



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CURITIBA**  
**GERÊNCIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**E DE MATERIAIS - PPGEM**

**JOSÉ RIBAMAR DE ABREU CARDOSO**

**USO DO AGREGADO DE ENTULHO DA**  
**CONSTRUÇÃO CIVIL DE MANAUS - AM PARA**  
**OBTENÇÃO DE BLOCO DE ARGAMASSA CELULAR**

**MANAUS**  
**FEVEREIRO - 2010**

**JOSÉ RIBAMAR DE ABREU CARDOSO**

**USO DO AGREGADO DE ENTULHO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL DE MANAUS - AM PARA  
OBTENÇÃO DE BLOCO DE ARGAMASSA CELULAR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

**Orientador:** Prof. José Alberto Cerri, Dr.

**MANAUS  
FEVEREIRO - 2010**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**JOSÉ RIBAMAR DE ABREU CARDOSO**

**USO DO AGREGADO DE ENTULHO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL DE MANAUS - AM PARA  
OBTENÇÃO DE BLOCO DE ARGAMASSA CELULAR**

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

---

Prof<sup>o</sup>. Giuseppe Pintaúde, Dr  
Coordenador de PPGEM

**Banca Examinadora**

---

Prof<sup>o</sup>. José Alberto Cerri, Dr.  
(UFTPR)

---

Prof<sup>a</sup>. Márcia Silva de Araújo, PhD  
(UFTPR)

---

Prof<sup>o</sup>. Adriano Alves Rabelo, Dr  
(UFTPR)

Manaus, 18 de Fevereiro de 2010

“Deus, princípio de toda sabedoria”.

## AGRADECIMENTOS

À Deus que oportunizou esse momento. Obrigado Senhor!

Ao orientador Professor José Alberto Cerri e co-orientadora Professora Márcia Silva de Araújo que ofereceram sua dedicação para realização deste trabalho.

Aos meus colegas do MINTER, pelo apoio disponibilizado no período de estudo.

A minha mãe Maria de Abreu Cardoso e minha irmã Ivanilde “in memória”, meus irmãos Rui, Francisca, Nonato, Socorro e Fátima que sempre acreditaram e incentivaram meus estudos.

A minha esposa Deolinda e meus filhos Amanda e Gabriel pela paciência com a minha ausência e pelo incentivo.

A UTFPR/IFAM pela realização do MINTER/MANAUS, seus coordenadores Beltrão, Vicente e Pinheiro, bem como todos os professores que disponibilizaram ensinamentos, dedicação e serenidade, deslocando-se de Curitiba até Manaus para ampliar nossos conhecimentos.

Ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) na pessoa do Reitor que possibilitou a realização do Mestrado interinstitucional e aos colegas da construção civil que apoiaram e disponibilizaram o laboratório de materiais de construções.

Aos mestres Carlos Czulik, Jucélio, Carlos Bavastri, Carlos Henrique, Sergei, Giuseppe Pintaúde, Cerri, Márcia e Cássia pelo laser proporcionado e, aos mestres Marcos Schiefler, Silvio, Carla e Livia pela atenção disponibilizada e acolhida.

Às secretárias Sra Graça (PPGEM PR), professor Gutemberg e Sra Maíra e suas bolsistas (MINTER/MANAUS) por sua atenção, dedicação e alegria.

Aos colegas da GTI que muito contribuíram no apoio para realização do trabalho.

A CPRM, na pessoa do Diretor Cesar e seu colaborador Vianeí, que disponibilizaram tempo e boa vontade, na trituração dos RCD, para realização deste trabalho.

A UFAM e seus colaboradores Professor Raimundo Vasconcelos, Nilson e Jorge. Também pelo apoio dos professores Atlas Bacelar e Consuelo Frota.

À empresa RD engenharia na pessoa do eng<sup>o</sup> Hernandez e os colaboradores Ranilson e Jairo, que contribuíram para realização deste trabalho.

À SUPERMIX pelo apoio para realização dos ensaios.

Minha especial gratidão a minha amiga professora Ana Célia Said do IFAM, a técnica Ana Maria e o técnico Ademilson pela contribuição.

Ao casal Claudia e Hilário que me acolheram em Curitiba, minha gratidão e respeito.

Ao meu compadre professor Cláudio Nogueira que contribuiu para concretização deste trabalho.

Obrigado a todos que de forma indireta ajudaram na concretização deste trabalho.

“Busca a verdade em Deus e ela será  
concedida”

José Ribamar Cardoso

“A humildade e o bom senso são virtudes  
importantes para o conhecimento e a  
disseminação deste”

José Ribamar Cardoso

CARDOSO, José Ribamar de A., Uso do Agregado de Entulho da Construção Civil de Manaus - AM para Obtenção de Bloco de Argamassa Celular, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

## RESUMO

Na construção civil tem-se procurado mecanismos por meio de novas técnicas que possibilitem viabilizar a sustentabilidade dessa atividade produtiva, respeitando às questões ambientais e a tendência de escassez dos recursos naturais. A indústria da construção civil tem buscado na reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) uma forma de atenuar o impacto ambiental e buscar uma fonte alternativa de matéria-prima. Associado a essa preocupação, grandes centros consumidores da região Amazônica, como Manaus, utilizam agregados para produção de concretos e argamassas minerados dos leitos dos rios e trazidos de grandes distâncias. O presente trabalho tem como objetivo estudar a obtenção de blocos de argamassa celular para alvenarias, utilizando agregados de RCD em substituição aos agregados convencionais. Os blocos de argamassa celular são largamente utilizados na Europa como elementos de alvenaria devido à capacidade de isolamento térmico e acústico, parâmetros esse de grande relevância para um elemento construtivo também em regiões de clima quente. Em Manaus existem empresas que constroem habitações com argamassa celular monolítica, ou seja, todas as alvenarias da residência são moldadas em uma única etapa. Assim, após obtenção e caracterização da fração cinza de RCD, foi utilizada uma composição comercial de argamassa celular para analisar a substituição dos agregados alternativos pelo RCD. Com isso buscou-se também obter uma dosagem mais econômica, com resistência mecânica exigida pela norma brasileira para blocos e minimizar o impacto ambiental de argamassas celulares convencionais. Os resultados técnicos foram favoráveis, com potencial para consumir agregados de RCD, contribuindo assim na gestão ambiental desse resíduo da construção civil.

Palavras-chave: Resíduo de Construção e Demolição; Agregado Alternativo; Argamassa Celular

CARDOSO, José Ribamar de A., *Uso do Agregado de Entulho da Construção Civil de Manaus-Am como Alternativa aos Convencionais na Obtenção de Bloco de Argamassa Celular*, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

## **ABSTRACT**

In building construction, we have searched for mechanisms through new technologies which enable the sustainability of this productive activity, respecting the environmental issues and the shortage of natural products. Civil construction industry has searched for construction and demolition recycling (RCD) as a way of mitigating the environmental impact and a way of seeking for an alternative source of raw material. Associated with this concern, large consumer centers in the Amazon region, such as Manaus, have been using aggregates to produce concrete and mortar mined from the riverbeds and brought from great distances. This work aims to study the acquisition of blocks of masonry mortar cell, using clusters of RCD as a substitute for conventional aggregate. The blocks of mortar cell are widely used in Europe as masonry units due to their thermal and acoustic isolation abilities, which constitute very important parameters for building elements in warm climates. In Manaus, there are companies that build houses with mortar and monolithic cells, i.e., all the walls of the residence are molded in a single step. Thus, after obtaining and characterizing the ash fraction of RCD, we used a commercial composition of mortar cell to analyze the substitution of the alternative aggregates by RCD. With this procedure we searched to obtain a more economic dosage with the strength required by the Brazilian standard blocks and minimize the environmental impact of conventional mortar cells. The technique results were positive, with the potential of consuming RCD aggregates, thus contributing to the environmental management of this civil construction waste.

**Keywords:** Waste Construction and Demolition, Aggregate Alternative; Mortar Cell.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral.....	2
1.2 Objetivos Específicos: .....	2
1.3 Justificativa .....	2
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Resíduo de Construção e Demolição (RCD) .....	5
2.2 Agregados de RCD para uso na Construção Civil.....	10
2.3 Concreto .....	14
2.3.1 Tipos de Concretos .....	14
2.3.2 Concreto celular .....	17
2.3.3 Agregado Utilizado em Concreto Celular .....	17
2.3.4 Dosagem de concreto celular.....	18
2.3.5 Construção de habitação com argamassa celular monolítica.....	18
2.4 Argamassa .....	20
2.4.1 Classificação e tipo de aplicação de argamassa .....	22
2.4.2 Função da argamassa e tipo de aplicação.....	22
2.4.3 Caracterização das argamassas.....	23
a) Classificação MERUC .....	23
b) Classificação segundo NBR 13281 / 1995.....	24

2.4.4	Algumas definições importantes .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1	Materiais .....	29
3.2	Caracterização dos Agregados .....	31
3.2.1	Britagem do ACR.....	32
3.2.2	Distribuição granulométrica.....	32
3.2.3	Massa específica.....	35
3.2.4	Módulo de finura.....	36
3.2.5	Massa unitária .....	37
3.3	Compacidade do material seco.....	38
3.4	Dosagem .....	38
3.4.1	Dosagem da argamassa celular referencial.....	39
3.4.2	Dosagem das composições .....	39
3.5	Preparo das argamassas .....	40
3.6	Caracterização da argamassa no estado fresco.....	41
3.7	Teor de água e índice de consistência.....	41
3.8	Obtenção de corpo-de-prova (CP).....	42
3.8.1	Cura dos corpos-de-prova.....	43
3.9	Ensaio da resistência mecânica à compressão (RMC) do CP .....	43
3.10	Ensaio de Absorção de Água para o CP .....	45
3.11	Índice de vazios.....	45
3.12	Densidade .....	46
3.13	Custo dos materiais para fabricação do bloco .....	47
<b>4</b>	<b>RESULTADOS e DISCUSSÕES.....</b>	<b>48</b>
4.1	Resultados da Caracterização dos Agregados.....	48
4.1.1	Distribuição granulométrica.....	48
4.1.2	Massa específica do agregado .....	52
4.1.3	Módulo de finura do agregado .....	53
4.1.4	Massa unitária do agregado.....	53
4.2	Compacidade do material seco.....	53

4.3	Dosagem da argamassa .....	55
4.3.1	Dosagem da argamassa referencial .....	55
4.3.2	Dosagem da argamassa com agregado alternativo de ACR.....	55
4.4	Preparação da Argamassa.....	56
4.5	Teor de água e índice de consistência.....	56
4.6	Resultado da obtenção dos corpos de prova.....	58
4.6.1	Corpo-de-prova referencial .....	58
4.6.2	Corpo-de-prova da mistura com material alternativo de ACR .....	58
4.7	Resultado da trabalhabilidade e fluidez .....	58
4.8	Resultado da cura dos corpos-de-prova .....	59
4.9	Ensaio da resistência mecânica à compressão (RMC) .....	60
4.9.1	RMC da argamassa com agregado natural – argamassa referencial .....	60
4.9.2	RMC da argamassa preparada em laboratório proposta na metodologia. ....	61
4.9.3	a) Análise da RMC da argamassa preparada com 100% AN, composição 1. ....	61
	b) Análise da RMC da argamassa preparada com 80% de AN e 20 % de ACR, composição 2. .	62
	c) Análise da RMC da argamassa preparada com 60% de AN e 40 % de ACR, composição 3. .	62
	d) Análise da RMC da argamassa preparada com 50% de AN e 50 % de ACR, composição 4. .	63
	e) Análise da RMC da argamassa preparada com 40% de AN e 60 % de ACR, composição 5. .	64
	f) Análise da RMC da argamassa preparada com 20% de AN e 80 % de ACR, composição 6. .	64
	g) Análise da RMC da argamassa preparada com 100 % de ACR, composição 7.....	65
	h) Análise comparativa da RMC da argamassa entre as composições 1 e 4. ....	66
	i) Análise comparativa da RMC da argamassa entre as composição 4 e 7. ....	66
	j) Análise comparativa da RMC da composição para sete dias.....	67
	l) Análise comparativa da RMC das composições para quatorze dias.....	68
	m) Análise comparativa da RMC das amostras para vinte e oito dias. ....	69
4.10	Absorção água pelo CP da argamassa celular .....	70
4.11	Índice de Vazios no CP da argamassa celular .....	71
4.12	Densidade do CP da argamassa celular.....	71
4.13	Custo de um bloco.....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>

5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	76
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>82</b>
	APÊNDICE .....	83
	CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND .....	83

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 – Pontos de exploração de agregado (seixo e granito).....	12
Figura 2.3 - Forma em alumínio para habitação monolítica .....	19
Figura 3.1 - Jazida de areia de quartzo BR-174.....	29
Figura 3.2 - ACR selecionado para britagem e reduzido em pequenas partículas....	30
Figura 3.3 - Microfibra de prolipolileno .....	31
Figura 3.4 - Espumante termopolímero acrílico.....	31
Figura 3.10 - Britador utilizado e material triturado de concreto produzido com arenito e concreto produzido com seixo.....	32
Figura 3.5 - (A) Areia seca em bandeja; (B) Estufa de secagem e esterilização.....	33
Figura 3.11 - Agregado de ACR selecionado seco e quarteamento para análise granulométrica. ....	33
Figura 3.6 - Balança digital com precisão de 0,1 g.....	34
Figura 3.7 - Conjunto de peneiras, acessórios e areia para granulometria. ....	34
Figura 3.8 - Ensaio da massa específica no frasco de CHAPMAN .....	36
Figura 3.9 - A deposição do agregado no frasco e seu rasamento. ....	37
Figura 3.12 – Suporte universal e proveta com material seco após compactação....	38
Figura 3.13 – Betoneira de eixo inclinado com capacidade de 320 litros .....	40
Figura 3.14 - Mesa para teste de consistência.....	41
Figura 3.15 - (A) Limpeza e preparo; (B) Moldagem do CP. ....	42
Figura 3.16 – (A) CP moldados em descanso; (B) CP desmoldado e identificado....	43
Figura 3.17 - Capeamento de CP para rompimento.....	44
Figura 3.18 - Prensa hidráulica para ensaio manual de resistência mecânica à compressão.....	44
Figura 4.1 - Curva da distribuição granulométrica do agregado natural.....	48
Figura 4.2 - Agregado de ACR triturado e separado por peneira. ....	49

Figura 4.3 - Curva granulométrica do agregado de ACR após ser triturado. ....	49
Figura 4.4 - Curva comparativa do agregado de ACR após ser triturado.....	50
Figura 4.4 - Curvas comparativas do percentual acumulado da areia natural e de ACR.....	51
Figura 4.5 - Quantidade de massa de areia e de ACR x peneira.....	52
Figura 4.6 - Compacidade do material seco.....	54
Figura 4.7 – RMC da argamassa referencial.....	60
Figura 4.8 – RMC da composição 1 .....	61
Figura 4.9 – RMC da composição 2 .....	62
Figura 4.10 – RMC da composição 3.....	63
Figura 4.11 – RMC da composição 4.....	63
Figura 4.12 – RMC da composição 5.....	64
Figura 4.13 – RMC da composição 6.....	65
Figura 4.14 – RMC da composição 7.....	65
Figura 4.15 – Análise comparativa da RMC da composição 1 e 4.....	66
Figura 4.16 – Análise comparativa da RMC da composição 4 e 7.....	67
Figura 4.17 – RMC das composições com idade de sete dias.....	67
Figura 4.18 – RMC das composições com idade de quatorze dias.....	68
Figura 4.19 – RMC das composições com idade de vinte e oito dias.....	69
Figura 4.20 – Comparação da RMC das composições por idade.....	70
Figura 4.21 - Representa a absorção de água do CP para cada composição.....	70
Figura 4.22 – Relação do Índice de vazios do CP para cada composição.....	71
Figura 4.23 - Densidade do CP para cada composição.....	72
Figura 4.24 – Mostra da estrutura interna do CP.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Massa específica para concreto.....	17
Tabela 2.2 - Porcentagens (em peso) acumuladas em peneira para agregado.....	18
Tabela 2.3 - Classificação das argamassas.....	22
Tabela 2.4 - Classificação das argamassas segundo sua função.....	23
Tabela 2.5 - Classificação das características de argamassas para revestimento (CSBT,1993) .....	24
Tabela 2.6 - Classificação de argamassas segundo a NBR 13281 / 2005) .....	25
Tabela 3.1 - Composição da argamassa celular com agregado natural (AN) e agregado alternativo (AA).....	40
Tabela 4.1 – Análise Granulométrica da areia de quartzo de jazida, agregado natural, material convencional.....	50
Tabela 4.2 - Quantidade de material acumulado por intervalo de peneira .....	51
Tabela 4.3 – Resultado da massa específica da areia de quartzo e ACR. ....	52
Tabela 4.4 – Resultado do modulo de finura da areia de quartzo e ACR. ....	53
Tabela 4.5 – Resultado da massa unitária da areia de quartzo e ACR.....	53
Tabela 4.6 – Quantidade de massa agregado, cimento e microfibras com seu volume inicial e final.....	54
Tabela 4.7 – Dosagem da argamassa referencial.....	55
Tabela 4.8 – Quantidade de material, relação água/cimento, teor de água por amostra de argamassa e Índice de consistência, NBR 13276/02 .....	57
Tabela 4.9 – Massa específica relativa de cada amostra.....	57
Tabela 4.10 - Resistência mecânica à compressão x idade da argamassa referencial	

