

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

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE CONCRETO
RECICLADO (ACR) EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO
NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS E PEÇAS DE CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO

ALBERTO FÁBIO DA SILVA TAVEIRA

Manaus

2010



AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (ACR) EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS E PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

ALBERTO FÁBIO DA SILVA TAVEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PPGEC, da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador:

Raimundo Pereira de Vasconcelos

Manaus

Fevereiro/2010

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (ACR) EM
SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS E PEÇAS
DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

ALBERTO FÁBIO DA SILVA TAVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Raimundo Pereira de Vasconcelos, Prof. Dr.Sc.
Universidade Federal do Amazonas

Guilherme Chagas Cordeiro, Prof. Dr.Sc.
Universidade Estadual Norte Fluminense

Reila Vargas Velasco, Dra.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MANAUS, AM - BRASIL
FEVEREIRO DE 2010

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Taveira, Alberto Fábio da Silva

T232a Avaliação da utilização do Agregado de Concreto Reciclado (ACR) em substituição ao agregado miúdo na fabricação de argamassas e peças de concreto para pavimentação / Alberto Fábio da Silva Taveira. - Manaus: UFAM, 2010.

105 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Amazonas, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira Vasconcelos

1. Concreto 2. ACR 3. Pavimentação I. Vasconcelos, Raimundo Pereira. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 625.8(043.3)

Resumo da Tese apresentada ao PPGEC/UFAM como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (ACR) EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS E PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Alberto Fábio da Silva Taveira

Fevereiro/2010

Orientador: Raimundo Pereira de Vasconcelos

Programa: Engenharia Civil

A região Amazônica possui uma grande extensão territorial, onde se concentram poucos núcleos econômicos, distantes daqueles mais desenvolvidos do país. Além disso, devido à sua formação geológica, as principais cidades da região não possuem disponível material pétreo que economicamente possa ser empregado na construção civil. Por outro lado, as principais capitais têm apresentado um nível de crescimento econômico elevado, traduzindo-se em um ritmo acelerado de novas obras com conseqüente geração de resíduos de construção. Desta forma, a solução técnica com a utilização de resíduos de construção e demolição em pavimentos apresenta-se como uma alternativa tecnológica e econômica de grande interesse ambiental. Com a finalidade de se obter parâmetros que possibilitem uma avaliação de viabilidade técnica de argamassas e concretos fabricados com a inclusão de resíduos de construção e demolição (RCD), especificamente o ACR (agregado de concreto reciclado), na produção de corpos-de prova e Peças de Concreto Pré-moldadas para pavimentação intertravada, neste trabalho é apresentado um estudo de determinação de suas principais propriedades mecânicas, considerando a substituição parcial do agregado miúdo por agregado reciclado de concreto. Para tanto, foram realizados no desenvolvimento desta pesquisa ensaios de caracterização das principais propriedades mecânicas e físicas da argamassa e do concreto produzido com o ACR, conforme normas da ABNT e ASTM.

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

EVALUATION OF THE ATTACHÉ'S OF RECYCLED CONCRETE USE (RCA) IN REPLACEMENT TO THE SMALL ATTACHÉ IN THE PRODUCTION OF MORTARS AND PIECES OF CONCRETE FOR PAVING

Alberto Fábio da Silva Taveira

Fevereiro/2010

Advisor: Raimundo Pereira de Vasconcelos

Department: Civil Engineering

The Amazon region has a large territory, where there are few economic centers with great distance from those of most developed country. Moreover, due to its geological formation, the main cities of the region not have material available that can be economically employed in construction. Moreover, the main capitals have displayed a high level of economic growth with an accelerated pace of new works with the consequent generation of waste construction. Thus, the technical solution for pavements with the use of construction and demolition waste is presented as an alternative technology of great economic and environmental interest. With the objective of obtaining parameters that allow an assessment of technical and economic feasibility of concrete made with the inclusion of construction and demolition wastes (CDW), specifically the RCA (recycled concrete aggregate), to the production interlocking pavers for pavement, in this work is presented a study of determination of its main mechanical properties, considering the partial replacement of the aggregate by the construction and demolition waste. In the development this work, we carried out tests of chareterizatian of the mechanical and physics properties concrete made with RCA, according to the Brazilian standards.

Dedico este trabalho a minha mãe, a toda minha família, e principalmente a minha esposa, Suzana Taveira, os quais sempre tiveram esperança a acreditaram no crescimento de minha pessoa e contribuíram para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que com toda a minha fé, acredita muito em mim e me ajudou a vencer mais esta etapa da vida.

Aos meus pais José Alberto e Flora, que têm a simplicidade como maior virtude, pela dedicação, amizade, amor, carinho e ainda pela graça de existirem como base principal de minha vida.

A todos os meus familiares, que sempre demonstraram muito carinho e atenção.

Ao meu orientador Vasconcelos. Confiou que eu fosse capaz de executar esta dissertação, pela aplicação e ajuda durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Campelo e Romildo. Ambos acreditaram na minha capacidade de realizar esta dissertação, pela atenção e auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos, Rafael, Lenize, Goreth, Edisley, Eudes, Batalha, Arlene, Ademar Lincoln, Eduardo Firmino, Jussara, Edissandra, Miriam que sempre me deram incentivo nas horas de maiores dificuldades.

Aos amigos que me ajudaram nos ensaios realizados na COPPE/UFRJ com muita disposição Luciane, João, Guilherme e Reila, por toda atenção e colaboração.

Aos técnicos e ao apoio administrativo da UFAM, Nilson, Jorge, Vera, Beatriz, Nelson e José pelo auxílio nos trabalhos realizados.

Aos técnicos do laboratório de estruturas da COPPE/UFRJ, em especial, ao Clodoaldo, Júlio, Arnaldo, Manuel, Flávio e Bruna, pelo auxílio nos trabalhos realizados.

A FAPEAM, pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo geral	18
1.2 Objetivos específicos	18
1.3 Justificativa do estudo.....	18
1.4 Estrutura da dissertação.....	19
2 AGREGADOS	20
2.1 Recursos minerais do estado do Amazona	20
2.1.1 Areia.....	20
2.1.2 Brita e Seixo.....	21
2.2 Resíduo de Construção e Demolição – RCD	22
2.2.1 Histórico.....	22
2.2.2 Diferença entre o ACR e o RCD	24
2.2.3 Origem da geração de resíduos de concreto	25
2.2.4 Características do ACR.....	26
2.2.5 Vantagens com a reciclagem de resíduos	27
2.2.6 Impedimentos na reciclagem de resíduos	27
2.2.7 Legislação atual	28
3 ARGAMASSAS	32
3.1 Definição e histórico	32
3.2 Classificações.....	33
3.3 Funções das argamassas, requisitos de desempenho e propriedades mais relevantes	34
3.3.1 Argamassas de assentamento de alvenaria	35
3.3.1.1 Trabalhabilidade	35

3.3.1.2 Aderência.....	36
3.3.1.3 Resistência mecânica.....	36
3.3.1.4 Capacidade de absorver deformações.....	36
3.3.2 Argamassas de revestimento.....	36
3.3.2.1 Trabalhabilidade.....	38
3.3.2.2 Retração.....	38
3.3.2.3 Aderência.....	38
3.3.2.4 Permeabilidade à água.....	39
3.3.2.5 Capacidade de absorver deformações.....	39
4 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO - PCPs.....	40
4.1 Histórico e Consumo	40
4.2 Emprego das PCPs na pavimentação rodoviária	41
4.3 Características das PCPs	42
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
5.1 Delineamento da pesquisa.....	45
5.2 Amostragem.....	45
5.3 Materiais	45
5.3.1 Cimento Portland	46
5.3.2 Agregado miúdo natural	46
5.3.3 Agregado graúdo.....	46
5.3.4 Agregado de concreto reciclado – ACR	46
5.3.5 Água.....	47
5.3.6 Aditivo superplastificante	47
5.4 Métodos	47
5.4.1 Ensaios tecnológicos.....	47
5.4.1.1 Abrasão Los Angeles.....	49

5.4.1.2 Composição granulométrica dos agregados	50
5.4.1.3 Impurezas orgânicas das areias.....	51
5.4.1.4 Massa unitária de agregados em estado solto	51
5.4.1.5 Massa específica de agregado miúdo – frasco Chapman	51
5.4.1.6 Massa específica e absorção de água do agregado graúdo	52
5.4.1.7 Teor de material pulverulento	53
5.4.1.8 Teor de argila em torrões e materiais friáveis	53
5.4.1.9 Redução da amostra de campo do ACR para ensaios de laboratórios.....	54
5.4.1.10 Granulometria a laser	55
5.4.1.11 Composição química	57
5.4.1.12 Termogavimetria	57
5.4.1.13 Picnometria à gás.....	58
5.4.2 Dosagem experimental	59
5.4.3 Ensaio no concreto fresco para fabricação da PCP e da argamassa.....	62
5.4.3.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone para o concreto fresco	63
5.4.3.2 Determinação do índice de consistência das argamassas	63
5.4.3.3 Moldagem e a cura dos corpos-de-prova.....	66
5.4.4 Ensaio no concreto endurecido para fabricação da PCP e da argamassa.....	67
5.4.4.1 Compressão axial.....	68
5.4.4.2 Absorção de água.....	71

6 RESULTADOS E ANÁLISES73

6.1 Caracterizações dos Materiais.....73

6.1.1 Agregado miúdo	73
6.1.2 Agregado graúdo.....	78
6.1.3 Agregado de concreto reciclado	79
6.1.4 Cimento.....	83

6.2 Corpos-de-prova das argamassas.....85

6.3 PCPs de concreto85

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
8 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	93
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
Anexo A	103
Anexo B	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do estado do Amazonas	21
Figura 2 – Mastersizer 2000	56
Figura 3 – Detalhe do Hidro Mu	56
Figura 4 – Equipamento DSC Q20.....	58
Figura 5 – Picnômetro a gás	59
Figura 6 – Fluxograma do processo de fabricação das PCPs	61
Figura 7 – Mistura do concreto de referência para fabricação da PCP	62
Figura 8 – Execução da fabricação da PCP na máquina vibro-prensa	62
Figura 9 – Misturador mecânico.....	63
Figura 10 – Mesa de consistência.....	64
Figura 11 – Medida retirada na mesa de consistência.....	65
Figura 12 – Moldes cilíndricos.....	66
Figura 13 – Moldagem e cura das PCPs.....	67
Figura 14 – Ensaio à compressão axial nos CPs das argamassas.....	68
Figura 15 – Capeamento com cimento nas PCPs.....	69
Figura 16 – Ensaio à compressão axial nas PCPs	70
Figura 17 – Curva granulométrica da areia I.....	75
Figura 18 – Curva granulométrica da areia II.....	76
Figura 19 – Difração de raios laser do agregado miúdo - areia II.....	76
Figura 20 – EDX do agregado miúdo - areia II.....	77
Figura 21 – Curva granulométrica do seixo	79

Figura 22 – Curva granulométrica do agregado de concreto reciclado.....	80
Figura 23 – Curva granulométrica do agregado de concreto reciclado e areia I.....	81
Figura 24 – Difração de raios laser do agregado de concreto reciclado.....	81
Figura 25 – EDX do agregado de concreto reciclado.....	82
Figura 26 – TGA do cimento.....	83
Figura 27 – Difração de raios laser do cimento.....	84
Figura 28 – EDX do cimento.....	84
Figura 29 – Resistência à compressão axial da argamassa.....	86
Figura 30 – Absorção da argamassa.....	88
Figura 31 – Resistência à compressão axial das PCPs.....	89
Figura 32 – Absorção das PCPs.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

A_b	Absorção de água do agregado graúdo
A/C	Fator água cimento
A_{la}	Abrasão <i>Los Angeles</i>
$D_{máx}$	Dimensão máxima do agregado
F_{ck}	Resistência característica à compressão em megapascal
L_f	Leitura final
M_a	Massa do agregado
M_{ar}	Massa da areia
M_f	Módulo de finura do agregado
Min	Minutos
M_d	Material destorrado
M_{es}	Massa específica de agregado miúdo
M_s	Massa específica do agregado graúdo
M_{se}	Massa do seixo
M_u	Massa unitária
Ra	Resistência de aderência
T_{mp}	Teor de material pulverulento
T_{pa}	Teor de argila em torrões e materiais friáveis
V_r	Volume do recipiente

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ACR	Agregado de concreto reciclado
ASTM	American Society for Testing and Materials
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEMULP	Departamento Municipal de Limpeza Pública
EUA	Estados Unidos da América
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes
IPAAM	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
NBR	Norma Brasileira Registrada
PCP	Pavimento de Concreto Pré-Moldado
PNRCD	Plano Nacional de Resíduos de Construção e Demolição
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RDM	Revestimento Decorativo Monocamada
S/P	Superplastificante
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas das PCPs fabricadas no Brasil - NBR 9781 (1987)	42
Tabela 2 – Características do projeto das PCPs na norma europeia EM 1338.....	43
Tabela 3 – Traços unitários das argamassas.....	60
Tabela 4 – Traços unitários das PCPs	60
Tabela 5 – Características físicas do agregado miúdo – Areia I	73
Tabela 6 – Características físicas do agregado miúdo – Areia II.....	74
Tabela 7 – Massa específica do agregado miúdo – Areia II	77
Tabela 8 – Características físicas do agregado graúdo.....	78
Tabela 9 – Características físicas do ACR.....	80
Tabela 10 – Massa específica do ACR.....	82
Tabela 11 – Massa específica do Cimento	85
Tabela 12 – Consumo de materiais das argamassas.....	85
Tabela 13 – Traço de referência - Absorção de água	86
Tabela 14 – 25 % de ACR - Absorção de água.....	87
Tabela 15 – 50 % de ACR - Absorção de água.....	87
Tabela 16 – 75 % de ACR - Absorção de água.....	87
Tabela 17 – 100 % de ACR - Absorção de água.....	87
Tabela 18 – Consumo de materiais das PCPs	88
Tabela 19 – Traço de referência - Absorção de água e teor de umidade.....	90
Tabela 20 – 25 % de ACR - Absorção de água e teor de umidade	90
Tabela 21 – 50 % de ACR - Absorção de água e teor de umidade	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos RCDs	29
Quadro 2 – Etapas dos projetos municipais de gerenciamento de resíduos	30
Quadro 3 – Disposição final dos RCDs em função de sua classificação	30
Quadro 4 – Prazos a partir de 02/01/2003, para projetos de gerenciamento de RCDs	31
Quadro 5 – Classificação das argamassas	33
Quadro 6 - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção	34
Quadro 7 – Limite de resistência de aderência à tração (Ra)	39
Quadro 8 – Ensaio empregados no presente trabalho	48

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é formada geologicamente por camadas de sedimentos quaternários e terciários não consolidados, cuja superfície é composta por materiais finos, caracterizados como areia, silte e argila.

Deste modo, não há disponibilidade suficiente de material pétreo nas principais cidades da região que possibilite seu emprego no setor da construção civil, principalmente na produção do concreto.

Além disso, as principais capitais vêm apresentando um nível de crescimento econômico elevado, traduzindo-se em um ritmo acelerado de novas obras com conseqüente geração de resíduos de construção.

Apesar das usinas de reciclagem no Brasil começarem a surgir a partir da década de 90, iniciada pelas administrações dos municípios das regiões Sul e Sudeste, só recentemente as operações de centrais de reciclagem de RCDs começaram a ser notadas pelo setor privado, e as prefeituras municipais começaram a investir na produção de materiais com esses resíduos.

Assim, a busca por uma solução técnica que possa dar uma destinação final a esse tipo de resíduo assume um papel fundamental para redução do impacto ambiental causado por esta atividade humana, além de se apresentar como uma solução economicamente viável.

Com base em problemas decorrentes de disposição irregular desses resíduos, estudou-se a produção de concretos aplicados na fabricação das PCPs (Peças de Concreto Pré-moldadas) e produção de argamassas com adição de agregado de concreto reciclado - ACR, visando incentivar a reciclagem e colaborar para que em um futuro próximo se tenha um maior aproveitamento deste resíduo. Sendo apresentado neste trabalho um estudo das principais propriedades mecânicas das argamassas e das peças de concreto para pavimentação - PCPs, considerando a substituição parcial do agregado miúdo natural por ACR. Para tanto, foram realizados no desenvolvimento desta pesquisa ensaios físicos e mecânicos em conformidade com as normas da ABNT. Além disso, foi realizada uma análise comparativa do desempenho entre as argamassas de referência e com substituição e PCP de referência e a PCP com substituição por ACR, de acordo com os objetivos descritos a seguir.

1.1 Objetivo geral

Avaliar a capacidade de utilização e aproveitamento do resíduo (redução do impacto ambiental) através do estudo das propriedades mecânicas das argamassas e das peças de concreto para pavimentação - PCPs, considerando a substituição parcial do agregado miúdo por agregado de concreto reciclado - ACR.

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar o agregado de concreto reciclado para aplicação em argamassas e peças de concreto para pavimentação – PCPs.

Fazer uma análise comparativa em termos das propriedades de resistência à compressão entre as argamassas e PCPs utilizando o ACR e as argamassas e PCPs utilizando areia.

Fazer uma análise comparativa em termos das propriedades físicas de absorção entre as argamassas e PCPs e utilizando areia como agregado miúdo e as argamassas e PCPs com a substituição parcial desta por ACR.

1.3 Justificativas do estudo

A primeira justificativa é em referência a originalidade do tema, salientando que em todos os trabalhos consultados foram encontrados apenas a utilização de agregado reciclado de RCD, em concreto simples, porém em nenhum trabalho encontra-se a aplicação de RCDs em PCPs, ou ainda a utilização do ACR em substituição da areia em argamassas e em concretos utilizados na fabricação das PCPs.

Tendo em vista que inúmeros trabalhos já foram apresentados com a utilização de RCD, ou seja, resíduo de construção e demolição, este trabalho foi executado com material mais homogêneo, conseqüentemente possuindo uma maior qualidade, adquirida através da reciclagem do concreto.

1.4 Estrutura da dissertação

Capítulo 1 – Introdução do estudo, apresentando a importância do tema, os objetivos da pesquisa e o seu conteúdo.

Capítulo 2 – Apresentação da origem e formação geológica das rochas empregadas na fabricação dos agregados graúdos e miúdos, além de resíduos de concreto reciclado em estudo, com definições e conceitos normativos, apresentando os aspectos operacionais para a produção destes materiais.

Capítulo 3 – Apresentação da definição, histórico, classificações e funções das argamassas.

Capítulo 4 – Apresentação da origem e características das peças de concreto para a pavimentação em estudo.

Capítulo 5 – Apresentação do programa experimental, caracterização dos materiais utilizados e descrição da metodologia dos ensaios.

Capítulo 6 – Apresentação dos resultados dos ensaios do programa experimental, assim como as discussões sobre os mesmos.

Capítulo 7 – Conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

Capítulo 8 – Apresentação das referências bibliográficas consultadas.

2 AGREGADOS

Neste capítulo dissertaremos sobre a origem e formação geológica dos agregados graúdos e miúdos e dos resíduos de concreto reciclado em estudo, com as definições e conceitos normativos, além dos aspectos operacionais para a produção destes materiais.

2.1 Recursos minerais do estado do Amazonas

2.1.1 Areia

A areia é um bem mineral amplamente usado na indústria da construção civil sendo composta essencialmente por grãos de quartzo (SiO_2). Sua demanda se faz em maior escala nas sedes municipais onde é geralmente extraída nos seus arredores, haja vista que seu baixo valor intrínseco não permite que seja transportada a grandes distâncias do local de consumo.

No estado do Amazonas, este bem mineral ocorre de forma abundante, geralmente associada às planícies aluvionares e aluviões recentes dos rios, onde constituem depósitos do tipo “barras de canais” e “dunas subaquáticas”. O aproveitamento desses depósitos é verificado nos municípios de Japurá, Japurá-Maraã, Tefé, Coari, Codajás, Anori, Anamã, Novo Ayrão, Nhamundá, São Sebastião do Uatumã, Itapiranga, Humaitá, Manicoré e São Gabriel da Cachoeira (Figura 1). Grande parte dos depósitos são produtos da bacia Iça, enquanto que aqueles da região de São Gabriel da Cachoeira correspondem a produtos da degradação intempérica de rochas do embasamento cristalino. Já as areias que são extraídas dos municípios de Maués, Apuí e Labrea também constituem depósitos aluvionares recentes ou resultam de alteração intempérica de rochas sedimentares (CPRM, 2005).

