brasília, nas amostras coletadas de 14 canteiros de obras, 85% dos resíduos são recicláveis, sendo 30% de classe A e 55% de classe B, os quais conforme a Resolução nº 307 do CONAMA são respectivamente resíduos reutilizáveis como agregado (resíduos de construção e demolição) e resíduos para outras destinações (resíduos de plásticos, papel, metais, madeiras e outros) (SPOSTO, 2006).

2.3.1 As perdas na construção civil

Segundo Andrade (1999) a fração das perdas que excede o limite mínimo característico da tecnologia considerado inevitável para determinado nível tecnológico, se chama desperdício. E Souza et al (1999) considera perda o consumo de materiais além do necessário à produção ou manutenção de um bem. Na cidade de Campina Grande Nóbrega (2002) realizou uma pesquisa com os resíduos gerados pelas suas obras, os principais tipos de perdas detectadas foram:

- perdas por estoque : em algumas edificações os materiais eram estocados em locais abertos no próprio canteiro ou em ruas próximas sem nenhum tipo de proteção em relação a chuvas, sol, roubos e vandalismos, ocasionando tijolos danificados no local de estocagem;

- perdas por excesso de produção : produção de argamassa em quantidade acima do necessário;

- perdas no processamento in loco : nas incorporações, esse tipo de perda origina-se tanto na execução inadequada de alguns serviços, como na natureza de diversas atividades como, por exemplo, para executar instalações quebravam-se paredes já emboçadas. Nos condomínios isso também foi observado, porém o que acarretou a parcela mais significativa neste tipo de perda foi à mudança constante de projetos por parte dos condôminos

- perdas no transporte : o manuseio dos materiais de construção pelo operários provoca perdas, principalmente com blocos, devido ao equipamento de transporte ser inadequado ou de péssimo manuseio.

O IPT (Instituto de Pesquisas e Tecnologia de São Paulo), que quantificou o desperdício na indústria da construção civil encontrou perdas entre 30% e 40% do custo total da obra. O Quadro 1 apresenta o desperdício de alguns materiais de construção comumente usados na maioria das construções, segundo uma pesquisa nacional, e constam também os

resultados obtidos em duas outras pesquisas anteriores sobre o mesmo tema. Os dados apresentam as perdas em relação ao consumo previsto no orçamento, e observa-se que as perdas de componentes usados em argamassas, por exemplo, pode-se atribuir ao excesso de argamassas para cobrir os defeitos da parede (LIMA, 2005).

Quadro 1 – Perda de materiais em processos construtivos convencionais

Materiais	Pinto (1)	Soibelman (2)	FINEP/ITQC (3)
Concreto usinado	1,5%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	52%	13%
Cimento	33%	83%	56%
Cal	102%	-	36%
Areia	39%	44%	44%

(1) Valores de uma obra (PINTO,1999); (2) Média de 5 obras (SOIBELMAN et al, 1993); (3) Mediana de diversos valores (SOUZA et al, 1998)

FONTE: LIMA, 2005

A possibilidade de redução dos resíduos gerados nos diferentes processos produtivos apresenta limites técnicos, de forma que resíduos, portanto, sempre existirão (LIMA, 2005). O IPT e outras entidades recomendam a reciclagem, e citam como exemplo o reaproveitamento dos rejeitos cerâmicos gerados nas edificações, podem ser usados como agregado e até como aglomerantes pozolânicos em argamassa, podendo reduzir o custos (PINTO, 1994; ARAUJO, N. & FERREIRA, 1997). A adição do resíduo beneficiado nas argamassas mistas resulta em evidentes melhoras no desempenho mecânico com reduções nos consumos de cimento (30%), da cal (100%) e da areia (15% a 30%), dependendo dos traços avaliados (LEVY, M. & HELENE, 1997). Por isso além de desenvolver técnicas construtivas que diminuam o volume do entulho gerado por obras novas, deve-se reutilizar e reciclar, mesmo porque ainda existem os resíduos de reformas e demolições que só podem ser combatidos através da educação social para a reciclagem (LIMA, 2005).

2.4 A reciclagem dos RCD

A redução de perda é o meio mais econômico para solucionar o problema da geração de resíduos, sendo vantajoso para a empresa nesse mercado competitivo, para garantir a sua sobrevivência. A adoção de técnicas para diminuir as perdas também reduz a demanda pelo

consumo dos recursos naturais, e conseqüentemente, reduz o consumo de energia para a extração e produção e a emissão de poluentes (PALIARI et al 2002). John (2000) defende que para a produção de um mesmo bem deveria se buscar a redução do consumo dos recursos naturais e de materiais através de projetos racionalizados, uso de materiais de melhor desempenho, incluindo os de maior durabilidade, e a reciclagem. Como a indústria da construção ainda tem um desafio a vencer que é a questão cultural, a busca por processos racionalizados não é um meta a ser seguida por todo o setor, por isso a reciclagem torna-se a principal solução para a redução dos resíduos gerados pelas construções e demolições, onde se verifica que para todas as localidades, a maior parte dos resíduos gerados é formada por parcelas potencialmente recicláveis (CARNEIRO, 2005).

De acordo com pesquisas sobre RCD, constata-se um grande potencial para a produção de blocos, pisos e argamassas com sua reciclagem, a serem usados na construção de habitações de interesse social, realizadas por meio de autoconstrução, ao invés de materiais mais nobres, permitindo economia de matéria-prima e de energia (SPOSTO, 2006). As Vantagens da reciclagem de resíduos para a produção de novos materiais segundo ENBRI (1994) são:

- redução do volume de extração de materiais-primas;
- conservação de materiais-primas não renováveis;
- redução do consumo de energia;
- menores emissões de poluentes, como o CO₂;
- melhoria da saúde e segurança da população.

A implantação de usinas de reciclagem para aproveitamento dos entulhos gerados pela construção civil seria uma alternativa viável para minimizar seu volume e os transtornos que eles causam às populações urbanas. Nos Estados Unidos, Japão, Dinamarca, Holanda, França,

Itália, Inglaterra, Alemanha e outros países, a reciclagem de entulho já se consolidou, com centenas de unidades instaladas. Os governos locais dispõem de leis exigindo o uso de materiais reciclados na construção e em serviços públicos (LIMA, 2005). No Brasil são poucas cidade que possuem usinas de reciclagem, como São Paulo, Belo Horizonte, Distrito Federal, esta última tem somente duas mini-usinas de beneficiamento destes resíduos, sendo que somente uma está funcionando e ainda em produção baixa (SPOSTO, 2006).

Para que se torne viável a intensificação da prática da reciclagem, são necessários incentivos legais, fiscais e educacionais (BASTOS FILHO, 2005). Nos EUA o governo federal estabeleceu uma política nacional para compra de produtos e serviços “ambientalmente preferíveis”, definidos como aqueles que possuem menor efeito nocivo ao ambiente ou à saúde, quando comparados com seus competidores e durante todo o ciclo de vida (CLINTON 1993 apud JOHN, 2000).

A EPA (1999b) estabeleceu metas de conteúdo mínimo de resíduos para itens como cimento portland (15% de cinzas volantes e 25% de escória de alto forno), carpetes isolantes térmicos, tintas látex (de 10% a 50%, dependendo da cor), papel, etc. Segundo Sposto (2006) a exigência da incorporação de resíduos em determinados produtos pode vir a ser extremamente benéfica, já que proporciona economia de matéria-prima e energia.

Existem alguns programas de certificação como o Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) e o Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System (LEED), que certificam edifícios exigindo uma porcentagem mínima de produtos reciclados. No Brasil a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) certifica os estabelecimentos sediados no Estado de São Paulo que possuem um programa de proteção e preservação do meio ambiente com o Selo Verde (JOHN, 2000).

2.4.1 Legislação Brasileira sobre reciclagem do RCD

Na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 30 responsabiliza o município pela “organização e prestação de serviços públicos de interesse local”, sendo este o primeiro instrumento legal a ser considerado para uma análise na área de resíduos sólidos. Existe também a lei 9.605 de 1988, Lei de Crimes Ambientais – LCA, a qual em seu art. 54 trata como atividade lesiva ao meio ambiente, e portanto, passiva de multas e sanções penais, a poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortalidade de animais ou a destruição significativa da flora.

O CONAMA além de outras competências é responsável por estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente através de suas resoluções. No que se refere aos RCD, somente a partir de janeiro de 2003, quando entrou em vigor a Resolução nº 307 do CONAMA, é que se passou a ter um dispositivo legal, a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção, definindo e ressaltando a responsabilidade do gerador sobre os seus resíduos. E também estabelece alguns requisitos quanto ao tratamento desses resíduos, tais como:

- a classificação dos resíduos da construção de acordo com o seu potencial para reutilização e reciclagem (Art. 3º);
- a proibição da disposição dos resíduos da construção em aterros de resíduos domiciliar (Art.4º);
- a obrigatoriedade da elaboração, como instrumento de gestão dos resíduos de construção, do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (Art. 5º), o qual deverá incorporar: Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção

Civil (elaborado pelo município) e Projetos de gerenciamento dos resíduos da construção civil (elaborados e implementados pelos grandes geradores).

Os Projetos de gerenciamento dos resíduos da construção civil terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos (Art. 8o).

Quanto ao gerenciamento no art. 9º, inciso I a V, determina que devam ser divididos na seguintes etapas:

- Caracterização: identificar e quantificar os resíduos:
- Triagem: á ser realizada, preferencialmente, pelo gerador de resíduo na origem, ou em áreas de destinação licenciada para tal finalidade;
- acondicionamento: confinamento dos resíduos após a sua geração e até o transporte;
- Destinação: de acordo com o estabelecido na resolução.

A Resolução CONAMA nº 307, é baseada nas ações típicas da Gestão Diferenciada, proposta por Pinto (1999), cujos princípios básicos são:

- Capitação máxima dos resíduos gerados, através da constituição de redes de áreas de atração, diferenciadas para pequenos e grandes geradores/coletores;
- Reciclagem dos resíduos captados, em áreas perenes especialmente definidas para a tarefa;
- alteração de procedimentos e culturas, no tocante à intensidade de geração, à correção da coleta e disposição e às possibilidades de utilização dos resíduos reciclados.

Além da questão ambiental, a Resolução nº 307 do CONAMA determina que as prefeituras não devam receber resíduos de construção e demolição nos aterros sanitários, áreas de “bota-fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos ou áreas protegidas por lei, determina

ainda que devam ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura, sendo de responsabilidade da empresa construtora a destinação adequada do resíduo gerado pela sua obra, devendo apresenta um projeto de gerenciamento de resíduos para cada obra o qual será submetido à aprovação ou licenciamento de órgãos competentes.

Galivan & Bernold (apud OLIVEIRA, 2003), identificou quatro passos para a definição de uma boa gestão dos RCD:

- avaliar a composição e estimar o volume de resíduos de RCD gerados;
- determinar o potencial de reciclagem (volume, mercado, custo e retorno econômico);
- avaliar as opções de disposição disponíveis (reciclagem, aterro e incineração);
- levar em consideração o lado econômico e a proteção ambiental

2.4.2 Pesquisa sobre reutilização de RCD

A primeira aplicação de resíduo reciclado em construções que se tem registros foi após o final da 2^a guerra mundial, nas cidades européias arrasadas pela guerra foram reconstruídas com os escombros dos edifícios totalmente demolidos os quais foram britados para a produção de agregados (WEDLER, HUMMEL, 1946 apud LIMA, 2005).

Nos Estados Unidos existem inúmeras pesquisas e aplicações de resíduos reciclados, principalmente em pavimentações. Em 1985, a Holanda já utilizava agregados reciclados na confecção de concretos estruturais como painéis pré-moldados. No Brasil a aplicação de agregados reciclados em sub-base de rodovias ocorreu em São Paulo em 1991 (CORBIOLI, 1996). No Quadro 2 estão relacionadas algumas pesquisas que são referências atualmente para todos os trabalhos sobre RCD, pelo pioneirismo, que despertou para o estudo das suas mais

variadas utilizações (LIMA, 2005).

Quadro 2 – Pesquisas com RCD como agregado

Autor(es)	Pesquisa
Hansen e Narud (1983)	estudaram a resistência à compressão de concretos feitos de agregados graúdos reciclados, em função da resistência à compressão do concreto convencional do qual os agregados foram originados
Silveira (1993)	realizaram experimentos utilizando resíduos de construção moídos para a produção de argamassas de revestimento
Levy e Helene (1996)	
Hamassaki, Sbrighi e Florindo (1996)	abordaram a reciclagem do entulho na produção de argamassa de alvenaria, simulando a reutilização do resíduo no próprio local gerador
Zordan / Levy (1997)	Uso de RCD em concreto com agregado
Latterza (1998)	
Lima (1999)	Propôs diretrizes para a normalização do uso de RCD como agregado
Pinto (1999)	Propôs um metodologia de tratamento de RCD

FONTE: LIMA, 2005

Outras pesquisas avançaram para outras utilizações como a de Alves (2002) estudou a substituição parcial do cimento por pozolana de resíduo cerâmico moído em argamassas e Oliveira (2004) que estudou a durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulhos da construção civil e concluiu que blocos com traço 1:8, com 60% de entulho incorporado apresentam melhor desempenho.

Baseando-se nessas pesquisas os RCD são reutilizados em substituição parcial ou total dos agregados, mas o aproveitamento destes resíduos na construção civil requer uma avaliação dos aspectos econômicos e tecnológicos, e dos riscos de contaminação ambiental com o uso de materiais com resíduos incorporados durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final (LIMA, 2005).

2.4.3 Uso em sub-base e pavimento

O uso de RCD com agregado em base e sub-base de pavimentação apresenta as seguintes vantagens (CARNEIRO, 2005):

- utilização de quantidade significativa de material reciclado, tanto na fração miúda, quanto na graúda;
- simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária), contribuindo para a redução dos custos e a difusão

de essa forma de reciclagem;

- possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.);
- utilização de parte do material em granulometrias graúdas reduzindo o consumo de energia necessária para a reciclagem do RCD.

A desvantagem está no fato de o setor de pavimentação sozinho não ser capaz consumir integralmente o RCD reciclado (ÂNGULO et al, 2002 apud CARNEIRO, 2005), outro fato a considerar é que o mercado de pavimentação é controlado quase que exclusivamente pelo setor público, o que limita o uso dos agregados reciclados nessas atividades sendo, portanto necessário buscar outros mercados (CARNEIRO, 2005).

2.4.4 Uso em argamassas

No que diz respeito às argamassas, os resíduos reciclados podem ter um bom desempenho. Por exemplo, os resíduos cerâmicos moídos apresentam reação pozolânica podendo inclusive proporcionar reduções no consumo de cimento (ALVES, 2002).

2.4.5 Uso em concreto

No caso do concreto, seu uso como agregado reciclado oferece o máximo nível de reutilização e constitui a forma mais fácil de atingir o fechamento do ciclo de vida deste material (BARRA e VAZQUEZ, 1997). Porém, de acordo com Ângulo et al (2002 apud CARNEIRO, 2005), a atual tecnologia empregada nas centrais de reciclagem de RCD brasileiras não permite que grande parte dos agregados de RCD reciclados seja empregados em concretos conforme especificações internacionais. Os principais impedimentos para o uso destes agregados são os teores de argamassa, de contaminantes, de materiais pulverulentos e valores de absorção de água e de massa específica.

2.5 As propriedades dos agregados reciclados de RCD

É importante primeiramente conhecer as características do resíduo, não somente o volume, mas também a sua composição, antes de decidir o reaproveitamento, pois o RCD além de heterogêneo, suas características são variáveis de região para região (SAKAI et al, 1996 apud CABRAL, 2007). Como já visto anteriormente, os fatores de geração também influenciam a composição do RCD, e a sua fração mineral é composta de uma mistura de componentes construtivos como concretos, argamassas, cerâmicas, rochas naturais, entre outros, dependente da origem e, portanto variável (ÂNGULO, 2005).

2.5.1 A composição dos RCD

Em resíduos de construções novas os materiais encontram-se na sua forma original, são materiais que ainda não foram utilizados em qualquer processo da construção, e a sua geração é resultante do gerenciamento desses materiais no canteiro e pelo próprio processo construtivo que ainda é artesanal. Já em demolições e reformas podem-se encontrar os materiais residuais na sua forma final, tal como paredes de alvenaria, pisos revestidos, concretos armados, entre outros (LIMA, 2005).

Na Quadro 3 consta a composição do resíduo de construções e demolições de Hong Kong e nota-se a elevada quantidade de concreto nos resíduos de demolição por causa das estruturas, enquanto nos resíduos de construção esse percentual é muito menor, que podem ser devido apenas de sobras existentes ou pela abertura de passagem para condutores, quanto à madeira, sua maior porcentagem está na construção, devido à utilização de fôrmas para execução das estruturas de concreto.

Esses índices estão associados ao tipo de construção, técnicas e insumos construtivos utilizados no setor e esta característica pode ser bem evidenciada quando se compara os dados da Quadro 3 com os das Quadro 4 e 5, e observa-se que no Brasil existe um maior índice de

utilização de materiais cerâmicos e argamassa que em Hong Kong (LEITE, 2001).

Quadro 3 – Composição média de RCD em Hong Kong

Materiais	Construções (%)	Demolições (%)	Materiais	Construções (%)	Demolições (%)
Concreto	16,34	53,10	Cascalho	15,25	4,6
Pedra britada	7,76	6,82	Blocos de concreto	1,12	1,16
Madeira	18,22	7,14	Papel e matéria orgânica	2,62	1,3
Tijolos maciços	11,94	6,33	Metais	6,08	3,4
Areia	3,24	1,43	Asfalto	-	1,61
Poeira, solo e lama	16,09	11,91	outros	0,9	1,21

Fonte: LEITE ,2001

Quadro 4 – Composição média do RCD da cidade de São Paulo

Materiais	São Paulo (PINTO, 1999) (%)
Argamassa	63,67
Telhas, lajotas, etc.	1,11
Cimento amianto	1,38
Solo	0,38
Areia	0,13
Blocos de concreto	0,11
Tijolos maciços	17,98
Concreto	4,38
Ladrilhos de concreto	0,39
Papel e matéria orgânica	0,2
Madeira	0,11

Fonte: LEITE ,2001

Quadro 5 – Composição média do RCD da Usina de Ribeirão Preto

Materiais	Latterza (Nov/96) (%)	Latterza (Abr/97) (%)	Zordan (set-Out/96) (%)
Argamassa	46,2	47,9	37,4
Cerâmico	19,2	15	23,3
Pedras	19,1	22,5	17,7
Concreto	14,6	14,1	21,1
Outros	0,9	0,5	0,5

Fonte: LEITE ,2001

Lima (2005) afirma que os resíduos de construção são gerados por falta de projetos, falhas na sua execução, má qualidade dos materiais empregados, perdas no transporte e armazenamento, má manipulação por parte da mão de obra, além da substituição de componentes pela reforma ou reconstrução. Quanto ao volume, estima-se que para cada um metro quadrado de construção de um edifício são utilizados cerca de uma tonelada de materiais, sendo que as maiores porcentagens de materiais são de cimento, areia, brita, etc. Alguns levantamentos em canteiros de obra em Brasília estimaram uma média de geração de entulho de 0,12 ton/m². Quanto às perdas ou aos desperdícios neste processo mesmo que se

melhore a qualidade do processo, sempre haverá perda e resíduo (SPOSTO, 2006).

Nos países desenvolvidos, a composição do resíduo da construção de um edifício contém papel plástico em grande quantidade devido às embalagens dos materiais, enquanto que no Brasil, o mesmo tipo de obra gera em grandes quantidades resíduos de concreto, argamassa, blocos, entre outros, devido às elevadas perdas do processo (EDUFBA, 2001). Nos países europeus ainda encontram-se 50% desses materiais do volume total de RCD (HENRICHSEN, 2000 apud CABRAL, 2007), No Kuwait e na Malásia mais de 50% da composição dos RCD são restos de concreto, blocos de concreto e cerâmicos (KARTAM et al, 2004; BEGUN et al, 2006 apud CABRAL, 2007).

Na cidade de São Carlos/SP foram analisadas 33 amostras de RCD de canteiros de obras e 64% da composição era de argamassa e 30% de componentes cerâmicos, sendo o restante de outros materiais (PINTO, 1986). Em Campina Grande os maiores constituintes do resíduo sólido de 15 canteiros de obra são de tijolo e argamassa, a presença desses materiais está relacionada com a fase em que a construção se encontrava (NÓBREGA, 2002). O Brasil é um país de dimensões continentais, e há uma diversidade de padrões, porém na maioria das cidades já estudadas verificou-se que os materiais cimentícios (concreto e argamassa) são os de maior porcentagem da composição dos RCD, chegando a representar, numa das cidades mais desenvolvidas do país, aproximadamente 70% (CARNEIRO, 2005).

Além da região geográfica a composição dos resíduos de construção e demolição também é variável em função da época do ano e do tipo de obra, por exemplo resíduos oriundos de obras de construção, a composição depende do estágio da obra, uma vez que no estágio de concretagem da estrutura há uma maior incidência de fragmentos de concreto, aço, formas de madeira, dentre outros, enquanto que no estágio de acabamento, há predominância de restos de argamassa, tijolos, telhas, cerâmicas dentre outros (POON et al, 2001 apud CABRAL, 2007).

A cultura da empresa também influencia, portanto os diferentes modelos de gestão podem influenciar na composição do RCD. Outros aspectos como: nível de desenvolvimento técnico da indústria da construção local; qualidade e treinamento da mão-de-obra disponível; técnicas de construção e demolição empregadas; programas de qualidade; práticas de reciclagem; disponibilidade de materiais na região; desenvolvimento econômico do local e demanda de novas construções, também podem interferir nas porcentagens e tipo de materiais que constituem o resíduo (OLIVEIRA et al, 2004 apud CARIJÓ, 2005).

Levy (1997) explica que a origem e o período de coleta das amostras de RCD podem apresentar composição variada, devido à construção desenvolver várias atividades dentro do canteiro de obras, além disso, uma edificação utiliza uma grande variedade de diferentes componentes, e quando ocorre a sua demolição esta característica fica evidenciada na composição do resíduo resultante podendo dificultar a reciclagem devido a dificuldade para a separação dos componentes. Por esses motivos o resíduo de construção e demolição é considerado o mais heterogêneo de todos os resíduos (ZORDAN, 2000).

Como visto anteriormente a grande heterogeneidade na composição do RCD, depende de vários fatores ligados a rotina do canteiro, a cultura da empresa, de aspectos regionais e mundiais, portanto para cada lote de RCD será uma composição distinta, e isso afeta diretamente as propriedades dos agregados e dos materiais produzidos com o mesmo. Por isso se busca modelos de gestão para os RCD principalmente dentro dos canteiros para minimizar essa heterogeneidade, tornando mais viável economicamente a reciclagem desses resíduos (LIMA, 2005).

A NBR 15116, norma técnica que classifica a fração mineral do RCD, também considera parâmetros físicos e químicos que refletem a composição dos agregados reciclados. Além disso, é possível, baseado no que já se conhece sobre a composição do RCD e os fatores que influenciam sua heterogeneidade, estabelecer uma relação com as propriedades

macroscópicas dos agregados reciclados, e através das Ciências dos Materiais otimizar as propriedades do material (OLIVEIRA, 2004).

2.5.2 Granulometria dos agregados reciclados de RCD

A granulometria dos agregados reciclados depende da composição e em geral tendem a apresentarem granulometrias mais grossas que os agregados naturais. Também dependem do tipo de britador, e apresentam granulometria contínua e elevado teor de finos (LIMA, 1999).