Tabela 4.11 – Massa do CP com absorção de água, índice de vazios e densidade.	72
Tabela 3.4 - Relação de materiais e preço para confecção de um bloco.....	73
Tabela 7.1 – Caracterização física do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas.....	83
Tabela 7.2 – Caracterização química do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas. ....	83
Tabela 7.3 – Resistência à compressão do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas, NBR 7.215/96.....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	- Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- American Society for Testing and Materials
CPRM	- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CSTB	- Centre Scientifique et Technique du Batiment
DEMULP	- Departamento Municipal de Limpeza Pública
IFAM	- Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
IPAAM	- Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
MERUC	- Sigla de densidade, deformação, resistência, umidade e Capilaridade
NBR	- Normas Brasileiras
OECD	- Organization for Economic Cooperation and Development
PROSAM	- Programa Social e Ambiental dos Igarapes de Manaus
RCD	- Resíduo de Construção e Demolição
RILEM	- Réunion Internationale des Laboratoires D'Essais et Matériaux

## LISTA DE SÍMBOLOS

kg/hab.ano	- massa por habitante por ano
T	- tonelada
km <sup>2</sup>	- quilômetro quadrado
m <sup>3</sup>	- metros cúbicos
Km	- quilômetro
$\mu_{ap}$	- Massa específica aparente
kg/m <sup>3</sup>	- densidade
kgf/cm <sup>2</sup>	- Unidade de pressão
Mm	- milímetro
°C	- graus Celsius
CA60	- Aço utilizado em concreto armado com 60 MPa de resistência
MPa	- mega Pascal (unidade de pressão - SI)
pH	- Potencial de hidrogênio iônico (indica acidez)
G	- grama (unidade de massa)
$\mu_E$	- Massa específica
$\mu_U$	- Massa unitária
mL	- mili litros
rot/min	- Unidade de torque (rotações por minuto)
CP	- Corpo-de-prova
mm/min	- Indica a velocidade de rompimento dos CPs
RMC	- Resistência mecânica à compressão
AA	- Absorção de água
$I_v$	- Índice de vazios
$P_r$	- Massa específica real
a/c	- relação água / cimento

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico está diretamente ligado às questões ambientais e a tendência de escassez dos recursos naturais. Na construção civil tem-se procurado mecanismos por meio de novas técnicas que possibilitem viabilizar a sustentabilidade dessa atividade produtiva. Hoje, diante deste contexto, busca-se alternativa para o reaproveitamento dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como alternativas para atender as necessidades na composição de materiais para o processo construtivo.

A indústria da construção civil tem buscado a reciclagem como forma de atenuar o impacto ambiental, bem como, na redução de custo com desenvolvimento de novos produtos, utilizando materiais reciclados de forma criteriosa para garantir o sucesso dos produtos no mercado.

É de grande importância a reciclagem desses resíduos da construção, pois geram grandes benefícios como: redução no consumo de matéria-prima não renovável de origem natural; redução de áreas necessárias para aterro, minimização de volume de resíduos, uma vez que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (Pinto, 1999); redução da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas como assoreamento dos rios e córregos além de preservação das reservas naturais.

Os resíduos de construção e demolição constituem, em sua maioria de restos de argamassa, concreto e material cerâmico que, quando triturados, possuem características físicas semelhantes às de uma areia grossa ou agregados graúdos, podendo ser transformados em agregados para uso em diversos seguimentos do processo produtivo da construção civil.

A avaliação técnica dessa aplicação e sua influência na qualidade são fatores importantes para definir algumas características como: otimização da composição (granulometria, relação água/cimento, consumo de cimento, tipo de cura, etc.).

A abordagem prevista nesse projeto com relação ao estado da arte da geração e aproveitamento de resíduos da construção civil contemplará os seguintes aspectos: a evolução histórica da reciclagem dos resíduos de construção e

demolição ao longo dos últimos 10 anos; as definições referentes ao objeto de estudo; os conceitos e as ferramentas da qualidade aplicada na construção civil, o desperdício no setor, a geração de resíduos associado à qualificação profissional e o custo de produção, a importância da reciclagem e sua aplicação nos diversos setores da construção civil, os investimentos necessários e os benefícios sócio-econômico e ambientais; as normas pertinentes aos agregados de RCD, características do concreto leve e os produtos gerados a partir deste, destacar as cidades que proporcionam o beneficiamento dos resíduos.

No capítulo seguinte, destaca-se a metodologia em suas diversas etapas que vai desde a coleta das amostras de ACR, passando pela quantificação, caracterização qualitativa dos resíduos, análise granulométrica, seleção do material para confecção dos corpos-de-prova em laboratório, determinação dos traços utilizados, fator água/cimento e caracterização de resistência à compressão e permeabilidade da argamassa.

### **1.1 Objetivo Geral**

Obter argamassa celular utilizando agregados de ACR que atendam aos requisitos previstos em norma técnica, NBR 6136/2007, para confecção de blocos para elementos de vedação utilizados em alvenaria.

### **1.2 Objetivos Específicos:**

- a) Caracterizar o agregado ACR para utilização em concreto celular;
- b) Estudar a melhor dosagem para argamassa celular, utilizando ACR;
- c) Comparar o comportamento da argamassa com ACR seletivo à argamassa convencional.

### **1.3 Justificativa**

A geração de resíduos sólidos na construção civil e sua destinação constituem um fator preocupante em todo mundo, bem como no Brasil, pois acarretam desequilíbrios de ordem ambiental, social e financeira. É um tema atual de e extrema relevância, pois afeta a cadeia de exploração dos recursos naturais não renováveis

e, no outro extremo, com a geração de resíduos causa: poluição urbana, degradação de mananciais e esgotamento de aterros sanitários.

É importante salientar que a porção de resíduos sólidos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes da construção, demolição, reformas e reparos de edificações são constituídos, em sua maioria de: tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto, oferecendo uma heterogeneidade e conseqüente comportamento diferente na composição física e química desse material.

Portanto, a quantidade de entulho gerado na construção civil constitui hoje uma preocupação nas cidades de médio e grande porte no que se refere à destinação, demandando grandes áreas para disposição ou reduzindo a vida útil dos aterros sanitários. Contudo, têm-se desenvolvido estudos e projetos para minimizar esse impacto ambiental, tanto do que diz respeito à poluição gerada pelo destino dos resíduos como na exploração de matéria-prima natural, pois cada vez mais as jazidas vão ficando mais escassas como economicamente inviável pela sua distância dos centros produtores.

A busca de solução para este problema sócio-econômico e ambiental constitui um desafio para encontrar uma alternativa para minimizar estas questões que é a reciclagem dos resíduos gerados no processo construtivo como: demolições, reformas, ampliações e adequação nas áreas urbanas de calhas de escoamento de trânsito, de novos empreendimentos na área social e comercial, etc.

No desenvolvimento de um produto gerado a partir de resíduos da construção civil é importante buscar processo de pesquisa e desenvolvimento que estabeleça uma alternativa significativa na questão sócio-econômica e ambiental, assegurando uma tarefa complexa multidisciplinar de conhecimento e gestão.

É importante buscar uma metodologia com objetivo de orientar e disciplinar as atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos gerados da construção civil. Portanto, faz-se necessário agregar os conceitos relevantes e articular as ferramentas principais para definição de atividades que possam nortear este trabalho.

Hoje, Manaus experimenta um momento de muita transformação em virtude do crescimento da cidade no sentido horizontal e vertical, bem como o aumento da quantidade de automóveis em circulação, obrigando uma adequação no sistema viário com abertura de novas calhas de trânsito rápido de escoamento para os bairros. Com efeito, houve necessidade de grandes indenizações de edificações gerando um volume considerado de RCD que poderia ser processado em usina de reciclagem para utilização no próprio processo produtivo em vez de ser destinado ao aterro sanitário.

Outro grande fato é o projeto do governo do estado denominado Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus - PROSAMIM, que visa retirar todas as famílias das áreas de risco próximo aos igarapés para saneamento, urbanização e construção de moradia padrão para às famílias que habitavam na região, gerando um grande volume de RCD os quais foram destinados ao aterro sanitário.

Verifica-se que todo esse volume de resíduo poderia ser incorporado ao processo produtivo através de reciclagem, somado ao grande volume gerado pelo processo produtivo das novas edificações em especial as construções verticais e condomínios que se alastra na cidade. Justifica-se a necessidade de uma usina beneficiadora para gerar renda as pessoas e minimizar as questões ambientais no entorno da cidade de Manaus.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

É importante abordar os conceitos e a seqüência das pesquisas desenvolvidas por diversos autores como: a geração de RCD, os impactos ambientais, a reciclagem de ACR, a Legislação Brasileira, as propriedades dos agregados, a reutilização dos agregados, a composição, a granulometria dos agregados utilizados como matéria-prima, sua massa específica e sua massa unitária.

Apesar do uso de RCD já acontecer há mais de 50 anos, inicialmente em alguns países da Europa, a partir de 1974 foram criados os comitês para nortear seu tratamento, pois sua utilização vem se propagando de forma acentuada em vários países, inclusive no Brasil, onde várias cidades têm buscado seu reaproveitamento.

Observa-se que muitos pesquisadores brasileiros têm desenvolvido estudos importantíssimos do agregado de RCD, desde sua geração, passando pela logística de transporte, pelo impacto ambiental, pela reciclagem e pelo seu reaproveitamento na construção civil nas diversas formas de aplicação.

Serão mostrados em cada item abaixo os estudos desenvolvidos por diversos pesquisadores sobre o RCD e seus respectivos destinos, bem como a legislação pertinente.

### 2.1 Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

Ao longo da história os resíduos gerados pelos processos industriais têm sido utilizados como matéria-prima para gerar outros produtos. As cinzas, que é um subproduto do carvão são utilizadas para fabricação do cimento Portland. Observa-se que o reaproveitamento tem contribuído também na questão ambiental, na preservação de reservas minerais para a fabricação do mesmo produto e na questão econômica do processo produtivo.

Apesar de tantas demolições originadas de diversas formas, como guerras, expansão e utilização dos espaços urbanos para uso público, verifica-se que, segundo CINCOTTO (1983), a partir 1968 em decorrência de realizações de

simpósios surgem temas com preocupações voltadas para o reaproveitamento de materiais na construção civil.

Em 1974, foram criados vários comitês de entidades normatizadoras, como Comitê E-38, criado pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*), tendo como objeto a busca no desenvolvimento de métodos de recuperação de materiais e energia; o Comitê 37-DRC, instituído pela RILEM (*Réunion Internationale des Laboratoires D'Essais et Matériaux*), com foco nos resíduos de demolições, e o Comitê de “Pesquisa em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias” instituído pela OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*), com intuito de “Promover o uso mais econômico dos materiais na construção de rodovias e examinar a pesquisa e a exigência dos países membros da OECD”.

A partir dessas inquietações da sociedade, buscando através dos comitês para promover estudos de reaproveitamento dos resíduos gerados pela demolição e construção de obras civis, pois o volume de materiais é significativo, com potencial econômico significativo pela sua utilização diversificada e versátil, despertando em vários pesquisadores no mundo e, em particular no Brasil para análise minuciosa para incorporação no processo produtivo deste seguimento, a fim de oportunizar ganhos para sociedade.

A NBR 10.004 / 2004 classifica resíduos em três classes distintas: resíduos perigosos, resíduos não-inertes e inertes. Na construção civil, destaca-se os inertes que quando direcionado para locais inapropriado pode causar grandes desequilíbrio ao meio ambiente. Segundo Pinto (1997): “... a adoção de uma política de gestão diferenciada para o entulho, paralelamente à coleta dos resíduos domiciliares, possibilita resultados significativos em termos de limpeza urbana, melhorando a qualidade dos ambientes e, portanto, a qualidade de vida dos moradores”.

Uma grande fatia de resíduos se apresenta como: alvenarias, estruturas de concreto, revestimentos cerâmicos, estruturas de pedra em bloco, argamassas, meio-fio, sarjeta, tubos de concreto, e caixas confeccionadas com bloco de concreto, calçadas e outros, classificado como RCD Classe A: *resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados compostos por diversos materiais de origem mineral* (CONAMA, 2002).

A não observância das leis por parte da sociedade e a ausência do poder público municipal como agente gestor e fiscalizador para o cumprimento das normas facilitam o destino desse tipo de entulho sejam colocados em: lixões, margens de igarapés, em ruas, aterro de valas e, para o aterro sanitário de Manaus.

Percebe-se que um grande problema associado à preocupação das empresas concreteiras é o destino de sobras ou rejeitos de concretos. Segundo Pinto (1986): “O concreto que retorna para a central é reutilizado em pavimentação e reformas nas próprias centrais ou na produção de blocos para uso em muros de separação de baias ou divisas de terrenos”.

O desperdício no setor da construção civil, segundo Latterza (1998), é o que mais gera resíduo sólido comparado com produto final em processo produtivo. No Brasil as perdas chegam a atingir de 20% a 30% da quantidade de material de construção que é destinado à obra para edificações. Segundo John e Agopyan (2000), a geração de resíduos na fase construtiva é decorrente dos processos construtivos.

Vários fatores estão associados à geração de resíduos da construção civil como: correção de patologias, reformas com demolição parcial, substituição de componentes que atingiram sua vida útil e demolição ou desmontagem que permitam reutilização dos componentes. Também podem ser fato gerador erros no processo construtivo da concepção a execução do projeto, má qualidade do material empregado e perda por estocagem.

O gerenciamento desses resíduos depende do desenvolvimento de novas tecnologias para sua reciclagem e sua difusão. Para tanto, deve-se observar o gerenciamento do ciclo de vida dos materiais de construção desde as cadeias de produção, construção, demolição, reuso ou reciclagem e o descarte para o meio ambiente.

Além disso, é importante para a redução do uso dos recursos naturais (fontes de energia e matéria-prima) e de mantê-lo no ciclo de produção o máximo de tempo possível. Tal conceito enfatiza a importância do projeto no processo construtivo que é visto como um processo de reciclagem (HENDRIKS E PIETERSEN, 2000). Durante o processo construtivo a reciclagem está condicionada a utilização de

resíduos transformados em agregado que são disponibilizados em novas construções ou nos processos para a produção de novos materiais (HENDRIKS, 2000).

Segundo TÉCHNE (2001), em média, 65% dos resíduos sólidos dos bota-foras é de origem mineral, 13% de madeira, 8% plástico e 14% outros materiais. Levantamentos apontam que apenas 20% a 25% dos resíduos sólidos das cidades são gerados por construtoras, sendo o restante originado em obras de construções independentes e reformas.

Segundo Pinto (1999), os resíduos produzidos nas atividades de construção, manutenção e demolição têm estimativa de geração bastante variável. Os valores encontrados na bibliografia internacional variam de 163 a mais de 3.000 kg/hab.ano. Contudo, os valores comumente encontrados variam entre 400 a 500 kg/hab.ano, valor igual ou superior à massa de resíduos sólidos urbanos. Quantidades significativas desses resíduos são depositadas ilegalmente em locais impróprios, gerando custos e agravando problemas urbanos de ordem social.

Constata Medeiros (2000), em dados levantados no Brasil que os resíduos sólidos da construção chegam a corresponder a 60% dos resíduos sólidos urbanos, agravando a cada momento por falta de solução. Segundo Pinto (1999), nas cidades brasileiras de médio e grande porte, a massa de resíduos gerados variava de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos. Com efeito, segundo as estimativas de Pinto, citado por John e Agopyan (2000), os custos de remoção variavam entre US\$ 5,4 / t e US\$ 14,8 / t para diferentes cidades e técnicas de recolhimento.