A areia empregada em Manaus, Parintins e Itacoatiara, juntamente com aquela extraída em pequena escala em Manacapuru e Iranduba são provenientes de depósitos formados por processos de podzolização de rochas cretáceas da formação Alter do Chão, composta por grãos de quartzo, sendo uma distância de transporte até o porto de Manaus da ordem de 500 km.

Estão registrados em Manaus 150 depósitos de areais, correspondendo a 400 ha ou 80 milhões de metros cúbicos de areia (CPRM, 2005).

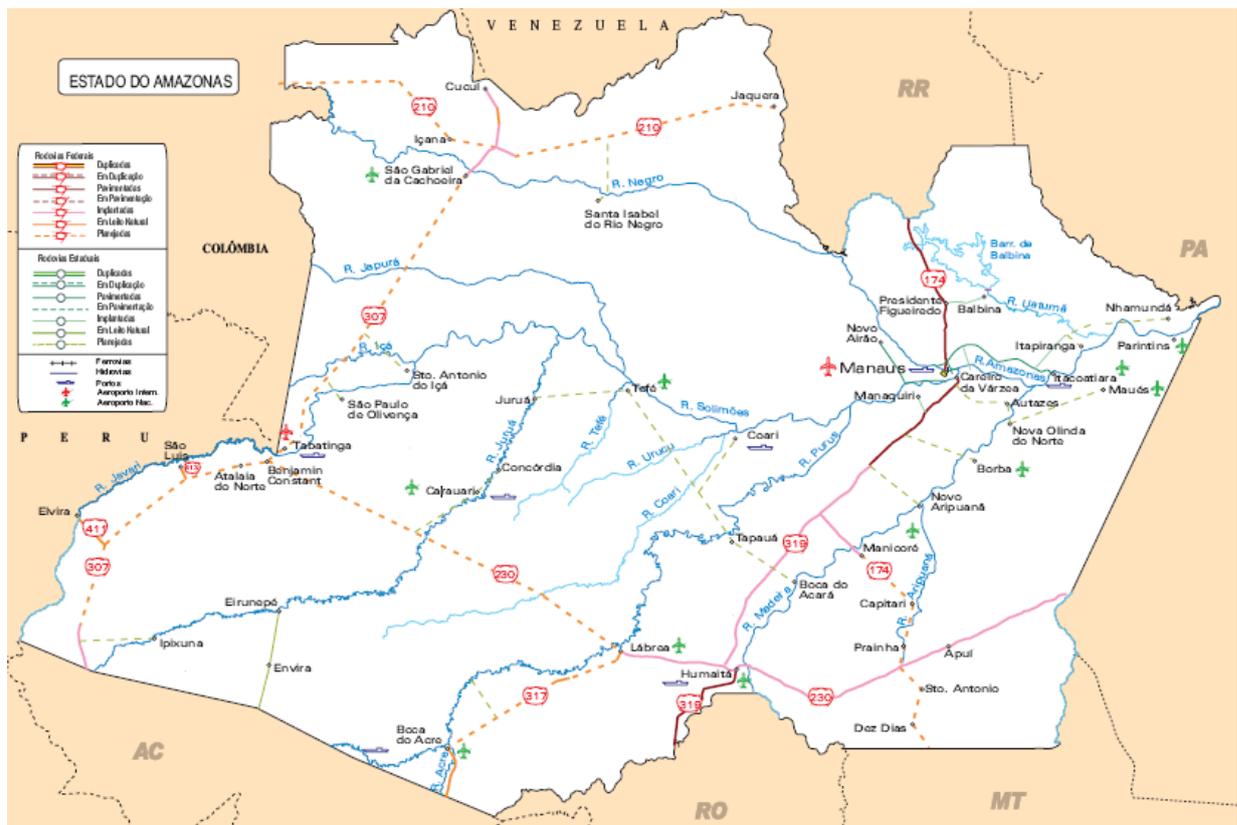


Figura 1 – Mapa do estado do Amazonas

Fonte: CPRM, 2005.

2.1.2 Brita e Seixo

A brita do estado do Amazonas é proveniente de quatro tipos de rochas:

- Arenitos silicificados da formação Alter do Chão que são encontrados no entorno de Manaus.
- Riolito e riodacito: rochas vulcânicas, encontradas na rodovia BR-174/AM, ramal do igarapé Canoas, município de Presidente Figueiredo.
- Rochas graníticas: também encontradas na BR-174/AM, entre os quilômetros 154 e 160.
- Gnaisses e metagranitos: encontrada no município de Barcelos, localidade de Moura.

A brita proveniente do município de Presidente Figueiredo é transportada à Manaus por via rodoviária enquanto que a proveniente de Moura é transportada por via hidroviária, chegando ao mercado consumidor com elevado valor.

Por outro lado, o seixo é encontrado no leito dos rios e extraído por meio de dragas. As principais incidências são:

- a) Rio Japurá: abrangendo áreas dos municípios de Japurá e Maraã;
- b) Rio Solimões: abrangendo áreas de Tefé, Coari, Codajás, Anori e Anamã;
- c) Rio Negro: abrangendo áreas de Novo Airão, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira;
- d) Rio Nhamundá: abrangendo áreas de Nhamundá, Faro e Parintins;
- e) Rio Uatumã: abrangendo áreas de São Sebastião do Uatumã e Itapiranga (atende Manaus);
- f) Rio Aripuanã: é o principal fornecedor de seixo do estado do Amazonas.

Em 2004 o consumo desse insumo em Manaus foi de 1.104.617 m³ (D'antona, 2006).

2.2 Resíduo de Construção e Demolição - RCD

2.2.1 Histórico

A construção civil gera resíduos em todas as suas etapas: produção dos materiais e componentes; atividades do canteiro; manutenção; modernização; e especificamente na demolição da obra.

Conhecidos por resíduos de construção e demolição (RCDs), somente os resíduos originados de perdas e desperdício das atividades de construção, manutenção e demolição de obras, recebem essa denominação (Jonh, 2000).

A quantidade de resíduos de construção e demolição civil é elevada em muitos países do mundo, variando de 136 a 3.359 kg/hab.ano (Jonh, 2000), sendo estimado que os mesmos representem de 13 a 80 % em massa dos resíduos sólidos urbanos gerados (Ângulo, 2000).

Na Espanha, o Plano Nacional de Resíduos de Construção e Demolição PNRCD (2001) traça diretrizes para emprego destes materiais e faz um balanço da geração de entulhos em cada estado, tendo sido este plano gerado em comum acordo com vários ministérios e sendo divulgado

pelo ministério do meio ambiente. Os resíduos de construção e demolição (RCD) têm código e leis normativas sobre os responsáveis por sua gestão. Tais códigos consideram que a maior parte deste material é inerte ou assemelhada à inerte e, portanto, sem contaminantes, no entanto tem um grande impacto visual pelo grande volume que ocupam e pelo escasso controle ambiental a que são submetidos. Além disso, o impacto ambiental altamente negativo vem do desperdício de matérias-primas nobres e não renováveis quando não se faz a reciclagem. Por exemplo, em Madri o relatório do PNRCD (2001) estima que haja uma geração de 1,7 t/habitante por ano de entulho.

Considerando que o PNRCD (2001) tem como princípio básico para este tipo de resíduo o mesmo que se define para qualquer outro tipo, o seu aproveitamento, considerando os seguintes aspectos:

- Prevenir a geração na medida do possível;
- Reutilizar o que se puder;
- Reciclar o que não se pode utilizar, com recuperação seletiva na origem com vistas ao seu posterior tratamento;
- Valorizar energeticamente tudo o que não se puder reutilizar ou reciclar;
- Depositar em aterros sanitários ou vertedouros somente em última opção.

Segundo estudos realizados em Madri, na Espanha, a composição dos resíduos de construção e demolição é 75 % de entulho, sendo 54 % ladrilhos, azulejos e outros materiais cerâmicos, 12 % concreto de cimento Portland, 5 % pedras e 4 % areias e outros agregados PNRCD (2001).

A cidade de São Paulo produz 0,50 t/hab.ano e recicla apenas 10 % deste valor. Isto demonstra a necessidade de investimentos para que se aumente a porcentagem efetiva reciclada, diminuindo assim os problemas causados à população e ao meio ambiente (Mizumoto et al, 2007).

Conforme Mota (2003) muitos municípios de porte médios e de grande porte no Brasil vêm cada dia mais tendo dificuldade de atender à demanda crescente de pavimentação das ruas de todos os bairros novos ou antigos, além de garantir a manutenção de toda a malha já pavimentada. Esta dificuldade tem várias causas, entre elas: legislação cada vez mais severa quanto à liberação de exploração de jazidas; areais e pedreiras no perímetro urbano; expansão desordenada dos loteamentos e favelas; crescimento acelerado da população urbana, crescimento da frota de veículos; e aumento da consciência reivindicatória, entre outras.

O sistema de coleta, transporte e disposição de RCD na cidade de Manaus, com área de 11.458,50 km² é realizado por empresas particulares, por meio de caminhões com caçamba aberta 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 único é o aterro controlado, situado na rodovia AM-010, km 19, administrado pela Prefeitura Municipal, através da Secretaria Municipal de Limpeza Pública (DEMULP), que recebe cerca de 2400 t/dia (Ribas, 2008). Além disso, foi detectada apenas uma única usina de reciclagem na cidade de Manaus, que foi criada em 1998 por uma empresa do ramo da construção civil.

2.2.2 Diferença entre o ACR e o RCD

Considerando que o foco da pesquisa é o resíduo de concreto ou ACR – Agregado de Concreto Reciclado, deve-se salientar as principais diferenças entre o resíduo de concreto e o resíduo de construção e demolição (RCD).

Conforme Buttler (2003), os resíduos de concreto incluem preponderantemente rejeitos oriundos da demolição de estruturas de concreto, resíduos de usinas de concreto pré-misturado, fábrica de elementos pré-moldados e pavimentos de concreto. No entanto, o RCD é todo e qualquer resíduo proveniente das atividades de construção, sejam eles de novas construções, reformas, demolições, obras de arte e limpeza de terrenos com presença de solos ou vegetação (Ângulo, 2005).

Em relação à composição desses resíduos, pode-se dizer que a fração representada pelo concreto geralmente está presente na composição mineral do RCD natural das atividades de construção e demolição, além da presença de outros materiais, tais como, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, gesso, etc. As diferentes frações presentes no RCD são responsáveis pela heterogeneidade do agregado reciclado e, conforme (Ângulo, 2005), essas frações variam para cada canteiro de obras. Essas características dos resíduos de construção e demolição dificultam sua reciclagem e aplicação do agregado reciclado para a produção do concreto e elementos pré-moldados. Conseqüentemente grande parte do agregado reciclado de RCD ou agregado reciclado misto ainda é aplicada com baixo valor agregado, em serviços. Tais como, bases e sub-bases de pavimentos, obras de contenção e aterros (ALAEJOS et AL., ÂNGULO et AL., 2004). A

separação do concreto, notadamente de maior qualidade, das demais fases do RCD ainda é extremamente onerosa e de difícil reprodutibilidade por se tratar de um processo de separação visual; por isso, diversos pesquisadores estão investigando processos de separação do RCD por via densitária (ÂNGULO, 2005; JUNGSMANN; QUINDT, 1999).

Destaca-se que existem normas e especificações que são menos restritivas no caso de emprego de agregados reciclados de concreto, comparativamente aos agregados reciclados de RCD, permitindo o emprego desses agregados para concretos de até 60 MPa (BS 8500: Part 2, 2002; RILEM RECOMMENDATION, 1994); já outras normas, tais como, a revisão do código espanhol citada por Alaejos et AL. (2004) e o texto normativo brasileiro citado por Oliveira et al. (2004), que estão em fase de elaboração, permitirão apenas o emprego de agregados reciclados oriundos de resíduos de concreto para a produção de concreto estrutural.

2.2.3 Origem da geração de resíduos de concreto

Conforme estudos realizados, as maiores fontes de geração de resíduos de concretos são: usinas de concreto pré-misturado; fábricas de pré-moldados e pavimentos de concreto; e obras de arte.

Nas fábricas de pré-moldados, o concreto desperdiçado é oriundo de elementos rejeitados pelo controle de qualidade final de linhas de produção e sobras de concreto ao final do processo. Também as usinas de concreto pré-misturado geram este tipo de resíduo, tendo em vista que o concreto desperdiçado nessas centrais pode ser oriundo de diversas fontes, seja pelo retorno de sobras de concreto nos caminhões betoneira, bombas de concreto ou pela lavagem dos caminhões e instalações da central dosadora. Estes resíduos podem ser aproveitados em plantas de reciclagem de primeira geração, citadas por ACI 555-R01 (2002), sendo que a presença de contaminantes pode ser considerada desprezível, uma vez que essas plantas de reciclagem são construídas essencialmente de um alimentador vibratório, britador primário/secundário e um peneirador vibratório.

2.2.4 Características do ACR

Conforme Mizumoto et al (2007), a escassez de recursos naturais extraídos no planeta e a redução das áreas úteis em centros urbanos são as principais responsáveis pelo desenvolvimento de estudos sobre reaproveitamento de resíduos na construção civil. Entre os resíduos gerados, os provenientes do concreto são os que apresentam maior potencial de reciclagem, pelo conhecimento de suas propriedades básicas e da menor heterogeneidade e contaminação com outros materiais. A utilização de agregados reciclados de concreto na produção de novos concretos contribuirá para a preservação dos recursos naturais e para diminuição do volume de resíduos depositados em aterros.

Para Carneiro et al (2001), deve-se definir parâmetros adequados ao emprego do agregado reciclado (frações graúda e miúda) na produção de materiais de construção e sua utilização ótima na construção civil. Este apresenta um estudo no qual a equipe do projeto “Entulho Bom” de Salvador, utilizou os seguintes ensaios para a obtenção dos parâmetros adequados do agregado reciclado:

- Análise granulométrica (NBR 7181);
- Limites de liquidez e plasticidade (NBR 6459; NBR 7180);
- Teor de materiais pulverulentos (NBR 7219);
- Massa específica (NBR 9776; NBR 6508; NBR 9937; Neville, 1997);
- Massa unitária (NM 45);
- Inchamento (NBR 6467);
- Absorção de água (NBR 9937; NBR 9777; Leite, 2001);
- Massa unitária (NM 45);
- Índice de forma (NBR 7809);
- Abrasão *Los Angeles* (NBR 6465);
- Impurezas orgânicas (NBR 7220);
- Teores de cloretos, Nitratos e Sulfatos (Teutonico, 1988);
- Lixiviação e solubilização (NBR 10004; NBR 10005; NBR 10006).

Com base nestes ensaios, Carneiro et al (2001) observaram que a fração graúda do agregado reciclado apresentou potencial de uso na produção de camadas de pavimentos e

concreto não estrutural. Além de apresentar potencial uso em camadas de pavimento, mostrou-se também aplicável a argamassas, tijolos e blocos. Quanto ao critério econômico, por exemplo em Salvador, o valor a ser comercializado pode chegar a 50 % daquele referente ao agregado natural. Deve-se salientar que esta relação irá variar de acordo com a região.

2.2.5 Vantagens com a reciclagem de resíduos

Com a reciclagem de resíduos detectamos varias vantagens, dentre as quais Jonh (2000) enfatiza:

- A preservação de recursos naturais pela substituição por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna;
- A redução de volumes de aterros e da prática de incineração, especialmente dos aterros com resíduos perigosos ou não-inertes, que concentram substâncias químicas em teores que se tornam perigosas e podem contaminar o lençol freático;
- A redução do consumo energético para a produção de um determinado bem;
- O aumento da durabilidade da construção em determinadas situações, como já comprovada por inúmeros estudos na área de adições de escórias de alto forno e pozolanas ao cimento;
- A redução da poluição emitida para a fabricação de um mesmo produto;
- A redução dos custos da proteção ambiental, pois a reciclagem permite gerar valor a partir de um produto que antes constituía em despesas;
- O aumento da geração de empregos e da competitividade da economia;
- A economia de divisas, na eventualidade da importação de algumas das matérias-primas recicladas.

2.2.6 Impedimentos na reciclagem de resíduos

Existem inúmeros impedimentos que necessitam ser superados na utilização de novos produtos contendo resíduos, os quais Jonh & Agopyan (2001) enfatizam:

- No país, a única tecnologia consagrada capaz de consumir os grandes volumes de resíduos gerados é a pavimentação, que possui praticamente um cliente, as municipalidades, cuja descontinuidade entre gestões e a incerteza quanto a pagamentos, torna o negócio pouco atrativo ao setor privado. Assim sendo, é fundamental o desenvolvimento de mercados alternativos;

- A introdução de um novo produto no mercado de construção civil é muito difícil, pois envolve o desenvolvimento de aplicações onde os produtos contendo agregado reciclado apresentem não só vantagens tecnológicas sobre os produtos tradicionais, mas também preço bastante compatível, uma vez de que sempre existe o temor de que os clientes considerem um produto contendo resíduos de menor qualidade. Limitação que somente pode ser enfrentada por uma política consistente e prolongada de educação ambiental. Para tanto, o desenvolvimento de marcas de qualidade ambiental de produto, que são essencialmente diferentes da certificação ambiental de empresas, serão certamente importantes no processo;

- As aplicações de resíduos na produção de concretos, componentes de baixa resistência, pavimentação e argamassas ainda necessitam ser desenvolvidas, adequadamente testadas e amplamente divulgadas;

- As centrais de reciclagem precisam estar localizadas nas zonas urbanas o mais próximo possível do local de geração de resíduos, porém encontram dificuldades para sua localização, pois enfrentam problemas de licenciamento ambiental, zoneamento urbano e oposição de moradores;

- Os RCDs chegam totalmente misturados a central de reciclagem aumentando significativamente os custos de sua operação e inviabilizando a produção de concretos que utilizam agregado reciclado, sendo necessário melhorar o manejo dos RCDs em sua geração para que eles cheguem às centrais de reciclagem classificados conforme sua natureza;

- Falta uma normatização adequada que seja capaz de abrir o mercado, não só aos agregados reciclados, mas também os produtos com eles confeccionados.

2.2.7 Legislação atual

A resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece, além dos responsáveis pela destinação final e pelo gerenciamento dos resíduos, a classificação dos RCDs, conforme (Quadro 1), as etapas dos projetos municipais de

gerenciamento de resíduos (Quadro 2), a disposição final em função da classificação estabelecida (Quadro 3), e os prazos a serem cumpridos pelas administrações municipais a partir de 2 de janeiro de 2003 (Quadro 4).

Conforme a resolução nº 307 do CONAMA, os responsáveis pela destinação final e pelo gerenciamento dos resíduos da construção e demolição civil são o proprietário do imóvel ou do empreendimento, o construtor ou empresa construtora, bem como qualquer pessoa que tenha poder de decisão na construção e reforma, além das empresas e das pessoas que prestam serviços de coleta ou disposição de RCDs no município (CONAMA,2002).

Quadro 1 – Classificação dos RCDs (CONAMA, 2002)

Classes	Características
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado: <ul style="list-style-type: none"> a) Resíduo de construção, demolição e reformas de obras de pavimentação e infra-estrutura; b) Resíduo de construção, demolição e reformas de edificações como componentes cerâmicos, argamassa e concreto; c) Resíduo do processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldados em concreto como blocos, tubos, meios-fios, etc, e produzidas nos canteiros de obras.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papelão, metais, madeira e etc.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias e aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem, como os resíduos oriundos do gesso.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, e aqueles contaminados de demolições, reformas e reparos em clínicas radiológicas, instalações industriais e etc.

Quadro 2 – Etapas dos projetos municipais de gerenciamento de resíduos (CONAMA, 2002)

Etapas	Objetivos
Caracterização	Identificar e quantificar os resíduos.
Triagem	A triagem dos resíduos deverá ser realizada na origem ou nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade.
Acondicionamento	O confinamento dos resíduos após a geração até o transporte deverá assegurar a sua reutilização ou reciclagem.
Transporte	O transporte deverá ser realizado de acordo com as normas vigentes para o transporte de resíduos.
Destinação	A destinação o disposição final dos resíduos deverá ser realizada em função de sua classificação.