O teor de finos é encontrado tanto na fração graúda quanto na miúda e esse material contribui para diferentes desempenhos para variadas aplicações, como por exemplo, em argamassas pode ser prejudicial por provocar fissuras (MIRANDA, 2000) e em concreto pode melhorar o arranjo entre as partículas do agregado e suas superfícies (ZORDAN, 1997).

Os britadores de mandíbula produzem agregados mais adequados ao uso em concretos enquanto que os de impacto para pavimentação (HANSEN, 1986; LAMOND et al, 2002 apud CABRAL, 2007). Porém para os agregados reciclados serem utilizados em concretos necessita de sucessivas britagens do resíduo, sendo que do ponto de vista econômico apenas uma única britagem seria ideal (SCHULZ e HENDRICKS, 1992). As usinas de reciclagem existentes no Brasil utilizam britadores de impacto, sendo que esse processo de britagem é responsável pela geração de 60%, da massa de resíduo, de agregado miúdo, isso depende também do tipo de resíduo e da separação prévia do resíduo de fração miúda. Os agregados provenientes de alvenaria podem conter teores elevados de miúdos (LIMA, 1999).

O tamanho da partícula exerce certa influência na resistência à compressão, devido à quantidade de argamassa aderida às partículas e quanto maior o grão, maior será a quantidade de argamassa aderida o que pode prejudica a aderência entre a pasta e o agregado tornando-a frágil (TAVAKOLI e SOROUSHIAN, 1996b apud LEITE, 2001).

A granulometria influencia na trabalhabilidade do concreto no estado fresco, influencia também na área superficial do agregado, determinando a quantidade de água, alterando o volume relativo ocupado pelo agregado. Na composição granulométrica para evitar a segregação exige-se um determinado teor de partículas inferiores a 0,3mm, pois tornam a mistura de concreto menos áspera (NEVILLE, 1995).

Partículas inferiores a 0,15mm na composição granulométrica, é desejável para a confecção de concretos bombeáveis, concretos para peças muito delgadas ou armadas, e concretos estanques a água, porém pode ser prejudicial se utilizado em concretos submetidos aos ciclos de gelo e degelo, por não apresentarem boa resistência à compressão e à abrasão. A presença dessas partículas, de acordo com Montgomery (1998), pode significar também a possível existência de partículas não hidratadas de cimento na sua composição, isso pode favorecer um incremento a quantidade de cimento presente no concreto produzido, reduzindo a aspereza das misturas, melhorando a trabalhabilidade e conseqüentemente aumentar a resistência, porém não tem como medir a quantidade de partículas de cimento não-hidratada.

Ogwuda et al. (1998 apud LEITE, 2001) em seus estudos identificou partículas de concreto em maior porcentagem retida na peneira de abertura # 0,074 mm, isso significa a fração de material cerâmico e grãos de cimento possuiriam dimensões menores que 0,074 mm. Ângulo (2000) constatou que o material retido no fundo da serie de peneiras teria correlação com o percentual de argamassa da composição.

2.5.3 Massas específicas e unitárias dos agregados reciclados de RCD

A massa específica está relacionada com a composição química e mineralógica, quanto aos agregados graúdos de RCD reciclados essa propriedade varia muito pouco Ângulo et al (2003 apud ÂNGULO, 2005).

Os agregados reciclados possuem massa específica menor que os agregados naturais,

Gonçalves (2000 apud ÂNGULO, 2005) em suas pesquisas, encontrou massa específica do agregado reciclado cerca de 10% menor que a massa específica do agregado natural. Bazuco (1999) observou que além da origem, a granulometria também influencia na massa específica, e encontrou valores de massa específica dos reciclados cerca de 5 a 10 % mais baixos que os valores apresentados pelos agregados naturais. Na Quadro 6 constam as massas específicas encontradas por outros autores.

Quadro 6 – Massas específicas de agregados reciclados encontradas

Tipo de agregado reciclado (autor)	Massa específica de agregados reciclados (Kg/dm³)
Agregados originários de concreto (HANSEN, 1992)	2,12 – 2,70
Agregados de materiais cerâmicos (CHARISIUS et al, 1992)	> 2,20
Agregados miúdo e graúdo (CARNEIRO et al, 2000)	2,59 e 2,19
Agregados graúdo de concreto de dimensões de 8 a 31,5mm (TOPÇU E GUÇAN, 1995)	2,45

Fonte: LEITE, 2001

Gómez-Soberon (2002) afirmam que há um aumento da massa específica proporcional ao tamanho da partícula, Hansen & Narud (1983 apud CABRAL, 2007) também em suas análises, encontraram que o tamanho das partículas do agregado graúdo influencia no valor da massa específica (LEITE, 2001).

Hansen (1992 apud CABRAL, 2007) também avaliou a influência da idade do concreto original na massa específica do agregado reciclado, porém não notou nenhuma influência da resistência do concreto original nesta propriedade. O autor estudou ainda a argamassa desses concretos com diferentes relações a/c, e obteve massa específica em torno de 2,00 kg/dm³, com isso conclui que a massa específica mais baixa que a dos agregados naturais é devido à argamassa antiga aderida às partículas do agregado reciclado de concreto, Lima (1999) também atribui a argamassa aderida aos fragmentos de tijolo cerâmico, o fato de a massa específica ser inferior a do agregado natural, e que quantidade de argamassa utilizada no assentamento também influencia nesse valor.

Os agregados reciclados, apesar de menos densos, ainda têm valores de massa específica maiores que 2,00 kg/dm³, por isso Banthia e Chan (2000) consideram os agregados

reciclados de RCD como semi-leves pois o limite superior do valor de massa específica para que um agregado seja considerado leve é de $2,00 \text{ kg/dm}^3$. Dessy et al (1998) em suas pesquisa encontraram massa específica para as frações mais finas menores que a fração graúda, os autores atribuem a isso o fato de haver uma quantidade maior de argamassa original existente nesta fração.

Carijó (2005) afirma que há uma relação entre a massa específica aparente e a porosidade do agregado reciclado, a porosidade também influencia o volume de concreto para uma dada massa de agregado. A porosidade pode ser determinada pela absorção de água, que é a massa de água que acessa os poros permeáveis num período de 24 horas (ASTM, 1993 apud ÂNGULO, 2005). A principal diferença entre as partículas de argamassa e concreto presentes nos agregados graúdos de RCD reciclados é física, ou seja, na propriedades de absorção de água e massa específica aparente da pasta de cimento endurecida (ÂNGULO; JOHN,2002 apud CARIJÓ, 2005).

Os dados de massa específica de agregado de uma mesma usina de Zordan (1997) e Latterza (1998) apresentaram variação de 18% entre as amostras de agregado graúdo de cada estudo, apesar de uma pequena variação na composição. Comparando ainda materiais de mesma composição analisados por Zordan em 1997 e 1999, notou-se que as amostras de 1997 possuíam menor quantidade de argamassa e materiais cerâmicos, portanto levaria a um aumento na massa específica devido a menor quantidade de materiais porosos, porém isso não foi observado. O autor atribui isso a uma possível diferença de métodos adotados, e que o método de ensaio do Frasco de Chapman não se mostrou adequado, principalmente para a fração graúda.

De acordo com a Quadro 7 observa-se que a massa unitária dos agregados reciclados também apresentam valores menores que os agregados naturais (LEITE, 2001).

Quadro 7 – Massas unitárias de agregados reciclados de concreto

Tipo de agregado reciclado	Massa unitária de agregados reciclados (Kg/dm³)
Agregados graúdo de concreto (TOPÇU E GUÇAN, 1995)	1,16
Agregados miúdo de concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994)	1,30
Agregados naturais	1,30 – 1,75

Fonte: LEITE ,2001

Baseado nos resultados encontrados nas bibliografias observa-se que as massas específicas e unitárias são variáveis mesmo para materiais de mesma composição, a isso se pode atribuir ao tipo de beneficiamento realizado, a granulometria, entre outros fatores que podem interferir na densidade dos agregados reciclados (LEITE, 2001).

2.5.4 Teor de material fino nos agregados reciclados de RCD

O teor de material fino na granulometria do agregado reciclado pode influenciar na quantidade de água de amassamento necessária para a mistura, e provocar diminuição da resistência mecânica do concreto produzido, e podem também reduzir a resistência à abrasão do concreto (CHEN et al, 2003). Esses materiais finos têm em sua composição partículas de silte, argila e outros materiais pulverulentos.

Essas partículas quando formam um filme ao redor do grão do agregado podem prejudicar a aderência da pasta com o agregado, reduzindo a resistência à compressão dos concretos em até 30% (CARIJÓ, 2005). Concretos com agregados reciclados com teor elevado desses materiais apresentam baixa resistência quando expostos aos ciclos de gelo e degelo ou umedecimento e secagem (LEVY 1997). A presença desses materiais segundo Quebaud (1996) é mais acentuada na fração miúda do agregado.

2.5.5 Absorção dos agregados reciclados de RCD

Para os agregados convencionais, a taxa de absorção é muito baixa, e não exerce nenhuma influência sob as propriedades do concreto, porém quando a taxa de absorção é elevada pode influenciar na mistura do concreto levando à perdas de resistência, durabilidade,

à elevadas deformações e retrações (TAM et al, 2005). Os agregados reciclados apresentam taxas de absorção de água elevadas em comparação aos agregados naturais (LEITE, 2001), e além de afetar as propriedades do concreto no estado endurecido, afeta também no estado fresco, causando problemas como o proporcionamento dos constituintes do concreto e a determinação da consistência (CARIJÓ, 2005), ou seja, influencia reduzindo a relação a/c e consequentemente a trabalhabilidade, deixando o concreto seco (LEITE, 2001).

A absorção de água dos agregados reciclados depende na natureza do material e da granulometria (ÂNGULO, 2000). Quanto a natureza do material, diz respeito a composição mineralógica e química, que determinam sua massa específica e densidade, que por sua vez tem relação direta com a absorção, sendo que quanto maior a densidade menor a absorção (LIMA, 2005). Quanto a granulometria observa-se que quanto menor o diâmetro do agregado e maior a porosidade inerente do material, maior é a taxa de absorção obtida (BARRA, 1996). Porém os agregados graúdos reciclados são mais porosos que os agregados naturais e esta porosidade está associada à presença da pasta de cimento endurecida (BARRA, 1996), cerâmica vermelha e branca (ÂNGULO, 2000). A absorção pode está associada também ao teor de material fino, quanto maior a porcentagem desses materiais no agregado maior a quantidade de argamassa aderida, portanto maior a absorção (LIMA, 1999).

A resistência do concreto original influencia na taxa de absorção do agregado reciclado, pela melhora das propriedades da matriz de cimento (NAGATAKI et al, 2000 apud CABRAL, 2007). Quanto a idade do concreto original os agregados miúdos não apresentaram alterações em suas taxas de absorção, porém nos agregados graúdos a taxa de absorção aumentava por causa da perda do teor de umidade para a hidratação do cimento e formação de gel (RASHWAN e ABOURIZK, 1997 apud LEITE, 2001). Era esperado o contrário, que com o tempo o agregado reciclado de concreto apresentasse menos porosidade, porém as condições do ambiente influenciam mais na formação desses poros durante ao período da

estocagem (LEITE, 2001). Os autores Rashwan e Abourizk (1997 apud LEITE, 2001) obtiveram resultados diferentes sobre a absorção de agregados reciclados graúdos e miúdos, e justificam usando o argumento de Barra (1996) que a densidade, a porosidade, o teor de água e a absorção são propriedades que dependem da quantidade de poros e da rede de interconexão entre eles.

A composição e a granulometria influenciam a taxa de absorção, e há uma tendência dos agregados reciclados de alvenaria absorverem mais água que os de concreto, quanto ao teores de material fino e de argamassa aderida tendem a elevar as taxas de absorção, porém alguns dados de outras pesquisas divergem quanto a taxa de absorção da fração miúda e graúda. Os estudos que encontraram para os agregados graúdos taxas de absorção maiores que as dos agregados miúdos, pode-se notar que a composição de suas amostras são variadas, além da origem e da forma de britagem, mas é de consenso que os agregados reciclados possuem taxa de absorção maior que a dos agregados naturais (Quebaud (1996), Rashwan e Abourizk (1997), Machado Jr. et al (2000) CABRAL, 2007).

Segundo Barra (1996), quanto mais seco, poroso, de menor dimensão for o agregado e quanto maior a fluidez da pasta, ou argamassa, maior será a quantidade de água absorvida, e que essa troca diminui na área próxima a zona de transição, e que quando o agregado seco ao ar é misturado primeiramente com a água pode ocorrer uma diminuição da absorção de água, pelas partículas já estarem saturadas, e o agregado até devolver parte da água para a mistura. A absorção elevada favorece também a absorção da pasta que penetram nos poros do agregado e formam cristais precipitados de cimento hidratado, propiciando uma maior aderência entre a pasta e ao agregado, melhorando assim a resistência à compressão do concreto (VIEIRA, 2003 apud CABRAL, 2007).

Vários autores recomendam a pré-saturação do agregado reciclado antes da mistura ao concreto, e que essa saturação pode chegar a 50% em 10 minutos de imersão (PEDROZO;

LEITE; DAL MOLIN, 2000 apud CARIJÓ, 2005). Após esse tempo a absorção é praticamente nula, Neville (1995) afirma ainda que no interior do concreto os grãos do agregado são envolvidos pela pasta e seus poros são praticamente selados isso torna mais lenta ou interrompe a absorção.

2.6 Agregados reciclados para concreto

2.6.1 As propriedades dos agregados reciclados e a consistência do concreto

Concretos com agregado reciclado apresentam menor trabalhabilidade que concretos com agregados convencionais (ÂNGULO, 2005). Para melhorar a trabalhabilidade adiciona-se mais água, o que ocasiona perda da resistência mecânica do concreto (LEITE, 2001). Segundo Abourisk & Rashwan (1997 apud ÂNGULO, 2005) essa perda de trabalhabilidade é devido à falta de materiais finos, a alta absorção do agregado reciclado, a superfície áspera e as formas lamelares do agregado. A alteração da forma e textura dos grãos possui limites por depender do tipo de britagem e do material, sendo mais viável compensar a absorção para diminuir o seu efeito danoso sobre as propriedades do concreto (LEITE, 2001). A pré-saturação do agregado reciclado reduz a perda da consistência (ALEJOS, 2004 apud ÂNGULO, 2005). Segundo Hansen (1992 apud LEITE, 2001), agregados miúdos reduzem ainda mais a trabalhabilidade do concreto em comparação aos agregados graúdos. Quanto aos limites máximos de tolerância para os valores de consistência Alejos et al (2004 apud CARIJÓ, 2005), recomenda os limites que constam no Quadro 8.

Quadro 8 – Limites de consistência para concretos reciclados

SLUMP (cm)	Tolerância (cm)
Entre 0 e 2	± 1
Entre 3 e 7	± 2
Entre 8 e 12	± 3

ALEJO et al, 2004 apud CARIJÓ, 2005

Sagoe-Crentsil e Brown (1998 apud LEITE, 2001) recomendam a pré-saturação justificando que a água contida nos poros das partículas do agregado e a água livre correspondem ao teor de água total dos agregados e é esta água que influencia na

trabalhabilidade, na retração por secagem e na resistência dos concretos produzidos.

Ângulo (2005) utilizou mesmos traços para os concretos com agregados naturais e reciclados e usou como parâmetro de controle o ensaio de abatimento de tronco de cone, enquanto que Gonçalves (2000 apud ÂNGULO, 2005) fixou a relação a/c para todas as dosagens, e verificou perda no abatimento necessitando da adição de um superplastificante, o que onera o custo do concreto. Quando a consistência é a mesma a mistura necessita de mais água, o que pode contribuir para a formação de um filme de água sobre a superfície dos agregados tornando mais fraca a zona de transição, esse excesso de água também torna o concreto mais poroso (OTSUKI et al, 2003 apud CABRAL, 2007).

Cabral (2007) em seus estudos concluiu que o uso de agregados reciclados apresentou bons resultados quanto a resistência à compressão e módulo de deformação, principalmente os agregados miúdos, porém salienta que sejam adotadas relações água/cimento mais baixas por minimizar o efeito de retração por secagem, evitando o aparecimento de fissuras, o que aumenta a durabilidade das estruturas, outra constatação importante, foi que os concretos de mesma relação água/cimento e um mesmo tipo e teor de substituição, apresentaram comportamento bastante similar, independentemente da origem dos agregados reciclados.

Para concretos com agregado graúdo reciclado de concreto necessita-se de 5% a mais de água para se obter a mesma consistência do concreto com agregado graúdo natural (HANSEN & NARUD, 1983; HANSEN 1985 apud ÂNGULO, 2005). Topçu (1997 apud ÂNGULO, 2005) encontrou para suas misturas um percentual adicional de água da ordem de 15% para as misturas com agregado graúdo e miúdo.

Schulz e Hendricks (1992) afirmam que agregados provenientes de resíduos de alvenaria podem produzir todo tipo de consistência, basta que a densidade do material seja maior, para que se tenha menor porosidade e conseqüentemente menor absorção, porém Leite (2001) observa que a presença desses materiais na composição do agregado reciclado diminui

a trabalhabilidade. No entanto esses materiais na fração fina contribuem para um acréscimo da resistência à compressão de concretos e argamassas, principalmente em idades avançadas, devido à atividade pozolânica constatada nesses reciclados (LEVY et al, 1997; LIMA, 1999).

Forster (1986 apud LEITE, 2001) recomenda a substituição de 15 a 30% do material fino reciclado por agregado miúdo natural para que a trabalhabilidade e o acabamento da mistura de concreto tenha um melhor resultado. Outros autores recomendam de 20 a 50% para os agregados graúdos reciclados de concreto por agregados naturais (LEVY, 2001). Porém se deve considerar esses percentuais do ponto de vista ambiental, pois a busca é pela utilização maciça desses materiais (LEITE, 2001).

2.6.2 As propriedades dos agregados reciclados e a resistência à compressão do concreto

Na sua extensa pesquisa bibliográfica Hansen (1992 apud CABRAL, 2007) encontrou valores de resistência a compressão para concretos com agregados reciclados de 5 a 20% mais baixos que a resistência do concreto de referência, Topçu (apud BAZUCO, 1999) cita os dados de resistência à compressão encontrados no Japão estão entre 14 e 32% mais baixos que os do concreto convencional.

Wainwright et al (1993 apud LEITE, 2001) encontrou para concreto com agregados reciclado graúdo e miúdo taxas de redução de resistência à compressão de 20%. Zordan (1997) usou como parâmetro o índice de abatimento, e obteve resistências com valores até 50% mais baixos que o concreto convencional, sendo que com relação a/c e consumo de cimento, variáveis. Dolara et al (1998 apud LEITE, 2001) alcançaram 10% a mais de resistência adotando a cura úmida do concreto reciclado em relação ao concreto reciclado com cura ao ar, o teor de substituição analisado foi de 50 a 100%.

Bazuco (1999) salienta que para níveis inferiores de resistência, as diferenças tendem

a ser menores. Salem e Burdette (1998 apud LEITE, 2001) encontraram resistência à compressão dos concretos com agregado graúdo reciclado maior que a do concreto convencional, e atribuíram à forma angular e à textura mais áspera do material reciclado que por isso apresentam melhor aderência e maior travamento entre a pasta de cimento e o agregado se comparado ao agregado natural.

Concretos com agregado graúdo de tijolos britados e agregado miúdo reciclado misto apresentam também bons resultados segundo Charisius et al. (1992 apud SCHULZ e HENDRICKS), os autores atribuem isso a atividade pozolânica das partículas de tijolos, isso também se observa quando se substitui somente o agregado miúdo no concreto convencional pó agregado miúdo misto, que comparado ao concreto com tijolo britado obtém resistência a compressão maior (HEUSSNER, apud SCHULZ e HENDRICKS, 1992).

Carijó (2005) observou em sua pesquisa agregado graúdo reciclado que concretos com mesmo traço e relação a/c apresentavam resistência à compressão menor que o concreto de referencia à medida que a massa específica dos agregados graúdos reciclados diminuía. Constatou também o que já se observava em outros estudos com agregados reciclados em concreto, que baixas relações a/c resultam em resistências elevadas, e isso foi mais evidente em concretos com agregados graúdos reciclados de massa específica a faixa de 2,2 – 2,5 g/cm³, outra constatação foi que os concretos com agregados graúdos reciclados de composição mineralógica apresentaram resistências bem próximas.

Buttler (2003) em suas análises observou que as resistências à compressão e a tração não foram afetadas pela utilização do agregado graúdo reciclado, e que quanto a compressão ainda constatou um ligeiro aumento da resistência com relação ao concreto convencional, a isso atribui ao processo de cura interna e a qualidade do agregado.

Cabral (2007) também constatou a redução da resistência compressão com a substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados, porém ao substituir o

agregado miúdo pelo agregado miúdo reciclado de composição cerâmica houve um aumento da resistência à compressão.

2.7 Os RCD na cidade de Manaus

O sistema de coleta, transporte e disposição de RCD na cidade de Manaus (11. 458,5 Km²) é realizado por empresas particulares, que utilizam caminhões com caçamba aberta e “poliquinchos” para efetuar o transporte até o local de disposição final do material coletado. Estas são cadastradas pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) como Prestadoras de Serviços. O destino final do material recolhido é o único aterro controlado, situado na rodovia AM-010, Km19, administrado pela Prefeitura Municipal, através da Secretaria Municipal de Limpeza (DEMULP), que recebe cerca de 2400t/dia, conforme dados do IBGE (2000 apud BASTOS FILHO, 2005), fazendo parte desta estatística os resíduos industriais.

Atualmente há uma escassez na região de material pétreo para britagem, devido à baixa qualidade para o uso como agregados e a dificuldade de obtenção de material rochoso por está mais de 10m de profundidade, por isso é substituído pelo seixo rolado (BASTOS FILHO, 2005).

Sua exploração é realizada nas regiões do “Boca do Uatumã”, “Japurá”, “Novo Aripuanã” e “Madeira” que chegam a distar mais de 500km do centro consumidor, ou seja os gastos com transporte são elevados, repassando para o consumidor (BASTOS FILHO, 2005).

Apesar das limitações citadas acima para a utilização de material natural como agregado para concreto, o incentivo a reutilização de RCD como agregado é pequena, em Manaus existe uma única usina de reciclagem e foi criada em 1998, por uma empresa do ramo de construção civil, locação de equipamentos e coleta de entulhos, sendo a primeira no país a atuar neste ramo com capital exclusivamente privado.

Inicialmente atendia somente as necessidades interna da construtora, atualmente vende o material produzido, em pequena escala produzindo sob encomenda a um valor de R\$40,00/m³ (valor em maio/2004) (BASTOS FILHO, 2005).

Há somente uma preocupação por parte dos geradores de RCD, a de se livrar do “entulho” não importando o local onde será depositado, ficando por conta das empresas coletoras.

2.8 Considerações finais

Os RCD possuem um grande potencial de reciclagem, porém é necessário um tratamento adequado, o qual deve ser realizado de preferência no local de geração, aumentando as possibilidades de reutilização. A reciclagem do RCD como agregado é a forma mais largamente empregada, por permitir a maior quantidade de material a ser reaproveitado. No entanto as características dos agregados reciclados devem ser sempre estudadas antes da utilização pois são influenciadas pelos fatores de geração do RCD como o tipo de obra e de material. Os fatores de geração também são variáveis, apresentado características que deferem de região para região, e até de bairro para bairro de uma mesma cidade.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados e os procedimentos desenvolvidos e adotados para atingir os objetivos específicos da pesquisa proposta.

3.1 Materiais

Os ensaios de caracterização dos materiais foram os estabelecidos pela ABNT NBR15116, a qual estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados sólidos da construção civil, e foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Construção Civil e no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Transportes, ambos da Faculdade de Tecnologia da Universidade federal do Amazonas. Os materiais utilizados na pesquisa estão descritos a seguir.