No Brasil, existem alguns centros desenvolvem modelos de tecnologias na reciclagem de entulho. Segundo Pinto (1997): “Existem hoje oito instalações de reciclagem: duas em Belo Horizonte, uma em São Paulo, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Londrina, Piracicaba e Muriaé”.

Em Manaus, o sistema de coleta, transporte e disposição de RCD (11.458,5 km<sup>2</sup>, 2008) são realizados por empresas particulares, que utilizam caminhões com caçamba aberta e de por caçambas trapezoidais de 5 m<sup>3</sup> transportadas por Poliguinchos até o destino final do material coletado. No IPAAM (*Instituto de*

*Proteção Ambiental do Amazonas*) são cadastradas como prestadoras de serviços. A Prefeitura Municipal por meio da DEMULP (*Departamento Municipal de Limpeza Pública*) controla o único aterro em que o material é recolhido, situado na rodovia AM-010, km 19, que recebe cerca de 2400 t/dia, conforme dados do IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*)(2000 apud BASTOS FILHO, 2005, apud RIBAS, 2008), fazendo parte desta estatística os resíduos industriais.

Hoje, como o Programa PROSAMIM (*Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus*), cresceu muito o volume de RCD gerado. Em Manaus, embora uma usina para beneficiamento de RCD tenha sido instalada no ano de 1998, a mesma finalizou as atividades em 1999, pois o incentivo à reutilização de RCD como agregado é pequeno.

Existem muitas empresas de coleta de entulho que operam com poliguiincho, transportando em caçamba de 5 m<sup>3</sup> aberta, ao custo unitário de R\$ 100,00.

Nas grandes cidades os resíduos sólidos da construção civil envolvem um significativo número de empresas contratadas pela prefeitura, que recolhem resíduos depositados irregularmente, que operam nos aterros sanitários regulares, empresas que trabalham com transporte, utilizando caminhões poliguidaste e caçambas, transportadores autônomos que utilizam caminhonetes e carrinho de mão.

Triches e Kryckyj (1999) indicam que a reciclagem dos resíduos sólidos constitui um conjunto de vantagens econômicas para a administração pública municipal, destacando alguns pontos, com:

- Redução de custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas;
- Aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para a implantação de novos aterros;
- Diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, pela exclusão dos resíduos sólidos;
- Diminuição nos custos de pavimentação e infra-estrutura urbana.

O processo de reciclagem dos resíduos sólidos pode ser realizado com instalações e equipamentos de baixo custo. Pode ser reciclado na própria obra, desde que haja um bom planejamento para destino dos resíduos, constituindo num fator econômico muito importante, pois reduz o custo do transporte, observando no processo de britagem a granulometria desejada.

Pelo volume gerado nas grandes cidades, faz-se necessário à disponibilidade de locais para transbordo, destinação definitiva ou temporária e equipamentos destinados à seleção, trituração e classificação dos materiais. Segundo Agopyan citado por Leal (2001), cidades com 50 mil habitantes já teriam resíduos sólidos suficientes para viabilizar uma central de reciclagem, contudo é necessário observar a demanda para uma produção mínima, a fim de que torne economicamente viável. No Brasil foi implantada pela Prefeitura de São Paulo a primeira usina de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, conhecida como usina de Itautinga, também a primeira de reciclagem de entulho do Hemisfério Sul (ZORDAN, 1997).

O sistema de moagem do entulho é composto pelos seguintes equipamentos: alimentador vibratório, britador de mandíbula, moinho de martelos, peneiras, silo metálico, calha vibratória, transportador de correia e peneira rotativa.

O material é coletado por caçambas e levados ao pátio da central de moagem, passando por uma triagem para retirar os materiais que não entram no processo de reciclagem como: ferros, madeiras, plásticos, etc. Em seguida é transportado por pá carregadeira para o alimentador vibratório, seguindo para britador de mandíbulas, posteriormente transportado por correias para calha vibratória e moinho de martelo, seguindo para peneira rotativa que separa em quatro frações.

## **2.2 Agregados de RCD para uso na Construção Civil**

Com o crescimento populacional cresce, também, a geração de resíduos de construções e demolições em virtude da expansão dos centros urbanos, gerando grandes quantidades de resíduos, matéria-prima para reciclagem que, depois de triturada, obtém-se agregado para uso em diversos processos produtivos para a construção civil.

Sabe-se que alguns municípios brasileiros possuem políticas corretas para os RCD e promovem reciclagem destes resíduos, empregando grande parte dos

agregados gerados em base de pavimentação. Outros países utilizam agregados de RCD para concreto, dentre eles destacam-se Japão, Inglaterra e Holanda. Com efeito, buscam consolidar o processo de reciclagem diversificando suas aplicações, tanto pela substituição parcial quanto pela substituição total dos agregados naturais pelos obtidos pela reciclagem de RCD.

As centrais de reciclagem brasileiras são públicas e municipais. O agregado produzido pela reciclagem de RCD é utilizado, em sua maioria, para base de pavimentação, apesar de uso incipiente para produção de blocos de concreto para pavimentação e vedação. No Brasil, existe um avanço no uso de RCD como agregado para pavimentação. Contudo, PINTO (1999) adverte que o consumo de agregados pelas Prefeituras atinge 45% da massa total de RCD gerada no perímetro urbano. Então, para reciclagem superior a 45% do total dos RCD gerados somente seria viável se novos mercados consumidores fossem viabilizados.

A abertura de novos mercados consumidores exigirá centrais de reciclagem privadas, observando que, para uso em pavimentação, o estado é o maior consumidor, levando a empresa a uma situação de risco na área, pois fica sujeita as inconstâncias políticas.

Verifica-se que os resíduos de demolição apresentam grandes teores de alvenaria e significativa quantidade de material cerâmico. Ademais, as fases minerais são predominantes nos RCD brasileiros e em outros países (PINTO, 1999; BRITO, 1999; ÂNGULO, 2000; CARNEIRO et al., 2001; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000; LEVY, 1997) e que contaminantes (madeiras, plásticos e metais) são de separação relativamente fácil em razão das diferenças de densidade e magnetismo da fração metálica, portanto certamente viável a reciclagem destes resíduos na produção de artefatos de concreto e argamassas (ZORDAN, 1997; MIRANDA, 2000).

Evidentemente a solução para o problema dos RCD passa pela reciclagem desses materiais com instalações de centrais para produzir resíduos para serem utilizados em argamassas, concretos, componentes de baixa resistência e pavimentação, entretanto, para que a reciclagem tenha uma amplitude abrangente se faz necessário que atinja benefícios sociais, econômicos e ambientais, cujo norteamento principal deve ser promovido pelo poder público, desde o levantamento dos resíduos gerados na cidade, estimar custos diretos e indiretos da disposição do



O seixo que é constituído principalmente de quartzo leitoso e, secundariamente de sílex, é transportado para Manaus em balsas com capacidade de 1.000 a 2.000 toneladas, sendo vendido no porto dessa cidade a preços que variam de R\$ 50,00 a R\$ 55,00/m<sup>3</sup> (CPRM - Projeto Materiais de Construções no Domínio Baixo Solimões, 2007). No comércio varejista, os preços praticados variam de R\$ 70,00 a R\$ 80,00/m<sup>3</sup> em período normais, atualmente o preço atingiu R\$ 180,00/m<sup>3</sup>.

A produção de brita e seixo no estado do Amazonas, consumida principalmente na cidade de Manaus, atingiu o patamar de 1.104.617 m<sup>3</sup> no ano de 2004 e representou um faturamento da ordem de R\$ 50.532.672,00 (Anuário Mineral Brasileiro, 2005), sendo que esse montante correspondeu a 27,44% do valor da Produção Mineral Bruta do Estado.

Os dados coletados pelo IBGE em 2000 eram de 2400 t de resíduos por dia, contudo, houve uma explosão no setor de construção civil na cidade de Manaus, crescendo a quantidade de RCD gerado e destinado ao aterro sanitário administrado pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública (DEMULP). Hoje, cresceu o número de empresas de coleta de resíduos, o que significa o aumento do volume gerado.

Em consulta a uma das empresas coletora de entulho, que opera com 40 caçambas em poliguincho, esta passou informação que recolhe 400 t/mês dos quais 50 % é de material de demolição (alvenaria), 30 % de concreto, 10 % madeira e papelão, 5 % de latas de tintas e solventes, 5 % de metais e gesso. Estes são transportados para depósito da empresa, depois de selecionados superficialmente é direcionado cerca de 60 % ao aterro sanitário.

Apesar de existirem tecnologias sofisticadas, a reciclagem pode ser realizada com instalações e equipamentos de baixo custo, podendo ser desenvolvida no próprio canteiro de obra gerador do resíduo, diminuindo o custo com transporte. Estes equipamentos e materiais têm um valor consideravelmente alto, contudo em médio prazo esse investimento teria consolidado sua quitação, ficando somente o custo de manutenção.

Comparando-se o custo da obtenção dos agregados reciclados, incluindo todas as despesas, equivale a 10% do valor gasto com gerenciamento dos resíduos e os custos com agregados naturais de um metro cúbico pela prefeitura da cidade.

Considerando que dois terços da massa de resíduos sólidos seja entulho, as despesas com remoção do entulho para aterros são substancialmente maiores que a própria reciclagem (CAVALCANTI, 2002; PINTO 1999).

Apesar de boa parte dos entulhos serem destinados ao aterro sanitário, existe um reaproveitamento de alguns materiais para outros fins produtivos como: latas de tintas de 18 L, reaproveitadas para construção civil, madeiras para serem queimadas na indústria cerâmica e em padaria e um percentual baixo de RCD, parte mineral (alvenaria e concreto), são depositados em terrenos onde contém charco com finalidade de aterrar para futura construção.

A Figura 2.2 - mostra os vários tipos de resíduos recolhidos pelas empresas e seus destinos.

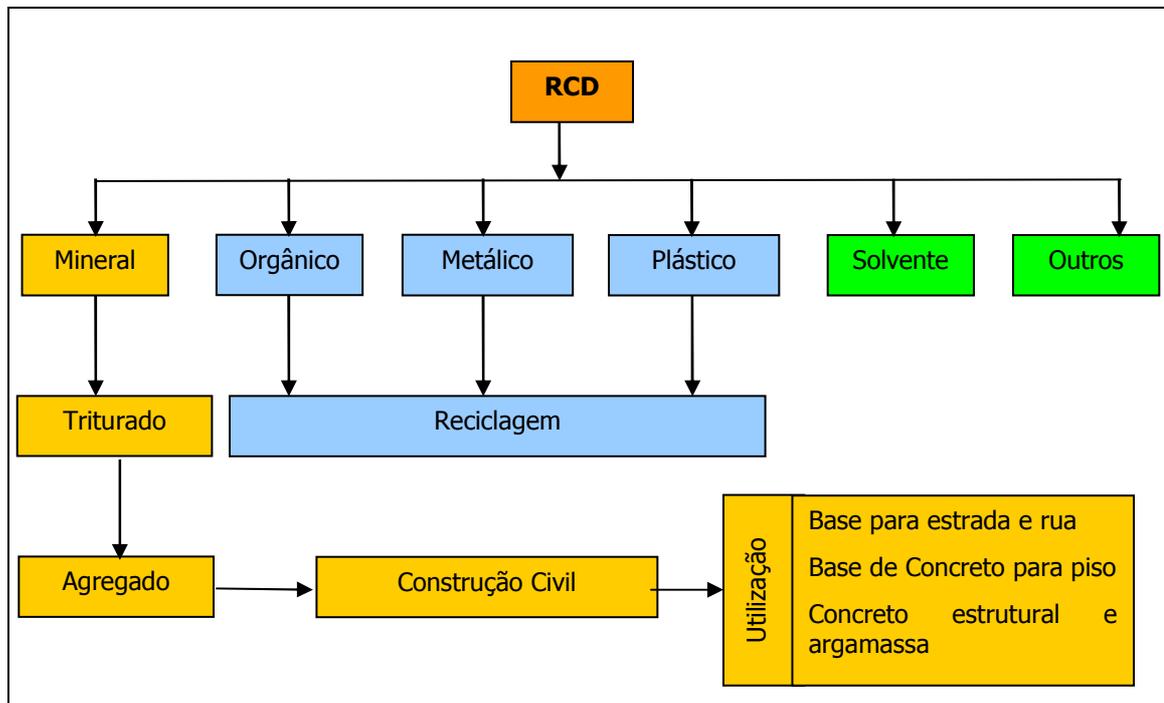


Figura 2.2 - Fluxograma de RCD e seu destino

## 2.3 Concreto

### 2.3.1 Tipos de Concretos

Concreto é um compósito cuja fase reforço é constituída de agregados (areia, cascalho e brita) e a fase matriz pelo aglomerante (essencialmente cimento Portland) e água para hidratação do cimento, cuja massa específica aparente ( $\mu_{ap}$ )

apresenta valores entre 2.000 e 2.800 kg/m<sup>3</sup>. Segundo Aguiar (2004), existe também o concreto pesado, utilizado como base ou como barreira radiológica, que utiliza como agregado: barita, magnetita ou sucata de ferro, com massa específica aparente ( $\mu_{ap}$ ) entre 2.800 e 3.800 kg/m<sup>3</sup>. Concreto de baixa densidade (leve) apresenta massa específica aparente ( $\mu_{ap}$ ) menor que 2.000 kg/m<sup>3</sup>, sendo utilizado em aplicações com função estrutural e não estrutural.

Segundo ABCP ET-86 (1996), existe uma possibilidade de produzir concreto leve, incorporando ar à mistura além do normal, por meio de três procedimentos:

- a) eliminando-se as partículas mais finas dos agregados;
- b) substituindo-se o seixo ou pedra britada por um agregado oco, celular ou poroso e;
- c) introduzindo-se elevado teor de vazios no interior da massa do concreto.

A primeira forma é denominada de concreto sem finos, a segunda de concreto agregado leve e o terceiro concreto celular, os quais são agrupados nas seguintes classes:

1. Concreto leve com estrutura densa - utiliza agregados porosos, possui massa específica aparente entre 800 e 2000 kg/m<sup>3</sup> e resistência mecânica à compressão média variando de 100 a 350 kgf/cm<sup>2</sup>;
2. Concreto leve com estrutura aberta - constituído por poros de tamanho elevado e agregados densos de granulometria estreita, faixa granulométrica 4 a 8 ou 8 a 12 mm e pouca argamassa intersticial, com massa específica aparente entre 1000 a 2000 kg/m<sup>3</sup> para resistência mecânica à compressão média variando de 25 a 200 kgf/cm<sup>2</sup>;
3. Concreto leve com estrutura aberta e agregados porosos - apresenta massa específica aparente entre 700 e 1400 kg/m<sup>3</sup> e, resistência mecânica à compressão média variando de 20 a 100 kgf/cm<sup>2</sup>;
4. Concreto leve sem agregados graúdos - constituído por argamassa de granulometria fina com poros uniformemente distribuídos, como o concreto celular autoclavado (pó de alumínio em reação com cimento ou peróxido de hidrogênio + cloreto de cal) SICAL (2004), massa específica aparente

variando de 400 a 1000 kg/m<sup>3</sup> e com resistência mecânica à compressão média variando 10 a 100 kgf/cm<sup>2</sup>, com aplicação para isolamento térmico;

5. Concreto leve de agregados não minerais - como grãos esféricos de espuma sintética (EPS), ligados por uma argamassa de cimento compacta, massa específica aparente variando de 300 a 800 kg/m<sup>3</sup> e com resistência mecânica à compressão média, variando de 10 a 25 kgf/cm<sup>2</sup> (AGUIAR et al, 2004).

Quando o bloco de concreto leve apresenta resistência à compressão inferior a 15 kgf/cm<sup>2</sup>, em virtude de suas propriedades de isolamento térmico, é empregado em elemento de vedação, como painéis de alvenaria (maciços ou vazados), ou mesmo painéis para lajes e cobertura, AGUIAR et al, (2004), SICAL (2004), LEONHARDT e MÖNNIG (1979).

No processo de fabricação com o uso de pérolas de espuma de EPS com diâmetros que variam de 1 a 8 mm aproximadamente, pode-se reaproveitar os resíduos após moagem. Esse agregado é utilizado na mistura com cimento, areia e água, podendo-se obter concreto leve com densidade aparente de 300 a 1.600 kg/m<sup>3</sup>.