Quadro 3 – Disposição final dos RCDs em função de sua classificação (CONAMA, 2002)

Classe	Destinação e disposição final
A	Reutilizados e reciclados na forma de agregados ou encaminhados às áreas de aterros de resíduos da construção e demolição civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua reutilização ou reciclagem futura.
B	Reutilizados, reciclados ou encaminhados às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de forma a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Armazenados, transportados reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Quadro 4 – Prazos a partir de 02/01/2003, para elaboração de projetos de gerenciamento de RCDs (CONAMA, 2002)

Prazos	Obrigações dos municípios e do Distrito Federal
12 meses	Os municípios e o Distrito Federal deverão elaborar seus planos integrados de gerenciamento de resíduos da construção e demolição civil.
18 meses	A implementação do plano deverá ser realizada.
18 meses	Os municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de RCDs em aterros domiciliares e áreas de “bota-fora”.
24 meses	Os geradores deverão incluir os projetos de gerenciamento de resíduos nos projetos de obras a serem submetidos a aprovação ou licenciamento dos órgãos competentes.

3 ARGAMASSAS

Neste capítulo dissertaremos sobre a definição, histórico, classificações e funções das argamassas, tendo estas propriedades bastante relevância nos estudos operacionais para a produção das argamassas.

3.1 Definição e histórico

As argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

São materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra.

Os primeiros registros de empregos de argamassa como material de construção são da pré-história, há cerca de 11.000 anos. No sul da Galiléia, próximo de Yiftah`el, em Israel, foi descoberto em 1985, quando de uma escavação para abrir uma rua, o que hoje é considerado o registro mais antigo de emprego de argamassa pela humanidade: um piso polido de 180 m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido produzido entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C. O segundo registro mais antigo é de 5.600 a.C., em uma laje de 25 cm de espessura, também executada com argamassa de cal, no pátio da Vila de Lepenske-Vir, hoje Iugoslávia.

As argamassas mais antigas eram à base de cal e areia. No entanto com as alterações das técnicas de construção, novos materiais foram desenvolvidos. As argamassas modernas geralmente possuem em sua composição o cimento Portland e, muito freqüentemente, aditivos orgânicos, para melhorar algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Esses aditivos são, por exemplo, os incorporadores de ar que modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar, ou mesmo, os aditivos retentores de água (à base de ésteres de celulose, os quais regulam a perda da água de amassamento). Já no final do século XIX surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas, dosadas em plantas industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água (Isaia, 2007).

3.2 Classificações

Segundo Isaia (2007), as argamassas podem ser classificadas com relação a vários critérios, alguns dos quais são propostos no (Quadro 5).

Quadro 5 – Classificação das argamassas (Isaia, 2007)

Crítérios de classificação	Objetivos
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo do aglomerante	Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal Argamassa de gesso Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca Argamassa plástica Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra Argamassa média ou cheia Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve Argamassa normal Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra Mistura semipronta para argamassa Argamassa industrializada Argamassa dosada em central

Com relação a sua função na construção, classifica-se as argamassas segundo o resumo apresentado no (Quadro 6).

Quadro 6 – Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção (Isaia, 2007).

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) Argamassa de fixação (ou encunhamento)
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

3.3 Funções das argamassas, requisitos de desempenho e propriedades mais relevantes

As funções das argamassas estão associadas diretamente às suas finalidades ou aplicações, as quais são descritas a seguir.

3.3.1 Argamassa de assentamento de alvenaria

As argamassas de assentamento de alvenarias são utilizadas para elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos, também chamados de unidades de alvenaria. As principais funções das juntas de argamassa de alvenaria são:

- Unir as unidades de alvenaria de forma a constituir um elemento monolítico, contribuindo na resistência dos esforços laterais;
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- Selar as juntas garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas;
- Absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica), a que a alvenaria estiver sujeita.

Para cumprir essas funções, algumas propriedades tornam-se essenciais. Especificamente as argamassas de assentamento, as principais propriedades almejadas são:

- Trabalhabilidade – consistência e plasticidade adequadas ao processo de execução, além de uma elevada retenção de água;
- Aderência;
- Resistência mecânica;
- Capacidade de absorver deformações.

3.3.1.1 Trabalhabilidade

É a propriedade que garantirá as condições de execução das paredes. Por exemplo, se a argamassa não apresentar consistência adequada, estando muito fluida quando da colocação de um bloco sobre a junta de assentamento que ainda está no estado fresco, à argamassa pode ser esmagada em demasia, gerando uma junta de altura inadequada, ou seja, de espessura menor do que a prevista, além de dificultar a execução da parede no alinhamento e no prumo. Por outro

lado, deve-se ajustar a trabalhabilidade, principalmente a plasticidade da argamassa, à forma de aplicação.

3.3.1.2 Aderência

É uma propriedade essencial no caso das argamassas de assentamento, tendo em vista que ela permitirá à parede resistir aos esforços de cisalhamento e de tração, além de garantir à estanqueidade das juntas, impedindo a penetração da água das chuvas.

3.3.1.3 Resistência mecânica

Direcionada a resistência à compressão, sabe-se que argamassa deve adquirir rapidamente alguma resistência, permitindo o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, bem como desenvolver resistência adequada ao longo do tempo. Apesar disso, não são necessárias resistências altas das argamassas para garantir o bom desempenho das paredes; pelo contrário, a resistência da argamassa não deve nunca ser superior à resistência dos blocos. Isso ocorre porque a argamassa exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria, comportamento explicado pelo estado multiaxial de tensões ao qual a junta de argamassa está submetida, devido à restrição de deformações laterais que os blocos impõem à junta.

3.3.1.4 Capacidade de absorver deformações

Está associada ao módulo de elasticidade da argamassa. A argamassa de assentamento deve poder se deformar sem apresentar fissuras prejudiciais, ou seja, ela deve, quando sujeita a solicitações diversas, apenas apresentar microfissuras.

3.3.2 Argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, etc.

O revestimento de argamassa pode ser construído por várias camadas com características e funções específicas, conforme descrito a seguir:

- **Chapisco:** camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

- **Emboço:** camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo (por exemplo, cerâmica).

- **Reboco:** camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo (por exemplo, pintura) ou que se constitua no acabamento final.

- **Camada única:** revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura; também chamado popularmente de “massa única” ou “reboco paulista” é atualmente a alternativa mais empregada no Brasil.

- **Revestimento decorativo monocamada** (ou monocapa) – RDM: Trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizada na Europa. A argamassa de RDM é um produto industrializado, ainda não normatizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, etc.).

As principais funções de um revestimento de argamassa de parede são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura contra ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos;

- Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (aproximadamente 30 %), isolamento acústico (aproximadamente

50%), estanqueidade à água (aproximadamente 70 a 100 %), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;

- Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Com o objetivo de satisfazer às funções citadas anteriormente, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, a saber:

- Trabalhabilidade, especialmente a consistência, plasticidade e adesão inicial;
- Retração;
- Aderência;
- Permeabilidade a água;
- Capacidade de absorver deformações.

3.3.2.1 Trabalhabilidade

É a propriedade que garantirá não só as condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço. Deve-se ajustar a trabalhabilidade da argamassa à sua forma de aplicação em obra.

3.3.2.2 Retração

Será apresentada no estado fresco, após a aplicação da argamassa, esta propriedade está relacionada diretamente com a fissuração do revestimento.

3.3.2.3 Aderência

No estado endurecido é a propriedade fundamental, sem a qual o revestimento de argamassa não atenderá a nenhuma de suas funções. Esta permitirá ao revestimento de argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato. É uma propriedade que possui critério de desempenho especificado em norma no Brasil, conforme no (Quadro 7).

Quadro 7 – Limite de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa de paredes (emboço e camada única), segundo a NBR 13749 (1996)

Local	Acabamento	Ra(MPa)
Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$

3.3.2.4 Permeabilidade a água

É a propriedade que está relacionada com a função de estanqueidade da parede, muito importante quando se trata de revestimentos de fachada.

3.3.2.5 Capacidade de absorver deformações

É a propriedade que está relacionada com a capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de maneira a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade. Essa complexa propriedade está associada ao módulo de elasticidade e à resistência mecânica das argamassas e influenciará tanto na fissuração como na aderência dos revestimentos.

4 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO - PCPs

Neste capítulo dissertaremos sobre a origem e características das peças de concreto para pavimentação em estudo, apresentando definições e conceitos normativos, além dos aspectos operacionais para a produção destas peças.

4.1 Histórico e consumo

Segundo Shackel (1990), a pavimentação com peças segmentadas vem sendo aplicada pelo homem desde a Idade Média. Conforme a natureza das peças, estas tinham como base a oferta dos materiais locais com utilização de técnicas aprimoradas de execução. O processo de evolução destas peças segmentadas é representado por quatro tipos de materiais: blocos de tijolos de argila, pedras talhadas e aparelhadas manualmente, blocos de tijolos de madeira e peças pré-moldadas de concreto.

Nos EUA, a cada cinco anos dobra a quantidade em metros quadrados de área aplicada de pavimentos pré-moldados de concreto. O que eram 4 milhões de metros quadrados em 1980, em 2000 já atingia a marca de 40 milhões a mais de metros quadrados aplicados. O crescimento semelhante tem sido registrado na Bélgica, Alemanha, Austrália, nova Zelândia e África do Sul (Smith, 2003).

No Brasil, teve seu início de aplicação no final dos anos 50, mas tomando força apenas na década de 70. Este consumo tem sido registrado pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um dos mais expressivos dos produtos pré-moldados que utilizam o cimento Portland. Na cidade do Rio de Janeiro, programas de urbanização como o Rio Cidade e Favela Bairro já assentaram mais de 1.000.000 de metros quadrados de pavimentos na área urbana da cidade, nos últimos cinco anos (ABCP, 1994).

Na região Norte existe histórico da aplicação de pavimentos pré-moldados. Na capital do Acre, Rio Branco, a tecnologia dos blocos de tijolos de argila na pavimentação de suas ruas existe desde 1940. Esta matéria-prima deve apresentar alto índice de resistência à compressão, para que, quando convenientemente preparada e queimada, dê origem a blocos que apresentem boa resistência à compressão e ao desgaste. (FUNTAC, 1997).

4.2 Emprego das PCPs na pavimentação rodoviária

Conforme dados do GEIPOT (2000) - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, o Brasil possui uma rede de 160.000 km de malha rodoviária pavimentada para um total de 1.559.941 km de estradas não pavimentadas, apresentando uma densidade de rodovias pavimentadas por área territorial de 0,0187 km/km² muito aquém das necessidades do país. Cerca de 92 % da malha rodoviária não pavimentada encontra-se sob responsabilidade do poder público municipal e atende a maior parte de escoamento da produção agrícola e industrial de pequeno porte, que às vezes são inviabilizadas devido à precariedade do sistema de transporte.

Para Ligorio (1976), estas aplicações são das mais variadas, dentre as quais se podem destacar:

- a) Ruas e avenidas;
- b) Pátios de estacionamento;
- c) Pisos de áreas industriais;
- d) Paradas de veículos de transporte coletivo;
- e) Depósitos de mercadorias;
- f) Pisos rurais, currais, bebedouros;
- g) Exposições e feiras;
- h) Praças e jardins;
- i) Calçadas;
- j) Faixas demarcatórias;
- k) Como alerta de perigo em curvas, passagens de nível ferroviário e interseções de estradas.

Existem casos que se julga imprescindível a utilização do pavimento intertravado de concreto, entre eles podem ser citados os seguintes:

- Trechos de estradas que coincidem com saídas e entradas de cidades densamente povoadas, para as quais estão previstos os serviços de água e esgoto;
- Trechos onde as características do solo do subleito não ofereçam boas condições de suporte, sem possibilidades de remoção do mesmo, e as condições locais não permitam a elevação do *greide*;

- Em pavimentações executadas sobre aterros recentemente concluídas, sujeito a recalques acentuados;
- Rampas íngremes, permitindo maior segurança de circulação, principalmente na época das chuvas.

4.3 Características das PCPs

Para Ligorio (1976), as principais características do pavimento intertravado de concreto são:

- Fabricação em série, que proporcionam alta qualidade e uniformidade de dimensões;
- Eliminação das operações de acabamento superficial no lugar da instalação;
- Utilização imediata do pavimento, após a instalação dos blocos;
- Remoção total ou parcial do pavimento, rápida e sem ruptura dos blocos, para permitir a instalação de canalizações subterrâneas, ou para nova utilização em outro lugar, com total reaproveitamento;
- Reposição rápida dos blocos rompidos;
- Grande resistência a abrasão e a os agentes agressivos.

Conforme a norma NBR 9781 (1987), as PCPs são definidas como peças pré-moldadas de formatos geométricos regular, com comprimento máximo de 400 mm, largura mínima de 100 mm e altura mínima de 60 mm. Especifica-se, conforme a NBR 9781 (1987), algumas características físicas para o emprego de peças pré-moldadas, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas das PCPs fabricadas no Brasil - NBR 9781(1987).

Características Físicas		Limites admissíveis
Tolerância Dimensional (mm)	Comprimento	$\pm 3,0$ mm
	Largura	$\pm 3,0$ mm
	Altura	$\pm 5,0$ mm
Resistência à compressão Axial (MPa)	1	$\geq 35,0$ Veículos comerciais de linha
	2	$\geq 50,0$ Veículos especiais ou cargas que produzem acentuados efeitos de abrasão

Do mesmo modo, a norma européia unificada EM 1338, determina a conformidade das PCP conforme a tabela 2 (Fioriti, 2002).

Tabela 2 – Características do projeto das PCPs na norma européia EM 1338.

Tipo de Requisito		Limites Admissíveis			
Resistência a ciclos de gelo-degelo		Média de 3 resultados < 1,0 kg/m ² e nenhum resultado individual > 1,5 kg/m ²			
Absorção		< 6,0 %			
Resistência à tração por compressão		Nenhum resultado individual < 3,6 MPa e a Carga de ruptura < 250 N/mm			
Resistência à abrasão		≤ 23 mm - Ensaio com disco metálico ≤ 20 cm ³ / 50 cm ² - Disco de Bohme			
Resistência à frenagem/escorregamento (Pêndulo Britânico)		> 45			
Aspectos visuais - Textura e Cor		Nenhum PCP deve apresentar fissuras, quebras ou delaminação (No caso de PCP de dupla camada)			
Tolerância Dimensional (mm)	Altura da peça	Comprimento	Largura	Altura	
	< 100 mm	± 2	± 2	± 3	
	> 100 mm	± 3	± 3	± 4	

A norma brasileira NBR 9781 (1987) tem mais de vinte anos e considerando o expressivo aumento da demanda por este tipo de pavimento no país, além da experiência prática adquirida durante anos, deve-se priorizar a revisão dos parâmetros normativos da NBR 9781 (1987), adequando-os aos parâmetros internacionais. No Brasil, o que se observa é que as normas existentes não conseguem cobrir as necessidades do mercado que as utilizam. Um exemplo recente é a adoção da prefeitura do Rio de Janeiro por Peças de Concreto para Pavimentação de 40 mm de espessura para praças, ciclovias, calçadas e etc., apesar da norma NBR 9781 (1987) especificar 60 mm como espessura mínima de utilização.

Segundo levantamento realizado, existem mais de 600.000 m² de PCP aplicadas na cidade do Rio de Janeiro em áreas como calçadas, praças, ciclovias, áreas residenciais e comerciais, com espessura de 40 mm. Pelo menos 20 % das áreas identificadas possuem mais de

8 anos em serviço, apresentando excelente desempenho. O problema neste tipo de produto reside no fato de não existir regulamentação, os parâmetros de qualidade são acordados entre fabricante e consumidor sem nenhum compromisso formal (Cruz, 2003).

Nas revisões futuras da norma brasileira, além da regulamentação de outros limites de espessura, torna-se necessária a inclusão de novas exigências, como por exemplo, ensaios de abrasão e absorção. Além disso, é essencial a criação de um anexo de recomendação para a execução da PCP, limitando a espessura do colchão de areia, definindo materiais, espessura de camadas de base e técnicas de assentamento.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são descritos o tipo da pesquisa, os parâmetros adotados para a amostragem dos materiais utilizados e os produzidos, além de suas respectivas características, bem como os métodos utilizados em suas caracterizações.

5.1 Delineamento da pesquisa

Caracterizada como experimental, a pesquisa tem como objeto de estudo a utilização do ACR, coletado no município de Manaus no Amazonas, com a finalidade de avaliar sua aplicação nas argamassas e na produção de peças de concreto para pavimentação.

As variáveis e as formas de controle foram definidas de acordo com as normas técnicas da ABNT, tendo sido os resultados comparados com os da argamassa e do concreto com agregado convencionalmente empregado na cidade de Manaus.

5.2 Amostragem

Os procedimentos de coleta e amostragem dos materiais para a execução dos ensaios tecnológicos foram realizados de acordo com as normas técnicas da ABNT – NBR NM 26 e NBR NM 27.

5.3 Materiais

Tendo em vista os objetivos da pesquisa, a seguir são apresentados os componentes utilizados na produção das argamassas e na produção das PCPs: cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água, superplastificante e ACR.

5.3.1 Cimento Portland

O cimento usado neste trabalho foi o CP-I-32, comercializado pela empresa Cimento Vencemos do Amazonas LTDA. Ressalta-se que este cimento não possui qualquer adição, conforme o Anexo A.

5.3.2 Agregado miúdo natural

Conforme os parâmetros normativos para emprego de areia em argamassas foi ensaiada uma amostra de 1,0 m³ de origem do comércio do Rio de Janeiro, para a produção das argamassas identificada na pesquisa como areia II.

Considerando que o objetivo é a utilização de uma areia característica da região, conforme os parâmetros normativos para emprego em concreto foi ensaiada uma amostra de 5,0 m³ de origem do comércio de Manaus, para a produção das PCPs identificada como areia I.

O objetivo de ter sido utilizada uma areia cuja origem é do comércio do Rio de Janeiro foi o de verificar se haveria alguma diferença significativa nos resultados em relação aqueles apresentados com a areia oriunda do comércio de Manaus.

5.3.3 Agregado graúdo

Tendo como objetivo a utilização de um seixo com característica da região, conforme os parâmetros normativos para emprego em concreto, foi ensaiada uma amostra de 4,5 m³ de origem do comércio de Manaus.

5.3.4 Agregado de concreto reciclado - ACR

As amostras de ACR para a pesquisa foram adquiridas na empresa TAM Tubos Ltda, que possui um sistema de armazenagem dos blocos de concreto, meio-fio, manilhas e das peças de concreto pré-moldadas fabricadas e “rejeitadas” pelo controle de qualidade.

5.3.5 Água

Na execução das argamassas foi utilizada a água proveniente dos poços da COPPE/UFRJ, que atendeu as características recomendadas pela NBR 6118.

Na produção das PCPs foi utilizada a água proveniente dos poços e reservatórios da TAM Tubos Ltda, que atendeu as características recomendadas pela NBR 6118.

5.3.6 Aditivo superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado na produção das argamassas foi o Glenium 51, da BASF *Construction Chemicals* Brasil com teor de sólidos de 30,10 %, tendo uma densidade de 1,069 g/cm³, pH de 6,750 e aparência esbranquiçada. Todos estes dados foram fornecidos pelo fabricante, por meio do certificado de análise N^o 2474/07, conforme Anexo A.

5.4 Métodos

Com o objetivo de desenvolver um experimento que simulasse a realidade do que é produzido no setor da construção civil, com relação às argamassas e as peças pré-moldadas de concreto aplicadas na pavimentação, foram empregados os métodos descritos a seguir.

5.4.1 Ensaios tecnológicos

Foram executados ensaios tecnológicos para caracterização dos agregados, estudos de dosagens e experimentos com as argamassas e com os concretos produzidos no estado fresco e endurecido.

Os ensaios para análise do ACR na determinação da composição química foram realizados no laboratório da COPPE/UFRJ na cidade do Rio de Janeiro-RJ, por meio da amostra previamente preparada pelo autor no laboratório da UFAM, em Manaus-AM. Os procedimentos executados pelos técnicos do laboratório da COPPE/UFRJ foram acompanhados pelo autor em todas as etapas dos ensaios descritos.