3.1.1 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural quartzosa, adquirida no comércio local. Pela classificação granulométrica, realizada conforme a NBR NM 248:2003, foi classificada como sendo Areia Média – zona 3. Os ensaios realizados constam no Quadro 9.

Quadro 9 – Ensaios de caracterização da areia

Características	Método
Composição granulométrica - Módulo de Finura	NBR NM 248: JUL/03
Massa Unitária	NBR 7251: ABR/82
Teor de material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem	NBR NM 46: JUL/03
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218: AGO/87
Massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	NBR 9776: MAR/87
Absorção de água	NBR NM 30: MAO/01

3.1.2 Agregado graúdo natural

O agregado graúdo natural empregado foi o seixo rolado, também adquirido do comércio local. Todos os ensaios realizados de acordo com as respectivas normas contam no

Quadro 10.

Quadro 10 – Ensaio de caracterização do seixo

Características	Método
Composição granulométrica – Diâmetro máximo	NBR NM 248: JUL/03
Massa Unitária	NBR 7251: ABR/82
Teor de material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem	NBR NM 46: JUL/03
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218: AGO/87
Agregado graúdo – Determinação massa específica, massa específica aparente e absorção	NBR NM 53: JUL/03

3.1.3 Aglomerante mineral

O aglomerante utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP II Z -32, da marca NASSAU, cujas características, de acordo com o fabricante, constam no Anexo A.

3.1.4 Agregado reciclado de resíduo de construções residenciais de multipavimentos

O resíduo sólido objeto de estudo, foi proveniente de construções residenciais de multipavimentos, que se encontravam nas fases de construção de alvenaria e acabamento. O resíduo coletado foi especificamente a fração mineral do resíduo sólido gerado por esse tipo de obra. Para que fosse feita a sua caracterização conforme a NBR 15116, desenvolveu-se um método específico de coleta (descrito no item 4.1), o qual estabelece entre outros requisitos o tamanho da amostra. Na Tabela 1 constam alguns números sobre o volume de material coletado para a realização dos ensaios.

Tabela 1 – Quantidade de material coletado nos canteiros das obras escolhidos

Descrição	Quantidades
A média de material por coleta, ou seja, por mês/obra	118,82Kg
A média de material por mês	1069,41Kg
A média de material por obra	356,47Kg
Total de material ao final dos três meses de coleta	*3.208,22Kg

*Corresponde a 90 sacos de 50Kg, ou seja, Aproximadamente 1/2 caçamba (Figura 1) de 6m³ de “entulho”



Figura 1 – Modelos de caçamba de 6m³

Após coleta, esses materiais foram separados por peneiramento manual, no Laboratório de Materiais, em porção graúda da miúda, obedecendo aos seguintes critérios, conforme estabelece a NBR7211- Agregado para concreto:

- Material que passa na peneira 4,8mm, considerado agregado miúdo (Figura 2);
- Material retido na peneira 4,8mm, considerado agregado graúdo (Figura 3).



Figura 2 - Porção miúda do resíduo após peneiramento na 4,8mm.



Figura 3 – Porção graúda do resíduo após peneiramento na 4,8mm.

3.2 Equipamentos

O equipamento usado para o rompimento do corpo-de-prova, foi a Prensa hidráulica de acionamento elétrico, modelo PC200C, capacidade máxima 200 ton (2MN) (Figura 4).



Figura 4 – Máquina de rompimento de corpo-de-prova por compressão simples
Para a confecção dos concretos foi usada uma betoneira de capacidade de 145L.

3.3 Métodos

O trabalho dividiu-se em quatro fases, e as quais serão detalhadas nesta seção na mesma seqüência de execução a seguir:

- ü Desenvolvimento e aplicação do método de coleta
- ü Ensaios para determinação das propriedades do resíduo
- ü Determinação da dosagem dos concretos com resíduo
- ü Determinação da resistência à compressão dos concretos com resíduo

3.3.1 Desenvolvimento e aplicação do método de coleta

O presente trabalho estudou o resíduo proveniente de construções novas. Portanto, para que fosse assegurada a procedência adequada desse resíduo, houve a necessidade de se desenvolver um método de coleta específico. Para o desenvolvimento do método foram feitas as seguintes considerações:

- As obras deveriam pertencer ao mesmo padrão de construção, o que permitiria analisar variáveis comuns a essas obras;

- As obras deveriam pertencer a uma mesma área urbana, para facilitar a logística;
- Os resíduos deveriam ser coletados diretamente do local de geração;
- O resíduo coletado deveria obrigatoriamente pertencer ao período de execução dos serviços que os gerou;
- As coletas deveriam ser de forma aleatória para que caracterização representasse todas as possíveis fases de execução dos serviços realizados no período da coleta;
- O local de deposição para a coleta deveria ser protegido de possíveis contaminações e de intempéries;
- O resíduo deveria ser disposto no local da coleta de forma a permitir a sua amostragem representativa, ou seja, de forma que garantisse a presença da maior porcentagem possível dos componentes na frequência em que foram gerados;
- O local para a coleta deveria comportar o todo volume do material coletado;
- O local de deposição do resíduo para a coleta deveria ser de fácil acesso para permitir de forma rápida a coleta;
- O local de coleta deveria ser localizado no canteiro de obras devidamente identificado para que não comprometesse a organização do canteiro, por isso deveria ser confeccionado de acordo com os padrões exigidos pelo programa de qualidade de cada construtora;
- O método de coleta deveria ser rápido para que atendesse a programação de coletas em vários canteiros, e que a própria obra pudesse fazer;
- O tamanho das amostras de campo e de laboratório deveria ser determinado por um método que considerasse a heterogeneidade do resíduo, não podendo ser limitado pelo peso, também não poderia ser uma quantidade insuficiente para a realização dos ensaios. Em termos

gerais o método de coleta deveria permitir analisar as propriedades do resíduo considerando os fatores de geração.

O método de coleta desenvolvido foi baseado nas considerações descritas acima e aplicado em nove canteiros de obras escolhidos conforme descreve o método de coleta no item 4.1, no período de 11 de junho a 15 de outubro de 2007. Foram realizadas três coletas em cada obra, totalizando 27 amostras.

3.3.2 Ensaios para determinação das propriedades do resíduo

O método de coleta além de garantir que as características do resíduo não fossem adulteradas, permitiu também preparar as amostras para os ensaios que avaliaram as propriedades do resíduo como agregado para concreto. A NBR 15116 estabelece os ensaios do Quadro 11 para avaliar as propriedades dos agregados reciclados.

Quadro 11 – Ensaios especificados pela NBR 15116

Propriedades	Método de ensaio
Composição granulométrica	ABNT NBR NM 248
Teor de material que passa através da peneira 75µm, por lavagem	ABNT NBR NM 46
Agregado miúdo - Absorção de água	ABNT NBR NM 30
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218
Composição do agregado graúdo	Anexo A da ABNT NBR 15116
Percentual de materiais não-minerais no agregado miúdo	Anexo B da ABNT NBR 15116
Teor de cloretos e sulfatos	ABNT NBR 9917

As propriedades do Quadro 12 também foram avaliadas para caracterização do agregado reciclado, além de serem utilizadas para a determinação da dosagem. O percentual de materiais não-minerais no agregado miúdo e Teor de cloretos e sulfatos não foram determinados em virtude do número de amostras e do tempo necessário para a realização dos ensaios.

Quadro 12 – Ensaios realizados para o cálculo da dosagem

Propriedades	Método de ensaio
Massa Unitária	NBR 7251: ABR/82
Massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	NBR 9776: MAR/87
Agregado graúdo – Determinação massa específica, massa específica aparente e absorção	NBR NM 53: JUL/03

Os agregados além de serem separados em fração graúda e miúda, a norma ainda os

classifica de acordo com a sua composição. O ensaio do Anexo A da NBR 15116, estabelece o procedimento para determinar a composição do resíduo baseada na análise visual da porção graúda, e classifica os agregados segundo a sua composição em:

- Agregado de resíduo de concreto (ARC): agregado cuja composição possui 90% ou mais, em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas;

- Agregado de resíduo misto (ARM): agregado cuja composição possui menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Essa classificação possui parâmetros específicos de aceitação para cada propriedade de acordo com a classificação (Quadro 13). O ensaio do Anexo A (NBR15116) fornece também a composição detalhada das amostras, representados por grupos a seguir definidos:

- Grupo 1 : fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume (Figura 5);

- Grupo 2 : fragmentos constituídos por rocha em mais de 50% do volume (Figura 5);

- Grupo 3 : fragmentos de cerâmica branca ou vermelha, com superfície não polida, em mais de 50% do volume (Figura 6);

- Grupo 4 : fragmentos de materiais não minerais de natureza orgânica como madeira, plástico, betume e materiais carbonizados, e de contaminantes como vidros, vidrados cerâmico e gesso (Figura 6).



Figura 5 – Composição característica dos fragmentos pertencentes ao grupo 1 e 2



Figura 6 – Composição característica dos fragmentos pertencentes ao grupo 3 e 4

Os grupos 1 e 2 são os considerados como parâmetro para a classificação em ARC e ARM. Com a realização deste ensaio foi possível separar as amostras segundo as características especificadas para cada tipo de agregado. Portanto todas as análises foram arranjadas conforme esses dois tipos.

Os resultados dos ensaios especificados pela NBR15116 para o uso em concreto sem função estrutural, foram avaliados quanto aos parâmetros de aceitação do Quadro 13.

Quadro 13 – Requisitos para o uso de agregados reciclados em concreto

Propriedades	ARC		ARM	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)	90	-	< 90	-
Absorção de água (%)	7	12	12	17
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos		1	
	Sulfatos		1	
	Materiais não minerais		2	
	Torrões de argila		2	
	Teor total máximo de contaminantes		3	
Teor de matéria passante na peneira 75µm (%)	10	15	10	20

Fonte: NBR 15116/2004, pág. 5

Os ensaios de Determinação do Percentual de materiais não-minerais no agregado miúdo (Anexo B da ABNT NBR 15116) e Teor de cloretos e sulfatos (ABNT NBR 9917) não foram realizados por causa do prazo estimado para conclusão da pesquisa.

3.3.3 Determinação da dosagem dos concretos com resíduo

Como se tratavam de vinte e sete amostras, o critério de escolha para a confecção do concreto foi somente as amostras que atenderam aos parâmetros exigidos pela NBR 15116 (Quadro 13) fossem utilizadas para a confecção do concreto.

Foram confeccionados três tipos de concreto:

- Agregado graúdo reciclado e areia natural (AGR+A);
- Seixo rolado e agregado miúdo reciclado (S+AMR) e
- Seixo rolado e areia residual (S+A), chamado de Concreto de referência.

Foram confeccionados 7 corpos-de-prova (Figura 7) para cada amostra aprovada, sendo 2 para romper aos sete dias e 5 aos 28 dias.

Para o estudo da dosagem foram especificados os seguintes critérios:

- Para o concreto sem função estrutural o F_{ck} especificado é de 15MPa;
- O slump deverá ser 6 ± 2 cm;
- A relação água/cimento inicial de 0,55;
- Consumo de cimento.

Para a determinação do traço inicial usou-se o método Ary Torres de dosagem. Com o traço inicial preparou-se o concreto para que se observasse a quantidade de água, o consumo de cimento e a consistência, pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test) conforme a NBR NM 67/1998 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone sendo considerado o principal parâmetro de avaliação da dosagem.

Esse procedimento foi realizado com os dois tipos de misturas, sendo duas do tipo AGR+A e uma S+AMR, todas com as amostras de agregados reciclados que atenderam a NBR15116. As amostras de agregado miúdo foram escolhidas aleatoriamente entre as demais que também atenderam a norma.

Com as misturas testes obteve-se dois traços, um para mistura do tipo AGR+A e outro para S+AMR, os quais constam na Tabela 2 Em seguida realizou o rompimento desse corpo-de-prova teste aos 7 e 28 dias para verificar se atenderia a resistência desejada, os resultados

obtidos também constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Traços da misturas com agregados reciclados

Tipo de mistura dos concretos de referência	Traço unitário	a/c	Slump (cm)	f_{c7}	f_{c28}
Concreto de referência para as misturas AGR+A	1:2:3	0,58	6,5	17,91 – 15,69	24,53 – 21,49
Concreto de referência para as misturas S+AMR	1:1,6: 3,3	0,48	6,5	11,09	15,19

Para cada traço da Tabela 2 foram confeccionados os concretos de referência. O traço do concreto de referência AGR+A precisou de ajuste na relação cimento agregado para que fosse atendida a consistência, portanto o traço passou a ser 1:2,14:3,14, a relação a/c também aumentou pra 0,58 para um slump 6,5cm.

3.3.3.1 Procedimento para produção do concreto

A seqüência de adição dos componentes na betoneira foi: Agregado graúdo - parte da água de amassamento – cimento - agregado miúdo - restante da água. As amostras de agregado graúdo reciclado ainda foram submetidas a um período de imersão de 24 horas antes de serem adicionados a betoneira, sendo necessário antes retirar toda a água passando por uma peneira 4,8mm até que o agregado graúdo reciclado ficasse na condição saturado superfície seca.

A moldagem dos corpos de provas foi conforme a NBR 5738/1994 - Modelagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos. Devido o diâmetro máximo das amostras de agregado graúdo reciclado serem 38mm foi necessário utilizar fôrmas cilíndricas maiores, nas dimensões de 15x30cm, para as misturas S+AMR foram adotados os corpos de prova cilíndricos nas dimensões 10x20cm.

O adensamento foi manual com golpes por camada de acordo com o tamanho do corpo-de-prova conforme a NBR 5738/94. Após 24 horas da moldagem os corpos-de-corpo foram desformados e levados para câmara úmida, onde permaneciam até a data do

rompimento.

3.3.4 Determinação da resistência à compressão dos concretos com resíduo

Para este ensaio utilizou-se a ABNT NBR NM 101/96 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. A resistência à compressão dos concretos produzidos foi determinada aos 7 e 28 dias e os resultados constam no Apêndice B.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados o método de coleta desenvolvido, os resultados dos ensaios de caracterização, dos estudos das dosagens e os resultados das resistências aos 7 e 28 dias, das amostras aprovadas de acordo com a NBR15116.

4.1 Método de coleta

O método de coleta desenvolvido buscou atender as condições consideradas no item 3.3.1, para isso primeiramente foi escolhida uma área na zona centro-sul da cidade de Manaus (Figura 8), que apresentava maior concentração de obras residenciais de multipavimentos (Figura 9). A área escolhida envolve cinco dos sete bairros que formam a zona centro-sul, que são: Adrianópolis, Aleixo, Nossa Senhora das Graças, Parque Dez de Novembro e São Geraldo.

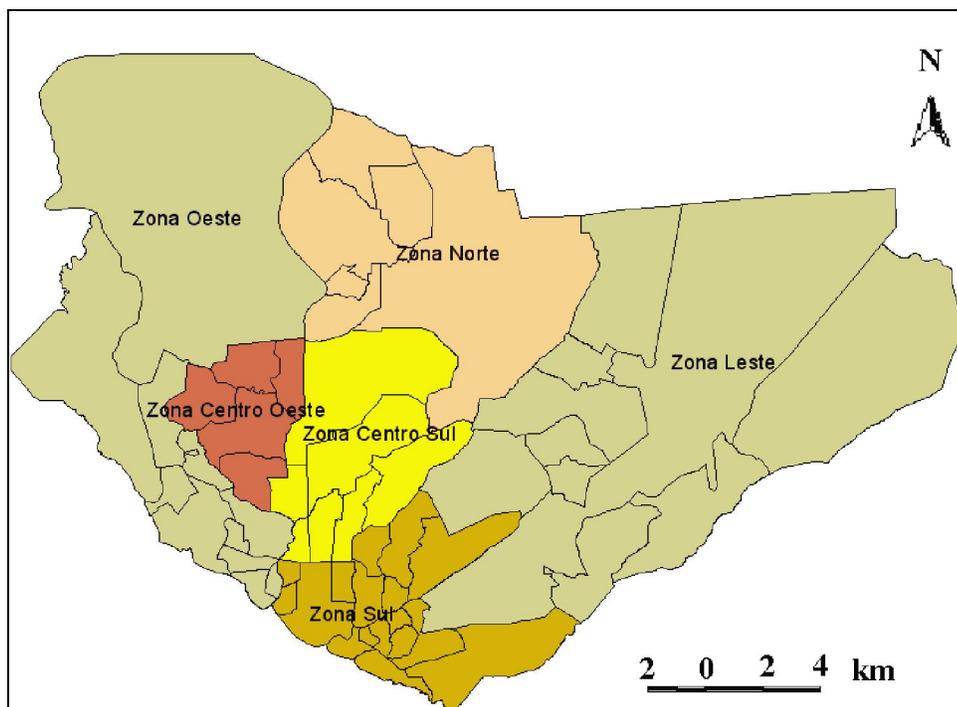


Figura 7 – Divisão administrativa da cidade de Manaus – Zonas

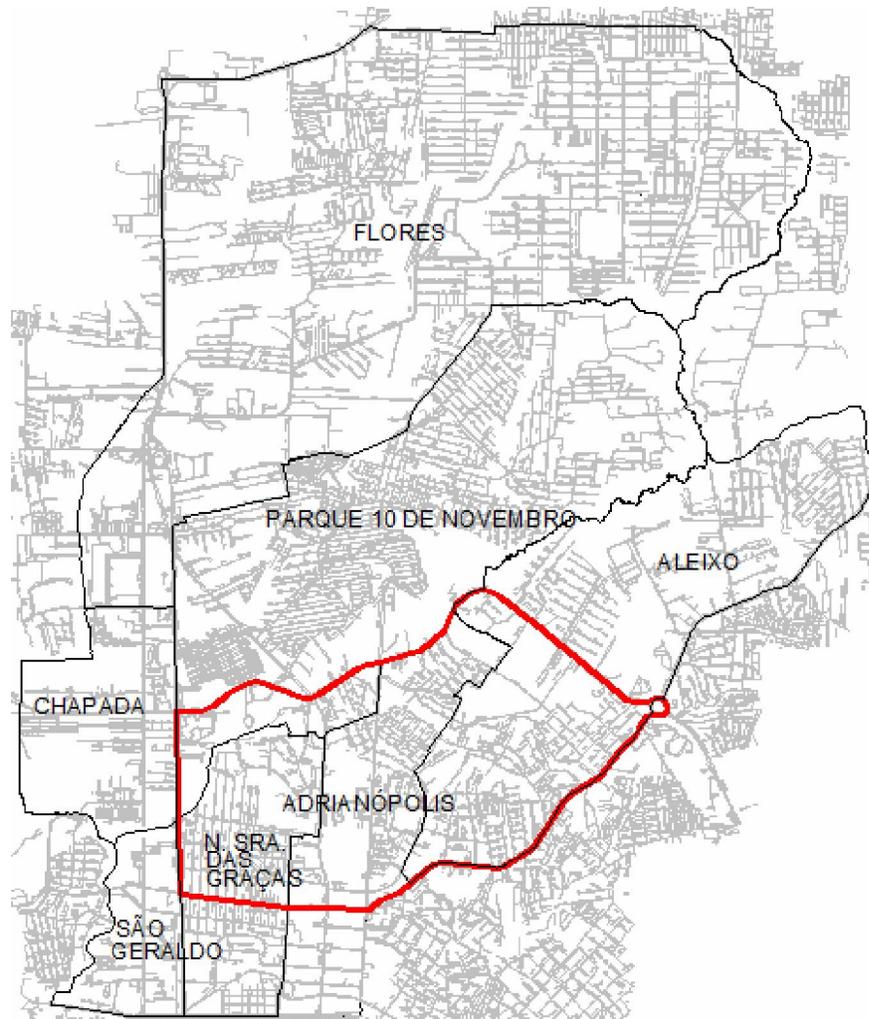


Figura 8 – Área da zona centro-sul delimitada pela pesquisa.

Após o levantamento das obras situadas na área delimitada na Figura 9, foi feito o primeiro contato com as construtoras responsáveis pelos empreendimentos, neste momento algumas informações foram determinantes para a viabilidade da pesquisa, como o número de obras a ser estudado, a etapa em que elas se encontravam e alguns dados da obra. Os dados coletados nessa etapa constam no Quadro 15, e as informações foram obtidas no período de fevereiro a março de 2007.

Durante a entrevista foram obtidas algumas informações sobre a geração do resíduo, que contribuíram para o planejamento das coletas. Após visitar as vinte obras existentes na área escolhida dentro da zona centro-sul, doze obras apresentaram disponibilidade para a realização da pesquisa. No entanto, das doze obras somente nove (A, B, C, D, E, F, G, H e I

do Quando 14) puderam participar da pesquisa, pois se optou por trabalhar apenas com as obras nas fases de alvenaria e acabamento. Essa opção foi em virtude do tempo para execução dos ensaios o qual poderia ultrapassar o prazo da pesquisa por causa do número de amostras a serem analisadas.

Quadro 14 – Formulário de levantamento das obras existente na zona centro-sul.

Item	Obra	Endereço	Bairro	Início das obras	Prazo	Fase	Data visita
1	A	Rua Pará	N. Sra. Das Graças	jan/06	jan/09	Alvenaria	16/2/07
2	B	Rua Darcy Vargas	P. 10 de Novembro	jun/04	jul/07	Acabamento	23/2/07
3	C	-	P. 10 de Novembro	ago/07	mar/08	Acabamento	23/3/07
4	D	Av. Constantino Nery	São Geraldo	-	-	Alvenaria	23/3/07
5	E	Rua Maceió	N. Sra. Das Graças	fev/05	set/07	Acabamento	23/2/07
6	F	Rua Terezina	Adrianópolis	mar/05	dez/08	Alvenaria	23/3/07
7	G	Rua Constelação	Aleixo	set/04	dez/08	Acabamento	23/2/07
8	H	Rua Constelação	Aleixo	jan/05	dez/09	Alvenaria	23/2/07
9	I	Rua Constelação	Aleixo	jan/06	dez/10	Alvenaria	23/2/07
10	K	Rua Salvador	Adrianópolis	dez/06	set/09	Fundação	16/2/07
11	M	Rua Rio Javari	N. Sra. Das Graças	nov/06	jan/09	Estrutura	13/3/07
12	P	-	P. 10 de Novembro	ago/06	jun/09	Fundação	20/3/07
13	J	Obra em fase de conclusão, sem espaço para a área de coleta					
14	L	Sem contato					
14	N	Obra paralisada					
15	O	Obra paralisada					
17	Q	Não autorizou					
18	R	Obra em fase de conclusão, sem espaço para a área de coleta					
19	S	Início em 2008					
20	T	Não autorizou					

Para a programação de coletas determinou-se a frequência de coleta das amostras de campo e número de amostra. O período de coleta inicialmente seria de seis meses, de maio a outubro de 2007, porém devido à demora por parte das construtoras em autorizar o acesso às obras, somente foi possível iniciar as coletas em junho. O tempo de coleta foi reduzido para três meses devido a demora durante a coleta, a adaptação do canteiro para efetuar as coletas e os problemas de ordem operacional. Porém esse período também foi propício para realização das coletas em virtude da estação sem chuvas na região.

Com a aprovação das construtoras que tiveram as suas obras escolhidas, foram estabelecidas as datas das coletas (Quadro 15), e um mês antes do início das coletas foram repassadas as instruções do método de coleta. As obras foram identificadas por letras e a

coleta por número, exemplo: A1 (refere-se à primeira coleta da obra “A”).

Quadro 15 – Datas das coletas das obras escolhidas para a pesquisa.