Este é um tipo de concreto que oferece pela sua versatilidade, características de isolamento termo-acústico, acabamento homogêneo de superfície, com vantagens econômicas, além de possibilitar o uso do concreto leve em outros elementos arquitetônicos e paisagísticos como: calçadas, quadras esportivas, bancos de jardim, vasos, balaústres, casas pré-fabricadas com a limitação de não poder ser utilizado com função estrutural.

Quando se utiliza a vermiculita, que é um mineral da família das argilas micáceas, seu aquecimento brusco até 1000 °C provoca a evaporação rápida da água, espoliando as lâminas e expandindo o grão da vermiculita em média de 8 a 12 vezes, originando espaços vazios que são preenchidos por ar, o que confere baixo peso e isolamento termo-acústico.

O concreto celular autoclavado é um produto originado em 1924 na Suécia, formado a partir de uma reação química entre cal, cimento, areia e alumínio em pó. Após cura em vapor a alta pressão e temperatura, dão origem a um silicato de

cálcio, composto químico estável que torna o produto de excelente desempenho na construção civil. Apresenta resultado versátil com valores de resistência mecânica à compressão que permite a execução de alvenarias e lajes, com propriedades que o caracterizam como um material incombustível e isolante termo-acústico. Em alvenaria de vedação a densidade aparente de massa seca é  $430 \text{ kg/m}^3$ , com resistência mecânica à compressão mínima de  $25 \text{ kgf/cm}^2$ .

### 2.3.2 Concreto celular

Trata-se de concreto, sem função estrutural, que consiste de argamassa de cimento Portland com incorporação de minúsculas bolhas de ar pelo uso de aditivo expensor polimérico, proporcionando bom isolamento térmico.

É utilizado para fechamento de vão de alvenaria com utilização de blocos pré-moldados ou confeccionados in loco. Também pode ser indicado para: lajes de cobertura, terraços, enchimentos de pisos, rebaixamento de lajes, etc.

O concreto celular possui massa específica aparente variando de  $500 \text{ kg/m}^3$  a  $1800 \text{ kg/m}^3$ , sendo que o concreto convencional possui massa específica, varia entre  $2.000$  a  $2800 \text{ kg/m}^3$ , segundo NBR 12,646/1992.

Portanto, para torná-lo com baixa densidade é adicionado aditivo expensor que promovem a introdução de microbolhas de ar na mistura fresca.

### 2.3.3 Agregado Utilizado em Concreto Celular

Observa-se que para o concreto celular conforme (ABNT EB-228), a massa específica aparente do agregado para elemento de alvenaria deve obedecer aos limites constantes na Tabela 2.1, contudo faz necessário estar atento, pois não deve diferir mais que 10% da amostra ensaiada para aceitação, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.1 - Massa específica para concreto

Gradação do agregado	Massa específica aparente máxima do agregado no estado seco e solto ( $\text{kg/m}^3$ )
1 e 2	1.040
3	1.120
4 e 5	880

Tabela 2.2 - Porcentagens (em peso) acumuladas em peneira para agregado

Graduação do agregado	Abertura da peneira (mm)	Porcentagens, em peso, acumuladas em peneiras de malha quadrada							
		19 mm	12,7 mm	9,5mm	4,8mm	2,4mm	1,2mm	0,3mm	0,15mm
1	12,7 a 0 mm	0	0-5	-	20-50	-	-	80-95	85-98
2	9,5 a 0 mm	-	0	0-10	out/35	35-65	-	75-90	85-95
3	4,8 a 0 mm	-	-	0	0-15	-	20-60	65-90	75-95
4	12,7 a 4,8 mm	0	0-10	20-60	80-100	90-100	-	-	-
5	9,5 a 4,8 mm	-	0	0-20	60-95	80-100	-	-	-

### 2.3.4 Dosagem de concreto celular

Precisa-se ser verificada a dosagem, fazendo correlação da resistência mecânica à compressão do concreto, relação água/cimento, o consumo de cimento e o abatimento do concreto. Este traço é tomado como referencial, devendo ser executados mais dois traços, um mais pobre e outro mais rico em cimento.

Estes parâmetros serão postos em análise para obtermos confiabilidade do traço e procedimentos que devemos aplicar na obtenção dos blocos que iremos confeccionar para obtermos qualidade do produto final a ser colocado no mercado.

### 2.3.5 Construção de habitação com argamassa celular monolítica

O governo brasileiro possui o programa de incentivo a economia com um cunho social bem significativo que é a construção de casas populares para suprir o déficit imobiliário existente, buscando através dos órgãos financiadores e empresas de construções oferecerem moradias às pessoas de baixa renda.

Então, buscaram-se vários modelos e métodos de construção de casas para atender a grande demanda habitacional num curto espaço de tempo, considerando a necessidade das famílias brasileiras. Na cidade de Manaus, o governo buscou através do programa PROSAMIM, oferecer habitações às famílias que foram retiradas das áreas de risco e de áreas alagadas próximo aos igarapés, também

alocar grande quantidade de pessoas que migraram dos estados do Pará, Maranhão, Piauí, Roraima e Paraíba para cidade de Manaus.

Pela celeridade em que caso merecia, a indústria da construção civil optou pelo modelo de habitação monolítica, conforme Figura 2.3, utilizando argamassa celular. Consiste de placas em estrutura de alumínio; na parte interna do tamanho do cômodo; na parte externa placas com dimensões menores para cobrir toda extensão lateral e possibilitar maior amarração das estruturas internas e externas; a parede central é mais elevada, pois dá a formatação à cumeeira; nas empenas do fundo e frontal a parede possui uma inclinação para dar acabamento entre a lateral e a parede central. Todas as amarrações das placas das paredes são feitas com parafusos e hastes metálicas; nas formas já estão definidos os vãos de portas.



Figura 2.3 - Forma em alumínio para habitação monolítica

Nas aberturas para janelas são fixadas peças de madeira entre as placas na dimensão do vão para evitar a concretagem, além de fixação de tela soldada com malha de (10x10) cm de aço CA60 3.5 mm em todos os vãos de paredes, tornando-as estruturais. Em seguida, é feita a cobertura, colocação de portas e janelas, piso de cimento liso, colocação de louças de banheiro e pia de cozinha.

O processo construtivo para atender essa forma de habitação obedece a um planejamento que vai desde a elaboração do projeto arquitetônico em função do número de habitantes por família, a confecção das formas em placas e estrutura de alumínio, dosagem da argamassa, forma de aplicação, tipo de material utilizado com custo baixo e metodologia de construção.

## 2.4 Argamassa

Em observação a NBR 13529/1995, define como argamassa “uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, com aditivos ou não, com propriedade de aderência e endurecimento”.

A utilização da argamassa, segundo Carasek (2007, apud Silva, 2008), vem da pré-história, há cerca de 11.000 anos. Segundo Silva (2008), por ocasião de escavações foi descoberto em 1985, no sul da Galiléia, em Israel, um piso de 180 m<sup>2</sup> produzido com pedra e argamassa de cal e areia, estima-se que fora executado entre 7.000 a 9.000 a.C., o qual foi considerado como o registro mais antigo de seu emprego pelo homem.

A argamassa, segundo Fiorito (1994), é uma mistura compósita de grande utilização em obras composta de agregado miúdo, cimento Portland, cal hidratada e água. Contudo, na região norte, especificamente na cidade de Manaus, pela falta da oferta do produto, não se usa a cal hidratada.

Na construção civil sua função está associada à finalidade de aplicação, destacando entre elas: assentamento de alvenaria, revestimento de paredes e tetos com emboço, acabamento com reboco ou camada única (reboco paulista), camada regularizadora de piso e assentamento de cerâmica.

Com o advento de novos materiais como cimento Portland, o setor da construção civil, através de processos tecnológicos que trouxeram mais resistência e dureza à argamassa e, melhoraram algumas propriedades, como a trabalhabilidade, com aditivos orgânicos.

No Brasil, a partir da década de 30, a argamassa era produzida na obra, onde a mistura era processada de forma mecânica ou manual, até atingir uma boa homogeneização.

A partir da década de 50 surge na Europa e nos Estados Unidos o processo de dosagem em instalações industriais da argamassa industrializada disponível em duas formas: a primeira faz necessário o acréscimo de água para efetuar a mistura e a segunda a mistura semi-pronta (cal e areia) que necessitava de cimento e água, que depois de homogeneizar, dispor para aplicação.

O crescimento da demanda pela utilização da argamassa e a busca da racionalidade de sua aplicação fez a indústria produtora de cimento investir para ofertar esses produtos. Contudo, segundo Selmo (1989) a utilização da argamassa industrializada e semi-pronta se deu a partir dos anos 90.

Segundo Silva (2008), a aplicação de argamassa dosada em centrais, teve início no Brasil em 1997, com grande conquista no mercado consumidor pela sua produção em grande escala, além de ser observado itens importantes como: classificação e qualidade do material, controle tecnológico e assistência técnica no canteiro de obra.

Por tratar de argamassa a distribuição granulométrica dos agregados miúdos é fator determinante no desempenho tanto na proporção adequada de tamanho quanto no que se refere à morfologia e textura da partícula.

Quando se utiliza agregados provenientes de britagem de rocha, faz necessário observar as diferenças quanto à distribuição granulométrica, à forma, à textura e à resistência mecânica das partículas, pois são evidentes, havendo necessidade de adequação específica desses agregados para sua aplicação.

Uma das dificuldades da utilização da areia artificial na argamassa de revestimento é devida ao formato inadequado das partículas, normalmente lamelar ou alongado, dificultando a trabalhabilidade. Para tornar as partículas mais esféricas, existem no mercado novos equipamentos de britagem como, por exemplo, os britadores de eixo vertical (VSI), que proporcionam a fragmentação por meio de impacto, rocha contra rocha, sendo o produto final composto de partículas equidimensionais (ALMEIDA & BISPO, 2003 apud SILVA, 2006).

O empacotamento de partículas é fundamental no preenchimento dos vazios com os materiais particulados, desempenhando uma influência na propriedade da argamassa tanto no estado fresco como no estado endurecido, isto é, a densidade da massa é importante às propriedades mecânicas e é dada pela acomodação do agregado e da pasta de água/aglomerante.

### 2.4.1 Classificação e tipo de aplicação de argamassa

A Tabela 2.3 representa alguns critérios de classificação para argamassa e seu tipo, segundo Carasek (2007 apud Silva, 2008).

Tabela 2.3 - Classificação das argamassas

<b>Critério de classificação</b>	<b>Tipo</b>
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea
	Argamassa hidráulica
Quanto o tipo do aglomerante	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento
	Argamassa cal mais cimento
	Argamassa de gesso
	Argamassa de gesso mais cal
Quanto ao número de aglomerante	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 da argamassa	Argamassa leve
	Argamassa normal
	Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra
	Mista semi-pronta para preparo
	Argamassa industrial
	Argamassa dosada em central

### 2.4.2 Função da argamassa e tipo de aplicação

A relevância do uso da argamassa no processo construtivo está condicionada a sua função e o tipo de aplicação a que se destina, passando pelo traço utilizado, uso do aditivo, tempo de preparação e tempo de aplicação, segundo Carasek (2008), conforme Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação das argamassas segundo sua função

Função	Tipos de argamassa
Construção de alvenaria	Assentamento
	Fixação
Revestimento de parede e teto	Chapisto
	Emboço
	Reboco
	Camada única
	Revestimento decorativo monocamada
Revestimento de pisos	Contrapiso
	Piso de alta resistência
Revestimento cerâmico	Colante
	Rejuntamento
Recuperação de estrutura	Graute
	Reparo
Confecção de blocos e paredes	Estrutural
	Fechamento de vão de parede
	Celular com estrutura monolítica
	Celular para blocos

Destaca-se neste trabalho a utilização de argamassa celular para confecção de bloco para fechamento de vão, utilizando a mistura de areia de quartzo natural, resíduo triturado de RCD, cimento, água, microfibra e espumoso.

### 2.4.3 Caracterização das argamassas

#### a) Classificação MERUC

Na Europa a França se destaca pelo seu potencial de desenvolvimento no setor da construção civil, destacando seus processos construtivos industrializados. Existem mais de 200 tipos de argamassas homologadas pelo Centre Scientifique et

Technique du Batiment (CSTB). Este CSTB criou a classificação MERUC, com base nas propriedades:

M - densidade de massa no estado endurecido ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ );

E - módulo de rigidez elástica (MPa);

R - resistência à compressão diametral (MPa);

U - retenção de umidade (%);

C - coeficiente de capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2/\text{min}^{1/2}$ ).

O conjunto de propriedade da argamassa industrializada possui critérios de desempenho dividido em seis classes que, segundo o Cahier dês Prescriptions Techniques D'Emploi et de Mise em Oeuvre - Cahier 2669-2 (CSTB, 1993), apresentado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Classificação das características de argamassas para revestimento (CSBT,1993)

Classes	M	E	R	U	C
	$\text{kg}/\text{dm}^3$	MPa	MPa	%	$\text{g}/\text{dm}^2/\text{min}^{1/2}$
1	<1,2	<5.000	<1,5	<78	<1,5
2	1,0 a 1,4	3.500 a 7.000	1,2 a 2,0	75 a 85	1,0 a 2,5
3	1,2 a 1,6	7.500 a 14.000	1,5 a 2,5	82 a 90	2,0 a 4,0
4	1,4 a 1,8	7.500 a 14.000	2,0 a 3,2	88 a 94	3,0 a 7,0
5	1,6 a 2,0	12.000 a 20.000	2,7 a 4,0	92 a 97	5,0 a 12,0
6	>2,0	>16.000	>3,4	96 a 100	>10,0

#### b) Classificação segundo NBR 13281 / 1995

A norma NBR 13281 / 1995 trata de “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos”, estabelecendo exigências mecânicas e reológicas para as argamassas dosadas no canteiro de obra ou industrializadas, destacando-se:

- capacidade de retenção de água (%) - NBR 13277 / 1995;

- teor de ar incorporado – NBR 13278 / 1995;

- resistência à compressão aos 28 dias (MPa) - NBR 13279 / 1995.

Porém, a partir de 31 de outubro de 2005, foi modificada a NBR 13281 / 1995 sob o mesmo título, contudo ampliou para sete os requisitos para as argamassas:

P - resistência à compressão (MPa) - NBR 13279 / 2005;

M - densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13280 / 2005;

R - resistência à tração na flexão (MPa) - NBR 13279 / 2005;

C - coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2/\text{min}^{1/2}$ ) - NBR 15259 / 2005;

D - densidade de massa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13278 / 2005;

U - retenção de água (%) - NBR 13277 / 2005;

A - resistência potencial de aderência à tração (MPa) - NBR 15258 / 2005.

Observa-se que cada requisito foi subdividido em seis classes, exceto a resistência potencial de aderência à tração, que foi subdividida em três classes. A Tabela 2.6 mostra a classificação das argamassas conforme as características e propriedades. Em caso de superposição entre faixas, deve considerar o desvio para cada ensaio e, se o valor expresso estiver entre duas faixas, adota-se a classe maior.

Tabela 2.6 - Classificação de argamassas segundo a NBR 13281 / 2005)

Classes	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	$\text{kg/m}^3$	MPa	$\text{g/dm}^2/\text{min}^{1/2}$	$\text{kg/m}^3$	%	MPa
1	$\leq 2,0$	$\leq 1200$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1400$	$\leq 78$	$\leq 0,20$
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	$\geq 0,20$
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	$\geq 0,30$
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	$>8,0$	$>1800$	$>3,5$	$>10,0$	$>2000$	95 a 100	-

Observa-se que os requisitos da norma brasileira possuem faixas por classe muito parecidas às faixas da MERUC. Contudo, a NBR 13281 / 2005 não contempla o ensaio de módulo de elasticidade, por ainda estar em discussão os procedimentos de ensaio.

#### 2.4.4 Algumas definições importantes

##### a) Consistência

Segundo CINCOTTO et al. (1995) consistência é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação. Alguns autores classificam as argamassas, segundo sua consistência em: *secas* (a pasta preenche os vazios entre os grãos), *plásticas* (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e *fluídas* (os grãos ficam imersos na pasta). A quantidade de água determina a consistência, tendo alguns fatores que influenciam como: relação água/cimento, relação cimento/agregado, granulometria do agregado, natureza e qualidade do cimento.

b) Teor de água

Segundo a norma NBR 13276 (ABNT, 1995), é a relação água/materiais secos multiplicado por 100, expressa em porcentagem.

c) Trabalhabilidade

Segundo Carasek (2007 apud Silva, 2008), trabalhabilidade é a “propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea”.