Os ensaios restantes foram executados no laboratório de materiais da Faculdade de Tecnologia da UFAM, pelo autor, sendo orientado pelos técnicos de laboratório da instituição para operar os equipamentos e manuseio das ferramentas. Além disso, a última parte dos ensaios foi executado nos laboratório da COPPE/UFRJ seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

A seguir descreveremos os ensaios de caracterização tecnológica dos agregados, o método de dosagem da argamassa e do concreto para fabricação das PCPs e os ensaios realizados nas argamassas e nos concretos para fabricação das PCPs no estado fresco e endurecidos, conforme o (Quadro 8) .

Quadro 8 – Ensaios empregados no presente trabalho

Ensaio	Norma
Abrasão <i>Los Angeles</i>	(NBR NM 51; 2001)
Composição granulométrica dos agregados	(NBR NM 248; 2003)
Impurezas orgânicas das areias	(NBR NM 49; 2001)
Massa unitária de agregados em estado solto	(NBR 7251; 1981)
Massa específica de agregado miúdo – frasco Chapman	(NBR NM 52; 2002)
Massa específica e absorção de água do agregado graúdo	(NBR NM 53; 2003)
Teor de material pulverulento	(NBR NM 46; 2003)
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	(NBR 7218; 1987)
Redução da amostra de campo para ensaios de laboratórios	(NBR NM 27; 2001)
Dosagem experimental de concreto	Método da ABCP
Resistência à compressão das PCPs	(NBR 9780; 1987)
Peças de concreto para pavimentação	(NBR 9781; 1987)
Determinação da absorção de água, teor de umidade	(NBR 12118; 1991)
Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto	(NBR 5738; 2003)
Resistência à compressão axial	(NBR 5739; 2007)
Resistência à compressão das argamassas	(NBR 7215; 1996)

5.4.1.1 Abrasão *Los Angeles*

Foi executado de acordo com a NBR NM 51 (2001), somente para o agregado graúdo (seixo).

Conforme é especificado na norma a amostra foi separada por peneiramento em diferentes frações. Imediatamente, as devidas frações foram lavadas e secas em estufa em uma temperatura de $\pm 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ até não haver variação do valor de sua massa (M_1). O parâmetro adotado no ensaio foi em função das características do agregado, sendo adotado a tipo A com 12 esferas de aço. A amostra foi colocada em conjunto com a carga abrasiva na máquina *Los Angeles*.

O tambor da máquina foi girado a uma velocidade entre 30 e 33 rpm, até completar 500 rotações. A seguir o material foi retirado do tambor e passado pela peneira de abertura de malha de 1,7 mm, o material passante foi rejeitado e a fração retida na peneira foi lavada e seca em estufa, sendo aguardado o seu resfriamento e medida a massa (M_2) tendo um pequeno intervalo de tempo até não haver variação de seu valor. O método para calcular a porcentagem por perda de abrasão é por meio da equação (1).

$$A_{LA} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100, (\%) \quad (1)$$

5.4.1.2 Composição granulométrica dos agregados

Foi executado de acordo com a NBR NM 248 (2003), sendo este realizado tanto para as amostras de agregados miúdos (areia) quanto para as amostras de agregado graúdo (seixo) e ACR, sendo notoriamente diferentes as quantidades empregadas: sendo até 4,8 mm – 500 g, entre 9,5 mm e 25 mm – 5000 g.

Iniciamos colocando as amostras para secar na estufa $\pm 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ e posteriormente aguardar secar a temperatura ambiente, determinando as massas da areia (M_{ar}) e a massa do seixo (M_{se}). Logo, executou-se o peneiramento de cada uma dessas amostras, sendo atendidos os requisitos estabelecidos na norma.

Em seguida foram limpas todas as peneiras, e separadas de modo a indicar um único conjunto de peneiras com aberturas das malhas em ordem decrescente do topo para a base, colocada a amostra M_{ar} ou proporções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de maneira a anular qualquer camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Logo, iniciou-se a agitação manual de cada peneira com o fundo e tampa, por um período superior a 2 min, colocando o material passante na peneira seguinte, e assim sucessivamente.

Finalizando o peneiramento, o material retido em cada peneira foi colocado em uma bandeja metálica e verificada a sua massa considerando o fundo. Considera-se como retido o material removido pela face interna, e como passante o despreendido na face posterior. O total da soma de todas as massas não pode ser maior que 0,3% de M_{ar} . O peneiramento da massa M_{se} foi executado da mesma forma que a massa M_{ar} .

Foram obtidas, para cada amostra, as porcentagens retidas, em massa, em cada uma das peneiras, adotando uma aproximação de 0,05 %. Sendo determinada a dimensão máxima característica ($D_{máx}$), tendo a abertura da malha, em milímetros, da peneira que continha uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5 %. Calculadas as porcentagens médias retidas acumuladas, em cada peneira, adotando uma aproximação de 1 %. Com esses dados elaboraram-se as curvas granulométricas, observando os limites granulométricos descritos na norma. Finalizando, determinando-se o módulo de finura (M_f), com aproximação de 0,0005, tendo este considerado a soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras.

5.4.1.3 Impurezas orgânicas das areias

Foi executado de acordo com a NBR NM 49 (2001), nas amostras dos agregados miúdos (areias) e ACR. Cada amostra foi seca ao ar, preparando-se uma solução de hidróxido de sódio a 3 % (30 g de hidróxido de sódio e 970 g de água destilada) e uma solução de ácido tânico a 2 % (2 g de ácido tânico, 10 ml de álcool a 95 % e 90 ml de água destilada). Separou-se 200 g de cada amostra em um béquer, adicionando-se 100 ml de solução de sódio, agitando-se vigorosamente a mistura. Logo, preparou-se uma solução padrão com 3 ml da solução de ácido tânico e 97 ml da solução de hidróxido de sódio, onde esses materiais e a solução padrão ficaram em descanso por 24 h. Posterior a este tempo, foi filtrado para um tubo *Nessler* a solução que esteve em contato com o material e para o outro tubo a solução padrão. Por meio da comparação das intensidades de

cores das duas soluções para cada amostra, identificou-se o nível de impurezas orgânicas, verificando, de acordo com a recomendação da norma, se este era compatível.

5.4.1.4 Massa unitária de agregados em estado solto

Foi executado conforme a NBR 7251 (1982), sendo realizado nas duas amostras de agregado miúdo areia I e areia II, agregado graúdo (seixo) e ACR. Os recipientes para os ensaios foram diferenciados ($V_r = 15 \text{ dm}^3$ ou 20 dm^3), tendo como parâmetro a dimensão máxima do agregado. Cada amostra foi seca ao ar, e lançadas de uma altura de 10 a 12 cm no recipiente, preenchendo-o totalmente. Em seguida, executa-se o arasamento do recipiente com uma régua metálica, indicando a massa do agregado (M_a). A massa unitária do agregado foi calculada pela equação (2). Sendo especificado que a variação máxima permitida entre os resultados de cinco determinações é de $0,025 \text{ kg/dm}^3$.

$$M_u = \frac{M_a}{V_r}, \quad (\text{Kg/dm}^3) \quad (2)$$

5.4.1.5 Massa específica de agregado miúdo – frasco Chapman

Este ensaio foi executado conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 9776 (1987). A amostra foi seca em estufa até não haver variação no valor medido para a massa. Adicionou-se então no frasco Chapman até a marca de 200 cm^3 , sendo adicionado neste, 500 g do material. Em seguida, o frasco foi agitado e girado para retirada de bolhas de ar. Executada a leitura final (L_f), calculou-se a massa específica pela equação (3). Sendo observado que a máxima variação permitida entre os resultados de duas determinações é de $0,0055 \text{ g/cm}^3$.

$$M_{es} = \frac{500}{L_f - 200}, \quad (\text{g/cm}^3) \quad (3)$$

5.4.1.6 Massa específica e absorção de água do agregado graúdo

No ensaio da massa específica, adotamos os parâmetros estabelecidos pela NBR NM 53 (2003). Foi coletada uma amostra mínima do material (3000 g), sendo este material lavado na peneira 4,8 mm, rejeitando-se o que passou. O material retido foi seco em estufa até não haver variação no valor medido para a massa, posteriormente deixando-o esfriar a temperatura ambiente. Em seguida foi determinada a massa de material desejada (A). As amostras foram submersas em água, na temperatura ambiente por 24 h, sendo determinada a massa do material submerso (B). Os grãos dos agregados foram enxutos com um pano absorvente até o desaparecimento do brilho da água, sendo determinado a massa do material (C), na condição de saturado com superfície seca. Foi então calculada a massa específica do agregado seco pela equação (4).

$$M_s = \frac{A}{C - B}, \quad (g/cm^3) \quad (4)$$

Em seguida, adicionou-se no frasco Chapman até a marca de 200 cm³, 500 g do material. Depois, o frasco foi agitado e girado para retirada de bolhas de ar. Executada a leitura final (Lf), calculou-se a massa específica pela equação (3).

Ressalta-se que a variação máxima permitida entre os resultados de duas determinações é de 0,01 g/cm³.

Dando seguimento aos procedimentos da norma, determinamos o teor de absorção d'água, dos agregados graúdos utilizando a equação (5).

$$A_b = \frac{C - A}{A} \times 100, \quad (\%) \quad (5)$$

Ressalta-se ainda que a variação máxima permitida entre os resultados de duas determinações é de 0,30 %.

5.4.1.7 Teor de material pulverulento

No ensaio do teor de materiais pulverulentos, adotamos os parâmetros estabelecidos pela NBR NM 46 (2003). Esta foi utilizada tanto para a amostra de agregado miúdo (areia), quanto para as amostras do agregado graúdo (seixo), sendo que foram coletadas amostras mínimas do material de forma distintas, em função da dimensão máxima (até 4,8 mm – 500 g, entre 4,8 mm e 19 mm - 3000 g).

Estas amostras foram colocadas para secar em uma estufa a ± 110 °C e posteriormente foi feita a secagem a temperatura ambiente, para em seguida ser determinada a respectiva massa de cada material (M_x). Logo após, foi colocado em um recipiente com água potável em excesso. O material foi agitado com jato de água para provocar a suspensão das partículas finas, sendo vertido imediatamente a água sobre as peneiras de 1,2 e 0,075 mm sobrepostas. O material retido nas peneiras foi lançado de volta no recipiente, repetindo-se a operação até que a água de lavagem expulsa da peneira estivesse limpa.

O recipiente ficou imóvel para a devida decantação de todas as partículas e a água foi retirada por meio de uma pipeta. O material foi seco em estufa até que as medições de sua massa apresentassem valor constante, sendo assim determinada sua massa (M_y). O teor de material pulverulento foi calculado por meio da média de duas determinações, empregando-se a equação (6).

$$T_{mp} = \frac{M_x - M_y}{M_x} \times 100, (\%) \quad (6)$$

5.4.1.8 Teor de argila em torrões e materiais friáveis

No ensaio de teor de argila em torrões e materiais friáveis, adotamos os parâmetros estabelecidos pela NBR 7218 (1987). Esta foi utilizada tanto para a amostra de agregado miúdo (areia), quanto para a amostra do agregado graúdo (seixo).

Estas amostras foram colocadas para secar em uma estufa a ± 110 °C e depois colocadas a temperatura ambiente, para posteriormente ser determinada a massa de cada material, sendo que essas massas devem apresentar valor constante. Em seguida, foi executado o peneiramento do

material seco sucessivamente por meio das peneiras descritas na norma e determinada a massa das frações retidas (M_i). Logo após, foram espalhadas as frações retidas em bandejas de modo a formar uma camada fina, sendo verificada a possível presença de argila em torrões. Sendo observada a ocorrência de argila em torrões, estes são desfeitos. Feito o peneiramento e determinadas as massas retidas de cada fração (M_f), calcula-se inicialmente, a porcentagem de material destorrado de cada fração pela equação (7).

$$M_d = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100, (\%) \quad (7)$$

Logo, o teor parcial de argila em torrões e materiais friáveis foi calculado por meio da expressão (8).

Registra-se que o teor global foi calculado pela somatória dos teores parciais.

$$T_{pa} = M_d \times \% \text{ Retida individual}, (\%) \quad (8)$$

5.4.1.9 Redução da amostra de campo do ACR para ensaios de laboratórios

Para o desenvolvimento do experimento foi feita a coleta do resíduo, por meio de uma amostra de 60 kg em uma fábrica de pré-moldados de concretos. Esse material é depositado em montes, numa área reservada da fábrica, e é proveniente de resíduo de artefatos de concreto rejeitadas pelo controle de qualidade e também de resíduos de calçadas demolidas, sendo que todos são britados manualmente. Deve-se ressaltar que esta coleta foi executada, conforme o método descrito na NBR NM 27 (2001) - redução da amostra de campo para ensaios de laboratórios, chamado de quarteamento.

No laboratório de materiais da UFAM, o entulho de concreto foi primeiramente estendido e exposto a temperatura ambiente por 72 h para secagem, e este material foi novamente quarteado. Depois de triturados de forma manual, os agregados foram peneirados e separados até apresentaram a granulometria dos agregados naturais, sendo posteriormente realizados os ensaios de caracterização.

5.4.1.10 Granulometria a laser

A técnica da difração a laser é fundamentada no princípio de que as partículas que passam através de um raio laser dispersarão a luz em um ângulo diretamente proporcional a seu tamanho. Logo, se o tamanho da partícula diminui, o ângulo de dispersão observado aumenta em escala logarítmica. A intensidade analisada na dispersão é igualmente dependente das dimensões das partículas e diminui, a uma boa aproximação, com relação à área da seção transversal da partícula. As partículas grandes dispersam a luz em ângulos estreitos com intensidade elevada, em contrapartida, as partículas pequenas dispersam a luz em uns ângulos mais largos, porém com reduzida intensidade.

A premissa inicial que deve ser observada por sistema de difração a laser é a captação dos dados da dispersão de luz das partículas sob estudo. O processo necessita de:

- Um laser para fornecer uma fonte de luz coerente intensa, de comprimento de onda fixa;
- Um processo de apresentação da amostra para assegurar que o material testado passe através do raio laser como um fluxo homogêneo de partículas em um estado conhecido, reprodutível de dispersão;
- Uma série de detectores que são usados para medir o padrão de luz produzido sobre uma escala larga de ângulos.

Para o ensaio ser realizado na COPPE/UFRJ foram empregados os seguintes equipamentos:

a) Mastersizer 2000

O analisador de tamanho de partículas Mastersizer 2000, que pode ser visto na figura 2 e 3, mede materiais de $0.02\mu\text{m}$ a $2000\mu\text{m}$ e pode ser utilizado para a medida de emulsões, suspensões e materiais secos.



Figura 2 – Mastersizer 2000

b) Hidro Mu

Muitos materiais precisam ser medidos como dispersões molhadas. Assim, utiliza-se uma unidade para criar uma suspensão de partículas na água ou em outros meios líquidos que podem ser aperfeiçoados com o uso de ultrassom se necessário. O equipamento pode ser visto na figura 3.



Figura 3 – Detalhe do Hidro Mu

A dispersão utilizada neste equipamento é do tipo molhada, com capacidade de 600 a 1000 ml usando béqueres padrão do laboratório da COPPE/UFRJ. O procedimento experimental

é bem simples. Primeiramente, executa-se a granulometria do material através do analisador. Posteriormente coleta-se uma parte da amostra que ficou no fundo e executa-se o peneiramento na peneira de malha # 200 mm. De posse desta amostra é adicionada uma pequena quantidade de material em um béquer contendo água, cujo método da difração de raios laser é aplicado para a determinação da distribuição granulométrica de partículas inferiores a 75 μ m.

5.4.1.11 Composição química

Esta análise permitiu de forma qualitativa a identificação dos diversos elementos químicos presentes nos materiais que foram analisados. De forma que, com o conhecimento da composição dos materiais, teremos um conceito de utilização com benefícios e ou prejuízos provocados por este uso em mistura na matriz cimentícia. Esta composição poderá influenciar na hidratação.

Os ensaios foram executados no Laboratório de Estruturas – LabEst na COPPE/UFRJ, com o equipamento espectrômetro de fluorescência de raios x por energia dispersiva, EDX 720 da Shimadzu. Este tem como base o preenchimento do material a ser analisado, em um porta amostra cilíndrico de plástico com fundo plástico de PVC, por onde os raios passam.

5.4.1.12 Termogravimetria

A termogravimetria é embasada na aferição, em função da temperatura, da variação de massa de amostra submetida a aquecimento pré-definido. Essencialmente, o equipamento de termogravimetria consiste em micro balança acoplada a forno resistivo. O material, neste caso, é caracterizado através da curva termogravimétrica, que relaciona temperatura com perda de massa no tempo (Cordeiro, 2006).

A DTG ou análise termogravimétrica diferencial identifica mudanças físico-químicas, de um material de referência e da amostra estudada, através de picos endotérmicos ou exotérmicos no registro da curva DTG. Estes materiais são dispostos nas mesmas condições de temperatura e aquecimento e por meio deste obtemos uma curva pela perda de massa em função da temperatura.

As análises foram conduzidas em equipamento modelo DSC Q20, com acessório SDT Q 600, específico para termogravimetria no Laboratório de Estruturas – LabEst da COPPE/UFRJ, conforme visto na figura 4.



Figura 4 – Equipamento DSC Q20

5.4.1.13 Picnometria a gás

Por meio deste ensaio, obtêm-se a massa específica do material, para utilização nas argamassas e parâmetros no processo de caracterização, e por meio deste executam-se as transformações de traços em volume e nos cálculos de consumos dos materiais.

O valor obtido na massa específica do cimento, areia e do ACR foram determinados por meio de picnômetro a gás hélio, pelo equipamento *Accupyc 1340 da Micromeritics*. Este método está embasado em determinação do volume de uma massa conhecida de amostra da variação de pressão do gás em um volume calibrado. No intuito de padronizar as medidas, todas as amostras foram inicialmente secas em estufa à temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas e posteriormente pesados em um tubo metálico cilíndrico em balança eletrônica com precisão de 0,00001g. Logo em seguida, levado ao aparelho onde digitam-se os dados da massa do material. Estas análises foram realizadas no setor de caracterização de amostras no Laboratório de Estruturas – LabEst da COPPE/UFRJ, conforme a figura 5.



Figura 5 – Picnômetro a gás

5.4.2 Dosagem experimental

Argamassas

Nas argamassas a granulometria dos agregados miúdos naturais e reciclados foi mantida para todas as matrizes em estudo.

Como mencionado anteriormente, na confecção das argamassas, foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento do laboratório de moldagem COPPE/UFRJ.

Para o objetivo da pesquisa foram produzidas argamassas convencionais definidas neste trabalho como de referência, empregando os seguintes componentes: cimento, areia, água e superplastificante. Foram definidos os seguintes percentuais de substituição da areia pelo ACR: 25 %, 50 %, 75 % e 100 % ; com o intuito de se obter suas características.

Os corpos-de-prova das argamassas com dimensões iguais \varnothing 5 cm x 10 cm, foram moldados de a partir dos parâmetros mostrados na tabela 3.

Tabela 3 – Traços unitários das argamassas

	Cimento	Areia	ACR	S/P	a/c
Referência	1	2	0	0,02	0,28
25% de ACR	1	1,5	0,5	0,02	0,28
50% de ACR	1	1	1	0,02	0,28
75% de ACR	1	0,5	1,5	0,02	0,28
100% de ACR	1	0	2	0,02	0,28

A quantidade de água utilizada no preparo da argamassa foi determinada levando-se em consideração a menor quantidade de água necessária para que as argamassas apresentassem consistência de 250 ± 10 mm, medida pelo ensaio de determinação de consistência, executado conforme o anexo B da NBR 7215 (1996).

Concreto

Na confecção das PCPs foi utilizada água potável proveniente dos poços da fábrica de PCPs.

Para o objetivo da pesquisa foram produzidas PCPs convencionais definidos neste trabalho como de referência, empregando os materiais que comumente são utilizados em Manaus, cimento, areia e seixo e com ACR em dois percentuais de substituição da areia, 25 % e 50 %, com o intuito de se obter suas resistências.