Amostras	N. Torres/ Pavimentos	Data coleta	Amostras	N. Torres/ Pavimentos	Data coleta	Amostras	N. Torres/ Pavimentos	Data coleta
A/1	2/10	11/06/07	D/1	1/18	19/06/2007	G/1	2/18	11/07/2007
A/2	2/10	12/07/07	D/2	1/18	16/07/2007	G/2	2/18	23/08/2007
A/3	2/10	30/08/07	D/3	1/18	07/08/2007	G/3	2/18	20/09/07
B/1	1/21	14/06/07	E/1	1/13	20/06/07	H/1	1/16	11/07/07
B/2	1/21	24/07/07	E/2	1/13	05/07/07	H/2	1/16	23/08/07
B/3	1/21	28/08/07	E/3	1/13	09/08/07	H/3	1/16	20/09/2007
C/1	2/12	15/06/07	F/1	1/18	02/07/07	I/1	1/20	24/07/2007
C/2	2/12	04/07/07	F/2	1/18	22/08/07	I/2	1/20	28/08/2007
C/3	2/12	31/08/07	F/3	1/18	20/09/2007	I/3	1/20	20/09/2007

Para a efetivação das coletas o procedimento estabelecido pela NBR 15116 não atendia as condições descritas no item 3.2.1, pois era adequado para RCD de áreas de reciclagem, cuja formação de lotes para a retirada de amostras, é baseada na forma em que esses resíduos são dispostos nessas áreas de reciclagem, ou seja, em montes. Isso difere do proposto por este trabalho, pois o resíduo analisado tinha origem de obras de construções novas, e para que o rastreamento demonstrasse a origem exata desses resíduos, a coleta foi efetuada diretamente na obra no mesmo local onde acabara de ser gerado. Portanto não havia um monte a ser considerado como ocorre nas usinas de reciclagem, e sim uma quantidade diária a ser transportada em um carrinho de mão direto dos pavimentos para uma área 2 x 2m (Figura 10).

A preocupação com a forma de coleta seria quanto à aleatoriedade da amostragem, para garantir a representatividade do resíduo coletado. A frequência de deposição do resíduo na área de coleta foi de acordo com a rotina de limpeza de cada obra, porém exigia-se que a cada limpeza fosse destinado pelo menos um carrinho por semana, ou uma lata de 18 litros por dia. Esse resíduo não poderia ser coletado diretamente das caçambas, deveria vir diretamente do pavimento onde estava sendo realizado o serviço, para que fosse possível determinar os fatores de geração com maior precisão.



Figura 9 – Área reservada no canteiro de obras para a coleta das amostras.

Para registrar os serviços realizados no período da coleta foram preenchidas fichas de identificação da amostra (Apêndice A), na qual constavam a fase e os serviços realizados, a data de coleta anterior e da coleta atual (no caso da primeira coleta a referencia era com relação a primeira visita a obra quando foi dada a partida para a colocação do resíduo na área de coleta). Essa ficha de identificação foi desenvolvida de acordo com a ABNT NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos, e as informações das vinte e sete fichas constam no Apêndice B.

De acordo com as datas definidas das três coletas para cada obra (Quadro 15), foram realizadas as visitas para retirada da amostra de campo, no Quadro 16 constam as fases em que cada obra se encontrava no período da coleta. A fase foi estabelecida baseada nas informações da administração da obra, porém algumas obras se encontravam em mais de uma fase, para isso adotou-se a última fase que estaria sendo iniciada, por exemplo, se a obra executava serviços da fase de estrutura mais iniciava a alvenaria, sua fase oficial no período da coleta era de alvenaria, mas executava serviços de montagem de forma, montagem de armadura e concretagem, além da execução da alvenaria.

Quadro 16 – Fase das obras no período das coletas.

Amostras	Fase da obra	Amostras	Fase da obra	Amostras	Fase da obra
A/1	Alvenaria	D/1	Acabamento	G/1	Acabamento
A/2	Alvenaria	D/2	Acabamento	G/2	Acabamento
A/3	Acabamento	D/3	Acabamento	G/3	Acabamento
B/1	Acabamento	E/1	Acabamento	H/1	Alvenaria
B/2	Acabamento	E/2	Acabamento	H/2	Alvenaria
B/3	Acabamento	E/3	Acabamento	H/3	Alvenaria
C/1	Acabamento	F/1	Acabamento	I/1	Alvenaria
C/2	Acabamento	F/2	Acabamento	I/2	Alvenaria
C/3	Acabamento	F/3	Acabamento	I/3	Alvenaria

Para a formação da amostra de campo e garantindo que todos os componentes do resíduo depositado fossem representativos quanto as suas porcentagens reais de ocorrência, como determina a NBR10007 para resíduos heterogêneos, optou-se pelo método descrito pela NBR NM 27:2001 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratórios, chamado de quarteamento, o qual consiste na divisão da área em quatro quadrantes, e dois quadrantes opostos são retirados como amostra (Figura 10).

Com esse procedimento obteve-se dois sacos de 50Kg a serem levados ao laboratório, sendo que a quantidade mínima de material para os ensaios era de 60Kg como especifica a NBR15116. Porém a quantidade coletada era bem maior do que o necessário, então se realizava um novo quarteamento, e finalmente determinava-se a massa total da amostra (Tabela 2).

Após a formação da amostras de laboratório, procedeu-se a separação por peneiramento na 4,8mm das amostras em agregados graúdos e miúdos (Figura 11).

Caso os fragmentos apresentassem dimensão superior a 38mm, a amostra passava por um processo de britagem manual antes do peneiramento, para a redução do diâmetro dos “grãos”, utilizando uma marreta.

Quanto à forma dos grãos, foi necessária a redução dos grãos lamelares, para que suas dimensões se aproximassem da forma cubóide, evitando que esse fator influenciasse em algumas propriedades. A identificação dos fragmentos com forma lamelar era somente visual

e a forma cubóide também era determinada visualmente. Foi o caso das amostras provenientes de obras que se encontravam na fase de alvenaria.

Tabela 3 – Quantidade de material coletado por amostras e por fração graúda e miúda

Amostras	Quantidade da amostra total (Kg)		Amostras	Quantidade da amostra total (Kg)		Amostras	Quantidade da amostra total (Kg)	
	Agregado Graúdo (Kg)	Agregado Miúdo (Kg)		Agregado Graúdo (Kg)	Agregado Miúdo (Kg)		Agregado Graúdo (Kg)	Agregado Miúdo (Kg)
A1	62,5		D1	81,68		G1	167,14	
	41,91	20,59		40,84	40,84		99,93	67,21
A2	164,56		D2	136,49		G2	133,48	
	106,41	58,15		95,36	41,13		88,48	45
A3	149,53		D3	138,37		G3	110,08	
	85,61	63,92		97,27	41,1		90,66	19,42
B1	41,88		E1	90,72		H1	123,45	
	24,04	17,84		69,16	21,56		84,45	39
B2	167,55		E2	134,09		H2	116,7	
	106,43	61,12		76,52	57,57		99,82	16,88
B3	58,33		E3	123,87		H3	117,47	
	49,83	8,5		103,31	20,56		66,74	50,73
C1	76,99		F1			I1	190,65	
	61,11	15,88		61,43	3,39		118,1	72,55
C2	99,82		F2	151,7		I2	104,44	
	80,18	19,64		96,94	54,76		80,02	24,42
C3	106,25		F3	145,62		I3	114,25	
	93,3	12,95		75,87	69,75		48,92	65,33

Em seguida foi retirada de cada porção a quantidade necessária para a realização dos ensaios específicos de cada porção. As quantidades exigidas para cada ensaio constam na Tabela 3.



Figura10 - Amostras separadas na peneira 4,8mm em miúdo e graúdo

O método de coleta proposto permitiu avaliar com maior precisão os fatores de geração do resíduo das construções, a escolha do padrão e fases de construção para o estudo, também permitiram justificar de forma adequada esses fatores.

Tabela 4 - Quantidade de material para os ensaios da NBR 15116

Propriedades	Qt de material (Kg)	
	Porção graúda	Porção miúda
Composição granulométrica	20	2
Teor de material que passa através da peneira 75µm, por lavagem	10	1
Agregado miúdo - Absorção de água	-	2
Torrões de argila e materiais friáveis	10	0,400
Composição do agregado graúdo	8	-
Massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	1	-
Agregado graúdo – Determinação massa específica, massa específica aparente e absorção	10	-
Quantidade em massa por porção (Kg)	≅ 60	≅ 6

O fato também de as obras escolhidas praticarem coleta seletiva, permitiu avaliar somente os fatores de geração de perdas dos serviços executados durante a coleta.

4.2 Propriedades do resíduo

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios realizados de acordo com a NBR15116 e os usados como parâmetro de dosagem.

4.2.1 Composição do agregado reciclado

De acordo com o ensaio do Anexo A da NBR15116, as vinte e sete amostras foram classificadas em ARC e ARM, sendo que dez amostras foram classificadas como ARC e dezessete como ARM (Tabela 4).

Tabela 5 – Classificação do agregado reciclado de acordo com NBR15116

Amostras	Grupo 1	Grupo 2	G1 + G2	Tipo de agregado
A1	17,88%	2,65%	20,53%	ARM
A2	78,00%	3,99%	81,99%	ARM
A3	42,72%	2,26%	44,98%	ARM
B1	82,49%	1,56%	84,05%	ARM
B2	71,74%	0,51%	72,25%	ARM
B3	50,91%	0,26%	51,17%	ARM
C1	60,83%	8,33%	69,16%	ARM
C2	58,23%	1,13%	59,36%	ARM
C3	51,01%	0,21%	51,22%	ARM
D1	98,13%	1,35%	99,48%	ARC
D2	99,07%	0,58%	99,65%	ARC
D3	99,53%	0,31%	99,84%	ARC
E1	78,03%	1,09%	79,12%	ARM
E2	66,67%	0,20%	66,87%	ARM
E3	73,56%	3,46%	77,02%	ARM
F1	1,14%	0,25%	1,39%	ARM
F2	46,67%	0,20%	46,87%	ARM
F3	99,76%	0,01%	99,77%	ARC
G1	96,64%	0,55%	97,19%	ARC
G2	99,19%	0,00%	99,19%	ARC
G3	67,81%	3,92%	71,73%	ARM
H1	55,23%	14,29%	69,52%	ARM
H2	84,33%	4,79%	89,12%	ARM
H3	95,70%	0,44%	96,14%	ARC
I1	91,51%	7,90%	99,41%	ARC
I2	89,67%	10,14%	99,81%	ARC
I3	90,19%	8,61%	98,80%	ARC

Com relação as fases, esperava-se que as amostras na fase de acabamento se classificassem como ARC e as amostras na fase de alvenaria como ARM. No entanto, não foi o que ocorreu como se observa na Figura 12.

Tipo das amostras por fases de construção

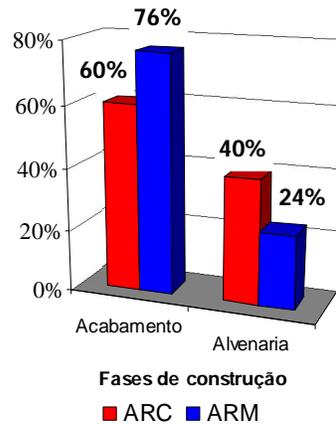


Figura 11 – Porcentagem de agregado graúdo, miúdo e composição por amostras do tipo ARC

As amostras que se encontravam na fase de acabamento como a F3, G1 e G2 se classificaram como ARC devido aos fragmentos de argamassa endurecida, quanto as três amostras da obra D, que durante o período das coletas encontrava-se na fase conclusiva da estrutura, executando 50% a 60% da alvenaria de toda a torre e início da fase de acabamento, apresentaram fragmentos de argamassa endurecida e de bloco de concreto, portanto pode-se dizer que isso contribuiu para sua classificação como ARC. As amostras da obra I encontravam-se nas fases de estrutura e alvenaria durante todas as coletas e a presença de resíduos de concretagem e de blocos de concreto contribuíram para a classificação das suas amostras como ARC.

A amostra H3 encontrava-se na fase de alvenaria e apesar de utilizar tijolos cerâmicos, o teor de argamassa aderida aos fragmentos de tijolos e o início do serviço de reboco foi o que determinou a classificação como ARC, essa argamassa aderida deve-se ao excesso de argamassa usada no assentamento dos tijolos e quanto ao serviço de reboco atribui-se ao desperdício de argamassa.

Quanto as amostras ARM as consideradas na fase de acabamento corresponderam a 76%, dessas as amostras A3, B1, C1, C2 e F2 encontravam-se na fase de alvenaria e acabamento e a sua classificação como ARM deve-se a presença de fragmentos de tijolos e

blocos cerâmicos oriundos de retrabalhos e perdas pela má execução da alvenaria. As amostras que se encontravam somente na fase de acabamento (B2, B3, C3, E1, E2, E3 e G3) devem a sua classificação as demolições para alterações de projeto solicitadas por clientes as quais eram realizadas após a conclusão da alvenaria. A amostra F1 considerada na fase de acabamento também, ainda encontrava-se na fase conclusiva da estrutura, 70% da alvenaria concluída e início da fase de acabamento, e sua classificação como ARM deve-se ao elevado índice de perdas na execução da alvenaria, porém não se atribui a má execução, mas uma modulação inadequada ao projeto, o que exigia cortes dos blocos cerâmicos (Figura 13).



Figura 12 – Sobras de bloco cerâmico da obra F

As amostras A1, A2, H1 e H2 que se encontravam exclusivamente na fase de alvenaria, classificaram-se como ARM devido às perdas na execução da alvenaria, pois assim como todas as outras amostras ARM, utilizavam tijolo cerâmico (Figuras 14).



Figura 13 – Resíduo da obra A no canteiro com perdas de tijolos

Portanto pode-se atribuir a classificação das amostras principalmente ao tipo de alvenaria, sendo que as obras que utilizaram bloco de concreto classificaram-se como ARC e as que utilizavam tijolo e bloco cerâmico como ARM.

Quanto a porcentagens dos materiais que compõem as amostras, podem ser analisadas nas Tabelas 5 e 6 nas quais constam as porcentagens de material de cada grupo, para as amostras de agregado graúdo ARC e ARM respectivamente.

Tabela 6 – Composição por amostras do tipo ARC

Amostras ARC	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
D1	98,13%	1,35%	0,00%	0,52%
D2	99,07%	0,58%	0,22%	0,12%
D3	99,53%	0,31%	0,16%	0,00%
F3	99,76%	0,01%	0,23%	0,00%
G1	96,64%	0,55%	1,89%	0,92%
G2	99,19%	0,00%	0,81%	0,00%
H3	95,70%	0,44%	3,85%	0,00%
I1	91,51%	7,90%	0,04%	0,55%
I2	89,67%	10,14%	0,00%	0,19%
I3	90,19%	8,61%	0,33%	0,87%
MÉDIA	95,94%	2,99%	0,75%	0,32%
D. PADRÃO	4,02%	4,12%	1,23%	0,37%

Na Tabela 5, quanto a porcentagem de materiais do grupo 1 das amostras ARC, observou-se que as amostras com quase 100% de materiais desse grupo apresentavam somente fragmentos de argamassa, tanto pela presença de blocos de concreto, como pela de

argamassa endurecida. Dessas amostras, a G2 se destaca por utilizar em sua alvenaria tijolos cerâmicos e apresentar um teor elevado de argamassa aderida aos fragmentos de tijolos, isso caracteriza demolições de paredes prontas.

No caso da amostra F3, a maior porcentagem de materiais do grupo 1 deve-se ao serviço de reboco, que utilizou argamassa pré-fabricada. As perdas podem ser atribuídas a problemas com o preparo da argamassa ou com o procedimento de aplicação, que podem ter inviabilizado a sua reutilização imediata.

Nas amostras da obra I, apesar de utilizarem bloco de concreto na alvenaria, as porcentagens de materiais do grupo 1 foram as mais baixas, porém apresentou as maiores porcentagens de materiais do grupo 2, devido aos resíduos de concretagem já mencionados anteriormente.

Com respeito a Tabela 6, as amostras ARM com mais de 50% de material do grupo 1 correspondem treze amostras das dezessete. Isso significa que o teor de argamassa aderida aos fragmentos de tijolo e teor de argamassa endurecida foi elevado nessas amostras, deve-se isso as demolições e retrabalhos. As amostras A1, A3, F1 e F3 apresentaram porcentagem de materiais do grupo 3 superior a 50%, isso significa perdas na execução da alvenaria.

Com relação aos materiais do grupo 4, os agregados ARM apresentaram porcentagem média desses materiais dez vezes maior que os agregados ARC, e dentre as amostras ARM a C1 se destaca pela maior presença de gesso, identificado por análise visual. As amostras da obra B apresentaram as maiores porcentagem do grupo 4, devido a presença de fragmentos de peças cerâmica para revestimento.

De acordo com as observações sobre a composição das amostras de agregado graúdo, pode-se dizer que o critério de identificação da fase em que se encontravam as amostras adotado no item 4.1 (Quadro 16) não se mostrou eficaz para classificá-las, pois as atividades

realizadas durante as fases variam muito de obra para obra, apesar de pertencerem aos mesmo padrão, o período de coleta também influenciou mesmo em se tratando de um intervalo pequeno entre as coletas. O que evidencia que a gestão da obra influencia na composição do resíduo.

Tabela 7 – Composição por amostras dos agregados graúdo ARM

Amostras ARM	Grupo1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo4
A/1	17,88%	2,65%	79,47%	0,00%
A/2	78,00%	3,99%	17,98%	0,03%
A/3	42,72%	2,26%	54,77%	0,26%
B/1	82,49%	1,56%	5,06%	10,89%
B/2	71,74%	0,51%	6,86%	20,88%
B/3	50,91%	0,26%	29,31%	19,51%
C/1	60,83%	8,33%	28,99%	1,85%
C/2	58,23%	1,13%	40,50%	0,13%
C/3	51,01%	0,21%	48,53%	0,24%
E/1	78,03%	1,09%	20,53%	0,35%
E/2	66,67%	0,20%	33,13%	0,00%
E/3	73,56%	3,46%	17,91%	5,08%
F/1	1,14%	0,25%	98,61%	0,00%
F/2	46,67%	0,20%	53,03%	0,11%
G/3	67,81%	3,92%	28,26%	0,01%
H/1	55,23%	14,29%	30,37%	0,11%
H/2	84,33%	4,79%	10,88%	0,00%
MÉDIA	58,07%	2,89%	35,54%	3,50%
D. PADRÃO	22,38%	3,67%	25,18%	6,88%

O tipo de material usado na alvenaria e a sua qualidade influenciaram diretamente na classificação das amostras de agregado graúdo quanto a sua composição. A porcentagem de ocorrência dos materiais foi influenciada pelos retrabalhos, adequações ao projeto e pela má execução dos serviços.

A presença de gesso nas amostras do tipo ARM deve-se ao fato de a maioria das amostras se encontrarem na fase de acabamento, sendo comum a execução desse serviço nesta fase da construção no padrão de obra estudado, porém isso demonstra o desconhecimento por parte das construtoras, dos perigos desse resíduo, considerado nocivo à saúde humana (EUN et al., 2007), sendo que estas obras ainda praticam coleta seletiva.

A composição encontrada nas amostras apresentou pontos positivos e negativos

quanto à viabilidade da reciclagem. Um dos pontos positivos seria quanto a maior presença de componentes de classe A, considerados pela Resolução nº 307 do CONAMA como recicláveis, outro ponto positivo foi a baixa porcentagem de materiais considerados contaminantes pela NBR15116, principalmente nas amostras do tipo ARC.

Os fragmentos com argamassa aderida, principalmente os fragmentos de tijolos, desfavorecem a reciclagem por comprometer a resistência do concreto. A ocorrência desses fragmentos deve-se às demolições de paredes prontas.

Foi ainda possível estabelecer alguns critérios de separação do resíduo para facilitar a reciclagem, os quais são sugeridos a seguir:

- adotar um procedimento de demolição que permita separar os componentes por tipo de material;
- destinar um local adequado para armazenar, temporariamente, esses componentes por tipo de material, por uso e por granulometria;
- separar o resíduo de gesso dos demais, armazenando-os em recipientes adequados para evitar o contato com o solo, sendo ainda indicado que se façam estudos sobre a sua reutilização;
- os fragmentos de cerâmica polida devem ser separados dos tijolos ou blocos cerâmicos, por prejudicarem a aderência da pasta quando usados como agregado, sendo destinados a outros usos;
- e separar os fragmentos cerâmicos dos resíduos de pasta de cimento, se possível separa até por qualidade de cada material, para facilitar a escolha do uso adequado do resíduo para os quais são bem distintos.

Quanto a utilização recomenda-se no caso dos blocos de concreto que sejam britados e reutilizados na confecção de novos blocos.

Para os fragmentos de tijolos ou blocos cerâmicos, separados por qualidade, podem ser utilizados como agregado para concreto, inclusive estrutural, dependendo da resistência do material.

Os fragmentos de argamassa endurecidos podem ser evitados reutilizando-os ainda no estado fresco, pois no estado endurecido não apresentam resistência suficiente para serem utilizados como agregado graúdo. Caso não seja possível reutilizá-la imediatamente e preferível que sejam submetidos ao processo de britagem para serem reutilizados como agregado miúdo.

4.2.2 Granulometria

A distribuição granulométrica das amostras de agregados graúdo e miúdo, tanto do tipo ARC como ARM, foi determinada de acordo com a norma NBR NM 248:2001. No Apêndice B constam as porcentagens retidas acumuladas e as curvas granulométricas das amostras de agregado graúdo e miúdo ARC e ARM.

As quantidades de agregado graúdo e miúdo que cada amostra gerou constam na Tabela 7.

Tabela 8 – Porcentagem de agregados graúdo e miúdo

Tipo de agregado graúdo	Porcentagem de agregado graúdo	Porcentagem de agregado miúdo
Média dos resultados das amostras ARC	60,67%	39,32%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	10,45%	10,45%
Média dos resultados das amostras ARM	71,50%	25,62%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	11,76%	11,76%

Observou-se que os agregados ARM geraram maior porcentagem de agregado graúdo que miúdo, quando comparados aos agregados ARC. Atribui-se ao fato de amostras ARM conterem na sua composição fragmentos de tijolos e blocos cerâmicos que são mais resistentes. Quanto aos agregados ARC, por conterem fragmentos de blocos de concreto que não são tão resistentes, a geração da fração miúda é maior. Outro componente que contribuiu para a geração de agregado miúdo foram os fragmentos de argamassa endurecida e no estado

fresco ainda solta, muito presente nas amostras ARC.

As curvas granulométricas que estão representadas na Figura 15 referem-se à médias das amostras de agregado graúdo e miúdo ARC e à curva granulométrica do seixo e areia.