Esta propriedade associada às argamassas é bastante complexa, pois resulta de um conjunto de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade da massa e adesão inicial. Contudo, dependendo da finalidade a que se destinam, algumas destas propriedades podem ser importantes, enquanto que outras menos importantes, como por exemplo, para a argamassa de revestimento as propriedades mais importantes são: a consistência, a plasticidade e a retenção de água.

d) Consistência e plasticidade

Segundo Carasek (2007, apud Silva, 2008), consistência “é a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob a ação de cargas” e plasticidade “é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação”.

Alguns fatores como: a relação água/cimento, a relação aglomerante/areia e a natureza e qualidade do aglomerante, podem alterar a consistência a plasticidade de uma argamassa.

e) Argamassa Rica

Define-se por se tratar de uma dosagem com alto teor de aglomerante igual ou superior a 30 % em relação à argamassa referencial.

f) Argamassa pobre

Compreende-se a dosagem com baixo teor de aglomerante igual a 40 % em relação a argamassa referencial.

g) Abatimento do tronco de cone

É processo pelo qual se mede a consistência do concreto, colocando a mistura no cone em três camadas sucessivas, soqueteando com vinte e cinco golpes a cada camada. Após rasar, retira o cone colocando-o invertido sobre a chapa metálica e mede-se com a trena desde a haste usada como referência da base superior do molde até o centro da massa (amostra) em centímetro, deve estar entre 2 a 8 cm resultado em centímetros.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos desenvolvidos nesta análise experimental, balizados nos seguintes procedimentos:

Procedimento I – Identificação, coleta, tratamento, beneficiamento e caracterização das matérias primas.

A partir da identificação dos materiais referenciais foi feita a coleta de matéria-prima da empresa produtora de concreto e argamassa que operacionaliza com material de origem natural e também foram colhidos das fontes geradoras de ACR material para trituração e beneficiamento na CPRM.

Posteriormente foram caracterizados em laboratório todos os materiais utilizados como: cimento, agregado miúdo natural originado de areia de jazida e agregado alternativo originado de ACR - concretos à base de seixo rolado.

Procedimento II – Avaliação comparativa dos traços de argamassa referencial com argamassa com agregados alternativos.

A partir da amostra utilizada pela empresa, constituiu-se um estudo comparativo da avaliação de desempenho entre a argamassa com areia natural originada de jazida, com bastante uso na cidade de Manaus, convencionalmente utilizada (referência) e os traços com suas variações com ACR.

Diante do consenso foram explicitados todos os traços de argamassa com suas variações e, posteriormente os corpos de prova foram moldados e curados para verificação da resistência mecânica à compressão e absorção de água.

Procedimento III – Idealização e avaliação do custo do bloco de argamassa celular.

Após as avaliações, identificou-se o traço que representava resultado dos ensaios realizados mais favorável no procedimento anterior, em seguida, idealizou-se o bloco para avaliação de custo da matéria-prima para compor a argamassa, utilizando agregado alternativo de ACR e agregado natural, caracterizando-os com base nas normas NBR 12118/2007 e NBR 6136/2007.

### 3.1 Materiais

Para realizar as experiências contidas nesta dissertação foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP I – 32, areia de quartzo proveniente de jazida ao longo da BR-174 e agregado miúdo de RCD triturado de estrutura de concreto.

#### a) Cimento Portland CP I - 32

Hoje na cidade de Manaus são comercializadas duas variedades de cimento: CP II - Z32 (marca NASSAU) produzido pela Itautinga Agro Industrial S/A e CP I – 32 (marca AMAZONAS) importado e envasado por Cimento Vencemos do Amazonas LTDA, contudo para esta análise experimental foi utilizado o cimento Portland CP I – 32 por se tratar de uma marca com menos aditivos químicos e, também por ser a marca utilizada pela empresa produtora de argamassa celular para habitação monolítica no programa de expansão de moradia populares no bairro de Santa Etelvina.

O cimento CP I – 32 encontram-se disponibilizado com freqüência no comércio de Manaus em sacos de 42,5 kg, como também atende os critérios exigidos pela NBR 5.732/91 e NBR 11.578/2004, cujo resultado obtido pela análise física e química consta no Anexo A, nas tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente.

#### b) Agregado natural de jazida

A areia de quartzo de jazida, vide Figura 3.1, foi utilizada como agregado miúdo como elemento de correção granulométrica para os traços de argamassa, a fim de obter melhor compactidade;



Figura 3.1 - Jazida de areia de quartzo BR-174

### c) Agregado de ACR

O agregado miúdo de ACR, proveniente de britagem de estruturas de concreto, em cuja composição original, no estado úmido, consta os materiais: cimento, areia, agregado graúdo (seixo e brita de granito) e água, conforme ABNT NBR 15.116/2004. Foram coletados em locais geradores de forma aleatória, selecionando-os por processo manual para evitar materiais contaminadores.

A partir da seleção foi reduzido em pedaço menores, ensacados e transportados ao laboratório da CPRM para britagem, reduzindo à pedrisco, conforme Figura 3.2;



Figura 3.2 - ACR selecionado para britagem e reduzido em pequenas partículas.

### d) Microfibra de polipropileno

As microfibras de polipropileno com 2 cm de comprimento são filamento extremamente finos obtidos através de extrusão, atua na fase plástica do concreto e da argamassa, reduzindo a incidência de fissuras de retração plástica e de assentamento e sua segregação.

Quando misturada ao concreto endurecido aumentar a resistência ao fogo, ao desgaste, ao impacto e aos ciclos de variação de temperatura quando o concreto e argamassa estão endurecidos. Apresentam propriedades físicas de densidade relativa 0,91, deformação na ruptura 80%, ponto de fusão 160°C e ponto de ignição 365°C, quimicamente inerte é sugerido uma quantidade de 1 kg / m<sup>3</sup> (Fibromac 12, FITESA), conforme Figura 3.4.

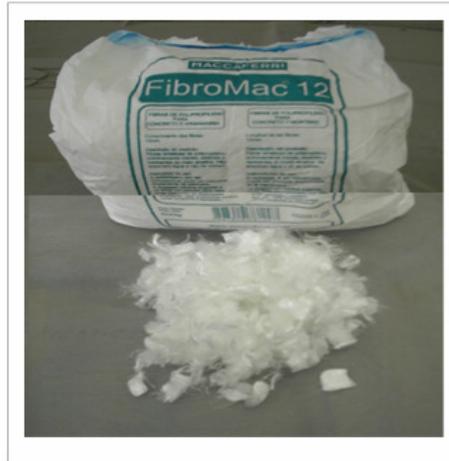


Figura 3.3 - Microfibra de polipropileno

g) Aditivo espumante

O aditivo espumante à base de termopolímero acrílico em emulsão aquosa, possui propriedades que facilita a incorporação de micro-partículas de ar, tornando-o leve, coeso e homogêneo, produto fluidificante, inibe corrosão da armadura e retração por secagem, aumentam a resistência à compressão e abrasão de concreto e da argamassa, com características de aspecto líquido, média viscosidade, cor marrom claro e pH entre 5,5 e 7,5. O polímero é registrado sob a patente UM 781176-0 (METAPOP PLUS, TECNOMETA), conforme Figura 3.3.



Figura 3.4 - Espumante termopolímero acrílico

### 3.2 Caracterização dos Agregados

Buscou-se caracterizar os agregados: natural e de ACR a fim de conhecer as características de cada um para obter uma composição que produza o índice de compacidade do material seco mais adequado.

### 3.2.1 Britagem do ACR

O ACR foi recolhido de demolição de estruturas de concreto e pisos (fração cinza), depois de reduzi-los em pedaços menores foi britado em britador de mandíbula (marca: MAROBRÁS, modelo 30x20, fabricado por: Luquips Equipamentos e Peças Ltda.) na Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), conforme Figura 3.2, transformando em agregado miúdo com granulometria de 9,5 mm até 0,075 mm, conforme Figura 3.10, contudo para efeito de experimento comparativo, foram utilizadas as partículas com granulometria que vai da peneira 4,8 mm até a peneira 0,075 mm.



Figura 3.10 - Britador utilizado e material triturado de concreto produzido com arenito e concreto produzido com seixo.

### 3.2.2 Distribuição granulométrica

A empresa de usinagem de concreto e argamassa utiliza areia comercializada na Cidade de Manaus, originada de jazida, conforme NBR NM 52/2003. Foi adquirida, junto à empresa, uma amostra de 18 kg e levada ao laboratório, colocando em duas bandejas metálicas, conforme Figura 3.5 (A), para secar em uma estufa de secagem e esterilização (FANEM, modelo 320-SE), a  $105 \pm 5$  °C por 24 h, conforme a NBR NM 27/2001 (Figura 3.5 B).



Figura 3.5 - (A) Areia seca em bandeja; (B) Estufa de secagem e esterilização.

No laboratório, foi separada uma amostra de aproximadamente 20 kg de material alternativo de ACR, selecionando por peneiramento as partículas com granulometria entre 4,8 mm e 0,075 mm, colocando-se para secagem na mesma estufa e na mesma condição da areia.

Após secagem dos agregados, foi selecionada por quartejamento uma amostra de ária natural e outra de ACR, conforme Figura 3.11.



Figura 3.11 - Agregado de ACR selecionado seco e quartejamento para análise granulométrica.

Diante da amostra dos dois agregados, pegou-se a massa de 1000 g para análise granulométrica, utilizando uma balança com precisão de 0,1g ou 0,1% (MARTE, MARTE), com registro no MICT-INMETRO 8183509 e aferição outubro/2008, conforme Figura 3.6.



Figura 3.6 - Balança digital com precisão de 0,1 g

Foi utilizado um conjunto de peneiras cujas malhas são 6,3 mm, 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm, 0,15mm e 0,075mm, conforme NBR 7211/2005 e NM 248/2003 (BERTEL, BERTEL) com fundo coletor e tampa, um pincel de pêlo macio, um pincel de aço e um frasco de porcelana, conforme Figura 3.7.



Figura 3.7 - Conjunto de peneiras, acessórios e areia para granulometria.

Colocando-se a quantidade selecionada dentro da primeira peneira de abertura 6,3 mm, disposta num conjunto em ordem decrescente de cima para baixo, uma sobre a outra, com o fundo coletor e tampa sobre a primeira, em seguida foram feitos movimentos espontâneos para que o material se acomodasse nos compartimentos das peneiras intermediárias.

Para cada estágio do peneiramento foi pego um fundo coletor e a primeira peneira da parte superior e a tampa, fazendo movimentos horizontais e rotativos por 2,5 minutos, operando-se cada peneira individualmente, da maior malha (6,3 mm) para a menor malha (0,075 mm).

Primeiro pegou-se a peneira 6,3 mm fez-se movimentos sucessivos retirou-se às partículas retidas para um frasco vazio, pois as mesmas possuíam dimensão superior a 4,8 mm, portanto não úteis para o experimento proposto. Para as demais peneiras utilizou-se o mesmo procedimento, procurando remover às partículas retidas para o frasco vazio, usando o pincel de aço.

Foi removido da base do fundo o material para peneira subsequente, fazendo o mesmo procedimento para cada fase do conjunto de peneira.

Após a separação da primeira quantidade de agregado pesou-se na balança e anotou-se em planilha o valor de cada massa obtida, conforme ABNT NBR 7211/2005, procedendo-se até a ultima peneira 0,075 mm.. Tomou-se o cuidado, fazendo a tara da balança antes de cada medida com o frasco de porcelana com bico de escoamento (Chiarotti, CHIAROTTI).

Para o agregado de ACR o procedimento foi o mesmo, considerando que se deseja manter a mesma granulometria, pois se trata de argamassa.

### 3.2.3 Massa específica

Também foi selecionada a partir das mesmas amostras quarteadas uma quantidade de massa de 500 g para determinação da massa específica, utilizando a mesma balança com precisão de 0,1 g ou 0,1 %, citada acima.

A análise foi realizada com o frasco de CHAPMAN, conforme NBR 6467/2008, colocando-se água no frasco até o volume inicial  $L_i = 200 \text{ cm}^3$ , em seguida foi seco o canal de entrada até o primeiro balão e, com auxílio de um funil, inclinando-se o frasco, depositou-se o agregado natural de areia de forma gradual, repetindo o procedimento para o ACR, vide Figura 3.8.



Figura 3.8 - Ensaio da massa específica no frasco de CHAPMAN

Após a mistura da água e do agregado sacudiu-se o frasco na posição inclinada, apoiando-se o canal de entrada com uma das mãos e girando-se com outra mão em sua base para que houvesse homogeneização e o agregado se acomodasse na parte mais baixa do recipiente, durante 5 minutos. Em seguida colocou-se para descansar, a fim de que as bolhas de ar fossem liberadas para superfície, fazendo-se duas vezes para mensurar a média da leitura final do volume.

A massa específica é calculada pela equação:

$$\mu_E = \frac{M_s}{L_f - L_i} = \frac{500}{L_f - 200} , \quad \text{Eq. (1.3),}$$

em que:

$\mu_E$  = massa específica do agregado miúdo expressa em kg/L;

$M_s$  = massa do material seco (500 g);

$L_i$  = leitura inicial do frasco (200 cm<sup>3</sup>);

$L_f$  = leitura final do frasco (390 cm<sup>3</sup>).

### 3.2.4 Módulo de finura

O módulo de finura consiste em pegar a soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100, conforme NBR NM 248/2003, aplicada para areia natural e ACR.

### 3.2.5 Massa unitária

Para esta análise, apropriou-se das mesmas amostras dos agregados natural e ACR para determinar a massa unitária e, utilizando um cubo metálico com dimensões: largura de 94 mm, comprimento de 96 mm, altura de 95 mm e espessura da chapa de 3 mm, com massa de  $M_c=1114,3$  g, conforme ABNT NBR 7251/1982 e NM 45/2002.

Posteriormente, colocou-se o recipiente em uma bandeja para preenchê-lo como material agregado. Utilizando-se uma pá metálica e um paquímetro foi despejando-se lentamente o material no centro do recipiente a uma altura constante de 12 cm da superfície dos grãos já colocados no mesmo até preencher todo o frasco, tomando-se o cuidado, pois devido à queda dos grãos o ponto de incidência fica na forma cônica, conforme Figura 3.9.

Para que o recipiente ficasse completamente cheio, pegou-se uma régua metálica chanfrada e rasou-se o material pelas bordas do frasco, retirando o excesso, em seguida mediu-se o conjunto, peso da amostra mais recipiente, repetindo por três vezes.



Figura 3.9 - A deposição do agregado no frasco e seu rasamento.

A massa unitária é calculada pela equação:

$$\mu_U = \frac{M_T - M_c}{V} = \frac{M}{V} \quad \text{Eq. (2.3),}$$

em que:

$M_c$  = massa do recipiente (kg)

$M_T$  = massa do recipiente mais amostra (kg)

$M$  = massa da amostra (kg)

$V$  = volume do recipiente (L)

$\mu_v$  = massa unitária (kg/L)

### 3.3 Compacidade do material seco

Considerando a caracterização dos componentes minerais, procedeu-se a mistura dos materiais secos proporcionalmente, juntamente com a microfibrá, para a análise da compacidade, variando o percentual de agregado natural e de ACR a cada 20 %, tendo um ponto médio de 50 % como referencial.

Para a análise da compacidade foi utilizada uma proveta de 250 mL de capacidade com aproximadamente 330 mm de comprimento total,  $250 \pm 2$  mL de comprimento de escala, divisão de 2 mL (LABORGLAS) e base plástica, um suporte universal metálico revestido de material emborrachado para amortizar o impacto, com garra de fixação para conduzir a proveta na direção vertical, impossibilitando sua inclinação, conforme a Figura 3.12.