Foram moldadas PCPs a partir dos parâmetros mostrados na tabela 4:

Tabela 4 – Traços unitários das PCPs

	Cimento	Areia	Seixo	ACR	a/c
Referência	1	1,81	2,55		0,28
25% de ACR	1	1,36	2,55	0,45	0,28
50% de ACR	1	0,91	2,55	0,91	0,28

Os traços unitários, mostrados na tabela 4 foram determinados, empregando-se o método de dosagem da ABCP, considerando uma resistência de 25 MPa, embora a NBR 9780 (1987), especifique uma resistência mínima de 35 MPa, para resistência à compressão das PCPs. No

entanto, considerou-se a utilização destas peças em locais que não haja a exigência desse nível de resistência.

As PCPs foram produzidas, colocando-se o agregado graúdo, miúdo e o ACR para secar a temperatura ambiente por 24 horas. Logo após foi efetuada a pesagem dos mesmos.

O método de produção na fábrica e conseqüentemente o método que foi adotado para a confecção das PCPs empregadas na pesquisa seguiu o fluxograma apresentado na figura 6.

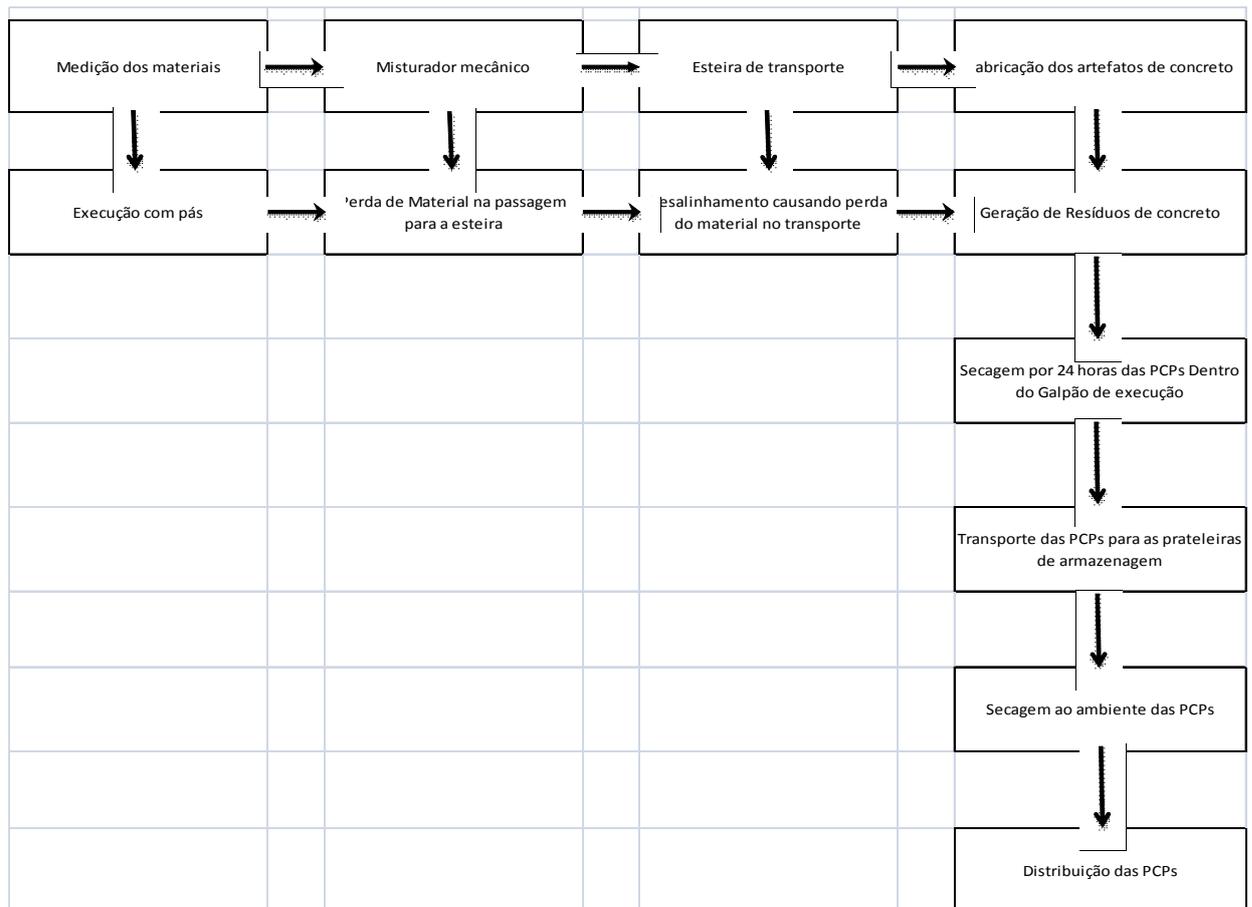


Figura 6 – Fluxograma do processo de fabricação das PCPs

A mistura dos materiais foi feita empregando-se uma betoneira de 320 l, adicionando-se o seixo rolado, colocando-se um terço da água e em seguida cimento, sendo feita a sua homogeneização. Por último foi adicionada a areia. Destaca-se que o concreto para fabricação das PCPs com adição de ACR foi executado da mesma forma, conforme figura 7.

Todas as PCPs foram moldadas em uma fábrica de pré-moldados (vide figura 8).



Figura 7 - Mistura do concreto de referência para fabricação da PCP



Figura 8 – Execução da fabricação da PCP na máquina vibro-prensa

5.4.3 Ensaios no concreto fresco para fabricação da PCP e da argamassa

Com a finalização do processo de mistura dos componentes do concreto e da argamassa, foi dado início ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67; 1998),

a determinação do índice de consistência das argamassas (NBR 7215; 1996) e a moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos (NBR 5738; 2003).

5.4.3.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone para o concreto fresco

Primeiramente, foram umedecidas a parede interna do molde troncônico e a placa metálica quadrada. Logo, foi executada a montagem do equipamento (placa, molde e colarinho) e apoiando-se os pés sobre as aletas do molde, fez-se o preenchimento em três camadas iguais do concreto fabricado, com o adensamento sistemático, em 25 golpes uniformes e distribuídos, em cada camada antes da colocação da próxima. Retirou-se o colarinho e nivelou-se a superfície para posterior levantamento no molde na direção vertical, num tempo de 5 a 10 segundos.

Determinou-se então a diferença entre a altura do molde e a altura média da amostra assentada, com a utilização de uma régua graduada, sendo expresso em milímetros.

5.4.3.2 Determinação do índice de consistência das argamassas

Na mistura dos materiais foi utilizado o misturador mecânico mostrado na figura 9, o qual é composto por uma cuba de aço inoxidável com volume de 5 litros e uma pá de metal que gira em torno de si mesma.



Figura 9 – Misturador mecânico

Para a obtenção do índice de consistência das argamassas, utilizou-se a mesa de consistência mostrada na figura 10, o qual é constituído de uma mesa horizontal, lisa e plana, de metal não corrosível e de (500 ± 10) mm de diâmetro, com uma haste fixada em seu centro, que por uma guia recebe um movimento vertical ascendente de $(125 \pm 0,2)$ mm de curso, e dessa altura cai.



Figura 10 – Mesa de consistência

Para a produção da argamassa foi empregado o procedimento a seguir:

Inicialmente colocou-se toda a quantidade de água e adicionou-se o cimento na cuba, sendo feita a homogeneização com o misturador durante 120 s. Após este tempo, e sem paralisar a operação de mistura, foi colocada a areia (quatro frações de $468 \pm 0,3$ g de areia normal previamente misturada), com o cuidado de que toda esta areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 30 s. Imediatamente após o término da colocação da areia, a mistura foi homogeneizada durante 30 s.

Com a mesa do aparelho devidamente lubrificada com óleo e com a fôrma troncônica bem centrada sobre ela, colocou-se a argamassa misturada dentro da fôrma em três camadas de mesma altura, e com um soquete normal aplicaram-se respectivamente, nas três camadas, 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos.

Após a colocação das três camadas dentro da fôrma troncônica e da aplicação dos golpes, conforme descrito anteriormente, alisou-se o topo da massa com uma régua, removendo-se o material que ultrapassou sua borda superior, limpando-se a mesa em volta sem remover o óleo.

A seguir, a fôrma imediatamente levantada verticalmente com cuidado e, movendo-se a manivela do aparelho, fez-se com que a mesa do aparelho caísse por 30 vezes em aproximadamente 30 s provocando o abatimento do tronco do cone da argamassa.

O índice de consistência normal foi determinado pela média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais da argamassa sobre a mesa, as quais foram obtidas com um auxílio de uma régua e que, para a validade do ensaio, não tiveram diferença maior que 5 mm.

É observada na figura 11 a argamassa sobre o aparelho de determinação do índice de consistência normal, no momento da retirada das medidas.



Figura 11 – Medida retirada na mesa de consistência

5.4.3.3 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Argamassas

A preparação dos corpos-de-prova, para a determinação da resistência à compressão axial e determinação da absorção de água dos ensaios com as argamassas em análise, foram realizadas segundo as recomendações da NBR 7215 (1996).

Executaram-se ao todo, a moldagem de 105 peças, 21 para cada dosagem de argamassa, sendo cinco para serem rompidas aos 28 dias, no ensaio de determinação de resistência à compressão axial.

Os moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, mostrados na figura 12, tiveram suas fendas verticais e divisórias base/fôrma vedadas com proporção adequada.



Figura 12 – Moldes cilíndricos das argamassas

A moldagem dos corpos-de-prova foi feita imediatamente após o amassamento e com maior rapidez possível. A colocação da argamassa na fôrma foi executada com o auxílio de uma espátula em duas camadas de alturas aproximadamente iguais que receberam, adensamento na mesa vibratória de 1 minuto em cada camada. A execução da moldagem foi terminada com arrasadura do topo da fôrma com uma régua metálica não flexível e com a remoção da argamassa que ultrapassou sua borda.

Os corpos-de-prova assim moldados passaram por um processo de cura inicial ao ar seguido por um processo de cura final em água.

Logo após a moldagem, os corpos-de-prova ainda nos moldes, foram colocados em uma prateleira, onde permaneceram por 24 h. Concluído o período inicial de cura, os corpos-de-prova foram retirados das fôrmas, identificados e colocados na câmara úmida do laboratório, onde permaneceram até o momento do ensaio de resistência à compressão.

Concreto

Posterior a execução das PCPs, estas foram armazenadas na câmara úmida da UFAM, de acordo com a NBR 5738 (2003), moldagem e cura, conforme a figura 13.



Figura 13 – Moldagem e cura das PCPs

5.4.4 Ensaio no concreto endurecido para fabricação da PCP e da argamassa

Para atingir os objetivos da pesquisa foram executados os ensaios de resistência à compressão axial das argamassas (NBR 7215; 1996), resistência à compressão das PCPs (NBR 9780; 1987), absorção das argamassas (NBR 7215; 1996), absorção de água das PCPs (NBR 12118; 1991).

5.4.4.1 Compressão axial

Argamassas

A determinação da resistência à compressão axial das argamassas foi realizada segundo as recomendações da NBR 7215 (1996).

Os corpos-de-prova devidamente faceados foram rompidos na prensa digital, tipo Shimadzu UH-F1000kNI. A velocidade adotada de carregamento foi de 0,1 mm / min. Conforme mostrada na figura 14, aos 28 dias de idade, sendo obedecidas as tolerâncias de tempo para a ruptura: ± 2 h para os corpos-de-prova rompidos aos 28 dias.



Figura 14 – Ensaio à compressão axial nos CPs das argamassas

A idade do corpo-de-prova é contada a partir da hidratação do cimento ou seja, do início do tempo de pega.

Concreto

Para determinação da resistência à compressão das PCPs foi adotada a norma NBR 9780 (1987), salientando-se que a resistência à compressão é um dos mais importantes parâmetros de avaliação de desempenho de uma estrutura e, por conseguinte das PCPs. Por este motivo, foram executados no Laboratório de Ensaio de Materiais da UFAM, Manaus – AM, ensaios de resistência à compressão nas PCPs, produzidos para a pesquisa.

As PCPs foram ensaiadas admitindo-se, a partir desta norma, que todas as outras características das PCPs estejam diretamente relacionadas com essa propriedade. Antes da realização deste experimento foi feito o capeamento com cimento, consistindo em passar o cimento pela peneira de abertura 1,18 e adicionando água de modo a se obter uma plasticidade da pasta cimentícia, para posterior execução do nivelamento da superfície com o auxílio de um nível de mão, conforme figura 15.



Figura 15 – Capeamento com cimento nas PCPs

Os ensaios de resistência à compressão com as PCPs foram executados em uma máquina de ensaio marca EMIC, modelo 3000/PC 200, de modo que a carga fosse aplicada na direção do esforço que a PCP deverá suportar durante o seu emprego. Sendo o alinhamento um fator importante na execução deste ensaio, todas as PCPs foram devidamente alinhadas, de tal modo

que o seu centro de gravidade coincidissem com o alinhamento do centro de carga das placas auxiliares de aço com diâmetro de $90 \pm 0,5$ mm. Os comandos da prensa foram ajustados de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta, fosse aumentada progressivamente à razão de $0,05 \pm 0,01$ MPa/segundo, vide figura 16.

Foram ensaiados 4 exemplares por dosagem de concreto, nas idades de 3, 7 e 28 dias NBR 9780 (1987). Conforme NBR 9781 (1987), a resistência de cada PCPs (f_{pi}), expressa em MPa, foi obtida utilizando-se a Equação (9):

$$F_{pi} = \frac{\text{Carga (N)}}{\text{área (mm)}^2} \times 1,05 \text{ (fator multiplicativo)} \quad (9)$$

Onde:

Carga – carga de ruptura obtida do ensaio.

Área – área superficial das placas auxiliares de aço.



Figura 16 - Ensaio à compressão axial nas PCPs

5.4.4.2 Absorção de água

Argamassas

A execução do ensaio de absorção de água da argamassa foi realizada com os corpos-de-prova aos 28 dias, aplicando-se o seguinte procedimento:

Primeiramente pesamos a massa úmida e depois a massa seca em estufa a 110 °C, sendo a absorção obtida através da equação (10):

$$A_{\%} = \frac{\text{Massa úmida} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad (10)$$

Concreto

Para a determinação da absorção de água das PCPs, adotamos a NBR 12118 (1991), de modo a verificar o nível de porosidade da peça, salientando que quanto menor a porosidade da peça, menor a quantidade de água absorvida, por conseguinte, suas resistências mecânicas e suas características técnicas serão superiores. O objetivo deste ensaio é analisar esta característica com as demais propriedades das PCPs produzidas.

Além disso, diversos trabalhos adotaram como parâmetro esta norma. (FIORITI, 2002). Foram utilizados 07 (sete) exemplares por dosagem de concreto, adotando uma idade de 28 dias, para os ensaios.

O método adotado neste ensaio segue o seguinte procedimento:

- As PCPs no laboratório foram pesadas com uma balança de precisão digital, anotando-se dessa forma a massa denominada de M3 (Kg);
- Depois as PCPs passaram por um processo de secagem, sendo levados a uma estufa a 110 ± 5 °C por um período de 24 horas;
- Na seqüência, as PCPs foram resfriados naturalmente a temperatura ambiente;
- Imediatamente cada PCP foi pesada, sendo anotado sua massa seca denominada M1(Kg);

• Finalizando, as PCPs foram imersas em um tanque contendo água com temperatura de $23 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas, e então levados para a pesagem com a superfície seca, anotando-se assim sua massa saturada denominada M2 (Kg).

O valor da absorção de água, expresso em porcentagem de cada PCP (A %), foi calculado através da equação (11):

$$A_{\%} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (11)$$

A porcentagem de umidade de cada PCP, no momento do ensaio em Laboratório, expressa como porcentagem da absorção total (U %), foi obtida pela equação (12):

$$U_{\%} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \times 100 \quad (12)$$

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados de caracterização dos agregados utilizados na fabricação das argamassas e nas PCPs, bem como aqueles referentes às principais características do produto final.

6.1 Caracterizações dos materiais

6.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia, sendo que foram empregadas duas amostras diferentes, descritas como areia I e areia II, conforme definido na seção 5.3.2.

As tabelas 5 e 6 mostram os resultados das principais propriedades obtidas pelos ensaios de caracterização para o agregado miúdo.

Tabela 5 – Características físicas do agregado miúdo - Areia I

Ensaio	Unidade	Resultado	Limites máximos	Referência normativa
Dimensão máxima característica	mm	1,20	-	ABNT NBR NM 248:2003
Absorção de água	(%)	2,22	-	ABNT NBR NM 30:2001
Módulo de finura	-	1,60	-	ABNT NBR NM 248:2003
Teor de argilas em torrões	(%)	0,22	3,0	ABNT NBR 7218:1987
Material fino que passa na peneira 75µm, por lavagem	(%)	1,30	5,0	ABNT NBR NM 46:2003
Impurezas orgânicas		Mais clara	-	ABNT NBR NM 49:2001
Massa específica aparente	(g/cm ³)	2,61	-	ABNT NBR NM 52:2003

Tabela 6 – Características físicas do agregado miúdo – Areia II

Ensaio	Unidade	Resultado	Limites máximos	Referência normativa
Dimensão máxima característica	mm	4,0	-	ABNT NBR NM 248:2003
Absorção de água	(%)	1,0	-	ABNT NBR NM 30:2001
Módulo de finura	-	2,90	-	ABNT NBR NM 248:2003
Teor de argilas em torrões	(%)	0,25	3,0	ABNT NBR 7218:1987
Material fino que passa na peneira 75µm, por lavagem	(%)	1,40	5,0	ABNT NBR NM 46:2003
Impurezas orgânicas		Mais clara	-	ABNT NBR NM 49:2001
Massa específica aparente	(g/cm ³)	2,63	-	ABNT NBR NM 52:2003

Dos resultados verificados nos ensaios de impurezas orgânicas nas duas areias é aferido que as areias estão de acordo com o limite estabelecido e, como são usadas normalmente nos mercados consumidores, estão conforme especifica a norma.

Considerando os dados obtidos com a granulometria dos agregados, determinamos a dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado e seu respectivo módulo de finura (M_f):

- Areia I $D_{m\acute{a}x} = 1,2 \text{ mm}$ $M_f = 1,60$.
- Areia II $D_{m\acute{a}x} = 4,0 \text{ mm}$ $M_f = 2,90$.

A Areia I, em função do seu módulo de finura, foi classificada como areia fina e a II como areia média. Considerando que as areias finas têm uma maior área de superfície específica, estas necessitam de uma maior quantidade de água de amassamento, conseqüentemente espera-se um elevado fator A/C para as misturas cimentícias. Ressalta-se que quanto mais elevado este coeficiente menor será a resistência da argamassa e do concreto endurecido, afetando diretamente também na trabalhabilidade e na durabilidade deste.

Observando-se a curva granulométrica apresentada na figura 17, confirma-se que o agregado miúdo (areia I) pode ser enquadrado como areia fina. Esta areia I foi utilizada na fabricação das PCPs.

Nesta figura, as zonas utilizável e ótima são aquelas definidas pela NBR 7211 (2009). Além disso, observa-se que a areia I está na zona utilizável, ficando no limite superior da zona ótima para valores de abertura de peneira menor que 0,6 mm.