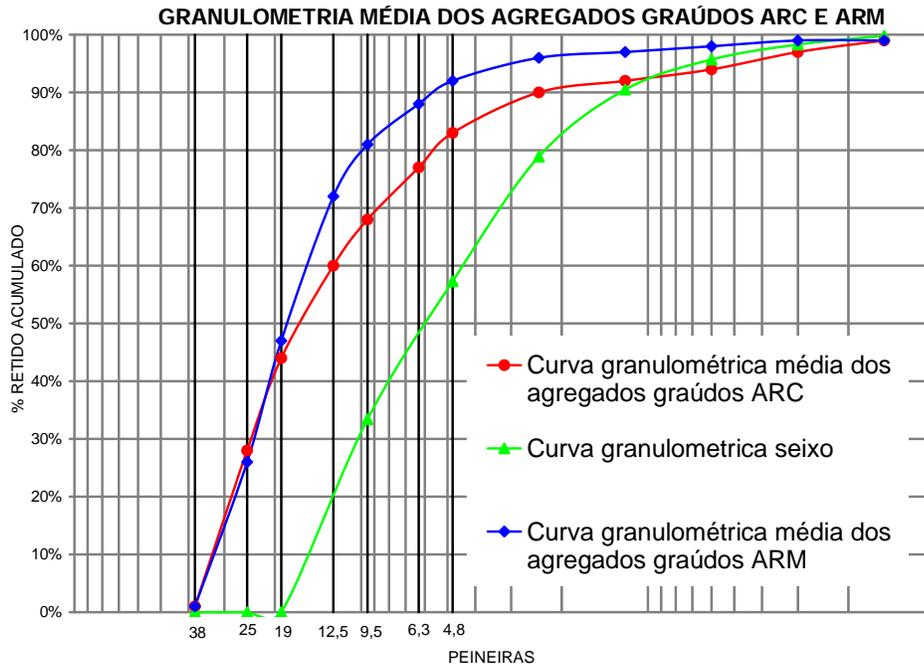


Figura 14 – Curva granulométrica média dos agregados graúdos reciclados e do seixo

A distribuição granulométrica dos agregados graúdos ARC e ARM não se enquadraram em nenhuma graduação especificada pela NBR7211/1983 – Agregados para concreto. A granulometria dos agregados graúdo ARC e ARM é contínua, o que é favorável ao uso em concretos, por permitirem um melhor arranjo entre as partículas do agregado.

Na Tabelas 8 constam a média dos diâmetros máximos, das porcentagens de material inferior a 4,8mm, 0,3mm e 0,15mm, o material retido no fundo das amostras de agregado graúdo, no Apêndice B constam os resultados de cada amostra. Todas as amostras tiveram diâmetro máximo igual 38mm, exceto as amostras A2 e F1 que tiveram diâmetro máximo igual a 50mm e 25mm respectivamente.

No caso da amostras A2, devido ao teor de argamassa endurecida, usada no assentamento de tijolos (Figura 14), durante a britagem os fragmentos geravam muita fração

miúda, por isso restringiu-se ao tamanho até onde não desagregasse muito.

Tabela 9 – Diâmetro máximo e porcentagens de material fino dos agregados graúdo reciclados e seixo

Tipo de agregado graúdo	Diâmetro máx. (mm)	% inferior a 4,8mm	% inferior a 0,30mm	% inferior a 0,15mm	Porcentagem ret. No fundo
Média dos resultados das amostras ARC	38,00	17,54%	2,78%	1,21%	0,57%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	0,00	7,93%	1,90%	0,73%	0,54%
Média dos resultados das amostras ARM	37,94	9,28%	1,44%	0,81%	0,39%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	4,42	5,63%	0,76%	0,38	0,22
Agregado natural (seixo)	19,00	42,7%	1,70%	0,2%	0,0%

Na amostra F1, devido a quantidade de peças de bloco cerâmico de dimensões muito grandes na amostras, procurou-se britar manualmente até que as dimensões se aproximassem da forma cubóide. Isso fez com que o diâmetro máximo dessa amostra fosse menor que as demais (Figura 16).



Figura 15 – Amostras A2 (1) e F1(2) após britagem manual

É importante salientar que para que as amostras se enquadrassem praticamente todas com o mesmo diâmetro máximo, não se utilizou qualquer equipamento mecânico para britagem, eventualmente uma marreta de 5Kg.

Quanto à porcentagem de material inferior 4,8mm encontradas nas amostras de agregado graúdo, pode-se perceber que a média das amostras ARC foi maior que a média das amostras ARM (Tabela 8). Pode-se atribuir esse fato, aos fragmentos de blocos de concreto, que por sua constituição frágil, durante o peneiramento se desfaziam, gerando material mais fino. Nas amostras de agregado graúdo ARM, a porcentagem de material inferior a 4,8mm deve-se ao teor de argamassa aderida aos grãos de seixo e aos fragmentos de tijolos

cerâmicos, que com o peneiramento se desprende e passa pela peneira 4,8mm, aumentando assim, a porcentagem de material mais fino.

A porcentagem de material fino presente no agregado graúdo natural, no caso o seixo, é elevada, característico desse tipo de agregado. Esses materiais não são gerados durante o peneiramento o que permite separar essa fração antes da mistura, quanto aos agregados reciclados esses materiais são gerados durante o peneiramento por desagregação o que pode ocorrer durante a mistura, aumentando a porção de agregado miúdo, e como consequência alterando o traço.

A presença de material inferior a peneira 0,3mm, 0,15mm e retida no fundo nas amostras de agregados graúdos, deve-se ao mesmo fato da presença de material inferior a 4,8mm, esses materiais também evidenciam o teor de argamassa aderida por ser característica dos componentes da argamassa essa granulometria, principalmente o cimento.

Os Grãos inferiores a 0,3mm são desejáveis por tornar a mistura de concreto menos áspera, diminuindo a tendência a segregação, quanto a fração inferior a 0,15mm presente na granulometria do agregado tem vantagens e desvantagens, dependendo da porcentagem pode melhorar algumas propriedades ou prejudicar, por exemplo, a resistência do concreto (LIMA, 1999).

Na Figura 17 as curvas granulométricas que estão representadas referem-se à média das amostras de agregado miúdo ARC e ARM e à curva granulométrica do agregado miúdo natural.

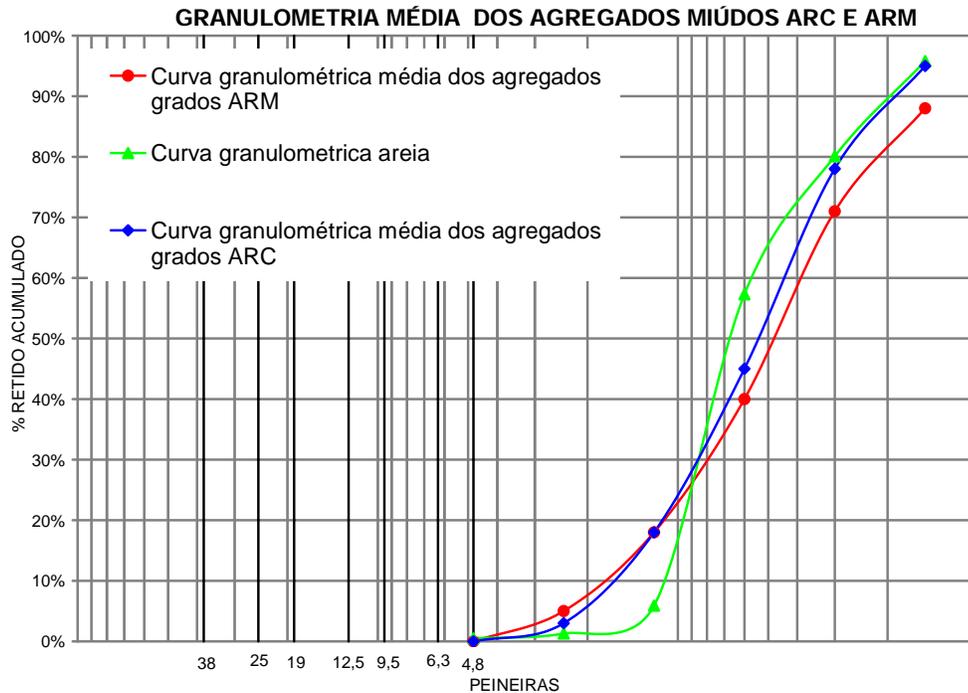


Figura 16 – Curva granulométrica média dos agregados miúdos reciclados e da areia

Analisando essas curvas granulométricas, observa-se que tanto as amostras de agregado miúdo do tipo ARC quanto ARM, apresentaram comportamento similar. Na Tabela 9 constam as médias dos módulos de finura, das porcentagens de material inferior a 0,3mm, 0,15mm e do material retido no fundo dos agregados reciclados e natural.

Tabela 10 - Porcentagens de material fino e módulo de finura dos agregados miúdo reciclados e areia.

Tipo de agregado miúdo	Porcentagem inf. 0,3mm	Porcentagem inf. 0,15mm	Porcentagem ret. no fundo	Módulo de finura
Média dos resultados das amostras ARC	22,44%	5,24%	4,91%	2,38
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	3,54%	1,19%	1,35%	0,16
Média dos resultados das amostras ARM	25,02%	6,73%	6,69%	2,36
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	3,48%	1,60%	1,75%	0,28
Agregado natural (areia)	19,90%	4,20%	0,0%	2,41

Analisando as porcentagens de material inferior a 0,3mm, 0,15mm e retido no fundo na Tabela 9, observa-se que os agregados miúdos, além de produzirem maior porcentagem desses materiais com relação aos agregados graúdos, os do tipo ARM produziram maiores porcentagem que os agregados do tipo ARC, contrariando o que ocorreu nos agregados graúdos os quais os do tipo ARC obtiveram maiores porcentagens que os do tipo ARM. Como as amostras de agregado miúdo são provenientes do peneiramento das amostras de agregado

graúdo, era de se esperar que se mantivesse esse comportamento, até pelo fato de as amostras ARC terem produzido maiores porcentagens de agregado miúdo que as amostras ARM, e que proporcionalmente deveriam apresentar maiores teores de partículas menores.

As porcentagens de material inferior a 0,3mm dos agregados reciclados foram aproximadamente 11% e 20% maiores (ARC e ARM respectivamente), em relação ao agregado miúdo natural. Quanto as porcentagens de material inferior a 0,15mm foram 20% (ARC) e 37% (ARM), aproximadamente, maiores que a de agregado natural.

Lima (1999) em suas pesquisas sobre as características de agregados reciclados, e analisando quanto ao teor de argamassa aderida, constatou em alguns estudos, que as parcelas miúdas do material apresentam maior teor que as graúdas. E quanto à granulometria o autor, afirma que reciclados de alvenaria, pode conter teores elevados de frações finas.

A porcentagem elevada de material inferior a 0,3mm em agregados reciclados, evidencia a presença de fragmentos de argamassa ou grãos de cimento, por esses possuírem em sua granulometria essas dimensões características (LIMA, 1999). Montgomery (1998), diz que partículas de resíduos de construção e demolição inferiores a 0,15mm apresentam maior probabilidade de ter na sua composição partículas não hidratadas de cimento, sendo então outra evidencia do teor de argamassa aderida aos grãos dos agregados miúdos.

Quanto ao módulo de finura observou-se que os agregados miúdos ARC e ARM apresentaram pouca variação entre suas médias, apresentaram também valores muito próximos entre suas amostras (Apêndice B).

A maioria das amostras ARC apresentou granulometria média, a isso se atribui a granulometria do material original, que pelas fases e serviços executados, é comum o uso de areia de granulometria média. Porém outro fato a se considerar é, quanto aos grãos aglomerados de argamassa provenientes dos blocos de concreto, que contribuiu para o

aumento das dimensões do grão do agregado miúdo original usado. Porém a única amostra que se classificou como fina foi a F3, apesar de ter pertencido à mesma fase e com os mesmo serviços que as amostras G1 e G2, nesse caso atribui-se ao uso da argamassa pré-fabricada, isso se evidencia na porcentagem de material retido na peneira 0,15mm, que foi maior que das amostras G1 e G2. No Quadro 17 constam as amostras ARM e sua classificações.

Quadro 17 – Classificação das amostras de agregado miúdo ARM

Classificação das amostras de agregado miúdo ARM	
Fina	Média
A1	C3
A3	H1
F2	B3
C2	C1
E2	G3
E1	A2
E3	H2
B2	B1

Obs.: A amostras F1 classificou-se como grossa

As amostras de agregado miúdo ARM apresentaram classificação distinta, divididas entre média e fina, e o que se observou é que esta classificação está relacionada com a porcentagem de material cerâmico e argamassa, tanto no estado endurecido quanto no estado solto. As amostras que se classificaram como fina continham em sua composição maior quantidade de argamassa fresca no estado solto, quanto as que se classificaram como média continham maior quantidade de fragmentos de tijolos. Porém essa constatação só foi possível visualmente, sendo necessário um procedimento específico para a composição do agregado miúdo. A amostra F1 foi uma exceção das amostras de agregado miúdo ARM, sua composição foi basicamente de blocos cerâmico de boa qualidade, e portanto muito resistente, essas características não permitiram uma deteriorização dos fragmentos de forma que gerasse frações mais finas.

De um modo geral observou-se que o resíduo das obras não precisou passar por um processo de britagem para gerar granulometria adequado ao uso em concreto. Constatou-se que fragmentos de tijolos e blocos estão mais presentes na fração graúda que miúda, e os blocos de concreto não resistem ao processo simples de peneiramento, evidenciando a

fragilidade do material. Os resíduos de tijolos podem ser reutilizados como agregado graúdo desde que se diminua a dimensão dos fragmentos para alterar a forma para cubóide tornando-os ideal para o uso em concreto.

Já os blocos de concreto para evitar que a sua desagregação durante o processo de mistura do concreto o ideal e utilizá-lo na fração miúda. Quanto ao teor de argamassa aderida, o qual se evidenciou nas amostras ARM, através da granulometria, observou-se o potencial de geração de frações mais finas, tornando-o indesejável para o uso em concreto por comprometer a dosagem durante a mistura alterando as proporções.

Na granulometria dos agregados miúdos reciclados a porcentagem de material inferior a 0,3mm e 0,15mm pode evidenciar o presença de partículas de cimento não-hidratada, favorecendo um ganho de resistência ao concreto com ele produzido.

4.2.3 Massa específica e unitária

Os resultados dos ensaios de massa específica e massa unitária para os agregados graúdos e miúdos foram realizados, respectivamente, segundo as Normas, NBR NM 53, NBR 9776 e NBR 7251.

Os baixos valores de desvio padrão das médias dos resultados das massas específicas e unitária dos agregados graúdo e miúdo permitiram analisá-los somente pelas médias conforme constam nas Tabelas 10 e 11. Os resultados de cada amostra constam detalhados no Apêndice B.

Tabela 11 – Médias e desvios padrão das massas unitária e específicas dos agregados graúdo

Tipo de agregado graúdo	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa específica saturado superfície seca (g/cm³)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Aparente (g/cm³)
Média dos resultados das amostras ARC	1,16	2,06	2,44	1,80
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	0,08	0,11	0,09	0,14
Média dos resultados das amostras ARM	1,06	2,04	2,42	1,78
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	0,05	0,08	0,14	0,09
Agregado natural (seixo)	1,89	2,53	2,67	2,44

Analisando a média dos resultados das massas específicas dos agregados graúdos do tipo ARC e ARM, percebe-se pouca diferença, isso significa uma semelhança entre os materiais constituintes. Com relação ao agregado natural os agregados graúdos ARC e ARM são menores, cerca de 8% e 9%. Essa porcentagem está dentro da faixa de valores para massa específica de agregados reciclados considerada por Leite (2001), que é de 5% a 10% mais baixos que dos agregados naturais. O autor ainda afirma, que essa porcentagem pode variar entre os agregados reciclados de acordo com a origem e granulometria.

Segundo Hansen (1992 apud LEITE, 2001), os valores de massa específica de agregados reciclados de concreto oscilam entre 2,12 Kg/dm³ e 2,70 Kg/dm³, portanto as amostras do tipo ARC correspondem ao que descreve a literatura. No caso dos agregados provenientes de materiais cerâmicos, os valores encontrados para a massa específica são acima de 2,20 Kg/dm³ (SCHULZ e HENDRICKS, 1992), portanto as amostras do tipo ARM também apresentaram concordância com a literatura.

As massas específicas superfície seca e aparente dos agregados graúdos do tipo ARC e ARM também apresentaram semelhança entre suas médias. Observou-se também que valores das amostras de cada tipo foram semelhantes pelo desvio padrão baixo.

Os agregados graúdos do tipo ARC tiveram massa unitária média maior que a dos agregados ARM, isso significa que os agregados graúdos ARC possuem melhor arranjo entre seus grãos que os agregados ARM. Com relação ao agregado graúdo natural, as massas unitárias médias dos agregados ARC e ARM foram inferiores cerca de 38% e 44%, respectivamente. A porcentagem elevada de diferença entre os agregados graúdos reciclados e o agregado natural deve-se a granulometria, ao diâmetro das partículas, ao índice de vazios e a forma desses agregados.

O que se observou para os agregados graúdos reproduziu-se nos agregados miúdos, no que diz respeito aos valores aproximados entre suas massas específicas, entre as amostras do

tipo ARC e ARM. O baixo desvio padrão entre as amostras tanto do tipo ARC como ARM, também foi encontrado nos agregados miúdos.

Tabela 12 – Médias e desvios padrão das massas unitária e específica dos agregados miúdo

Tipo de agregado miúdo	Massa unitária (Kg/dm³)	Massa específica (g/cm³)
Média dos resultados das amostras ARC	1,25	2,41
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	0,08	0,07
Média dos resultados das amostras ARM	1,20	2,42
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	0,15	0,07
Agregado natural (areia)	1,66	2,625

A respeito da massa unitária na Tabela 11, os agregados miúdos apresentaram o mesmo comportamento que os agregados graúdos, ou seja, os agregados miúdos ARC tiveram massa unitária média maior que a dos agregados miúdos ARM. Em relação ao agregado miúdo natural tiveram massa unitária média 25% (ARC) e 28% (ARM) inferior, comparando à diferença das amostras de agregado graúdo reciclado em relação ao seixo, essa diferença foi menor, pode-se dizer que a granulometria e o tamanho das partículas são próximas.

Os valores de massa específica média para cada tipo de agregado, ARC e ARM, também demonstram que tal classificação proposta pela norma NBR15116, divide muito bem os agregados segundo a sua composição, isso se evidencia pelo baixo desvio padrão apresentado entre suas amostras.

Quanto aos valores próximos das amostras de agregado graúdo e miúdo tanto da massa específica quanto da massa unitária, pode-se dizer que essas obras geraram o mesmo tipo de resíduo devido ao fato de pertencerem ao mesmo padrão de obra. No que diz respeito a fase em que essas amostras se encontravam, pode-se dizer também, que as fases de alvenaria e acabamento, possuem pouca diferença de materiais constituintes, ou seja, geram materiais de mesma composição mineralógica. Essa característica favorece o uso dos agregados em concreto por permitir maior aproveitamento do resíduo mesmo pertencendo a obras diferentes.

Com relação a massa unitária os agregados com resíduos de argamassa apresentaram melhor arranjo que os com resíduos misto, ou seja argamassa e cerâmico, pode-se dizer que foi devido a forma dos grãos dos fragmentos de tijolos e blocos cerâmicos que são lamelares. Para ao reaproveitamento pode-se estudar proporções de fragmentos de argamassa e cerâmicos para aumentar a massa unitária, no caso dos agregados graúdos pode-se diminuir os grãos dos fragmentos de tijolos para forma mais cubóide, porém deve-se ter atenção a escolha do processo de britagem pois esse material gera muitos fino durante o processo, mesmo assim essa fração fina pode ser reaproveitada substituindo parcialmente o cimento em argamassas, devido a atividade pozolânica desse material quando moído finamente comprovada por Alves (2002) em seus estudos.

4.2.4 Teor de material fino inferior a 75µm

A porcentagem de partículas de argila e outros materiais que se dispersam por lavagem, assim como materiais solúveis em água, é determinada pelo método proposto pela NBR NM 46:2001. Na Tabela 12 constam as porcentagens média de material fino que passa na peneira 75µm, por lavagem, das amostras de agregados graúdo reciclado e natural, e na Tabela 13 constam as porcentagens média dos agregados miúdo reciclado e natural. Os resultados por amostras constam no Apêndice B.

Tabela 13 – Porcentagem de material fino inferior a 75µm dos agregados graúdo reciclados e seixo.

Tipo de agregado miúdo	Porcentagem de material fino que passa na peneira 75µm	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	6,21%	10%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	2,88%	
Média dos resultados das amostras ARM	4,24%	
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	1,36%	
Agregado natural (seixo) NBR 7211	0,70%	1%

A NBR 15116 no Quadro 13, estabelece para os agregados graúdos ARC e ARM, o teor máximo de material inferior a 75µm de 10%. Das amostras de agregado graúdo do tipo ARC, apenas a amostras F3 apresentou porcentagem de material inferior a 75µm, ou também chamado de material pulverulento, superior a 10%, como já comentado nos itens anteriores,

essa amostra é composta basicamente de argamassa pré-fabricada, e pode-se atribuir o teor elevado de material pulverulento ao fato de esse material em contato com a água desagrega-se formando partícula em suspensão.

Todas as amostras ARM de agregado graúdo apresentaram porcentagens inferiores a norma, quanto ao agregado natural apresentaram em média 88% mais materiais pulverulentos. Os agregados graúdos ARC apresentaram cerca de 83% mais materiais pulverulentos que o agregado natural.

Tabela 14 – Porcentagem de material fino inferior a 75µm, dos agregados miúdo reciclados e areia.

Tipo de agregado miúdo	Porcentagem de material fino que passa na peneira 75µm	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	7,59%	15%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	1,92%	
Média dos resultados das amostras ARM	10,02%	20%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	2,42%	
Agregado natural (areia) NBR 7211	1,90%	3 e 5%

Quanto as amostras de agregado miúdo ARC e ARM todas continham porcentagem de material pulverulento inferior ao exigido por norma. Sendo que em média as amostras ARM apresentaram aproximadamente 24% mais material pulverulento que as amostras ARC de agregado miúdo. Em relação ao agregado miúdo natural as amostras apresentaram em média aproximadamente 75% (ARC) e 81% (ARM) a mais de material pulverulento.

O fato de amostras atenderem a norma quanto a porcentagem de material fino inferior a 75µm respalda ainda mais a possibilidade de uso dos agregados reciclados em concretos sem função estrutural. Outro fator importante é quanto a presença de partículas de cimento e de materiais cerâmicos nessa fração, o que pode favorecer um ganho na resistência e redução no consumo de cimento (OGWUDA et al., 1998 apud LEITE, 2001).

4.2.5 Teor de torrões de argila e materiais friáveis

O ensaio para determinação do teor de torrões de argila e materiais friáveis foi realizado de acordo com que estabelece a NBR 7218/87. Nas Tabelas 14 e 15 constam os

resultados dos ensaios realizados com as amostras de agregado graúdo e miúdo dos tipos ARC e ARM.

Tabela 15 – Teor de torrões de argila e materiais friáveis nos agregados graúdo reciclados e seixo.

Tipo de agregado graúdo	Teor de argila em torrões e materiais friáveis.	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	1,40%	2%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	0,91%	
Média dos resultados das amostras ARM	0,91%	
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	0,70%	
Agregado natural (seixo) NBR 7211	0,54%	1 a 3%

Na Tabela 14 comparando as amostras de agregado graúdo do tipo ARC e ARM observou-se que as amostras ARC produziram maior porcentagem de torrões de argila e materiais friáveis, porém vale ressaltar que em todas as amostras de agregado graúdo tanto ARC quanto ARM, não foram encontradas torrões de argila, portanto as porcentagens de material encontradas dizem respeito a materiais de fácil desagregação ao receberem uma leve pressão dos dedos.

O teor de torrões de argila e materiais friáveis dos agregados graúdo ARC e ARM foram cerca de 2,5 e 1,5 vezes maior que o agregado natural. Com relação aos parâmetros de aceitação da NBR15116, Quadro 13, apenas duas amostras de cada tipo, ARC e ARM, não atenderam ao valor máximo de 2%.

As amostras ARC de agregado graúdo apresentaram maior porcentagem de materiais friáveis que nas amostras do tipo ARM, devido a presença de fragmento de argamassa endurecida e de blocos de concreto.

Observou-se que a variação entre as amostras tanto do tipo ARC quanto ARM foi elevada, sendo que foi maior nas amostras do tipo ARM. Isso se deve a resistência e a porosidade dos componentes. As amostras ARC e ARM que se encontravam na fase de acabamento, apresentaram maior teor de materiais friáveis, devido a presença de fragmentos de argamassa endurecida.