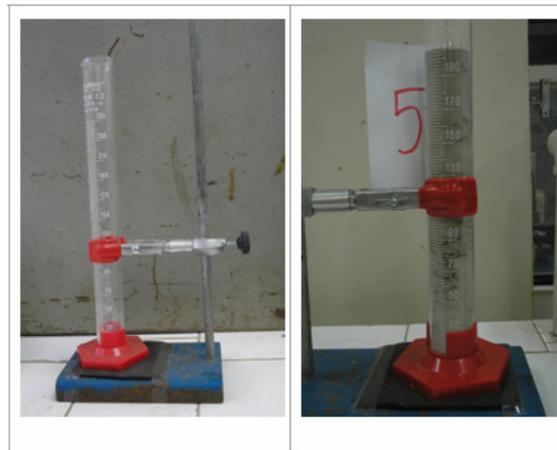


Figura 3.12 – Suporte universal e proveta com material seco após compacidade.

### 3.4 Dosagem

Convém destacar que este trabalho consiste em um estudo comparativo de argamassa celular com agregado alternativo de ACR, tomando como referência, argamassa celular com areia quartzosa utilizada para confecção de casas popular

no Conjunto Habitacional Parque dos Buritis, localizado no bairro Santa Etelvina, na cidade de Manaus no Estado do Amazonas.

### 3.4.1 Dosagem da argamassa celular referencial

A empresa RD Engenharia e Construções montou uma central de dosagem no canteiro de obra, preparando a argamassa em caminhão betoneira com capacidade de 7 m<sup>3</sup> e velocidade de rotação 25 rot/min. A partir da mistura preparada pela empresa foram retiradas amostras referenciais para análise.

Para a confecção da argamassa foi utilizado traço com: 10.290 kg de areia de quartzo, proveniente de jazida, 1.785 kg de cimento Portland de marca AMAZONAS CP I – 32 e 1.701 kg de água, considerando que areia continha baixa umidade, conforme NBR 11.578/2004. Após preparação da argamassa foi adicionado 6,0 kg de microfibras de polipropileno e 14,0 kg de aditivo espumante polimérico.

A mistura dos componentes básicos da argamassa (cimento, areia e água) ocorre num período de tempo de 25 minutos. Primeiramente colocou-se 200 L de água para untar a superfície, em seguida, a areia foi depositada gradualmente por esteira, simultaneamente, o cimento e a água foram introduzido à betoneira por bomba de sucção até atingir a consistência ideal então, retirou-se uma amostra para moldar o corpo-de-prova.

Posteriormente, foi adicionada à argamassa a microfibras de polipropileno e aditivo expensor polimérico METAPOP e, após homogeneizar por 30 minutos com a mesma velocidade, foi analisado, in loco, o abatimento (*Slump*) 270 mm ± 10 mm. O abatimento determina a consistência e a trabalhabilidade da argamassa e deve ser analisada a cada traço produzido em caminhão betoneira.

Definida a análise foi colocada nas formas matrizes em estrutura de alumínio, moldando as paredes das habitações no formato arquitetônico, vide Figura 2.2.

### 3.4.2 Dosagem das composições

Para a realização deste trabalho foi feito a substituição gradativa da areia de quartzo pelo material alternativo de ACR triturado e selecionado, fração cinza, com a granulometria variando entre as peneiras 4,8 mm a 0,075 mm.

Na dosagem das composições foi sugerida uma variação de 20 % na substituição do agregado natural pelo agregado de ACR para compor a mistura, mantendo-se um ponto médio entre as quantidades.

Portanto, foi mantida a massa de cimento para todas as composições e a quantidade de água foi colocada a cada mistura, buscando-se manter o mesmo abatimento (*SLUMP*) proposto na argamassa referencial e, os componentes aditivos: microfibras de polipropileno e espumante à base de termopolímero acrílico foram aditivados proporcionalmente à quantidade de massa, buscando uma expansão de até 10 % de bolhas de ar, conforme demonstrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição da argamassa celular com agregado natural (AN) e agregado alternativo (AA).

Amostra	AN (kg)	RCD (kg)	Cimento (kg)	Água (L)	Microfibras (kg)	Espumoso(kg)
C1	46,16	0,00	8,00	6,58	0,0013	0,0031
C2	36,93	8,33	8,00	6,75	0,0013	0,0031
C3	27,70	16,66	8,00	7,00	0,0013	0,0031
C4	23,08	20,83	8,00	6,62	0,0013	0,0031
C5	18,46	24,99	8,00	6,50	0,0013	0,0031
C6	9,19	33,36	8,00	6,40	0,0013	0,0031
C7	0,00	41,66	8,00	6,28	0,0013	0,0031

### 3.5 Preparo das argamassas

Para o preparo das argamassas foi utilizada uma betoneira de eixo horizontal com capacidade de 320 L e velocidade de 30 rot/min (MENEGOTTI, Menegotti), conforme Figura 3.13.



Figura 3.13 – Betoneira de eixo inclinado com capacidade de 320 litros

Em cada amostra sugerida de argamassa foi preparada a mistura na betoneira, colocando-se por ordem, primeiramente 50 % do volume de água proposta, depois a mistura de agregado, seguido do cimento e dosando de água para uma boa homogeneização, durante 10 minutos, conforme NBR 13.276/2002.

Após a preparação da argamassa foi acrescentada a microfibras de polipropileno e o espumante à base de termopolímero acrílico diluído em 100 mL de água potável que, após 5 minutos de homogeneização, foi obtida a argamassa celular.

### 3.6 Caracterização da argamassa no estado fresco

Nesta análise da argamassa composta pela mistura de agregado natural e de RCD foi observada a consistência, trabalhabilidade e plasticidade para facilitar a moldagem evitando à exsudação, retração plástica e fissura.

### 3.7 Teor de água e índice de consistência

É importante salientar que o teor de água e o índice de consistência foram analisados pelos procedimentos da NBR 13.276/2002, onde propõe o índice de consistência padrão de  $255 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ .

Foi utilizada a mesa de consistência (flow table), vide Figura 3.14, conforme NBR 7215/1996, contudo, foi adotado o índice de consistência de  $280 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ , considerando que se trata de argamassa gerada por mistura de agregado natural e ACR onde as partículas apresentam dimensão máxima do grão de 4,8 mm e, que na mistura foi adicionado um espumante gerador de bolhas de ar o que influencia a plasticidade.



Figura 3.14 - Mesa para teste de consistência

### 3.8 Obtenção de corpo-de-prova (CP)

No laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - (IFAM), apropriando-se de dois conjuntos de 49 moldes para CP de forma cilíndrica na dimensão: diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, primeiro para análise da resistência mecânica à compressão e o segundo para avaliação da densidade e absorção de água.

Foi procedido o preparo dos moldes fazendo a limpeza e ajustando os parafusos para unir as paredes do molde; em seguida untaram-se com óleo mineral os moldes para CP destinado ao teste de resistência mecânica à compressão, para não haver aderência da argamassa à forma, vide Figura 3.15A.

Para a análise da absorção de água, foi preparado outro conjunto de 49 moldes destinados à análise da absorção de água por imersão e massa específica, os quais foram limpos com pano úmido e isentos de óleo para não impermeabilizar a superfície lateral e sua base, facilitando a absorção da água pelo corpo-de-prova.

A argamassa foi colocada no molde com duas camadas iguais e sucessivas, vide Figura 3.15B, aplicando 12 golpes a cada camada distribuídos uniformemente para acomodação no recipiente, NBR 5738/2008. Para a última camada foi feito a contenção, fazendo acabamento com colher de pedreiro.



Figura 3.15 - (A) Limpeza e preparo; (B) Moldagem do CP.

Deixou-se por 24 horas em temperatura ambiente de aproximadamente 23 °C sem sofrer perturbações, vide Figura 3.16A, após esse período, fez-se a desmolda

do CP. Em seguida, foram identificados os mesmos com número, data e número da amostra, conforme Figura 3.16B.



Figura 3.16 – (A) CP moldados em descanso; (B) CP desmoldado e identificado.

Para o controle foi feito o preenchimento da ficha com os seguintes dados: número do CP, tipo de argamassa e o destino, traço, fator água/cimento, resistência mecânica à compressão proposta, data de moldagem e data do rompimento (idade do CP) previsto para 7, 14 e 28 dias.

### 3.8.1 Cura dos corpos-de-prova

Depois dos procedimentos de identificação dos CP colocou-se em tanque de imersão em água para cura, durante o período previsto para idade de 7, 14 e 28 dias para rompimento.

### 3.9 Ensaio da resistência mecânica à compressão (RMC) do CP

O ensaio de RMC foi realizado com corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme as NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007.

Passado a idade para rompimento foram retirados da imersão e colocados para secagem na temperatura ambiente durante 3 horas e posteriormente foram capeadas com enxofre as áreas da base de cada CP para corrigir as irregularidades e tornar as bases paralelas antes do rompimento, conforme Figura 3.17.



Figura 3.17 - Capeamento de CP para rompimento

O ensaio foi realizado em equipamento denominado de prensa hidráulica de acionamento manual para ensaios (PAVITESTE, modelo C 3001 – 485, CONTENCO) com capacidade máxima de carga 1.154,83 toneladas para concreto de 1,96 toneladas para argamassa, com velocidade de 0,1 a 1000 mm/min, com aferição em junho/2009, conforme Figura 3.18.



Figura 3.18 - Prensa hidráulica para ensaio manual de resistência mecânica à compressão

O diâmetro da seção reta do CP foi medido com paquímetro em três posições diferentes com variação de 120 graus entre si e utilizada a média para cálculo da área.

O valor da resistência mecânica à compressão ( $RMC$ ) dos corpos de prova é obtido pela expressão:

$$RMC = \frac{P}{A}, \quad \text{Eq. (3.3),}$$

em que:

$RMC$  = Resistência mecânica à compressão do CP (MPa);

$P$  = Valor da carga de ruptura;

$A$  = Área da seção transversal do CP.

### 3.10 Ensaio de Absorção de Água para o CP

Após a desmoldagem dos CP mediu-se sua massa ainda úmida, em seguida, colocou-se em estufa de secagem e esterilização, descrita no item 3.2.2, com temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , por 48 horas, retirando e medindo sua massa de 12 em 12 horas para avaliar a variação e anotando. Após obter o estado de equilíbrio, isto é, a massa do CP não variar mais com o tempo de permanência em estufa, tomou-se os dados para processar os cálculos de absorção.

O ensaio de absorção de água foi realizado conforme NBR 9778/2005, com aplicação da equação:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100, \quad \text{Eq. (4.3),}$$

em que:

$A$  = absorção de água por imersão;

$M_{sat}$  = massa da amostra saturada em água;

$M_s$  = massa da amostra seca em estufa.

### 3.11 Índice de vazios

Nesta experiência foram aproveitadas as medidas de massas efetuadas nos CP para absorção de água. Para completar os dados foi acrescentado o procedimento de saturação, por imersão em água, conforme NBR 9778/2005,

retirando do tanque, removendo o excesso, em seguida, foi medida a massa dos CP para efeito de cálculo.

O índice de vazios é a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, conforme NBR 9778/2005, com aplicação da equação:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_u} \times 100, \quad \text{Eq. (5.3),}$$

em que:

$I_v$  = índice de vazios;

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturada, imerso em água;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa;

$M_u$  = massa do corpo-de-prova úmido, após desforma.

### 3.12 Densidade

Nesta análise permite, a partir da massa real do CP quando seco e em estado saturado, expressar sua massa específica real. Tomando-se as orientações efetuadas através dos procedimentos do item 1.8 e, as medidas necessárias obtidas no item 1.11, conforme NBR 9778/2005, foi determinado à densidade através da equação:

$$\rho_r = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i}, \quad \text{Eq. (6.3),}$$

em que:

$\rho_r$  = é a massa específica real ou densidade da amostra;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa, durante 72 horas a temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C;

$M_u$  = massa do corpo-de-prova úmido, após desforma.

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturada, imerso em água;

### **3.13 Custo dos materiais para fabricação do bloco**

Tomou-se como referência a dimensão de blocos utilizados na região com as seguintes dimensões largura de 9 cm, altura de 19 cm e comprimento de 39 cm, com volume de 0,007 m<sup>3</sup>. Para efeito comparativo foi verificado o custo para produzir 1 m<sup>3</sup> da argamassa.

Foi definida a mesma proporção do traço experimental da argamassa celular, obtida para o ponto ótimo com 50 % de areia natural e 50 % de ACR. Os valores utilizados para cada material foram baseados no preço da praça, definindo o preço para a confecção de um bloco, inclusive o custo do encargo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo está expresso os resultados obtidos nos processos metodológicos descritos no capítulo anterior, buscando oferecer um comparativo dos resultados para análise dos materiais utilizados no processo da composição proposta da argamassa celular, a fim de oferecer substrato para melhor resultado.

### 4.1 Resultados da Caracterização dos Agregados

#### 4.1.1 Distribuição granulométrica

O ensaio da granulometria do agregado natural e do ACR foi realizado através do método manual no laboratório de materiais de construções do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

A Figura 4.1 mostra a curva da distribuição granulométrica do agregado natural utilizado na argamassa celular referencial, onde a abertura da peneira está expressa na escala logarítmica.

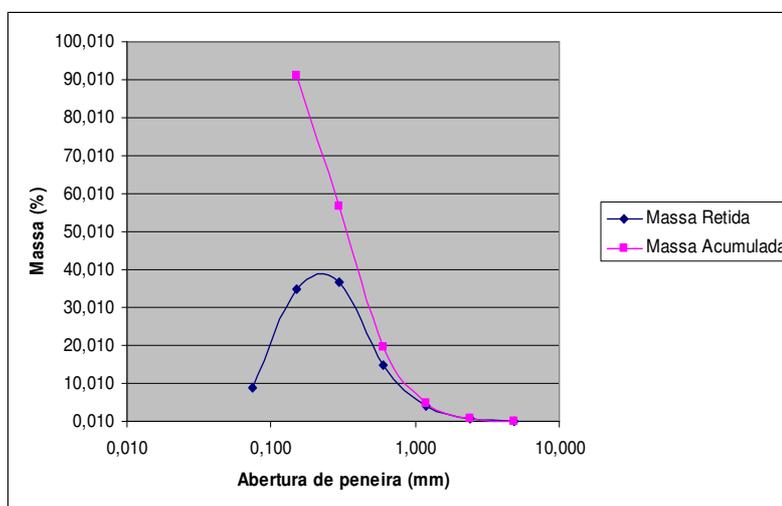


Figura 4.1 - Curva da distribuição granulométrica do agregado natural

Os valores mostram que o percentual acumulado da massa atende o módulo de finura dentro da zona utilizável inferior 1,55 a 2,20, conforme NBR NM 248 e NBR 7211/2005.

Para o ensaio granulométrico do ACR, partiu-se de uma amostra do material britado e através do processo de quarteamento procedeu-se da mesma forma

utilizada para agregado natural, tomando os cuidados necessários na medição da massa do material retido em cada peneira.

Na Figura 4.2 estão representado os quantitativos do ACR britado, com granulometria minúscula, retidos em cada peneira, destacando um volume maior entre as peneiras de abertura 6,3 mm a 0,3 mm, cujo resultado, esta expresso na Tabela 4.1.



Figura 4.2 - Agregado de ACR triturado e e separado por peneira.

A Figura 4.3 representa a curva da distribuição granulométrica do agregado alternativo de ACR, retido e acumulado, após ser triturado, onde parte deste será utilizada na composição proposta para argamassa celular, nesta análise podemos verificar um percentual maior retido nas peneiras de malha intermediárias.

Observa-se que a quantidade maior de massa de ACR foi retida nas peneiras de abertura 6,3 mm a 0,3 mm com 89,61 % do total.

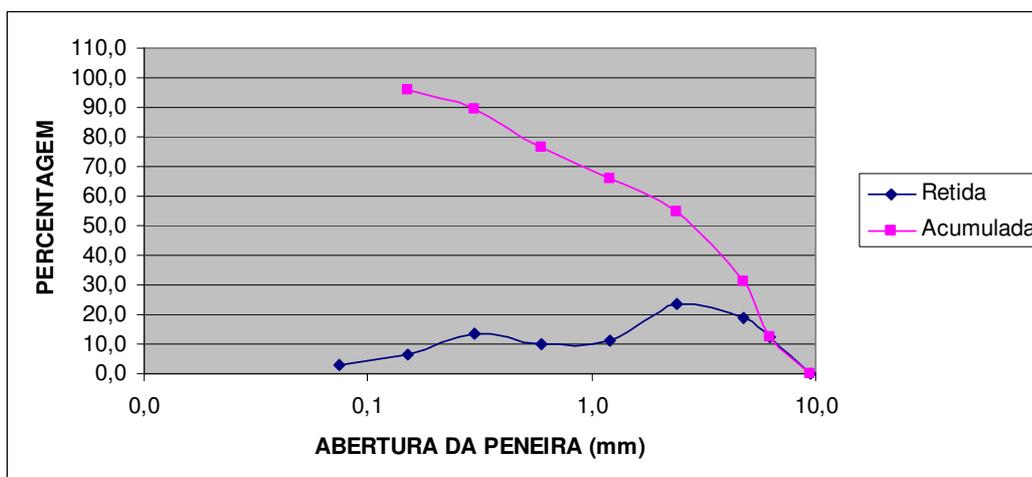


Figura 4.3 - Curva granulométrica do agregado de ACR após ser triturado.