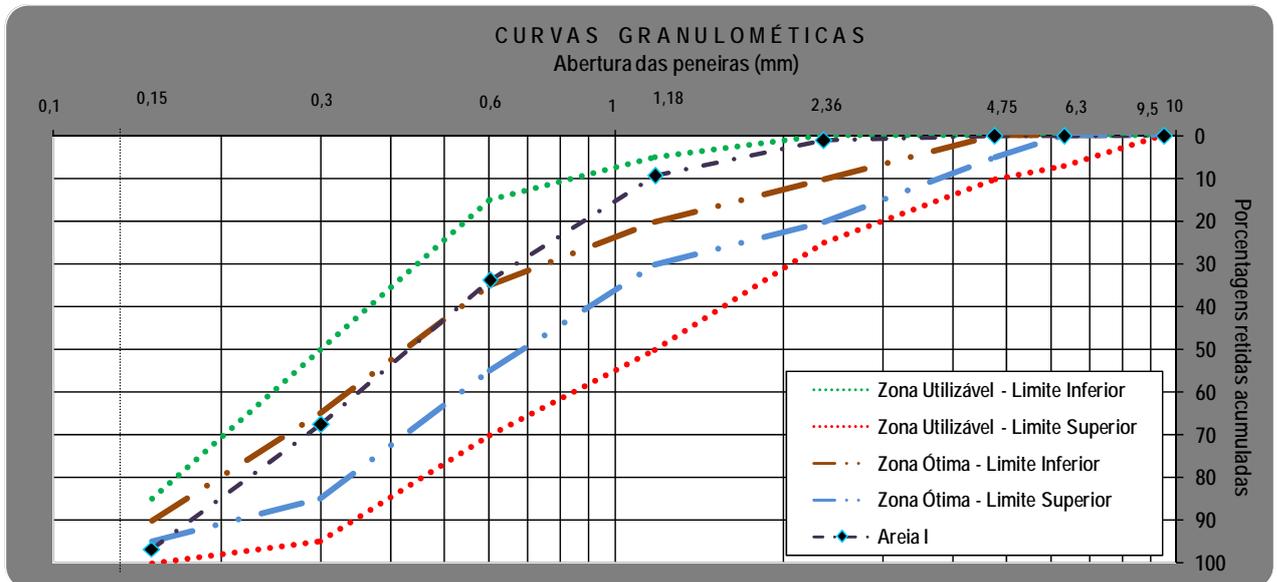


Figura 17 – Curva granulométrica da areia I

Do mesmo modo, para a areia II, observando-se a curva granulométrica apresentada na figura 18, confirma-se que o agregado miúdo pode realmente ser enquadrado como areia média, sendo esta utilizada na fabricação das argamassas. Assim como a areia I, observa-se também que a areia II está na zona utilizável, estando a curva próxima do limite superior da zona ótima para valores de abertura de peneira menores que 0,6 mm.

Além disso, a massa específica do agregado miúdo, tanto na Areia I quanto na Areia II, permite classificá-lo como agregado normal, conforme a literatura técnica.

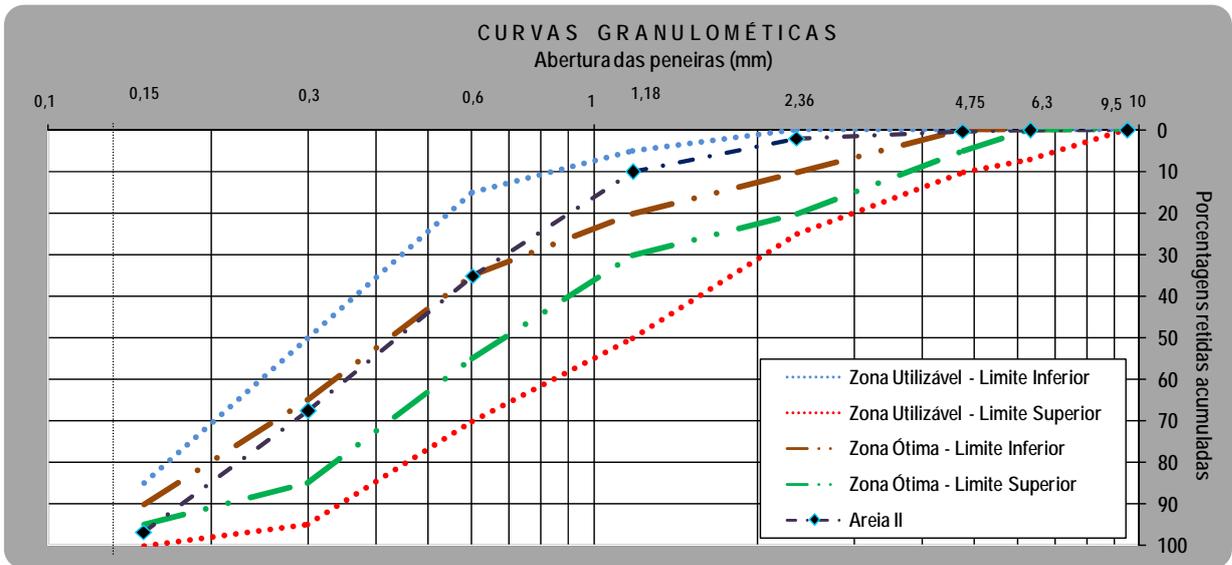


Figura18 – Curva granulométrica da areia II

Os resultados obtidos através da difração de raios laser na amostra de areia II mostrados na figura 19 indicam que o material apresentou tamanho médio de 15 μm . A distribuição granulométrica da areia II também demonstra que 80 % da amostra possui tamanho das partículas de até 38 μm . A curva granulométrica mostra-se bem distribuída, o que pode ser ocasionado pelo empacotamento das partículas.

Não foi realizada a difração na areia I por não haver amostras dessa areia no momento em que foram realizados os ensaios na COPPE/UFRJ.

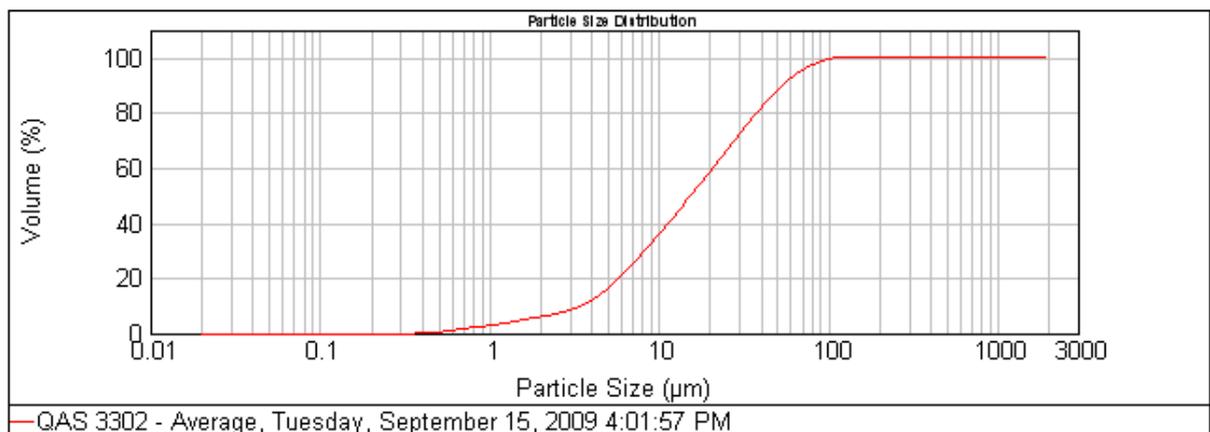


Figura 19 - Difração de raios laser do agregado miúdo – Areia II

A espectrometria por energia dispersiva de raios x – EDX executada na amostra da areia II, apresentou resultados conforme a figura 20, de onde podemos observar uma grande quantidade de Silício (Si) presente na Areia II, além de significativa presença de Potássio (K). Do mesmo modo que na difração de raios laser, também não foi possível realizar o ensaio de espectrometria na areia I.

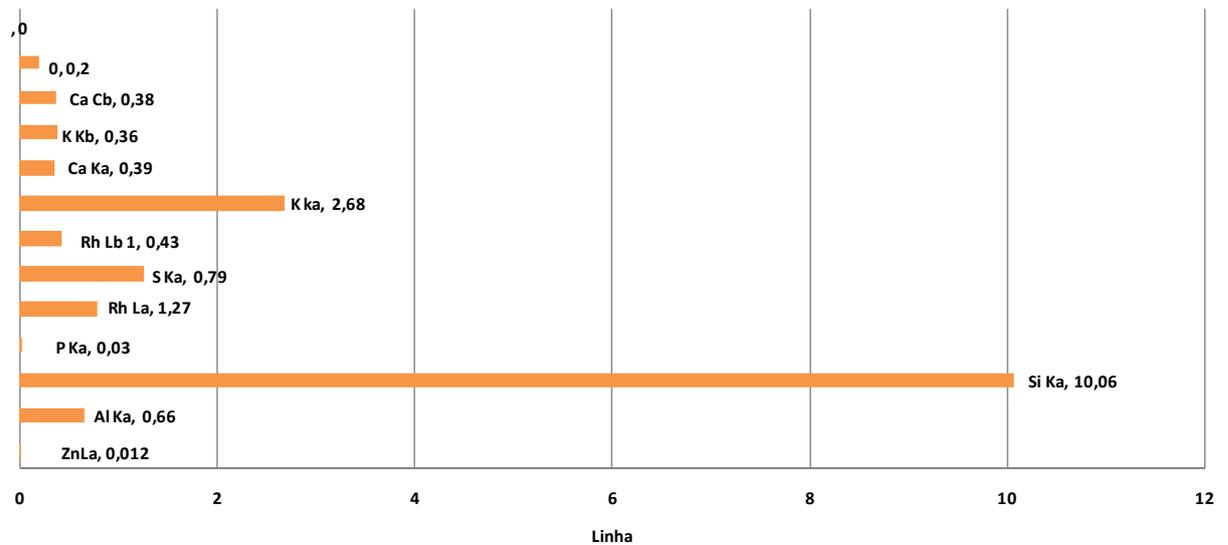


Figura 20 – EDX do agregado miúdo - Areia II

Assim como nos casos anteriores, o ensaio de picnometria a gás só foi executado na Areia II, sendo os resultados mostrados na tabela 7.

Tabela 7 – Massa específica do agregado miúdo - Areia II

Amostra	Massa (g/cm ³)
A 1	2,6382
A 2	2,6387
A 3	2,6397
A 4	2,6404
A 5	2,6404
Média (g/cm³)	2,6395
Desvio Padrão (%)	0,00100

Conforme os resultados obtidos neste ensaio, a massa específica do agregado miúdo Areia II é de 3.139 kg/m³.

6.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na pesquisa foi o seixo rolado, proveniente do mercado de Manaus, conforme definido na seção 5.3.3.

Dos ensaios de caracterização foram obtidos os dados apresentados na tabela 8, na qual se observa que a massa específica do agregado graúdo, permite classificá-lo como agregado normal, conforme a literatura técnica, sendo o seu diâmetro máximo igual a 19 mm.

Da curva granulométrica apresentada na figura 21, pode-se observar que o agregado graúdo em questão possui uma percentagem grande de material fino.

Tabela 8 – Características físicas do agregado graúdo

Ensaio	Unidade	Resultado	Limites máximos	Referência normativa
Dimensão máxima característica	mm	19,0	-	ABNT NBR NM 248:2003
Absorção de água	(%)	0,72	-	ABNT NBR NM 30:2001
Módulo de finura	-	6,26	-	ABNT NBR NM 248:2003
Teor de argilas em torrões	(%)	0,21	2,0	ABNT NBR 7218:1987
Material fino que passa na peneira 75µm, por lavagem	(%)	0,60	1,0	ABNT NBR NM 46:2003
Massa específica	(g/cm ³)	1,96	-	ABNT NBR NM 53:2003
Massa específica aparente	(g/cm ³)	2,63	-	ABNT NBR NM 53:2003

Além disso, na amostra ensaiada não há material retido na peneira 19,00 mm, enquanto o material retido e passante na peneira 2,4 mm representa mais de 30 %. O que nos mostra a grande quantidade de material com dimensão pequena.

O material fino que passa na peneira 75 µm, por lavagem é aceitável, conforme específica a norma NBR NM 46 (2006).

O agregado graúdo, conforme a NBR 7211 (2009) possui limites da composição granulométrica nas faixas granulométricas mostradas na figura 21.

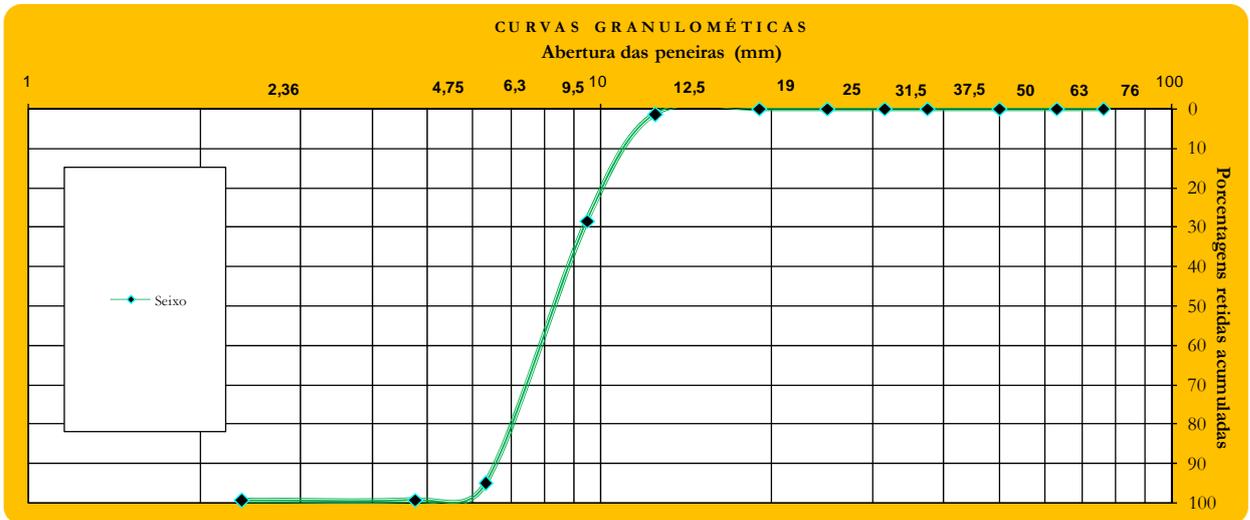


Figura 21 – Curva granulométrica do seixo

Avaliando os dados extraídos da granulometria do seixo, determinamos a dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado e seu respectivo módulo de finura (M_f):

- Seixo $D_{m\acute{a}x} = 19,0 \text{ mm}$ $M_f = 6,26.$

Ressalta-se que quanto maior for a dimensão máxima do agregado menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento.

O índice encontrado no ensaio de abrasão *Los Angeles* está na faixa menor ou igual a 30 %, o que na norma é entendido como ótimo para aplicação em pavimentos e pisos sujeitos ao impacto.

6.1.3 Agregado de Concreto Reciclado

De acordo com o observado na tabela 9 e na figura 22, o ACR utilizado nesta pesquisa pode ser classificado como agregado miúdo, sendo caracterizado na faixa de uma areia fina equivalente e estando a sua curva granulométrica muito próxima do limite superior da zona ótima.

Tabela 9 – Características físicas do ACR

Ensaio	Unidade	Resultado	Límites máximos	Referência normativa
Dimensão máxima característica	mm	1,17	-	ABNT NBR NM 248:2003
Absorção de água	(%)	2,11	-	ABNT NBR NM 30:2001
Módulo de finura	-	1,55	-	ABNT NBR NM 248:2003
Teor de argilas em torrões	(%)	0,21	3,0	ABNT NBR 7218:1987
Material fino que passa na peneira 75µm, por lavagem	(%)	1,10	5,0	ABNT NBR NM 46:2003
Impurezas orgânicas		Mais clara	-	ABNT NBR NM 49:2001
Massa específica aparente	(g/cm ³)	2,60	-	ABNT NBR NM 52:2003

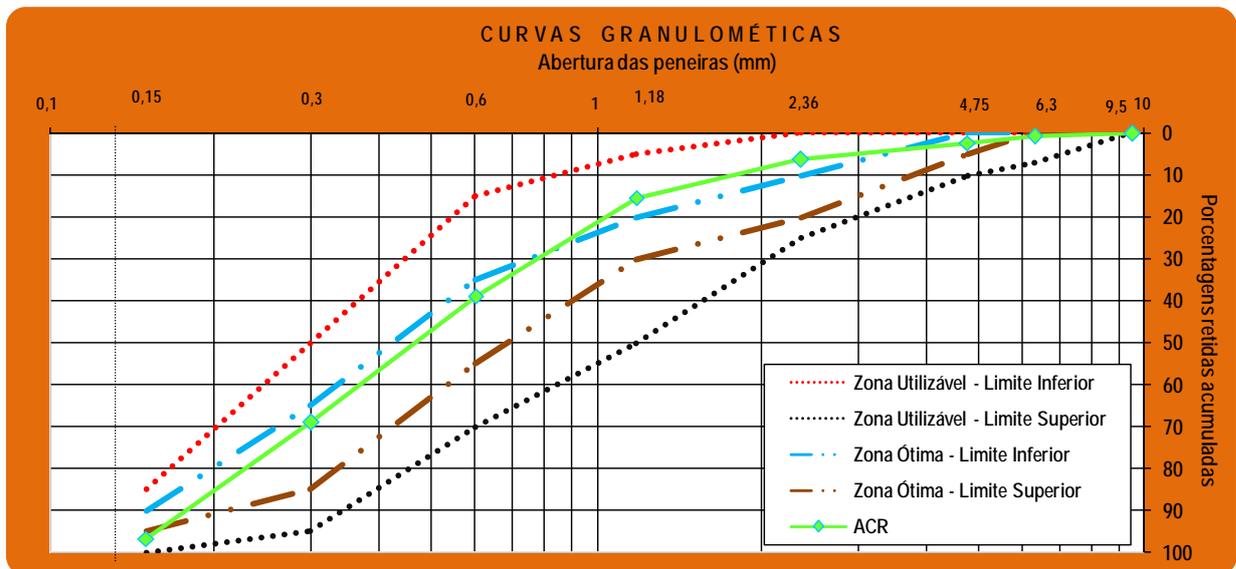


Figura 22 – Curva granulométrica do Agregado de Concreto Reciclado

Fazendo-se um comparativo entre o ACR e a Areia I utilizada, nota-se que a mesma possui características aproximadas do ACR, conforme apresentado na figura 23.

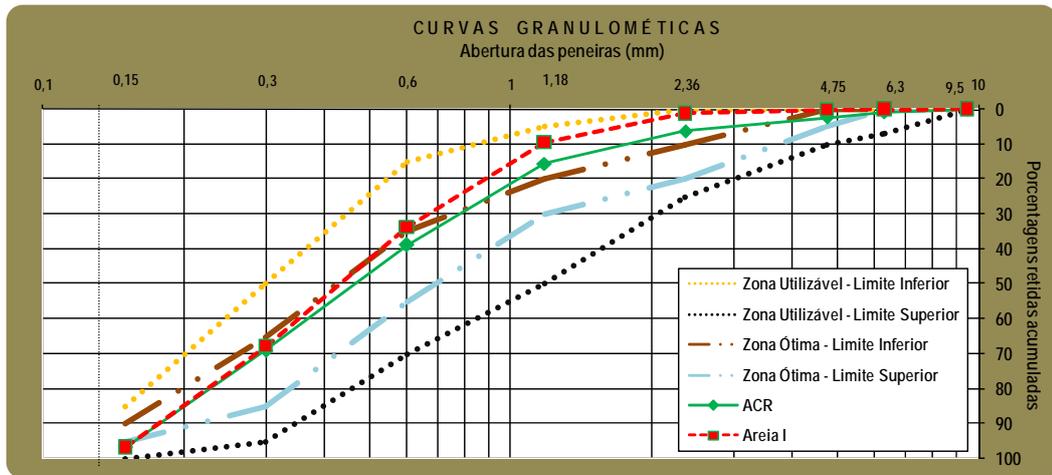


Figura 23 – Curvas granulométricas do Agregado de Concreto Reciclado e Areia I

O resultado de difração de raios laser executada na amostra está ilustrado na figura 24. Este método de análise de tamanho de partículas foi executado com o objetivo de aferir por meio da medição dos ângulos de difração do raio laser, os diversos tamanhos das partículas do material, demonstrando que este ângulo está diretamente relacionado ao diâmetro da partícula. Por meio deste ensaio, poderemos verificar que deverá existir um bom empacotamento deste material nas misturas cimentícias a serem produzidas nesta pesquisa. Os resultados obtidos na amostra indicam que o material apresentou tamanho médio de 50 μm . A distribuição granulométrica da areia II também demonstra que 90 % da amostra é 110 μm respectivamente. A curva granulométrica mostra-se bem distribuída.