Tabela 16 – Teor de torrões de argila e materiais friáveis nos agregados miúdo reciclado e areia.

Tipo de agregado miúdo	Teor de argila em torrões e materiais friáveis.	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	3,56%	2%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	1,94%	
Média dos resultados das amostras ARM	3,55%	
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	3,16%	
Agregado natural (areia) NBR 7211	1%	1,5%

Considerando-se a Tabela 15, quanto aos agregados miúdos, apresentaram percentagem quase 3 vezes maior que as amostras de agregado graúdo, para os dois tipos. E as amostras de ARC e ARM apresentaram os valores da média de suas amostras semelhantes, porém a variação entre os valores das amostras do tipo ARM foi elevada. Das amostras ARC a maioria não atendeu ao parâmetro de 2% aceitável pela norma, isso corresponde a 80%. Os agregados miúdos do tipo ARM tiveram mais de 50% de suas amostras com valores acima do de 2% de torrões de argila e materiais friáveis.

Das amostras do tipo ARC as que se encontravam na fase de acabamento apresentaram o maiores teores de materiais friáveis, quanto as demais presentes da fase de alvenaria ou em conjunto com outras fases, apresentaram percentagem próxima a média. As amostras ARM não apresentaram nenhuma relação com a fase em que se encontraram.

As amostras de agregado graúdo apresentaram menor percentagem de torrões de argila que os miúdos, sendo os grãos com dimensão entre 4,8 e 19mm os de maior percentagem desses de materiais friáveis. Todas as amostras de agregado miúdo apresentavam maior resíduo de argamassa do que as amostras de agregados graúdos, portanto existe uma composição diferenciada, apesar de a origem do agregado miúdo ser do graúdo por simples desagregação dos grãos.

A percentagem de materiais friáveis nas amostras de agregado miúdo evidenciam que a presença de argamassa aderida é maior em grãos inferiores a 4,8mm. Porém esse parâmetro somente, não pode inviabilizar o uso dos agregados em concreto, pois esse material mesmo desagregando-se e aumentando o teor de finos no concreto, pode contribuir para o aumento da

resistência devido às partículas de cimento não-hidratadas.

4.2.6 Absorção

Os resultados foram obtidos de acordo com os ensaios para agregados graúdos e miúdos estabelecidos pelas normas: NBR NM 53:2003 e NBR NM 30:2001.

Para que fosse obtida a saturação máxima dos grãos, as amostras foram submetidas a um período maior de imersão que o especificado pela norma, pois como não se dispunha de tempo de quantidade de amostras suficiente para a realização do ensaio variando os tempos de imersão, ou seja, analisar a absorção em função de vários tempos de imersão, optou-se por esse procedimento por se acreditar ser mais seguro a determinação da saturação dos grãos. Apesar de haver registros de que os agregados reciclados atinjam sua saturação máxima em menos de 24 horas. Mas em se tratando de agregados reciclados, a sua composição influencia na absorção, e com é muito variável, não se pode usar esse comportamento como padrão.

Para que fossem validados os resultados selecionou-se uma amostra de cada tipo, e como parâmetro, adotou-se as amostras que apresentaram o valor de absorção mais próximo da média de cada tipo de agregado, ARC e ARM. Com essas amostras foi realizado o ensaio com o tempo de 24 horas de imersão, os resultados constam na Tabela 16.

Tabela 17 – Taxa de absorção das amostras de agregado graúdo ARC e ARM com imersão de 24 horas.

Amostras	Agregado graúdo Taxa de absorção	
	24h	> 24h
D/2	15,02%	14,85
B/3	14,30%	15,05

Esse ensaio de contraprova foi realizado somente para as amostras de agregado graúdo, em virtude de praticamente todos os resultados das amostras de graúdo não atenderem ao parâmetro de aceitação da norma (Apêndice B).

De acordo com os resultados da Tabela 16, pode-se observar que o comportamento das amostras imersas por 24 horas variou muito pouco com relação ao ensaio anterior realizado

por um período de imersão maior, o que caracteriza que os resultados obtidos com as amostras podem ser considerados para análise.

No Apêndice B constam os resultados por amostras, os resultados das Tabelas 17 e 18 correspondem as médias dos resultados das taxas de absorção dos agregados graúdo e miúdo reciclados respectivamente, e também dos correspondentes agregados graúdo e miúdo naturais.

Tabela 18 - Taxa de absorção das amostras de agregados graúdo ARC, ARM e seixo.

Tipo de agregado miúdo	Taxa de absorção	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	14,88%	7%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	3,44%	
Média dos resultados das amostras ARM	15,02%	12%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	2,77%	
Agregado natural (seixo) NBR 7211	3,5%	-

Nenhuma das amostras ARC apresentaram taxa de absorção inferior a 7% especificado pela norma para esse tipo de agregado, a isso se atribui ao resíduo de bloco de concreto, presente devido a fase de alvenaria em execução durante as coletas. Enquanto as amostras que apresentaram resíduo de tijolo cerâmico a elevada absorção atribui-se ao teor de argamassa aderida e aos fragmentos de tijolos. Quanto às amostras de agregados graúdo do tipo ARM, apenas três amostras atenderam a norma, e obtiveram absorção inferior a 12%. Quanto as demais amostras o que influenciou na taxa elevada de absorção primeiramente foi o teor de argamassa aderida e a segunda possibilidade foi devido os fragmentos de tijolos.

Tabela 19 – Taxa de absorção das amostras de agregados miúdo ARC, ARM e areia.

Tipo de agregado miúdo	Taxa de absorção	Porcentagem exigida pela NBR15116
Média dos resultados das amostras ARC	7,20%	12%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARC	2,52%	
Média dos resultados das amostras ARM	8,77%	17%
Desvio padrão dos resultados das amostras ARM	2,23%	
Agregado natural (areia) NBR 7211	0,3%	-

Ao contrário do que se encontrou na literatura, a absorção nos agregados miúdos foi cerca de 50% menor que os agregados graúdos. Quanto aos limites de taxa de absorção da norma, todas as amostras atenderam a norma, exceto a amostra D1, porém por uma margem

pequena. As amostras de agregado miúdo do tipo ARC apresentaram menor absorção média que as do tipo ARM, pode-se dizer que foi devido a composição das amostras apresentarem maior quantidade de resíduos de cerâmicos.

Quanto às amostras do tipo ARM, observou-se também que amostras com absorção elevada apresentavam massa específica menores, porém não se encontrou uma proporcionalidade linear, com a qual se poderia justificar um comportamento padrão dessas amostras. Com relação ao agregado miúdo natural os agregados miúdos reciclados ARC e ARM apresentaram taxa de absorção média maior cerca de 96% e 97%, respectivamente.

Nos agregados graúdos a taxa elevada de absorção foi devido aos fragmentos de bloco de concreto que são muito porosos, os fragmentos de argamassa endurecida também influenciaram. As amostras do tipo ARM apresentaram maior taxa de absorção devido ao teor de argamassa aderida aos fragmentos de tijolos. A absorção reprovou a maioria das amostras de agregado graúdo, porém deve-se considerar que a absorção elevada pode favorecer a absorção da pasta penetrando nos poros do agregado e formando cristais precipitados de cimento hidratado, propiciando uma maior aderência entre a pasta e o agregado, melhorando assim a resistência à compressão do concreto (VIEIRA, 2003 apud CABRAL, 2007). Pode ainda no interior do concreto a pasta envolver os grãos do agregado e seus poros serem praticamente selados, isso torna mais lenta ou até interrompe a absorção (NEVILLE, 1995).

A taxa de absorção menor nos agregados miúdos evidencia que a absorção dos agregados reciclados é influenciada também pela granulometria, e que apesar do teor de finos nos agregados miúdos reciclados ser maior que nos agregados graúdos reciclados, não influenciou aumentando a taxa de absorção (BARRA, 1996; LIMA, 1999; ÂNGULO, 2000).

4.3 Agregados reciclados e a consistência do concreto

Para a confecção dos concretos com as amostras de agregado graúdo e miúdo de

acordo com que foi estabelecido no item 3.3.3, foram selecionadas apenas as amostras que atenderam aos parâmetros da NBR15116 conforme o Quadro 13. As amostras que atenderam e que não atenderam os requisitos da norma constam no Tabela 19.

Tabela 20 – amostras de agregado graúdo e miúdo reciclado e o requisitos da NBR15116.

Amostras	Agregado Graúdo			Agregado Miúdo		
	Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento	Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento
ARC						
D/1	-	0,75%	4,34%	-	-	7,50%
D/2	-	-	4,75%	7,13%	-	6,94%
D/3	-	1,25%	4,45%	5,45%	-	5,59%
F/3	-	2,00%	-	8,04%	-	8,62%
G/1	-	-	9,60%	8,87%	-	10,70%
G/2	-	1,75%	8,80%	8,99%	-	10,97%
H/3	-	1,00%	6,60%	4,34%	1,88%	5,90%
I/1	-	1,77%	2,92%	5,29%	-	6,84%
I/2	-	0,00%	4,05%	7,91%	-	6,01%
I/3	-	0,25%	4,90%	3,90%	1,90%	6,84%
ARM						
A/1	-	0,25%	2,60%	8,10%	-	9,80%
A/2	-	0,53%	2,80%	7,54%	-	11,00%
A/3	-	0,75%	5,55%	7,97%	-	8,60%
B/1	11,20%	-	4,50%	11,20%	-	13,90%
B/2	11,08%	-	4,50%	9,51%	-	12,16%
B/3	-	1,00%	2,90%	6,41%	0,63%	11,01%
C/1	-	0,75%	4,60%	12,86%	1,00%	13,60%
C/2	-	0,25%	3,00%	10,00%	1,54%	11,00%
C/3	-	0,75%	6,00%	7,69%	-	6,77%
E/1	-	1,58%	3,67%	7,35%	-	6,65%
E/2	-	1,00%	3,90%	6,67%	-	6,02%
E/3	-	0,50%	4,60%	6,69%	1,87%	7,55%
F/1	-	0,00%	2,17%	12,54%	1,25%	11,57%
F/2	-	1,50%	6,20%	10,25%	-	10,33%
G/3	-	0,50%	6,75%	5,19%	1,83%	8,69%
H/1	9,95%	0,37%	3,35%	8,15%	1,75%	9,00%
H/2	-	1,00%	5,00%	11,02%	-	12,66%

No caso das amostras de agregado graúdo apenas uma amostra atendeu, foi a amostra H1 do tipo ARM, por isso para que houvesse uma outra amostra, mas do tipo ARC, para comparar, foi escolhida apenas a que não atendeu ao requisito de taxa de absorção e apresentou ainda o menor valor, que foi a amostra I1. Na Tabela 19 constam os parâmetros das misturas do tipo AGR+A e do concreto de referência com mesmo traço.

Tabela 21 – Dados relativos a dosagem das misturas AGR+A dos tipos ARC e ARM.

Ag. Graúdo (Traço 1:2:3 e teor de argamassa 50%)			
Parâmetros da mistura	H1- ARM	I1 - ARC	REF
Slump (cm)	7,0	6,0	6,5
Qt cimento (Kg)	13	13	5,25
Qt agregado miúdo (Kg)	26,00	26,00	11,25
Qt agregado graúdo (Kg)	39,00	39,00	16,50
Quantidade de água (l)	6,20	5,90	3,05
Cons. De cimento (Kg/m ³)	342,54	342,37	345,87

Os agregados graúdos reciclados foram submetidos a um período de 24 horas de imersão antes da mistura, e devido a isso as misturas com esses agregados consumiram 17% e 22% (H1 e I1 respectivamente) a menos de água para atingir a consistência desejada, o consumo de cimento também foi menor cerca de 0,96% e 1,01%, para H1 e I1 respectivamente, a diferença entre os consumos das misturas com agregado graúdo reciclado foi pequena, 0,05% maior para a amostra H1.

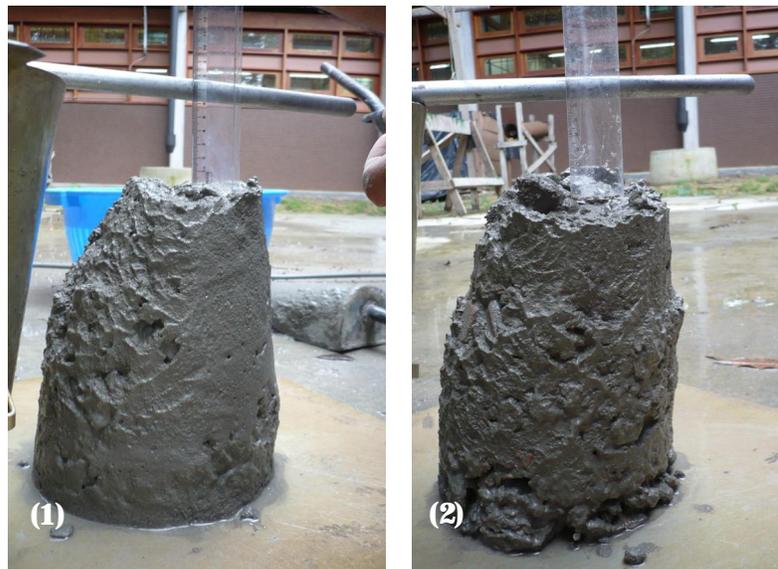


Figura 17 – Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra I1(1) e H1(2)

As amostras de agregado miúdo dos tipos ARC que atenderam a norma os parâmetros das misturas constam na Tabela 20.

Tabela 22 – Dados relativos a dosagem das misturas S+AMR ARC e concreto de referência

Ag. Miúdo - ARC (Traço 1:1,60:3,30 e teor de argamassa 44,07%)			
Parâmetros da mistura	H3	I3	REF
Slump (cm)	6,5	9,5	6,5
Qt cimento (Kg)	5	5	5,00
Qt agregado miúdo (Kg)	8,00	8,00	8,00
Qt agregado graúdo (Kg)	16,50	16,50	16,50
Qt água (l)	3,45	3,20	2,40
Consumo de cimento (Kg/m ³)	344,21	351,23	378,00

A relação a/c das duas únicas amostras que atenderam a norma foi 30% e 25% (H3 e I3, respectivamente) maior que o concreto de referência, quanto ao consumo de cimento foi 9% e 7% (H3 e I3, respectivamente) menor que o concreto de referência. Com a amostra I3, no entanto, a perda do abatimento foi maior com menor quantidade de água, e observou-se que sua trabalhabilidade foi melhor que a amostras H3, pode-se atribuir a porcentagem de material inferior a 0,3mm que é 18% maior que a amostra H3.



Figura 18 – Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra H3 (1) e I3 (2)

As amostras de agregado miúdo dos tipos ARM que atenderam a norma os parâmetros das misturas constam na Tabela 21.

Tabela 23 – Dados relativos a dosagem das misturas S+AMR ARM e concreto de referência

Ag. Miúdo - ARM (Traço 1:1,60:3,30 e teor de argamassa 44,07%)								
Parâmetros da mistura	B3	C1	C2	E3	F1	G3	H1	REF
Slump (cm)	8,0	7,5	8,0	7,5	6,0	8,5	6,5	6,5
Qt cimento (Kg)	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	5,00	5,00	5,00
Qt agregado miúdo (Kg)	7,66	8,00	8,00	8,00	4,80	8,00	8,00	8,00
Qt agregado graúdo (Kg)	16,16	16,50	16,50	16,50	9,90	16,50	16,50	16,50
Qt água (l)	3,18	3,20	3,20	3,30	2,48	3,30	3,45	2,40

Cons. de cimento (Kg/m ³)	358,85	350,34	351,65	349,16	327,02	345,31	343,46	378,00
---------------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

No que diz respeito a relação a/c as misturas S+AMR do tipo ARM, apresentaram em média 27% maior consumo de água que a mistura do concreto de referência, com exceção da amostra F1 que apresentou uma relação a/c muito elevada, pelo fato de sua composição ser de blocos cerâmicos. O consumo de cimento entre as mistura S+AMR apresentou pouca variação, e em relação ao concreto de referência apresentaram em média, consumos 8% menor.

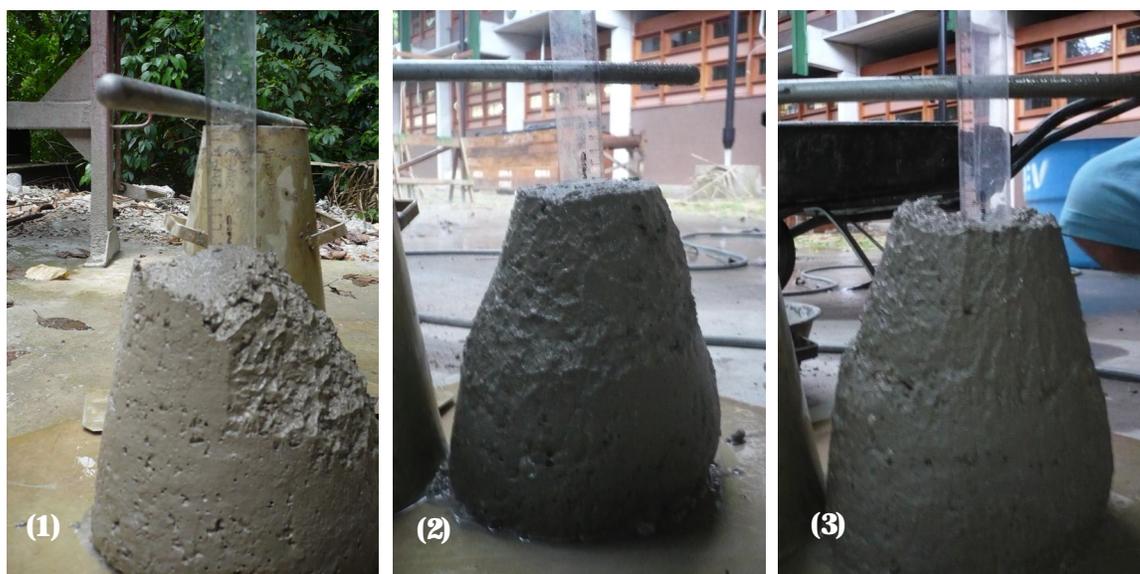


Figura 19 – Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra B3(1), C1(2) e C2(3)



Figura 20 – Ensaio de abatimento do Tronco de cone da amostra E3(1), F1(2) e G3(3)

Comparando as misturas S+AMR do tipo ARC e ARM, observa-se que apresentaram

porcentagem de relação a/c em relação ao concreto de referência bem próximas, e que as consistências se mantiveram no intervalo estabelecido no item 3.2. Quanto aos consumos de cimento também apresentaram porcentagens relativas ao concreto de referência muito próximas, portanto é possível dizer que as amostras de agregado miúdo dos tipos ARC e ARM não apresentaram diferenças significativas, mas para que se evidencie essa observação são indicados mais ensaios e também os resultados de resistência à compressão.

A pré-saturação dos agregados graúdos reciclados contribuiu para que se atingisse a consistência desejada, reduzindo a relação a/c. O consumo de cimento das misturas AGR+A foram muito próximos do consumo da mistura de referência, porém não se pode dizer o quanto de água total foi necessário para isso, pois não sabe o quanto de água presente nos grão saturados do agregado reciclado contribuiu para a mistura. Outro fator que pode ter influenciado no consumo de cimento seria o teor de argamassa aderida aos grãos, que durante a mistura podem ter gerado material fino, favorecendo também para a boa trabalhabilidade. Com isso pode-se dizer que as misturas com agregados graúdos reciclados mesmo com elevadas taxas de absorção apresentaram boa trabalhabilidade, e que a pré-saturação contribuiu para a redução da relação a/c.

Outro fator que pode ter influenciado foi a granulometria, visto que a dos agregados reciclados é diferente do agregado natural, e como essa propriedade também influencia no consumo do cimento, pode ter ocorrido uma compensação da forma e da textura pela granulometria dos agregados reciclados ser contínua, de diâmetro máximo maior e pela elevada quantidade de finos. Quanto a composição das amostras de agregado graúdo, observou-se que apesar de composições distintas o comportamento das misturas com esses agregados não apresentaram diferenças significativas, com isso podemos dizer que esses agregados podem ser usados juntamente, independente da composição de cada um, desde que tenham a mesma granulometria e massa específica, o que é possível separando o resíduos

provenientes das fases de alvenaria e acabamento, ou seja, que contenham argamassa, tijolo e bloco de concreto. Isso favorece a reciclagem por aumentar o volume de agregados a serem reutilizados.

As misturas com S+AMR tanto as com agregados miúdos ARC quanto ARM obtiveram relação a/c superior a referência, isso é justificável pela taxa elevada de absorção. As misturas ARM apresentaram perda no abatimento maior que as misturas ARC, pode-se atribuir a porcentagem de material fino nas amostras ARM que é superior as das amostras ARC (Tabelas 9 e 13), esses materiais também influenciaram no consumo de cimento tanto das amostras ARC quanto ARM, que foi menor que a mistura de referência, por ser comum em agregados reciclados a presença de partícula de cimento, não-hidratadas, nas frações inferiores a 0,3mm, 0,15mm e 75µm, isso pode favorecer um incremento a quantidade de cimento presente no concreto produzido, reduzindo a aspereza das misturas, melhorando a trabalhabilidade e conseqüentemente aumentar a resistência (MONTGOMERY, 1998). Nas amostras ARM o teor de finos ainda é maior pela presença de material cerâmico nessas frações, os quais ainda apresentam atividade pozolânica, que reduz no consumo de cimento (ALVES, 2002).

4.4 Agregados reciclados e a resistência à compressão do concreto

Nas Tabelas 22 e 23 constam os resultados das resistências à compressão simples das misturas AGR+S ARC e ARM e das mistura S+AMR ARC e ARM, respectivamente.

Tabela 24 – Resultados do ensaio de resistência à compressão das misturas AGR+A ARC e ARM.

Resultados do ensaio de resistência à compressão simples das misturas AGR+A ARC e ARM					
Amostras	Média		Desvio Padrão f_{c28}	Sd	f_{ck}
	f_{c7}	f_{c28}			
II-ARC	18,76	22,66	1,1	5,5	13,59
H1-ARM	15,28	21,6	2,52	5,5	12,53
REF	23,45	28,77	0,83	5,5	19,7

As amostras apresentaram pouca diferença de resistência aos 28 dias cerca de 5%,

sendo que o concreto com a amostra I1 apresentou maior valor. Em relação ao concreto de referência, os concretos com as amostras I1 e H1 apresentaram resistências aos 28 dias inferior cerca de 21% e 25% respectivamente.

Em relação ao concreto de referência os concretos com os agregados graúdos das amostras I1 e H1 as resistências aos 28 dias não foram satisfatórias, como o consumo de cimento foi semelhante, e a relação a/c ainda foi menor que o concreto de referência o que leva a um aumento da resistência. Portanto resta atribuir a perda de resistência ao diâmetro do agregado graúdo reciclado, mais precisamente ao teor de argamassa aderida aos grãos isso tornou a aderência da pasta ao grão frágil.

Para viabilizar o uso desses agregados, ainda da forma em que são gerados, é recomendado que se diminua o diâmetro máximo para avaliar se com um teor de argamassa aderida menor a resistência seja melhor que a com o diâmetro de 38mm, os diâmetros poderiam ser reduzidos para 25mm e 19mm. Porém o ideal seria evitar a argamassa aderida aos grãos, para isso devem ocorrer algumas mudanças no processo de produção. Como foi identificado no Item 4.2.1, que a presença de fragmentos, principalmente de tijolos, com argamassa aderida foi devido a demolições de paredes prontas, recomenda-se as seguintes medidas durante a execução: adotar um procedimento de demolição que permita separar os componentes por tipo de material e evitar rasgos em paredes prontas para execução das instalações.