Buscou-se uma granulometria compatível com a do agregado natural, retirando-se às partículas com granulometria igual ou superior a peneira 6,3 mm, permanecendo somente as partículas retidas na malha 4,8 mm até 0,075 mm, em atendimento da NBR 7251/82 para agregado miúdo, conforme Figura 4.4.

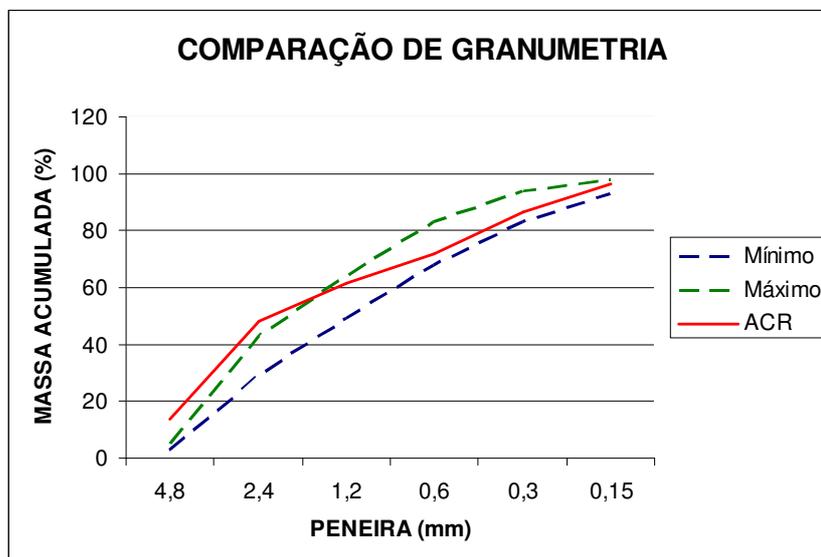


Figura 4.4 - Curva comparativa do agregado de ACR após ser triturado.

Após a separação das partículas com granulometria igual ou inferior a peneira 4,8 mm e, utilizando-se o processo de quarteamento, fez-se a análise granulométrica, obtendo-se os valores de sua massa em grama, para cada parcela retida, por peneira, com o respectivo percentual retido e acumulado.

Na Tabela 4.1 estão representados os valores percentuais acumulado da massa e o modulo de finura da areia de quartzo, ACR triturado e ACR selecionado para mistura da argamassa.

Tabela 4.1 – Análise Granulométrica da areia de quartzo de jazida, agregado natural, material convencional.

Material	Massa total (g)	Acumulado (%)	Modulo de finura (%)
Areia de quartzo	963,8	173,09	1,73
ACR após trituração	1193,5	426,06	4,26
ACR selecionado	963,8	378,26	3,78

A Figura 4.4 está representada as curvas da granulometria do agregado natural e do agregado alternativo de ACR, na qual, pode-se verificar a quantidade de cada

agregado acumulado em cada peneira, possibilitando uma análise visual dos quantitativos de massa utilizada para composição da argamassa celular.

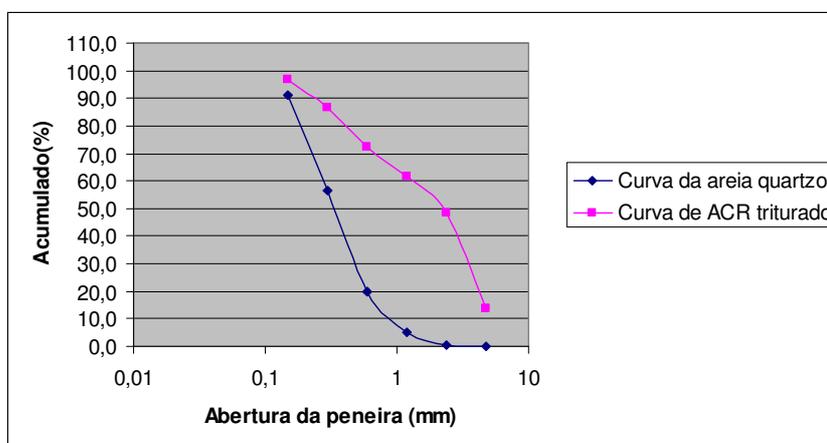


Figura 4.4 - Curvas comparativas do percentual acumulado da areia natural e de ACR.

Ocorre que, apesar de triturado, a maior quantidade de partícula do agregado alternativo de ACR está entre as peneiras 4,8 mm a 0,3 mm, aparentando estrutura de pedrisco, logo a acomodação dos grãos não ocorre de forma uniforme gerando vazios, não preenchidos por partículas sólidas, ocorre que desta forma há um enfraquecimento em sua resistência.

Em análise comparativa a areia de quartzo possui a maior quantidade entre as peneiras 0,6 mm a 0,15 mm, enquanto que o alternativo de ACR sua maior quantidade está entre 4,8 mm a 1,2 mm. Na Tabela 4.2 é mostrado o intervalo de peneira com a respectiva massa e percentual de cada tipo de agregado.

Tabela 4.2 - Quantidade de material acumulado por intervalo de peneira

Peneira ABERT (mm) Intervalo	Areia de Quartzo		Alternativo de ACR	
	Quant. Massa	Percentual	Quant. Massa	Percentual
1,2 – 4,8	47,2 g	4,89%	593,1 g	61,54%
0,15 -0,6	832,6 g	83,39%	340,1 g	35,29%
Pulverulento ≤ 0,075	84,0 g	11,71%	30,6 g	3,17%

Comparando com a Tabela 2.1 e 2.2 a graduação “3” sugere que o agregado no estado seco e solto tenha uma massa específica de 1.120 kg/m<sup>3</sup>.

Enquanto que a granulometria da areia natural, por possuir partículas mais uniformes e de dimensões menores, apresentam grande índice de vazio, entretanto,

as partículas sólidas ficam mais próximas uma das outras, oferecendo uma maior trabalhabilidade da argamassa e a pasta de cimento e água preenche as lacunas. A Figura 4.5 mostra a quantidade de material por peneira que, através da compactidade, buscou-se o ponto ótimo da mistura.

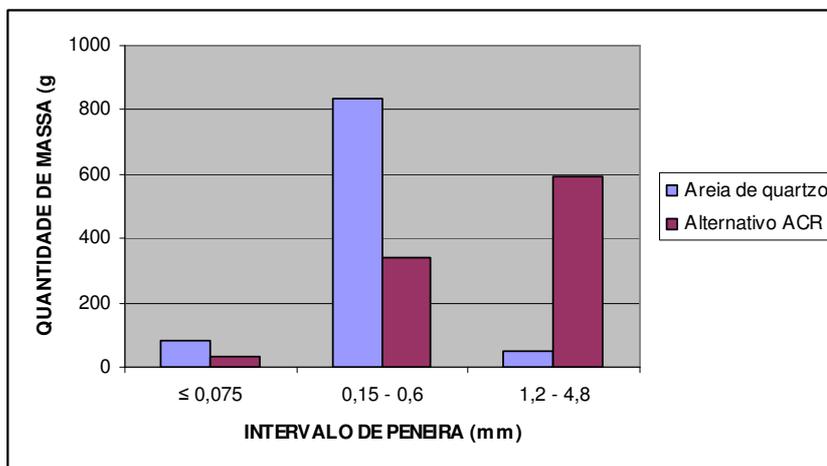


Figura 4.5 - Quantidade de massa de areia e de ACR x peneira

Por se tratar de argamassa é importante esta compatibilidade na granulometria entre os dois tipos de agregados, considerando que esta análise experimental pretende-se otimizar o resultado na substituição do agregado natural pelo alternativo de ACR, a partir das misturas sugeridas.

#### 4.1.2 Massa específica do agregado

Este ensaio experimental utilizado para determinação da massa específica da areia e ACR, foi utilizado a NBR 9776/98, método do frasco de CHAPMAN, utilizando de água para definição do volume inicial e, posteriormente, a areia de quartzo originada de jazida para leitura final do volume do frasco. Em seguida, aplicou-se para o ACR triturado o mesmo procedimento.

Para configurar o grau de confiabilidade foram realizadas duas análises experimentais e os resultados estão expressos na Tabela 4.3, que retrata os valores utilizados, com erro de até 0,05 (kg/m<sup>3</sup>).

Tabela 4.3 – Resultado da massa específica da areia de quartzo e ACR.

Material	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
Areia de quartzo	2,625
ACR triturado	2,369

Diante dos valores constados na tabela 4.3, pode-se perceber que o ACR é mais leve que a areia de quartzo.

#### 4.1.3 Módulo de finura do agregado

A determinação deste ensaio de obtenção do módulo de finura da areia natural utilizado na composição da mistura da argamassa celular referencial e do ACR foi obtido a partir da análise granulométrica, utilizando o valor do percentual acumulado e dividindo por 100, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Resultado do modulo de finura da areia de quartzo e ACR.

Material	Modulo de finura (%)
Areia de quartzo	1,73
ACR friturado	3,78

O modulo de finura do ACR apresenta 8 % acima da zona utilizável superior que é de 3,50.

#### 4.1.4 Massa unitária do agregado

O ensaio para determinação da massa unitária foi utilizado areia de quartzo seca e ACR seco em estufa, atentando para o procedimento descrito na metodologia, realizando três experimentos para cada amostra, a fim de assegurar melhor confiabilidade, cujos resultados estão expressos na Tabela 4.5, com desvio menor ou igual a 1% com aproximação de 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 4.5 – Resultado da massa unitária da areia de quartzo e ACR.

Material	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
Areia de quartzo	1,46
ACR friturado	1,23

O ACR por possuir partículas maiores que a areia de quartzo a acomodação deste no recipiente permite muitos vazios entre os pedriscos, o que diminui o valor da massa unitária.

## 4.2 Compacidade do material seco

Diante da caracterização dos componentes minerais: cimento, areia de quartzo

e agregado de ACR triturado, que comporão a argamassa para análise, procedeu-se tomando uma quantidade definida de massa para o agregado e, de forma proporcional, para o aglomerante e microfibras para compor a mistura de secos para análise da compactação, variando o percentual de agregado natural e agregado de ACR, conforme Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Quantidade de massa agregado, cimento e microfibras com seu volume inicial e final

Composição	Massa (g)		% (em massa) ACR	Massa (grama)			Volume (ml)	
	Ag Nat	Ag ACR		Cimento	Microfibras	Mistura*	Inicial	Final
1	250,00	0,00	0	69,44	0,23	319,67	204,0	179,0
2	200,00	50,00	20	69,44	0,23	319,67	202,0	175,0
3	150,00	100,00	40	69,44	0,23	319,67	207,0	174,0
4	125,00	125,00	50	69,44	0,23	319,67	206,0	175,0
5	100,00	150,00	60	69,44	0,23	319,67	205,0	180,0
6	50,00	200,00	80	69,44	0,23	319,67	221,0	188,0
7	0,00	250,00	100	69,44	0,23	319,67	231,0	206,0

\* Massa da mistura referente ao volume utilizado para compactação

O volume estimado na proveta serviu para definir a massa de agregado (natural e ACR) dentro da proporção de acordo com percentual 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 0% para as amostras.

A mistura foi processada substituindo a areia de quartzo por percentuais de massa de ACR, variando a cada 20 %, com ponto médio de 50%, verificou-se que quando o agregado era só areia o volume compactado era de 179 ml e, após a substituição gradativa foi diminuindo seu volume até 175 ml em 50 %, a partir desse ponto médio seu volume foi subindo gradativamente até 206 ml, isto é, o ponto de mistura que oferece melhor compactação é 50% de cada material, areia de quartzo e alternativo de ACR, conforme Figura 4.6.

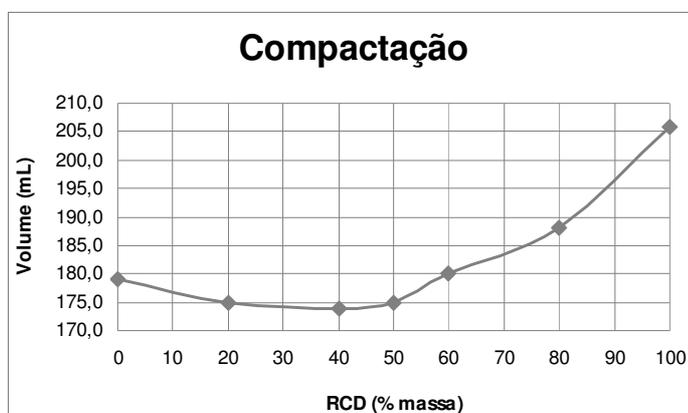


Figura 4.6 - Compactação do material seco

Verificou-se que, após a seqüência de batida, conforme metodologia houve o aumento do volume, isto porque, com a adição de ACR, cuja dimensão das partículas era significativa, as mesmas não se acomodaram de forma compacta criando um vazio entre elas, elevando o volume de material seco durante o experimento.

### 4.3 Dosagem da argamassa

#### 4.3.1 Dosagem da argamassa referencial

Foi preparada a argamassa na central de dosagem em caminhão betoneira com capacidade de 7 m<sup>3</sup> e velocidade de 20 rot/min, com a mistura dos materiais básicos: areia natural de quartzo, cimento PORTLAND e água potável, durante 25 minutos, conforme descrito no item 3.4.1 da metodologia.

Em seguida, após a homogeneização da argamassa, foi acrescentado aditivo espumante polimérico METAPOP e microfibras de polipropileno, misturando por 30 min e, possibilitou a incorporação de bolhas de ar em até 15% do volume da mistura, tornando-a mais leve e de consistência plástica, caracterizando-a de celular.

A Tabela 4.7, estão representados os valores utilizados para a preparação da argamassa referencial cuja densidade relativa é de 1970 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 4.7 – Dosagem da argamassa referencial

Dosagem da argamassa para 1 m <sup>3</sup>		
Materiais	Massa (kg)	Volume m <sup>3</sup>
Cimento	255,00	0,0810
Areia quartzo	1470,00	0,5600
Água	240,00	0,2400
Microfibras	0,85	0,0004
Espumante	2,00	0,0021

#### 4.3.2 Dosagem da argamassa com agregado alternativo de ACR

Para esta análise, utilizando agregado alternativo de ACR triturado, buscou-se a dosagem sugerida das composições propostas para esse experimento, substituindo gradualmente a areia de quartzo por ACR, conforme Tabela 4.6. A proporcionalidade dos quantitativos do cimento, da microfibras e aditivo espumante foi balizada pela mistura da argamassa produzida na usina da empresa.

Na preparação de cada composição a água foi colocada gradualmente para dar consistência necessária à argamassa dentro do tempo previsto de mistura. Observa-se que a quantidade de água necessária para cada amostra varia em função do percentual de massa de ACR substituída, pois sua granulometria interfere no processo de mistura.

Observa-se que para cada amostra o volume de água variou, isto é, nas primeiras três amostras em que o percentual de ACR substituído foi de até 40% a quantidade de água aumentou gradualmente; enquanto que a partir do percentual de 50%, ponto médio da substituição, até amostra sete com substituição de 100% de ACR, a quantidade de água foi diminuindo para atingir a consistência no tempo previsto.

O aditivo espumante foi diluído em água para melhor homogeneização, enquanto a microfibras foi dispersa em pequeno filamento para uma boa mistura junto à argamassa.

#### **4.4 Preparação da Argamassa**

A preparação da argamassa foi processada conforme item 3.5 da metodologia, observando a seqüência dos materiais colocados na betoneira para mistura e o tempo de processo para cada amostra de argamassa, conforme NBR 12.646/1992 e NBR 12.645/1992.