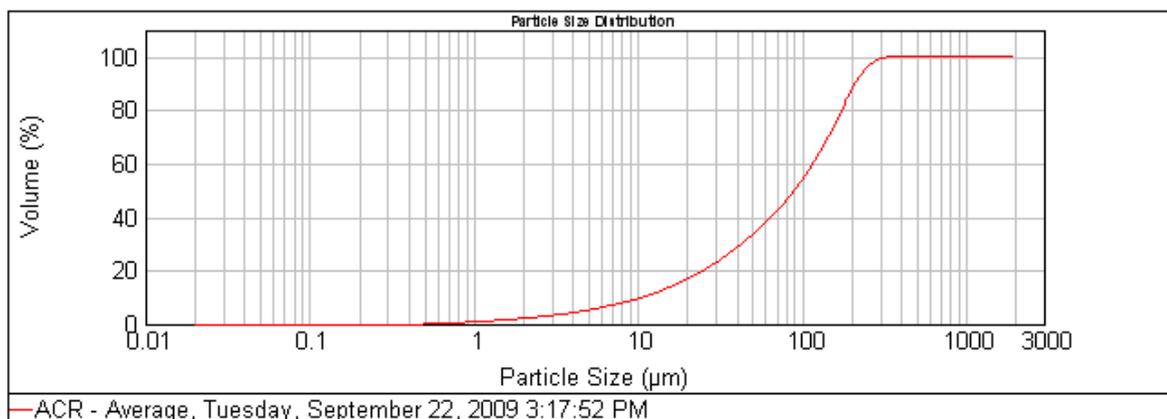


Figura 24 - Difração de raios laser do Agregado de Concreto Reciclado

O resultado da espectrometria por energia dispersiva de raios x – EDX, como é mostrado no gráfico da figura 25, permite observar que existe uma grande quantidade de cálcio (Ca) presente no ACR, além de significativa presença de Silício (Si).

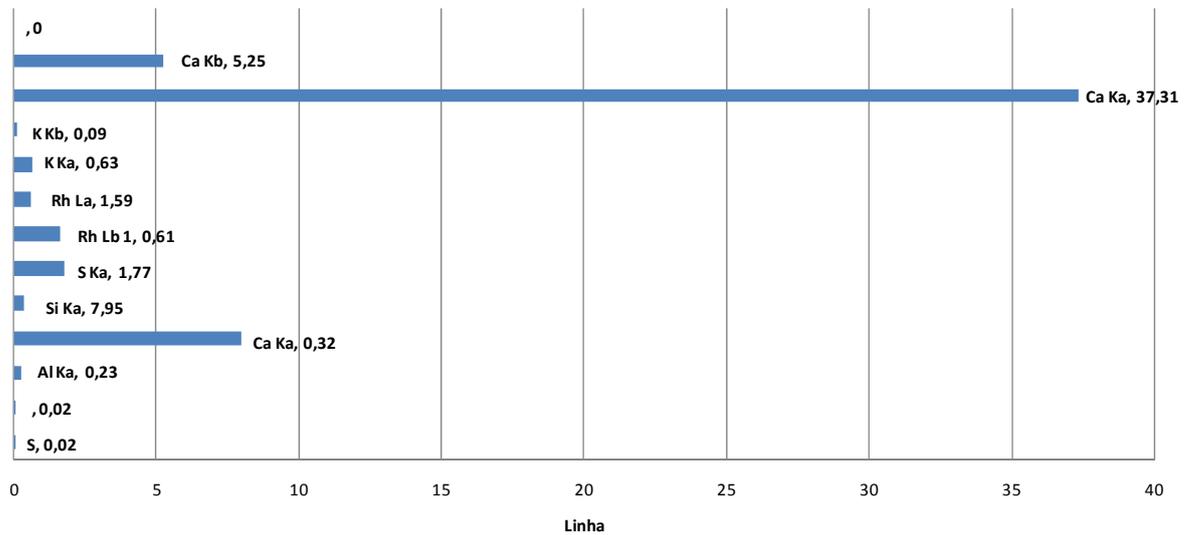


Figura 25 – EDX do Agregado de Concreto Reciclado

O ensaio de picnometria a gás realizado no ACR produziu os resultados apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Massa Específica do ACR

Amostra	Massa (g/cm ³)
ACR 1	2,6093
ACR 2	2,6087
ACR 3	2,6095
ACR 4	2,6092
ACR 5	2,6095
Média (g/cm³%)	2,6092
Desvio Padrão (%)	0,00033

Conforme os resultados obtidos neste ensaio, a média da massa específica do ACR que é de 3.139 kg/m^3 . Igual a média da massa específica obtida na Areia II.

6.1.4 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP I, comercializado na cidade de Manaus, conforme definido na seção 5.3.2.

Para uma amostra desse cimento, foi executada a análise termogravimétrica que permite observar as variações de massa com a temperatura e nos fornece informações sobre estabilidade térmica do material, conforme mostrado na figura 26. Analisando as curvas TG/DTG apresentadas, visualiza-se certo vestígio de pré-hidratação. Nota-se isto pela decomposição dos produtos de hidratação em temperaturas menores que $140 \text{ }^\circ\text{C}$ (primeiro pico) e decomposição de uma pequena quantidade de portlandita (CH) em cerca de $367 \text{ }^\circ\text{C}$ (segundo pico). Além disso, em temperaturas entre $450 \text{ }^\circ\text{C}$ e $800 \text{ }^\circ\text{C}$ (terceiro pico), ocorre a decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3). O que é uma característica normal de um cimento tipo CP I.

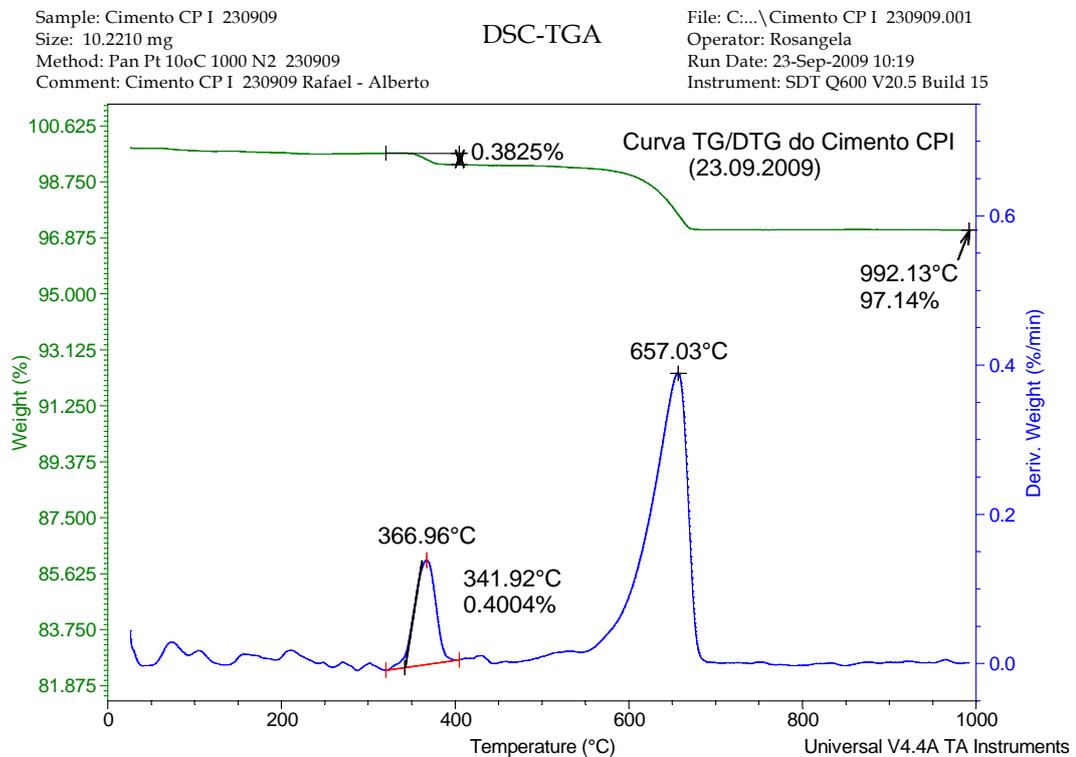


Figura 26 – TGA do cimento

A difração de raios laser executada na amostra de cimento, conforme é apresentado na figura 27, indica que o material apresentou tamanho médio de 15,9 μm . A distribuição granulométrica do cimento também demonstra que 90 % da amostra é 60 μm respectivamente. A curva granulométrica mostra-se bem distribuída, conforme esperado.

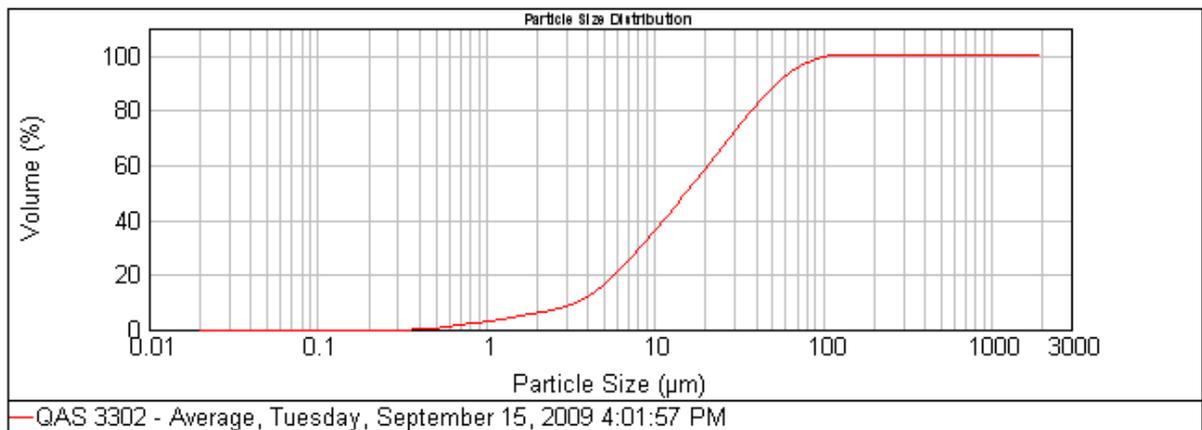


Figura 27- Difração de raios laser do cimento

Os resultados da espectrometria por energia dispersiva de raios x – EDX é mostrada na figura 28. O resultado da espectrometria por energia dispersiva de raios x – EDX, como é mostrado no gráfico, permite observar que existe uma grande quantidade de Cálcio (Ca), é esperado para o cimento.

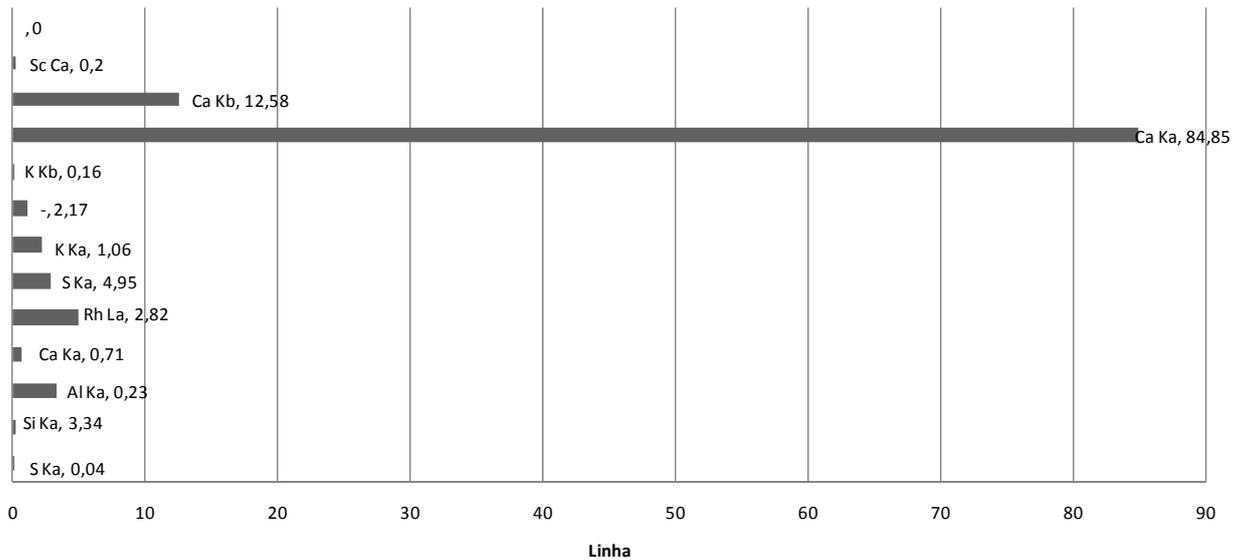


Figura 28 – EDX do cimento

Conforme é verificado nas figuras 20, 25 e 28 identificamos alguns compostos que são comuns a todos os materiais ensaiados e aparecem nas análises, como o Cálcio (Ca) e o Silício (Si).

O ensaio de picnometria a gás foi executado no cimento apresentando os resultados conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Massa específica do cimento

Amostra	Massa (g/cm ³)
C 1	3,1294
C 2	3,1296
C 3	3,1281
C 4	3,1275
C 5	3,1274
Média (g/cm³%)	3,1284
Desvio Padrão (%)	0,00104

A massa específica do cimento obtida pelo ensaio no aparelho de picnometria é de 3,128 kg/m³.

6.2 Corpos-de-prova das argamassas

Alguns parâmetros básicos de dosagem, referentes ao consumo de cimento, resíduo e areia, estão mostrados na tabela 12. Deve-se ressaltar que o consumo de cimento para todos os corpos-de-prova foi mantido constante, sendo este igual a 343 kg/m³. A seguir, em conjunto com os dados relativos aos resultados dos ensaios de resistência a compressão e absorção, encontram-se detalhados a discussão de tais resultados.

Tabela 12 – Consumo de materiais das argamassas

	Cimento (kg/m³)	Areia (kg/m³)	ACR (kg/m³)	S/P (Kg/l)	a/c (Kg/l)
Referência	343	686	0	6,86	96,04
25% de ACR	343	514,5	171,5	6,86	96,04
50% de ACR	343	343	343	6,86	96,04
75% de ACR	343	171,5	514,5	6,86	96,04
100% de ACR	343	0	686	6,86	96,04

Segundo é apresentado na figura 29, a resistência à compressão aos 28 dias obtida pelas argamassas com 25 % de ACR foi superior ao apresentado pelas dosagens de referência, 50%, 75 % e 100 % de ACR.

Os dados sugerem que a substituição do agregado miúdo pelo ACR em 25 %, preenche melhor os vazios que normalmente surgem na argamassa convencional obtido sem esta substituição, de forma mais eficiente do que aqueles obtidos por 50 %, 75 % e 100 % dessa substituição ou seja, produz um empacotamento mais eficiente na mistura cimentícia. Isto é reforçado pelos resultados dos ensaios de absorção, nos quais as argamassas com substituição de 25 % apresentaram resultados bem melhores do que aqueles tanto para as convencionais como para a de 50 %, 75 % e 100 % de substituição, vide tabelas 13,14, 15, 16 e 17, além da figura 30. Estes resultados devem ser confirmados no ensaio de porosimetria.

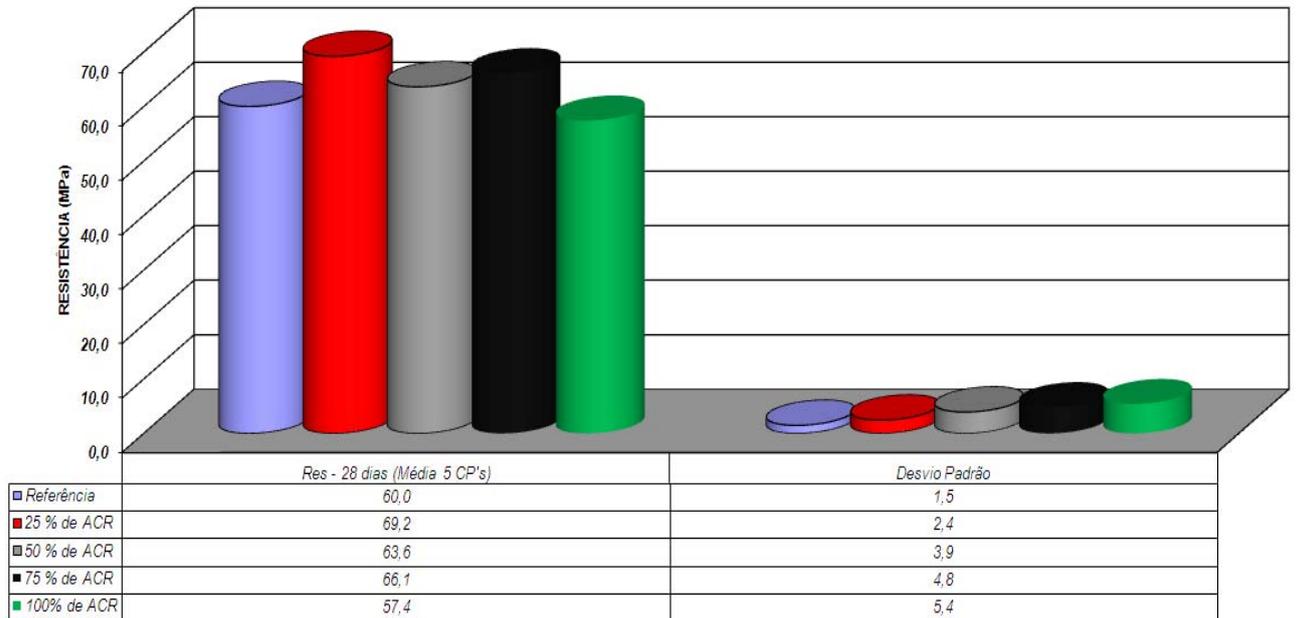


Figura 29 – Resistência à compressão axial da argamassa

Devemos ressaltar que os valores obtidos com 25%, 50 % e 75% de ACR foram superiores aos obtidos pelo de referência, em percentuais que correspondem a 13%, 6% e 9%.

Tabela 13 – Traço de Referência - Absorção de água – NBR 12118 (2006)

Resultados dos Ensaios de Absorção de Água e Teor de Umidade - NBR 12118 (2006)					
Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)
Amostra 1	440,00	458,00	4,09	4,37	0,40
Amostra 2	429,60	449,60	4,66		

Tabela 14 – 25 % de ACR - Absorção de água – NBR 12118 (2006)

Resultados dos Ensaios de Absorção de Água e Teor de Umidade - NBR 12118 (2006)					
Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)
25 % de ACR	421,20	438,40	4,08	4,16	0,10
25 % de ACR	364,20	379,60	4,23		

Tabela 15 – 50 % de ACR - Absorção de água – NBR 12118 (2006)

Resultados dos Ensaios de Absorção de Água e Teor de Umidade - NBR 12118 (2006)					
Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)
50 % de ACR	411,90	430,40	4,49	4,60	0,16
50 % de ACR	421,90	441,80	4,72		

Tabela 16 – 75 % de ACR - Absorção de água – NBR 12118 (2006)

Resultados dos Ensaios de Absorção de Água e Teor de Umidade - NBR 12118 (2006)					
Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)
75 % de ACR	423,70	441,40	4,18	5,02	1,19
75 % de ACR	420,10	444,70	5,86		

Tabela 17 – 100 % de ACR - Absorção de água – NBR 12118 (2006)

Resultados dos Ensaios de Absorção de Água e Teor de Umidade - NBR 12118 (2006)					
Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)
100 % de ACR	407,10	432,70	6,29	6,30	0,01
100 % de ACR	387,00	411,40	6,30		

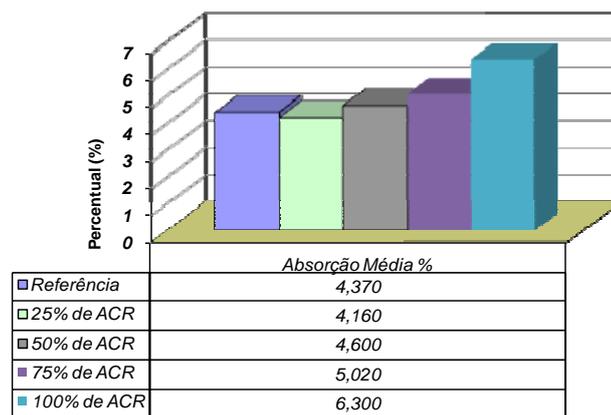


Figura 30 – Absorção das argamassas

Constatou-se também que, utilizando-se o ACR em substituição a areia, no percentual de 25 % a absorção foi menor do que aquela obtida para a argamassa de referência. É sabido que

algumas normas internacionais permitem até 6 % de absorção, enquanto a NBR 12118 (1991) estabelece um limite máximo de 10 %. Logo todas as argamassas foram aceitas segundo este critério da norma.