Das misturas do tipo ARM três apresentaram diferenças significativas, as amostras B3, C1 e C2, sendo que C1 foi a que apresentou menor valor, a isso se deve a porcentagem elevada de gesso em sua composição. Com relação a resistência aos 28 dias do concreto de referência, essas amostras apresentaram resistências inferiores, cerca de 15%, 34% e 22% respectivamente.

A demais amostras apresentaram valores de resistência à compressão em média de

24,25MPa, e a diferença entre os resultados foi mínima cerca de 4% entre si. Com relação ao concreto de referência, essa média das resistências das amostras E3, F1, G3 e H1 foi 1,4% inferior. Vale destacar que a amostra H1 apresentou resistência aos 28 dias 4% superior a do concreto de referência.

Tabela 25 – Resultados do ensaio de resistência à compressão das misturas S+AMR ARC e ARM.

Resultados do ensaio de resistência à compressão simples das misturas S+AMR ARC e ARM					
Amostras	Média		Desvio Padrão f_{c28}	Sd	f_{ck}
	f_{c7}	f_{c28}			
ARC					
H3	17,08	21,19	1,27	5,5	12,12
I3	18,04	21,93	1,26	5,5	12,86
REF	18,29	24,59	0,86	5,5	15,52
ARM					
B3	14,2	20,85	0,95	5,5	11,78
C1	10,05	16,28	0,58	5,5	7,21
C2	12,93	19,1	0,59	5,5	10,03
E3	15,23	24,02	0,8	5,5	14,95
F1	12,82	23,92	0,95	5,5	14,85
G3	14,4	23,48	0,44	5,5	14,41
H1	16,61	25,56	0,93	5,5	16,49

As propriedades das amostras E3, F1, G3 e H1 que contribuíram para o resultado satisfatório da resistência, foram a composição e o teor de material fino. Esta última propriedade nos agregados reciclados favorece um ganho de resistência pela presença de partículas de cimento não-hidratada e pela presença de fragmentos de materiais cerâmicos finamente moídos que também contribuem para o acréscimo da resistência pela reação pozolânica (MONTGOMERY, 1998; ALVES, 2002).

Para diminuir o consumo de cimento recomenda-se confeccionar misturas com quantidade maiores de agregado miúdo reciclado que a usada no traço 1:1,60:3,30, sendo necessário também, no caso do agregado natural usado neste trabalho alterar a granulometria do agregado graúdo natural, o qual possui elevadas frações de granulometria miúda.

Quanto ao reaproveitamento da porção miúda do resíduo de construção das obras

estudadas na presente pesquisa pode-se dizer, baseado nos resultados das resistências, que o seu uso é recomendado como agregado para concreto sem função estrutural, desde os resíduos gesso sejam separados como recomendado no Item 4.2.1

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa foram satisfatórios por terem permitido a caracterização dos resíduos das obras residenciais de multipavimentos quanto as suas propriedades como agregados reciclados para concretos sem função estrutural. Com método de coleta proposto foi possível avaliar os fatores de geração do resíduo das construções, e o fato de as obras escolhidas praticarem coleta seletiva, facilitou a avaliação dos fatores de geração de perdas dos serviços executados durante a coleta, e a influência desses fatores nas propriedades dos agregados. Analisando os resultados concluiu-se a respeito das propriedades estudadas:

Os fatores de geração que influenciaram indiretamente a classificação dos agregados foram os serviços executados, a organização do canteiro, e o tipo de material e a sua qualidade influenciaram diretamente. A porcentagem de ocorrência dos materiais foi influenciada pelos retrabalhos, adequações ao projeto e pela má execução dos serviços.

Os fragmentos com argamassa aderida, principalmente nos fragmentos de tijolos, desfavorecem a reciclagem por comprometer a resistência do concreto que utilizá-lo como agregado. A ocorrência desses fragmentos deve-se às demolições de paredes prontas.

Os resíduo das obras não precisaram passar por um processo de britagem para gerar granulometria adequado ao uso em concreto, mas para os resíduos de tijolos serem reutilizados como agregado graúdo deve-se alterar a forma dos fragmentos para cubóide tornando-os ideal para o uso em concreto. Quanto aos fragmentos de blocos de concreto devido a sua fragilidade o ideal é utilizá-lo na fração miúda.

A massa específica e massa unitária, demonstraram que essas obras geraram o

mesmo tipo de resíduo e que as fases de alvenaria e acabamento geram materiais de mesma composição mineralógica. Essa característica favorece o uso dos agregados em concreto por permitir maior aproveitamento do resíduo mesmo pertencendo a obras diferentes.

A porcentagem de material fino inferior a 75µm presente nas amostras atendeu ao limite máximo permitido pela NBR15116, sendo favorável ao desempenho do concreto por ser comum em sua composição partículas de cimento e de materiais cerâmicos, o que oferecem um ganho na resistência e redução no consumo de cimento.

A porcentagem de materiais fiáveis nas amostras de agregado miúdo comprovaram que a presença de argamassa aderida é maior em grãos inferiores a 4,8mm. Todas as amostras de agregado miúdo apresentavam maior resíduo de argamassa do que as amostras de agregados graúdo, portanto existe uma composição diferenciada, apesar de a origem do agregado miúdo ser do graúdo por simples desagregação dos grãos.

Nos agregados graúdos a taxa elevada de absorção foi devido aos fragmentos de bloco de concreto que são muito porosos, os fragmentos de argamassa endurecida também influenciaram e ao teor de argamassa aderida aos fragmentos de tijolos. A taxa de absorção menor nos agregados miúdos evidencia que a absorção dos agregados reciclados é influenciada também pela granulometria, e que apesar do teor de finos nos agregados miúdos ser maior que nos agregados graúdos, não influenciou aumentando a taxa de absorção.

As misturas com agregados graúdos reciclados mesmo com elevadas taxas de absorção apresentaram boa trabalhabilidade, e que a pré-saturação contribuiu para a redução da relação a/c. o comportamento das misturas com esses agregados não

apresentaram diferenças significativas apesar das composições distintas, o que aumenta as possibilidades de reciclagem por ser possível usar a maior quantidade de resíduo independente da composição de cada um, desde que tenham a mesma granulometria e massa específica.

As misturas de agregados miúdos obtiveram relação a/c superior a referência, isso é justificável pela taxa elevada de absorção, e a porcentagem de material fino nas amostras influenciaram no consumo de cimento, que foi menor que a mistura de referência, por ser comum em agregados reciclados a presença de partícula de cimento, não-hidratadas.

Os resultados das resistências dos concretos com agregado graúdo reciclado não foram satisfatórios, devido ao teor de argamassa aderida aos grãos. Para viabilizar o uso desses agregados, ainda da forma em que são gerados, recomenda-se a redução do diâmetro máximo (25mm e 19mm).

A composição e o teor de material fino das amostras E3, F1, G3 e H1 contribuíram para o ganho de resistência, pela presença de partículas de cimento não-hidratada e de fragmentos de materiais cerâmicos finamente moídos. Porém para diminuir o consumo de cimento recomenda-se confeccionar misturas com quantidade maiores de agregado miúdo reciclado.

O reaproveitamento dos resíduos de construção das obras estudadas como agregados em concreto não-estrutural é recomendado desde que sejam seguidas as seguintes recomendações:

- adotar um procedimento de demolição que permita separar os componentes por tipo de material;
- destinar um local adequado para armazenar, temporariamente, esses

componentes por tipo de material, por uso e por granulometria;

- separar o resíduo de gesso dos demais, armazenando-os em recipientes adequados para evitar o contato com o solo, sendo ainda indicado que se façam estudos sobre a sua reutilização;

- os fragmentos de cerâmica polida devem ser separados dos tijolos ou blocos cerâmicos, por prejudicarem a aderência da pasta quando usados como agregado, sendo destinados a outros usos;

- e separar os fragmentos cerâmicos dos resíduos de pasta de cimento, se possível separar até por qualidade de cada material, para facilitar a escolha do uso adequado do resíduo para os quais são bem distintos.

- reaproveitar os fragmentos dos blocos de concreto na confecção de novos blocos.

- reaproveitar os fragmentos de tijolos ou blocos cerâmicos como agregado para concreto, inclusive estrutural, dependendo da resistência do material.

- reaproveitar os fragmentos de argamassa endurecida como agregado miúdo, adotando o processo de britagem primário, para não gerar muitos finos.

Para evitar a argamassa aderida aos grãos, recomenda-se as seguintes medidas durante a execução: adotar um procedimento de demolição que permita separar os componentes por tipo de material e evitar rasgos em paredes prontas para execução das instalações.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G. **Estudos de argamassa com agregados reciclados contaminados por gesso de construção**. 2004. 282p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ALAVREDA, p.; DOMÍNGUEZ, J.; GONZALO, E. et al. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Informes de la Construcción, v.49, n°451, p. 41-47, 1997.

ALVES, S. M. S. – **Desenvolvimento de Compósitos Resistentes Através da Substituição Parcial do Cimento por Resíduos de Indústrias Cerâmicas**. 2002. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

AMORIM, L. V. et al. Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassa de baixo consumo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 3, n° 2, p. 222–228, 1999.

ANDRADE, A. C. **Método para qualificação de perdas de materiais em obras de construção de edifícios**. 1999. 35p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ÂNGULO, S. C. Requisitos para a execução de aterros de resíduos de construção e demolição / Sérgio Cirelli Ângulo, Vanderley Moacyr John. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, BT/PCC/436, 2006. 12p. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/BTs_Petreche/BT436%20-%20Angulo.pdf>. Acesso em: 27/02/2007.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARAUJO, E. S.; NEVES, G. A. & FERREIRA, H. C. Aproveitamento dos resíduos da construção civil para uso como aglomerantes pozolânicos em argamassa. Relatório do CNPQ, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: JUL/03. Composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: ABR/82. Massa Unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: JUL/03. Teor de material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218: AGO/87. Teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: JUL/03. Agregado graúdo – Determinação massa específica, massa específica aparente e absorção. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: MAO/01. Agregado miúdo – Absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: MAR/87. Massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

BANTHIA, N.; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete. Concrete International, v. 22, nº 06, p. 41-45, 2000.

BARBIERI, José Carlos. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos – São Paulo –SP, Ed. Saraiva, 2004 p. 31 – 37.

BARRA, M. **Estúdio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado em su aplicación como hormigón armado.** 1996. 223p. Tese (Doutorado) - Escola Técnica

Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya, Barcelona, 1996.

BARRA, M.; VASQUEZ, E. Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado. In: Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. 4, 1997, Porto Alegre. **Anais..**Porto Alegre: UFRGS, 1997, p 217-224.

BARROS, M. C. **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura**. 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

BASTOS FILHO, Antônio Ivan Ramalho. Reciclagem da parte mineral do resíduo de construção civil e demolição como agregado na confecção de concreto de cimento portland (CP) de uso não-estrutural : uma alternativa ao uso indiscriminado do seixo rolado no município de Manaus. Manaus: 2005. 60p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 1999. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 199p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

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

CARIJÓ, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 129fp. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARNEIRO, **Fabiana Padilha. Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife.** 2005. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

CHEN, H.; YEN, TSONG; CHEN, K. Use of building rubbles as recycled aggregates. Cement and concrete research. v. 33, p. 125-132, 2003.

CLOCCHI, L. Gestão de Resíduos. Revista Técnica n°77. Editora PINI, São Paulo, Agosto, 2003, p. 48-50.

CORBIOLI, N. Reciclagem de entulho do caos à solução. Construção, n° 2505, Editora PINI, São Paulo, Fevereiro de 1996.

D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A.(Coord.). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

DESSY, P.; BADALUCCO, C.; BIGNAMI, P. C.; Analysis of performances of concrete components made with recycled aggregate. In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gävle, Sweden. Proceedings... Gävle; Kickan Fahistedt, KTH, Symposium A., 2. v. 1, p. 149-156.1998

EDUFBA (2001). Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção – PROJETO ENTULHO BOM. EDUFBA, Salvador, 312p.

ENBRI. Development of a framework for environmental assesement of building materials and components (ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program). Mimeo. 18 mar, 1994.

EPA Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States, EPA. Report n° EPA530-R-98-010. 1998 100p.

EPA Comprehensive procurement guidelines. 1999b. Disponível em: www.epa.gov/cpg (Acessado em julho de 2007).

EPA Construction and demolition waste landfills. May 18,1995. Draft report. 43p.

EUN, S.; REINHART, D. R.; COOPER, C. D.; TOWNSED, T. G.; FAOUR, A. Hydrogen sulfide flux measurements from construction end demolition debris (C&D) landfills. *Waste Management*, v. 27, p 220-227, 2007.

FERREIRA, A.B.H. Dicionário da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995. 687 p.

FONTINHA, R. Novo dicionário etimológico da língua portuguesa. Porto: Editorial

GAUDARD, D. de M. O Ciclo do Carbono e o Efeito Estufa, *Eco Debate*, Disponível em: < <http://www.carbonobrasil.com/news.htm?id=123570> >, acessado em 31/3/2007.

GOMES, A. O.; SAMPAIO, T. S.; CARNEIRO, A. P. Estudo da viabilidade da produção de argamassas de revestimento com entulho reciclado de Salvador. In: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2001, Canela. **Anais...**Canela: ANTAC, 2001.

GÓMEZ – SOBERÓN, J. M. V. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study. **Cement and Concrete research**, v. 32, p 1301-1311, 2002.

GRIGOLI, Ademir Scobin. Entulho de obra – Reciclagem e consumo na própria obra que o gerou. Maringá - Paraná, Março 2000. 9p.

HAYASHI, A. M. Windos of Change – Can skyraapers withstand stronger hurricanes? *Scientific American*, Jan 2000 p.25 -26.

JOHN, V. M. A construção e o meio ambiente. Disponível em: < www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm > 1998a. (Acessado em julho 2007).

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos da construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LATTERZA, L. M. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação**. 1998. 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LAURITZEN, E. K. The global challenge of recycled concrete. In: Use of recycled concrete aggregate. DHIR, HENDERSON & LIMBACHIYA eds. Tomas Telford, p. 506-519, 1998.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do rio grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. & MARTINELLI, P. A. & HELENE, P. R. L. A influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas argamassas. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...**Salvador/BA, 1997.

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

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Vantagens e desvantagens de argamassas produzidas com entulho de obra, finamente moído. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, BT/PCC/185, 1997.

LIMA, P. S. N. S. **Aproveitamento de Resíduos de construção na fabricação de argamassas.** 2005. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 222p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MIRANDA, L. P. R. **Estudos de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MONTGOMERY, D. G. Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate. In: DHIR, R. K.; et al. **Proceedings ...**

“Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate”, Thomas Telford, London, 1998b. p. 287-296.

NEVILLE, A. M. Properties of concrete. 4 ed. London: Longman, 1995. 844p.

NÓBREGA, A. R. S. **Contribuição ao diagnóstico da geração de entulho da construção civil no município de Campina Grande**, 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba – Campina Grande, 2002.

OLIVEIRA, D. P. **Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil**. 2003. 119p. Tese (Qualificação do Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2003.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 211p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual, Rio Claro, 2002.

PALIARI, J. C. et al. Avaliação das perdas de concreto usinado nos canteiros de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu, **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2002. CD-ROM.

PALIARI, J. C. **Metodologia para coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios**. 1999. 473p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PENTALA, V. Concrete and sustainable development. ACI Materials Journal, v.94, n°5, p.409-416, 1997.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC), São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudos do uso em argamassas**. 1986. 140p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PRADO, D. M. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto**. 2006. 130p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

QUEBAUD, M. **Cracterisation des granulats recycle etude de la composition et du comportement de batons incluant ces granulats.** 1996. 247p. Tese (Doutorado) – Universidade d’Artois, França, 1996.

REIS, A. Projeto avalia contaminantes nos resíduos da construção. Revista Habitare Disponível em: < <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx> >, Acessado em 07/08/2006.

RILEM RECOMMENDATION. Specifications for concrete with recycle aggregates. 121 – DRG guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. Materials and Structures, v.27, p. 557-559, 1994.

SARDÁ, M. C. **Diagnóstico do resíduo da construção gerado no município de Blumenau-SC. Potencialidades de uso em obras públicas.** 2003. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo.** 2003. 130p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, Ch. P. Recycling of masonry rubble. IN: HANSEN, T. C. Recycling of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall, 1992. Part Two, p. 161-225. (RILEM TC Report 6).

SIJOSTROM, C. Durability of building materials and components, In: CIB Sypósium in construction and environment: Theory into practice, 2000, São Paulo, Brasil. Proceedings(CD-ROM). São Paulo: CIB, 2000.9p.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** 2001. 120p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2001.

SOUZA, U. E. I. et al. Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. In: Simpósio Nacional, São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo (PCC/EPUSP). 48p.

SPOSTO, Rosa Maria. Os resíduos da construção: problema ou solução . Revista Espaço Acadêmico, Brasília, n. 61, 2006. Disponível em: < <http://www.espacoacademico.com.br/061/61sposto.htm> >. Acesso em: 20 fevereiro 2007.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. P.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycle aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. Cement and Concrete Research, v. 35, p. 1195-1203, 2005.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2003. 151p. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** 1997. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ZORDAN, S. E. Entulho da Indústria da Construção Civil. Disponível em: < www.recycle.pcc.usp.br/fichatecnica.htm.2000 > (Acessado em julho de 2007).

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE AS COLETAS

Tabela A1 – Informações gerais sobre as amostras

Amostras	Fase da obra	Serviços	Observações
A/1	EST/ALV	Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária	serviços somente na torre 1
A/2	EST/ALV	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária e Contra-piso	Demolição modificação cliente / Fase estrutura na segunda torre
A/3	ALV/ACA B	Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco e Contra-piso	Demolição modificação cliente / Fase estrutura na segunda torre
B/1	ALV/ACA B	Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Chapisco, Reboco, Contra-piso, Forro de gesso, Esquadrias de madeira, Aplicação de massa e Impermeabilização.	Demolição retrabalho/Mudanças administrativas
B/2	ACAB	Inst. Elétrica, Contra-piso, Piso cerâmico e Forro de gesso	Demolição modificação cliente
B/3	ACAB	Revestimento cerâmico, Forro de gesso, Esquadria de madeira e metálica, Vidros e Aplicação de massa	Demolição modificação cliente
C/1	ALV/ACA B	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco, Revestimento cerâmico e Forro de gesso	Demolição modificação cliente
C/2	ALV/ACA B	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco, Revestimento cerâmico e Forro de gesso	
C/3	ACAB	Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco, Contra-piso, Revestimento e piso cerâmico, e Revestimento de gesso	Demolição retrabalho
D/1	EST/ALV/ ACAB	Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Chapisco, Reboco, Contra-piso, Forro de gesso, Esquadrias de madeira, Aplicação de massa e Impermeabilização.	
D/2	EST/ALV/ ACAB	Concreto, Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. elétrica, Chapisco, Reboco, Contra-piso e Revestimento de gesso	
D/3	EST/ALV/ ACAB	Concreto, Forma, Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. elétrica, Chapisco, Reboco, Contra-piso e Revestimento de gesso	
E/1	ACAB	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. elétrica, Reboco, Contra-piso e forro de gesso	Demolição modificação cliente
E/2	ACAB	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. elétrica, Chapisco, Reboco, Contra-piso, Revestimento cerâmico, Forro de gesso, Esquadria metálica, Vidros, Aplicação de massa, Pintura e Impermeabilização	Demolição modificação cliente
E/3	ACAB	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. elétrica, Reboco, Piso e Revestimento cerâmico, Forro de gesso, Esquadria de madeira e Pintura	
F/1	EST/ALV/ ACAB	Escavação, Concreto, Alvenaria, Inst. Elétrica, Chapisco e Reboco	Escavação da ETE
F/2	ALV/ACA B	Alvenaria, Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco e Contra-piso	

F/3	ACAB	Inst. Hidráulica, Inst. Sanitária, Inst. Elétrica, Chapisco, Reboco e Contra-piso	
G/1	ACAB	Reboco e contra-piso	
G/2	ACAB	Reboco e contra-piso	Demolição p/ instalação do elevador
G/3	ACAB	Revestimento cerâmico, forro de gesso, Esquadria metálica e aplicação de massa	
H/1	ALV	Alvenaria	
H/2	ALV	Alvenaria	
H/3	ALV	Alvenaria e Reboco	
I/1	FUND/EST/ALV	Concreto, Forma, Armação e Alvenaria	
I/2	EST/ALV	Concreto, Forma, Armação e Alvenaria	Desforma
I/3	EST/ALV	Concreto, Forma, Armação e Alvenaria	

Tabela A2 – Informações gerais sobre os sistemas construtivos das amostras ARC

Amostras ARC	Tipo de estrutura	Tipo de alvenaria	Tipo de acabamento	Observações
D/1	Concreto armado	Bloco de concreto	Forro e revestimento de gesso e cerâmico, piso cerâmico e pintura	Bloco confeccionado no canteiro
D/2				
D/3				
F/3	Concreto armado	Bloco de concreto	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura	Argamassa pré-fabricada
G/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura	
G/2				
H/3	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura	
I/1	Concreto armado	Bloco de concreto	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura	Bloco confeccionado no canteiro
I/2				
I/3				

Tabela A3 – Informações gerais sobre os sistemas construtivos das amostras ARM

Amostras ARM	Tipo de estrutura	Tipo de alvenaria	Tipo de acabamento
A/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Revestimento e piso cerâmico e pintura
A/2			
A/3			
B/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Revestimento e piso cerâmico e pintura
B/2			
B/3			
C/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Revestimento e piso cerâmico e pintura
C/2			
C/3			
E/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Revestimento e piso cerâmico e pintura
E/2			
E/3			
F/1	Concreto armado	Bloco cerâmico	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura
F/2			
G/3	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura
H/1	Concreto armado	Tijolo cerâmico	Forro de gesso, revestimento e piso cerâmico e pintura
H/2			

 Universidade Federal do Amazonas Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil CPG_EC			
FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRAS			
OBRA/CONSTRUTORA:		DATA/HORA:	
NO AMOSTRA:	DATA COLETA ANTERIOR:	Qtd ENTULHO:	Qtd AGREGADO:
ETAPA:			
<input type="checkbox"/> FUNDAÇÃO		<input type="checkbox"/> ESTRUTURA	
<input type="checkbox"/> ALVENARIA		<input type="checkbox"/> ACABAMENTO	
SERVIÇOS REALIZADOS NO PERÍODO DE COLETA DA AMOSTRA:			
<input type="checkbox"/> ESCAVAÇÃO	<input type="checkbox"/> INST. SANTÁRIA	<input type="checkbox"/> ESQUADRIAS MADEIRA	
<input type="checkbox"/> CONCRETO	<input type="checkbox"/> CHAPISCO	<input type="checkbox"/> ESQUADRIAS METÁLICAS	
<input type="checkbox"/> FÔRMA/ARMAÇÃO	<input type="checkbox"/> REBOCO	<input type="checkbox"/> VIDROS	
<input type="checkbox"/> ALVENARIA	<input type="checkbox"/> CONTRA-PISO	<input type="checkbox"/> MASSAS/TEXTURAS	
<input type="checkbox"/> INST. ELÉTRICA	<input type="checkbox"/> REVESTIMENTO CERÂMICO	<input type="checkbox"/> PINTURA	
<input type="checkbox"/> INST. HIDRÁULICA	<input type="checkbox"/> FORRO	<input type="checkbox"/> DEMOLIÇÕES	
<input type="checkbox"/> OUTROS:			
.....			
.....			