6.3 PCPs de concreto

Alguns parâmetros básicos de dosagem, referentes ao consumo de cimento, seixo, resíduo e areia, estão mostrados na tabela 18. Assim, como no caso das argamassas, também para os corpos-de-prova de concreto foi mantido constante o consumo de cimento, neste caso em 384,21 kg/m³. A seguir, juntamente com os dados relativos aos resultados dos ensaios de resistência a compressão e absorção, encontram-se detalhados a discussão de tais resultados.

Tabela 18 – Consumo de materiais das PCPs

PCPs	Consumo de cimento	Consumo de areia	Consumo de seixo	Consumo de resíduo	Consumo de Água
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/l)
Sem resíduo	384,21	695,46	979,74	0	125,92
Com 25% de Resíduo	384,21	521,60	979,74	173,87	125,92
Com 50% de Resíduo	385,21	260,80	979,74	260,80	125,92

Conforme é apresentado na figura 31, a resistência média à compressão aos 28 dias obtida pelos PCPs com 25 % de ACR foi superior ao apresentado pelos PCPs sem e com 50 % de ACR.

Isto nos leva a considerar que, assim como ocorreu com a argamassa, a substituição do agregado miúdo pelo ACR em 25 %, preencheu melhor os vazios que normalmente surgem no concreto convencional obtido sem esta substituição, de forma mais eficiente do que aqueles obtidos por 50 % dessa substituição. Isto também é reforçado pelos resultados dos ensaios de absorção, nos quais os PCPs com substituição de 25 % apresentaram resultados bem melhores do que aqueles tanto para o PCPs convencional como para o de 50 % de substituição, vide tabelas 19, 20 e 21, além da figura 32.

Tais resultados poderão ser confirmados com ensaios de porosimetria.

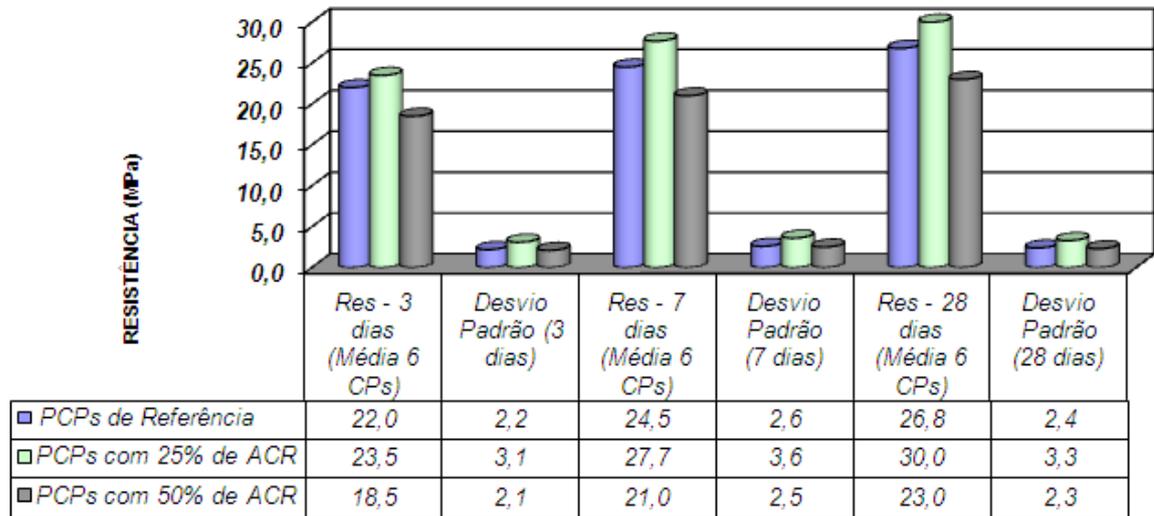


Figura 31 - Resistência à compressão axial das PCPs

Tabela 19 – Traço de Referência - Absorção de água e Teor de Umidade – NBR 12118 (2006)

Amostra	Massa (g)	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Umidade (U%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)	Média (U%)
R 1	6,140	5,690	6,240	9,666	81,818	8,976	0,415	72,856
R 2	6,070	5,700	6,185	8,509	76,289			
R 3	5,845	5,495	5,995	9,099	70,000			
R 4	5,640	5,295	5,775	9,065	71,875			
R 5	6,115	5,775	6,290	8,918	66,019			
R 6	5,985	5,640	6,125	8,599	71,134			

Tabela 20 – 25 % de ACR - Absorção de água e Teor de Umidade – NBR 12118 (2006)

Amostra	Massa (g)	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Umidade (U%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)	Média (U%)
Rs25% - 1	6,205	5,935	6,305	6,234	72,973	4,633	1,752	48,126
Rs25% - 2	6,100	5,965	6,250	4,778	47,368			
Rs25% - 3	6,155	6,150	6,230	1,301	6,250			
Rs25% - 4	6,315	6,210	6,485	4,428	38,182			
Rs25% - 5	6,215	5,965	6,290	5,448	76,923			
Rs25% - 6	6,225	6,065	6,405	5,606	47,059			

Tabela 21 – 50 % de ACR - Absorção de água e Teor de Umidade – NBR 12118 (2006)

Amostra	Massa (g)	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (A%)	Umidade (U%)	Média (A%)	Desvio Padrão (A%)	Média (U%)
Rs50% -1	5,920	5,690	6,060	6,503	62,162	7,365	0,963	68,809
Rs50%-2	5,840	5,515	5,990	8,613	68,421			
Rs50%-3	6,105	5,725	6,210	8,472	78,351			
Rs50%-4	6,125	5,885	6,260	6,372	64,000			
Rs50%-5	5,925	5,695	6,100	7,112	56,790			
Rs50%-6	6,175	5,830	6,245	7,118	83,133			

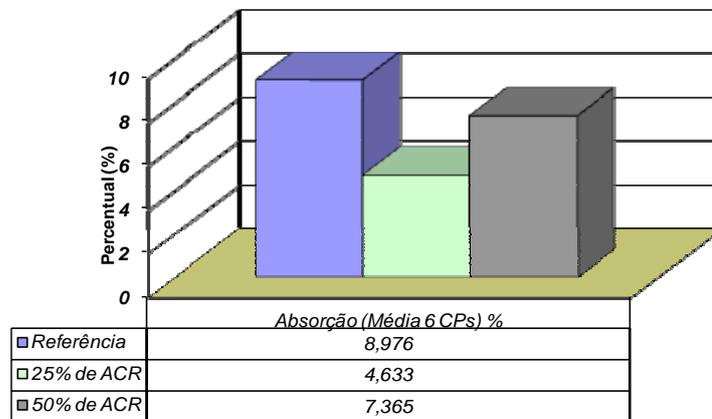


Figura 32 – Absorção das PCPs

Constatou-se também que, utilizando-se o ACR em substituição a areia, a absorção diminuiu significativamente, em termo de 2 vezes menor. É sabido que algumas normas internacionais permitem até 6 % de absorção, enquanto a NBR 12118 (2007) estabelece um limite máximo de 10 %. Logo todos os PCP's foram aceitos segundo este critério da norma.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das análises apresentadas no capítulo anterior, observa-se que a substituição parcial do agregado miúdo, comumente empregado para a fabricação de argamassas e concretos, por agregado reciclado de concreto (ACR) permitiu uma melhoria das características mecânicas, como resistência à compressão e absorção, em relação as apresentadas pelas argamassas e pelas PCPs produzidas de modo convencional, ou seja, com a areia obtida no comércio.

Nas argamassas verificou-se que nos ensaios de determinação das características de absorção e resistência a compressão, os melhores resultados foram obtidos para uma substituição da areia por 25 % de ACR, com um aumento dessas duas características em relação à argamassa de referência, sem qualquer substituição e para as argamassas com 50 % de substituição, sendo da ordem de 13 % para a resistência a compressão e 5 % para absorção.

Por outro lado, a resistência mecânica e a absorção são duas propriedades importantes na capacidade de utilização dos PCPs. Observando-se os resultados obtidos nos ensaios de determinação de ambas as características, verificou-se que os melhores resultados foram obtidos para uma substituição da areia por 25 % de ACR, com um aumento dessas duas características em relação ao PCPs de referência, sem qualquer substituição da ordem de 11 % para a resistência a compressão e 94 % para absorção.

Considera-se que isso se deve ao fato de que esta adição preencheu melhor os vazios em relação ao concreto produzido para os PCPs e do que os com 50 % de substituição.

Deste modo, conforme o resultado obtido neste trabalho pode-se observar o potencial que a utilização do ACR tem na produção de PCPs, apresentando-se como uma solução para o problema ambiental que surge com a deposição inadequada desse tipo de resíduo. Evidentemente que outros ensaios deverão ainda ser realizados para verificar a proporção ideal de substituição e confirmar os resultados apresentados neste trabalho.

Pode-se afirmar que é fundamental a necessidade de ampliar ainda mais o conhecimento sobre o comportamento de ACR na confecção de novos concretos. Com o objetivo de ampliar o conhecimento, esta pesquisa avaliou o comportamento dos PCPs com diferentes teores de ACR.

O cimento não hidratado pode ter contribuído para melhorar os resultados obtidos com a substituição da areia pelo ACR, mas isto poderá ser melhor avaliado.

Conforme o escopo a utilização da ACR pode proporcionar melhorias na matriz, especificamente nas argamassas. No tocante ao benefício ambiental, é notório uma vez que o agregado miúdo, graúdo e os componentes do cimento já foram extraídos da natureza. Logo, pode-se diminuir a quantidade de agregado extraído da natureza, retirando os resíduos despejados nos aterros sanitários, controlados e locais impropriados.

8 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Assim, para o prosseguimento desta pesquisa são apresentadas as seguintes sugestões:

- Fabricar as argamassas e os PCPs com outros percentuais e granulometrias de ACR na sua composição;
- Realizar outros ensaios para obtenção de uma maior quantidade de parâmetros a serem avaliados em futuras pesquisas;
- Analisar a utilização de outro tipo de cimento e aditivos plastificantes.
- Fazer uma análise econômica dos custos de produção da argamassa com ACR e do PCP com ACR.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 555R-01 Removal and reuse of hardened concrete. **ACI Materials Journal**. P. 300-325, may-jun. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Pavimentos intertravados - *Práticas recomendadas* – PR 2. São Paulo, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26: *Agregados - Amostragem*. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27: *Redução de amostras de campo para ensaio de laboratório*. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: *Agregado miúdo - Determinação da massa unitária do agregado em estado solto*. Rio de Janeiro, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 49: *Agregado fino - Determinação de impurezas*. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 51: *Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"*. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: *Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: *Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado*. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6465: *Agregado: determinação da abrasão Los Angeles: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: *Agregados - determinação do inchamento de agregado miúdo*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: *Solo – determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: *Solo – análise granulométrica – método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: *Agregados para Concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218: *Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219: *Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7220: *Agregados: determinação de impurezas orgânicas de naturezas húmicas em agregado miúdo: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: *Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: *Agregado graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9777: *Determinação da absorção de água em agregados miúdos*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9780: *Peças de concreto para pavimentação - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: *Peças de concreto para pavimentação*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9937: *Agregados: determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: *Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: *Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: *Lixiviação de resíduos: procedimento*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: *Solubilização de resíduos: procedimento*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118: *Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Determinação da Absorção de Água, do Teor de Umidade e da Área Líquida*. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: *Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 1997.

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.

ALAEJOS, P.; VAZQUES, E.; MARTINEZ, F.; POLANCO, A.; ALEZA, F.; PARRA, J. L.; BURÓN, M. Draft of spanish regulations for the use of recycled aggregate in the production of structural concrete. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. Proceedings...França: Elsevier publications , 2004.

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

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. São Paulo, 2005, 167p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 500: Part 2. Concrete – Complementary British Standards to BS EN 206-1 – part 2: specification for constituent materials and concrete. London, 2002.

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

BUTTNER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** São Paulo, 2007, 535f. (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CABRERA, J. G. & LINDSAY, C. J. “**A New Gas Permeometer for Measuring the Permeability of Mortar and Concrete**”, Magazine of Concrete Research, Vol. 40 , n. 144, September, 1988.

Carneiro, A. P.; Quadros, B. E.; Oliveira, A. M.; Brum, I. A.; Sampaio, T. S.; Alberte, E. P.; e Costa, D. B. (2001) – “**Características do Entulho e do Agregado Reciclado**”- Capítulo V do livro: “Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção”- Edição CEF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO 307: *Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.* Brasília, Publicada no DOU 17/07/2002.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concretos.** Tese de D. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 485 p, 2006.

Cruz, Luiz. O., Motta, Laura. M. G., 2003 – **Pavimento Intertravado de Concreto: materiais e métodos de dimensionamento.** In: Reunião Anual de Pavimentação, 12a RAPv, 2003, Aracaju. Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, 2003. v. 1, p. 62-73.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, – **Geologia e Recursos Minerais do estado do Amazonas.** Recursos Minerais (SLR), 2005. V. 1, p. 97-126.

D’ANTONA, R. de J. G.; REIS, N. J.; MAIA, M. A. M.; ROSA, S. F.; NAVA, D. B.; Araújo, I. B. 2006. **Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro da Várzea – Manaquiri – Careiro do Castanho (Domínio Baixo Solimões).** CPRM, Manaus. Informe de Recursos Minerais, no prelo.

European Committee for Standardization CEN/TC 178 N204E, 1996, “**Concrete Paving Blocks, Requirements and Test Methods**”, Brussels, Belgium.

FUNTAC, 1997. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** Ilha Solteira 2002. 134 p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP.

GEIPOT, 2000. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br>. Acesso em: jul. 2009.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. 674p.

JONH, V. M. **Reciclagem de Resíduo na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000, 102 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JONH, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduo da Construção. In: Seminário nacional sobre resíduos sólidos domiciliares.** São Paulo. Anais, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, CETESB, 2001.

JUNGMANN, A.; QUINDT, J. Alljig – technology for separation of building rubble and other secondary raw materials. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, San Sebastian. Proceedings...Warrendale. TMS/NASMET, 1999, p. 367-379.

HALLACK, A. **Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais.** São Paulo, 1998, 116 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2001.

LIGORIO, Paulo Eugênio de Castro. **Emprego de Blocos Sextavados de Concreto, pré-moldados e articulados, em pavimentação.** 1976. Instituto Brasileiro do Concreto, Colóquio sobre “Pré-moldados de Concreto”, São Paulo, 1976.

Motta, Laura. M. G., Fernandes. C., 2003 – **Utilização de Resíduo Sólido da Construção Civil em Pavimentação Urbana.** In: Reunião Anual de Pavimentação, 12a RAPv, 2003, Aracaju. Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, 2003. v. 1 p. 55-56.

Mizumoto, C., Segantini, A. A. S., Salles, F. M., 2007 – **Pavimento Intertravado com Agregados Reciclados de Concreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 49^o IBRACON, 2007, Rio Grande do Sul. Anais. Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. n. 206.

OLIVEIRA, M. J.; ASSIS, C. S.; DE MATTOS, J. T.– **Recycled Aggregate standardization in brazil**. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. Proceedings...França: Elsevier publications, 2004.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2.ed. Rev. atual. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

PNRCD (2001) – **Plan Nacional de Resíduos de Construcción Y Demolicion**. 2001 – 2006 - Resolución de 14/06/2001 – Serie Normativa – Secretaria General do Médio Ambiente - Espanha.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de Resíduos Sólidos da construção uubana**. São Paulo, 1999, 189p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

RIBAS, L. F. **Caracterização dos Resíduos de Construções Residenciais de Multipavimentos da Cidade de Manaus**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Amazonas, AM, Brasil, 124 p, 2008.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**, v. 27, p. 557-559, 1994.

Shackel, B., 1990, “**Design and Construcion of Interlocking Concrete Block Pavements**”, First Edition and Reprinted 1991, Elsevier, New York and London.

Smith, D. R., 1992, “**The Institutionalization of Concrete Block Pavements in North America**”, Fourth International concrete Block Paving Conference, Vol. 2, pp.355-359, Auckland.

Smith, D. R., 2003, “**Grand Entrances**”, **Interlocking Concrete Pavement Magazine**, Vol. 10, Number 2, pp.4.

TEUTONICO, Jeanne Marie. **A laboratory manual for architectural conservators**. Roma: International Center for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, 1988. 168p.

VAN ACKER, A. Recycling of concrete at a precast concrete plant. **BIBM**, Paris, p. 55-67, 1996.

ANEXO A
Certificado de Análise


BASF Construction Chemicals Brasil

Rua Costa Barros, 3089 Tel.: (11) 6108-5555
 Vila Prudente - 03210-001 Fax.: (11) 6108-5500
 São Paulo - SP - Brasil

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Certificado N° 2474/07

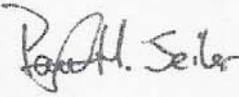
Descrição do Produto	: Glenium 51 - Bb 27 Kg	Lote (s)	: A2020207
Código do Produto	: 101137	Nota Fiscal nº	: 8599
Cliente	: 7776 - Coppetec	Endereço	:
Aos Cuidados de	:	Quantidade	: 27,00 (kg)
Data de Fabricação	: 01/03/2007	Local de teste	: São Paulo
Local de Fabricação	: São Paulo		

ÍTEMES ESPECIFICADOS

ANÁLISES	UNIDADE	MÉTODO	ESPECIFICADO	RESULTADO
Aparência		TM 761 B	Líquido esbranquiçado	OK
pH		TM 112 B	5,000 - 7,000	6.750
Densidade	g/cm ³	TM 578 B	1,067 - 1,107	1.069
Teor de sólidos	%	TM 613 B	28,500 - 31,500	30.100

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Função	: Aditivo Superplastificante - 3ª Geração
Segurança	: Impróprio para o consumo humano; não corrosivo, não tóxico, não inflamável.
Armazenamento	: Solicita-se manter as embalagens intactas em local ventilado, coberto, protegido do calor e umidade.
Observações	: Este Produto foi Aprovado e Cumpre com as Especificações Indicadas no Manual Técnico da BASF CC Brasil. * RESULTADO DOS EXAMES BASEADO NA MÉDIA DOS ÚLTIMOS 10 LOTES

Responsável	:  Paul Horst Seiler	
Data	: 14/03/2007	



Basf C C Brasil trabalhando em parceria com o Meio Ambiente

ANEXO B
Teste e Análise



SC-08.01.09

CEMENT CURAZAO PLANT
QUALITY CONTROL

ANALYSIS AND TESTING
LABORATORY REPORT
(CEMENT)

SAMPLE OF CEMENT: Cemento P-350 Certification No: 81
 MV: "GLORY SKY " DEPARTURE: 11.10.08 Date: 13.10.08
 SPECIFICATION TYPE: CEMENTO P-350 NC-95 2001 Quantity: 14492.00TM
 REMARKS DESTINATION: Manaus, Amazonas, Brasil

CHEMICAL ANALYSIS :

SiO ₂	19.75 %	SO ₃	3.10 %	C ₃ S	59.89 %
Al ₂ O ₃	5.40 %	L.O.I.	2.41 %	C ₂ S	11.47 %
Fe ₂ O ₃	2.70 %	I.R.	1.53 %	C ₃ A	9.73 %
CaO	63.62 %	K ₂ O	0.51 %	C ₄ AF	8.22 %
MgO	1.32 %	Na ₂ O	----- %		

PHYSICAL TESTING:

FINENESS		COMPRESSIVE STRENGTH (NC 506-2007 ASTM C 109)			
45 um (N° 325) Sieve:	81.07 %	3 Days	----- MPa	----- PSI	
90 um (N° 4900) Sieve:	98.2 %	7 Days	----- MPa	----- PSI	
		28 Days	----- MPa	----- PSI	
SPECIFIC SURFACE BLAINE	3350 cm ² /g				
EXPANSION	----- mm				

TIME OF SETTING VICAT.

Initial Time: 85 min

Final Time: 140 min


 Ing. Cecilia Moliner
 Laguardia
 QUALITY ASSURANCE MANAGER