Figura A1 – Ficha de identificação das amostras

APÊNDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS POR AMOSTRAS

Tabela B1 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado graúdo ARC

Amostras	% Ag Graúdo	Composição				Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento
		G1	G2	G3	G4			
D/1	50,21%	98,13%	1,35%	0,00%	0,52%	13,54%	0,75%	4,34%
D/2	69,87%	99,07%	0,58%	0,22%	0,12%	14,85%	2,75%	4,75%
D/3	70,30%	99,53%	0,31%	0,16%	0,00%	16,42%	1,25%	4,45%
F/3	52,10%	99,76%	0,01%	0,23%	0,00%	20,43%	2,00%	11,70%
G/1	59,79%	96,64%	0,55%	1,89%	0,92%	15,17%	2,43%	9,60%
G/2	66,29%	99,19%	0,00%	0,81%	0,00%	16,80%	1,75%	8,80%
H/3	56,81%	95,70%	0,44%	3,85%	0,00%	19,04%	1,00%	6,60%
I/1	61,95%	91,51%	7,90%	0,04%	0,55%	9,81%	1,77%	2,92%
I/2	76,62%	89,67%	10,14%	0,00%	0,19%	11,71%	0,00%	4,05%
I/3	42,82%	90,19%	8,61%	0,33%	0,87%	11,02%	0,25%	4,90%

Tabela B2 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado graúdo ARC (Continuação)

Amostras ARC	D. Máx (mm)	%Inf 4,8mm	%Inf 0,3mm	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa esp. Sat. Sup. seca (g/cm³)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Aparente (g/cm³)	fases
D/1	38,00	26,70%	4,30%	1,21	2,06	2,40	1,81	EST/ALV/ACAB
D/2	38,00	4,20%	1,20%	1,15	2,06	2,44	1,79	EST/ALV/ACAB
D/3	38,00	9,40%	2,50%	1,08	2,07	2,51	1,78	EST/ALV/ACAB
F/3	38,00	23,50%	3,20%	1,15	1,94	2,41	1,61	ACAB
G/1	38,00	27,50%	7,30%	1,18	2,00	2,36	1,74	ACAB
G/2	38,00	14,10%	2,80%	1,08	1,95	2,31	1,67	ACAB
H/3	38,00	25,70%	2,60%	1,02	1,93	2,35	1,62	ALV
I/1	38,00	14,70%	1,90%	1,29	2,16	2,44	1,97	FUND/EST/ALV
I/2	38,00	15,50%	0,90%	1,22	2,22	2,59	1,99	EST/ALV
I/3	38,00	14,10%	1,10%	1,19	2,20	2,54	1,98	EST/ALV

Tabela B3 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado graúdo ARM

Amostras ARM	% Ag Graúdo	Composição				Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento
		G1	G2	G3	G4			
A/1	65,97%	17,88%	2,65%	79,47%	0,00%	17,40%	0,25%	2,60%
A/2	64,66%	78,00%	3,99%	17,98%	0,03%	12,83%	0,53%	2,80%
A/3	57,25%	42,72%	2,26%	54,77%	0,26%	20,54%	0,75%	5,55%
B/1	47,83%	82,49%	1,56%	5,06%	10,89%	11,20%	2,58%	4,50%
B/2	63,52%	71,74%	0,51%	6,86%	20,88%	11,08%	2,17%	4,50%
B/3	85,43%	50,91%	0,26%	29,31%	19,51%	15,05%	1,00%	2,90%
C/1	75,59%	60,83%	8,33%	28,99%	1,85%	14,34%	0,75%	4,60%
C/2	80,33%	58,23%	1,13%	40,50%	0,13%	15,87%	0,25%	3,00%
C/3	87,81%	51,01%	0,21%	48,53%	0,24%	16,91%	0,75%	6,00%
E/1	76,23%	78,03%	1,09%	20,53%	0,35%	17,63%	1,58%	3,67%
E/2	57,09%	66,67%	0,20%	33,13%	0,00%	15,90%	1,00%	3,90%
E/3	83,40%	73,56%	3,46%	17,91%	5,08%	17,27%	0,50%	4,60%

F/1	70,26%	1,14%	0,25%	98,61%	0,00%	15,88%	0,00%	2,17%
F/2	63,90%	46,67%	0,20%	53,03%	0,11%	15,45%	1,50%	6,20%
G/3	82,36%	67,81%	3,92%	28,26%	0,01%	15,70%	0,50%	6,75%
H/1	68,41%	55,23%	14,29%	30,37%	0,11%	9,95%	0,37%	3,35%
H/2	85,54%	84,33%	4,79%	10,88%	0,00%	12,26%	1,00%	5,00%

Tabela B4 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado graúdo ARM
(Continuação)

Amostras ARM	D. Máx (mm)	%Inf 4,8mm	%Inf 0,3mm	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa esp. Sat. Sup. seca (g/cm³)	Massa Específica (g/cm³)	Massa Aparente (g/cm³)	Fases
A/1	38,00	9,00%	1,00%	1,11	2,11	2,61	1,80	EST/ALV
A/2	50,00	5,50%	0,50%	1,04	1,98	2,27	1,76	EST/ALV
A/3	38,00	16,20%	1,80%	1,05	2,06	2,64	1,71	EST/ALV/ACAB
B/1	38,00	10,10%	1,10%	1,12	2,07	2,34	1,86	ALV/ACAB
B/2	38,00	6,60%	1,20%	1,07	2,03	2,29	1,83	ACAB
B/3	38,00	2,00%	0,90%	1,02	2,04	2,42	1,77	ACAB
C/1	38,00	14,20%	1,80%	1,13	1,93	2,23	1,69	ALV/ACAB
C/2	38,00	2,40%	0,50%	0,98	2,01	2,40	1,74	ALV/ACAB
C/3	38,00	17,00%	2,10%	1,04	2,00	2,41	1,71	ACAB
E/1	38,00	20,40%	3,40%	1,03	1,93	2,32	1,65	ACAB
E/2	38,00	4,50%	1,10%	1,01	1,96	2,31	1,69	ACAB
E/3	38,00	9,40%	1,30%	0,97	1,98	2,39	1,69	ACAB
F/1	25,00	2,10%	0,60%	1,07	2,19	2,72	1,89	EST/ALV/ACAB
F/2	38,00	12,60%	2,30%	1,11	2,07	2,48	1,79	ALV/ACAB
G/3	38,00	9,90%	1,40%	1,08	2,07	2,48	1,79	ACAB
H/1	38,00	12,40%	2,20%	1,16	2,21	2,52	2,01	ALV
H/2	38,00	3,50%	1,20%	1,11	2,08	2,39	1,85	ALV

Tabela B5 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado miúdo ARC

Amostras ARC	% Ag Miúdo	Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento	MF	%Inf 0,3mm	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa Específica (g/cm³)	Fases
D/1	49,79%	12,12%	3,00%	7,50%	2,37%	24,10%	1,38	2,46	EST/ALV/ACAB
D/2	30,13%	7,13%	3,26%	6,94%	2,27%	24,30%	1,25	2,47	EST/ALV/ACAB
D/3	29,70%	5,45%	2,34%	5,59%	2,32%	24,50%	1,35	2,49	EST/ALV/ACAB
F/3	47,90%	8,04%	5,94%	8,62%	2,27%	23,60%	1,16	2,29	ACAB
G/1	40,21%	8,87%	6,00%	10,70%	2,26%	24,30%	1,29	2,33	ACAB
G/2	33,71%	8,99%	6,88%	10,97%	2,36%	23,40%	1,13	2,35	ACAB
H/3	43,19%	4,34%	1,88%	5,90%	2,31%	21,20%	1,22	2,43	ALV
I/1	38,05%	5,29%	2,25%	6,84%	2,59%	18,70%	1,32	2,48	FUND/EST/ALV
I/2	23,38%	7,91%	2,12%	6,01%	2,74%	14,20%	1,16	2,36	EST/ALV
I/3	57,18%	3,90%	1,90%	6,84%	2,30%	26,10%	1,25	2,46	EST/ALV

Tabela B6 – Resultados dos ensaios das amostras de agregado miúdo ARM

Amostras ARC	% Ag Miúdo	Absorção	Torrões de argila	Material pulverulento	MF	%Inf 0,3mm	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa Específica (g/cm³)	Fases
A/1	32,41%	8,10%	12,00%	9,80%	2,29%	28,00%	1,36	2,55	EST/ALV
A/2	35,34%	7,54%	2,46%	11,00%	2,32%	23,80%	1,31	2,41	EST/ALV
A/3	42,75%	7,97%	9,28%	8,60%	2,16%	28,40%	1,22	2,40	EST/ALV/ACAB

B/1	35,50%	11,20%	2,50%	13,90%	2,48%	20,00%	1,22	2,32	ALV/ACAB
B/2	36,48%	9,51%	2,89%	12,16%	2,25%	22,70%	1,19	2,42	ACAB
B/3	14,57%	6,41%	0,63%	11,01%	2,61%	26,70%	0,76	2,48	ACAB
C/1	19,64%	12,86%	1,00%	13,60%	2,46%	21,00%	1,25	2,43	ALV/ACAB
C/2	19,67%	10,00%	1,54%	11,00%	2,25%	26,10%	1,27	2,47	ALV/ACAB
C/3	12,19%	7,69%	2,45%	6,77%	2,28%	26,10%	1,29	2,46	ACAB
E/1	23,77%	7,35%	3,25%	6,65%	2,34%	21,90%	1,34	2,47	ACAB
E/2	42,95%	6,67%	2,97%	6,02%	1,99%	30,00%	1,30	2,47	ACAB
E/3	16,60%	6,69%	1,87%	7,55%	2,11%	31,80%	1,27	2,47	ACAB
F/1	3,88%	12,54%	1,25%	11,57%	3,28%	19,00%	0,95	2,38	EST/ALV/ACAB
F/2	36,10%	10,25%	7,44%	10,33%	2,10%	26,40%	1,08	2,26	ALV/ACAB
G/3	17,64%	5,19%	1,83%	8,69%	2,35%	25,20%	1,20	2,35	ACAB
H/1	31,59%	8,15%	1,75%	9,00%	2,44%	24,30%	1,25	2,40	ALV
H/2	14,46%	11,02%	5,22%	12,66%	2,36%	23,90%	1,12	2,40	ALV

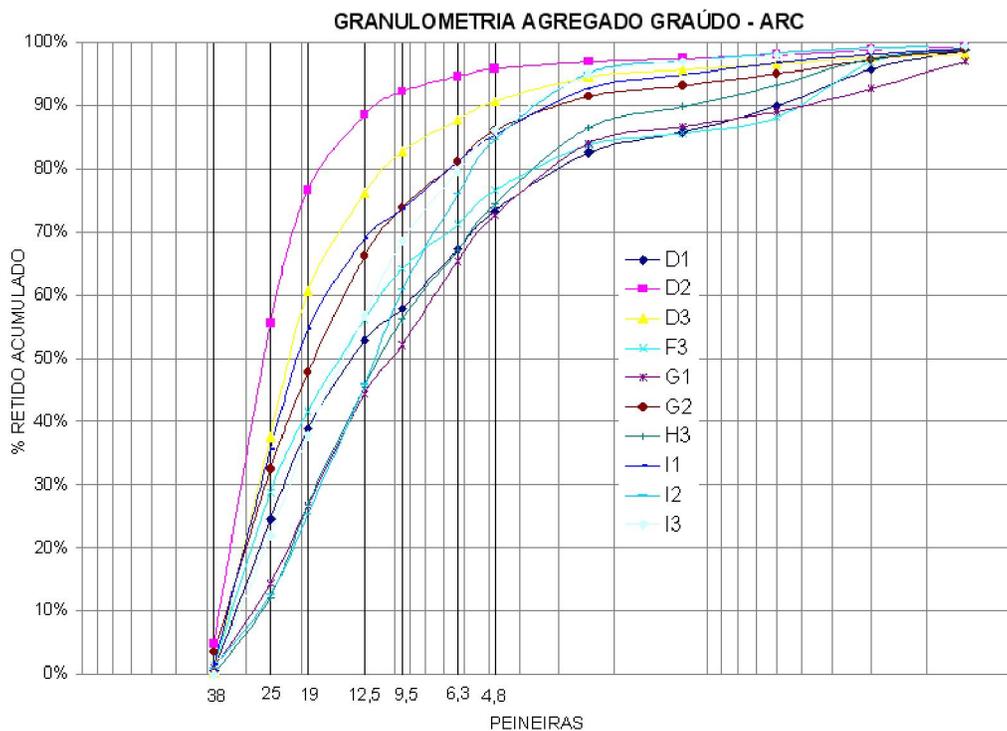


Figura B1 – Curvas granulométricas das amostras de agregado graúdo ARC

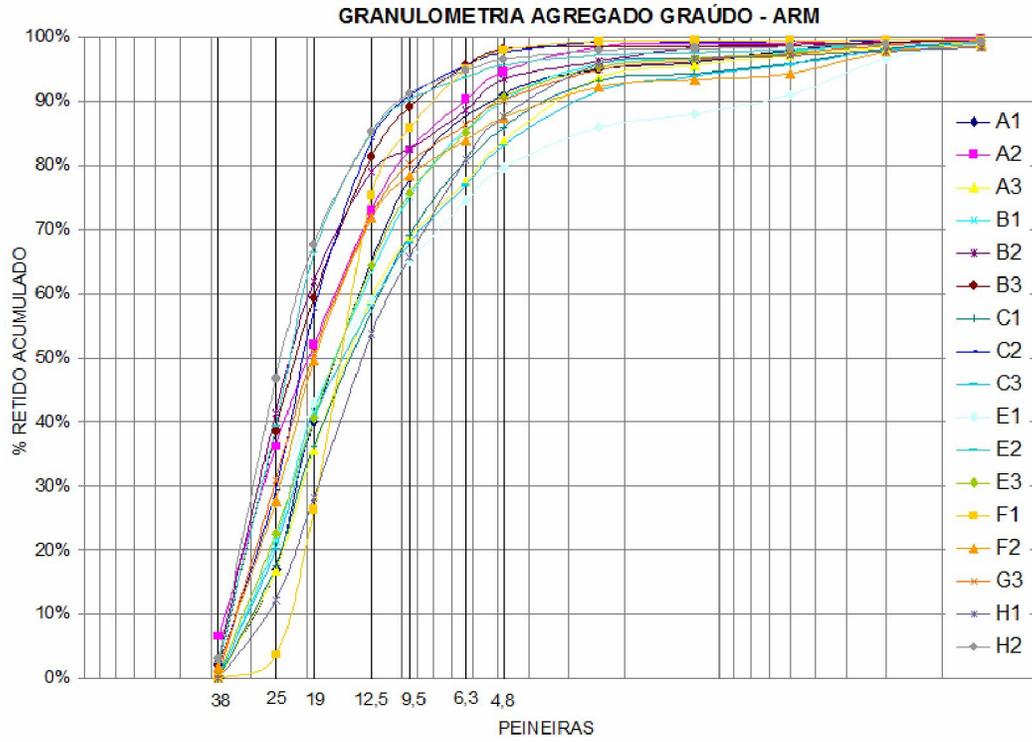


Figura B2 – Curvas granulométricas das amostras de agregado graúdo ARM

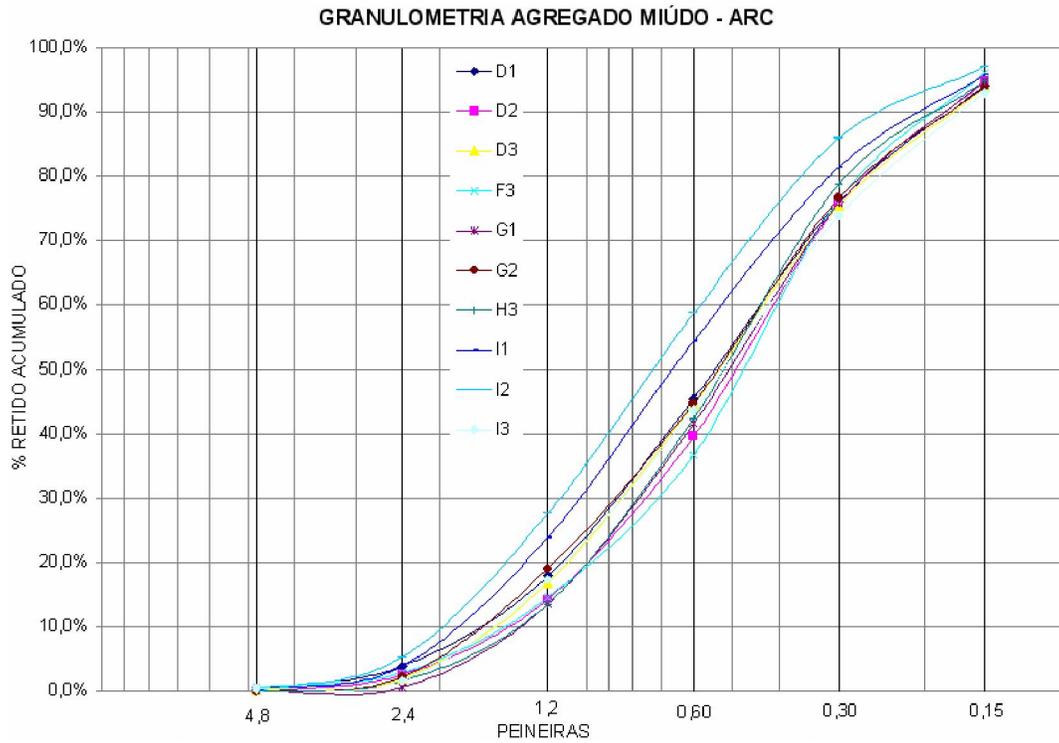


Figura B3 – Curvas granulométricas das amostras de agregado miúdo ARC

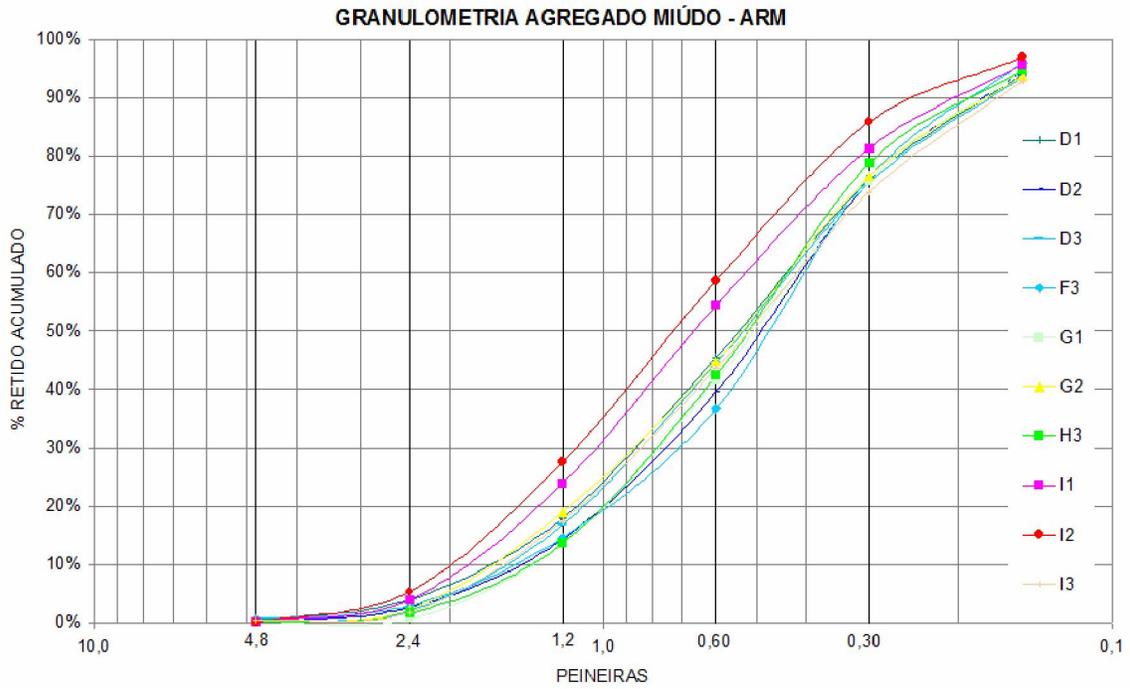
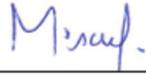


Figura B4 – Curvas granulométricas das amostras de agregado miúdo ARM

ANEXO A - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO

	<p>Itautinga Agro Industrial S/A Estrada do Alceio KM 10 S/N - Alceio - Cep. 69.083-000 Cx Postal 926 Manaus - Amazonas CNPJ 04.265.872/0001-32 Inscricao Estadual 06.200149-3 Fone/Fax (092) 3613-5544 e-mail: misaelp@nassau.com.br Depto. Comercial: Avenida Cosme Ferreira, 521 Alceio Cep. 69.083-000 Manaus - Amazonas Fone: (092) 3644-2009 Fax: (092) 3644-3822</p>	<p>NOTA: Se não recebido corretamente, por favor contatar-nos para imediata retransmissão. If not correctly received. Please report immediately for retransmission</p>						
Certificado de análises n.º : 060/08								
Referência : <i>Cimento CP II - Z - 32 (GRANEL)</i>	Emitido em : 31/03/08							
Marca : <i>Nassau</i>	Data da Amostra : 22/03/08							
Local/Coleta: <i>Ensacadeira</i>	Nota Fiscal : 184.225 até 184.300							
1 - ANÁLISE QUÍMICA		2 - ANÁLISE FÍSICA						
Perda ao Fogo (P.F.)	2,46	Finura # 0,075 mm (%)	2,8					
Dióxido de Silício (SiO ₂)	23,84	Finura # 0,044 mm (%)	12,8					
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	6,47	Blaine (cm ³ /g)	3980					
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	3,12	Massa Específica (g/cm ³)	3,05					
Óxido de Cálcio (CaO)	58,61	Água para Consistência Normal (%)	26,0					
Óxido de Magnésio (MgO)	2,43	Expansibilidade (mm)	Quente 0,0					
Amidrido Sulfúrico (SO ₃)	2,81	Tempo de Pega (minuto)	Início 110 Fim 150					
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	0,05	Resistência a Compressão por idade (Mpa)	1 Dia 13,4 3 Dias 26,4 7 Dias 28 Dias					
Óxido de Potássio (K ₂ O)	0,26		Temperatura (°C)	84 até 93				
Equivalente Alcalino 0,658 x % K ₂ O + % Na ₂ O	0,22							
Resíduo Insolúvel (R.I.)	6,57							
Óxido Cálcio Livre (CaO.l)	1,28							
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1,79							
3 - RESULTADOS COMPLEMENTARES		4 - TEMPERATURA						
Numero do Certificado	Data da Amostra	Resistência (MPa)				Data	Nota Fiscal	°C
		7 Dias		28 Dias				
		Mpa	Saida	Mpa	Saida			
025/08	09/02/08	31,9	-	39,9	-	22/03/08	184.225 até 184.300	84 até 93
026/08	11/02/08	31,1	-	40,0	-	24/03/08	184.361 até 184.490	70 até 90
027/08	12/02/08	31,5	-	39,2	-	25/03/08	184.491 até 184.682	80 até 99
028/08	13/02/08	31,8	-	39,0	-	26/03/08	184.683 até 184.809	73 até 88
029/08	14/02/08	28,6	-	37,1	-			
030/08	15/02/08	30,8	-	41,0	-			
031/08	16/02/08	29,6	-	35,4	-			
032/08	18/02/08	29,3	-	37,5	-			
033/08	19/02/08	27,9	-	36,6	-			
034/08	20/02/08	27,5	-	35,6	-			
035/08	21/02/08	28,2	-	37,4	-			
060/08	22/03/08	-	31/03/08	-	21/04/08			
<p><i>Observação: Os resultados de análises Físico-Químicas atendem aos critérios exigidos pela Norma Brasileira - ABNT NBR 11.578.</i></p>								
 Misael Silva Santos Júnior Gestor da Qualidade - Eng ^o Químico CRQ:01303629 - 9 ^a Região								

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)