#### **4.5 Teor de água e índice de consistência**

A análise do teor de água e o índice de consistência estão conforme NBR 13.276/2002. Foi utilizada a mesa de consistência (flow table), vide Figura 3.14, conforme NBR 7215/1996, contudo foi adotado o índice de consistência de 280 mm  $\pm$  10 mm, considerando que se trata de argamassa gerada por mistura de agregado natural e ACR onde as partículas apresentam dimensão máxima do grão de 4,8 mm e, que na mistura foi adicionado um espumante gerador de bolhas de ar, o que influencia a plasticidade.

A Tabela 4.8, mostra que o índice de consistência calculado das composições propostas varia de 310 mm a 332 mm, contudo os valores maiores estão ligados aos extremos, isto é, argamassa com areia natural foi de 320 mm e com ACR foi de 322

mm e o menor valor foi no ponto médio equivalente a 50 % de cada agregado, aproximando do índice proposto de 280 mm  $\pm$  10 mm.

Tabela 4.8 – Quantidade de material, relação água/cimento, teor de água por amostra de argamassa e Índice de consistência, NBR 13276/02

Compo- Sição	NA (kg)	ACR (kg)	Cimen- to (kg)	Água (L)	Micro- fibra (kg)	Espu- mante (kg)	IC (mm)	Teor água (%)	Relação		
									Água/ Material Seco	Rela- ção A/C	Agregado/ Aglome- Rante
1	46,16	0,00	8,0	6,58	0,0013	0,0031	320	12,15	0,12	0,82	5,77
2	36,93	8,33	8,0	6,75	0,0013	0,0031	318	12,67	0,12	0,84	5,65
3	27,70	16,66	8,0	7,00	0,0013	0,0031	316	13,37	0,13	0,88	5,54
4	23,08	20,83	8,0	6,62	0,0013	0,0031	310	12,75	0,13	0,83	5,48
5	18,46	24,99	8,0	6,50	0,0013	0,0031	317	12,63	0,12	0,81	5,43
6	9,19	33,36	8,0	6,40	0,0013	0,0031	319	12,66	0,12	0,80	5,31
7	0,00	41,66	8,0	6,28	0,0013	0,0031	322	12,64	0,12	0,79	5,20

O teor de água varia entre 12,14 % a 12,75 %, onde a utilização de areia de quartzo apresentou o menor valor, contudo o ponto médio, referente à composição 4, apresenta o maior valor percentual.

A partir da análise da Tabela 4.9, verifica-se que a massa específica para areia de quartzo é de 1,87 g/cm<sup>3</sup> enquanto de ACR é de 1,95 g/cm<sup>3</sup> e no ponto médio é de 2,12 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 4.9 – Massa específica relativa de cada amostra

Composição	Massa (kg)	Volume (dm <sup>3</sup> )	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
1	60,74	32,49	1,87
2	60,01	26,79	2,24
3	59,36	27,84	2,13
4	58,53	27,56	2,12
5	57,95	25,17	2,30
6	56,95	26,49	2,15
7	55,94	28,71	1,95

Na Tabela 4.8 disponibiliza os valores de relação água/cimento para a utilização da areia de quartzo é de 0,82 e de ACR é de 0,79, onde o ponto médio apresenta 0,83. Também destaca a relação agregado aglomerante variando 5,77 a

5,20, contudo o ponto médio é de 5,48. Ainda destaca o teor de ar aprisionado onde o maior valor de 36,83 % está associado ao uso da areia de quartzo enquanto que no ponto médio é de 25,43 %, verifica-se que os menores valores estão entre as composições 2 e 6 onde há mistura dos agregados propostos, isto porque nas composições 1 e 7 há uma incidência grande de finos.

## **4.6 Resultado da obtenção dos corpos de prova**

### **4.6.1 Corpo-de-prova referencial**

Após a preparação da argamassa convencional com os materiais: areia de quartzo, cimento Portland e água potável, foram moldados três (3) corpos de prova para determinação da resistência mecânica e, posteriormente foram misturados à microfibras e aditivo espumante e foram moldados sete (7) corpos de prova, com a mesma finalidade.

A argamassa foi colocada nos moldes de aço em três camadas, onde a cada camada foram desferidos trinta golpes na direção vertical com haste metálica de ponta semicircular a fim de compactar a mistura. Em seguida, procedeu-se da mesma forma após acrescentar a microfibras para combater o aparecimento de fissuras e o aditivo espumante à argamassa, tornando-a celular.

Contudo, por sua plasticidade, ao penetrar a haste as bolhas incorporadas à mistura fazem aumentar o volume, dificultando o trabalho de arrasamento em sua última camada.

### **4.6.2 Corpo-de-prova da mistura com material alternativo de ACR**

Após a substituição proporcional do agregado natural pelo alternativo de ACR e, considerando os percentuais propostos a cada composição, bem como, a proporcionalidade da quantidade de cimento, microfibras e aditivo espumoso, foi moldado quatorze corpos de prova para cada composição, sendo sete para análise da resistência mecânica à compressão e sete para análise da densidade.

## **4.7 Resultado da trabalhabilidade e fluidez**

Pode-se constatar que quando o agregado usado é de areia natural a consistência da argamassa é mais plástica para ACR em até 40 % observa-se um

aumento do fator a/c, chegando até 0,88 diminuindo um fator água/cimento (a/c) de 0,82; porém à medida que se substitui a areia por sua consistência.

Quando chega ao ponto médio de 50 % de cada agregado há uma diminuição da relação a/c para 0,83 e sua consistência diminui e a medida que aumenta o percentual de ACR diminui lentamente a referida relação a/c, chegando a 0,79 aumentando seu índice de consistência.

Verifica-se que, para a argamassa celular, utilizando somente o agregado natural o consumo de água é de 6,58 L e aumenta a quantidade até a substituição de 40 %, porém quando chega ao ponto médio este consumo cai para 6,62 L e, a partir desse ponto, quando se começa aumentar a quantidade de ACR há um decréscimo da quantidade de água à mistura.

Constata-se que nas duas situações extremas, no uso de 100 % do agregado natural e no uso de 100 % de ACR, apresentou maior fluidez por apresentarem maior quantidade de partículas menores observado no índice de consistência e menor teor de água incorporado à argamassa.

Na amostra 4 onde apresenta 50 % de cada material há um equilíbrio convergindo para um bom índice de consistência e uma melhora na massa específica.

#### **4.8 Resultado da cura dos corpos-de-prova**

Os corpos de prova do concreto referencial foram moldados no canteiro de obra e mantidos em repouso por 24 horas, depois foram transportados para o laboratório de materiais de construção do IFAM, onde foram colocados em imersão para serem rompidos.

Foi rompido em 7 dias um corpo-de-prova contendo somente agregado natural, cimento e água, sem aditivo e, posteriormente dois em 28 dias. Também foram rompidos dois corpos de prova que continham aditivos com idade de sete, três com quatorze, dois com e vinte e oito dias.

Os corpos de prova confeccionados a partir das composições sugeridas no Tabela 3.1 do item 3.4.2 da metodologia foram moldados no laboratório de materiais de construção do IFAM, ficando em repouso por 24 horas e após, imerso em água

para cura. No dia programado para rompimento foram retirados para capeamento de suas bases com enxofre, para manter a superfície plana e perpendicular ao eixo longitudinal do CP para o ensaio, conforme NBR 5738/2008.

#### 4.9 Ensaio da resistência mecânica à compressão (RMC)

##### 4.9.1 RMC da argamassa com agregado natural – argamassa referencial

O ensaio de resistência mecânica à compressão da argamassa referencial foi feito em dois momentos; primeiro foi avaliado a resistência da argamassa pura com idade de 7 e 28 dias; segundo foi avaliado a resistência da argamassa celular em 7,14 e 28 dias.

Na Figura 4.7 está representado a resistência mecânica à compressão da argamassa referencial com sua respectiva idade, em estado puro e com acréscimo do espumoso e microfibras.

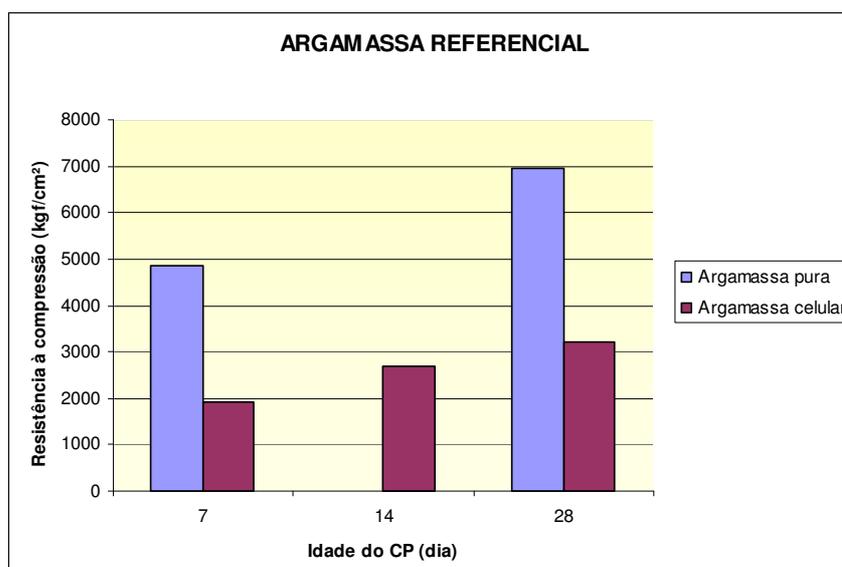


Figura 4.7 – RMC da argamassa referencial

Em análise aos resultados da Figura 4.7 é importante observar que quando a argamassa em seu estado puro apresenta uma resistência maior que quando misturada com aditivo, isto é, ao acrescentar a microfibras para combater o aparecimento de fissura e o aditivo espumante à argamassa para incorporar bolhas de ar, tornando-a celular, diminuiu sua resistência mecânica à compressão.

Na Tabela 4.10 estão representados os resultados médios da resistência das amostras em função da idade.

Tabela 4.10 - Resistência mecânica à compressão x idade da argamassa referencial

Idade de Cura	7		14		28	
	Resistência à Compressão Mecânica					
Amostra	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
Argamassa Pura	4840	6,16	-	-	6950	8,85
Argamassa Celular	1920	2,45	2680	3,41	3220	4,10

#### 4.9.2 RMC da argamassa preparada em laboratório proposta na metodologia.

A partir da metodologia proposta foi analisada a resistência mecânica à compressão dos CP das composições propostas no laboratório de material de construção do IFAM. Após a cura para os dias previstos e o devido capeamento, foram rompidos, avaliados e calculado o valor médio da resistência, por idade e composição. Para o ensaio de RMC da argamassa celular proposta nas composições 1 a 7 foi avaliado a resistência de três CP em sete dias, dois com 14 dias e 2 com 28 dias.

#### 4.9.3 a) Análise da RMC da argamassa preparada com 100% AN, composição 1.

A Figura 4.8 representa o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 1, 100 % com areia natural.

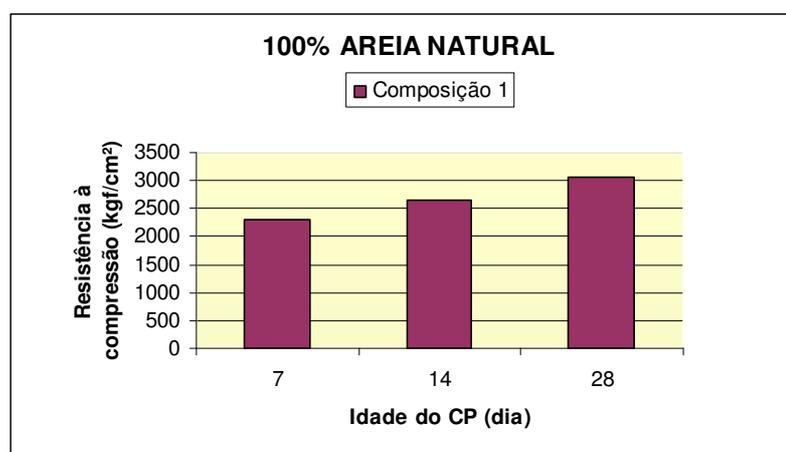


Figura 4.8 – RMC da composição 1

Através do gráfico da Figura 4.8 podemos observar um crescimento gradual da resistência à medida que aumenta sua idade. Contudo, para sete dias ficou acima da argamassa referencial, para idade de 14 dias ficou praticamente igual e aos 28 dias ficou um pouco acima.

**b) Análise da RMC da argamassa preparada com 80% de AN e 20 % de ACR, composição 2.**

Na Figura 4.9 mostra o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 2, com 80 % de areia natural e 20 % de ACR.

Percebe-se no gráfico da figura 4.9 um crescimento gradual da resistência à medida que aumenta sua idade até 14 dias. Porém, aos 28 dias há um crescimento elevado, ficando muito acima da argamassa referencial.

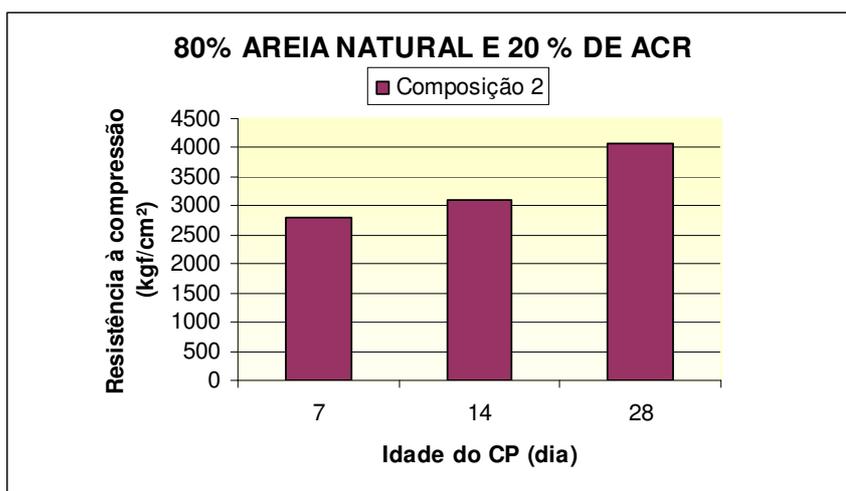


Figura 4.9 – RMC da composição 2

Há um crescimento do valor da resistência em relação à composição 1, com elevação de 21 % aos sete dias, 16 % aos quatorze e 33 % aos vinte e oito dias.

**c) Análise da RMC da argamassa preparada com 60% de AN e 40 % de ACR, composição 3.**

A Figura 4.10 representa o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 3, com 60 % de areia natural e 40 % de ACR.

Observa-se no gráfico da Figura 4.10 um pequeno crescimento da resistência à medida que aumenta sua idade até 14 dias. Porém, aos 28 dias o crescimento foi ligeiramente discreto próximo ao da argamassa referencial.

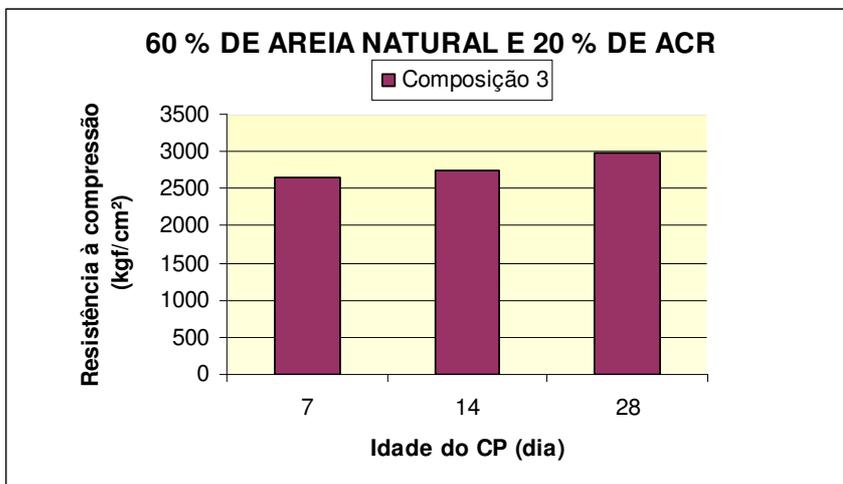


Figura 4.10 – RMC da composição 3

Há um decrescimento do valor da resistência em relação à composição 2, com baixa de 4 % aos sete dias, 12 % aos quatorze e 36 % aos vinte e oito dias.

**d) Análise da RMC da argamassa preparada com 50% de AN e 50 % de ACR, composição 4.**

Na Figura 4.11 visualiza-se o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 4, com 50 % de areia natural e 50 % de ACR.

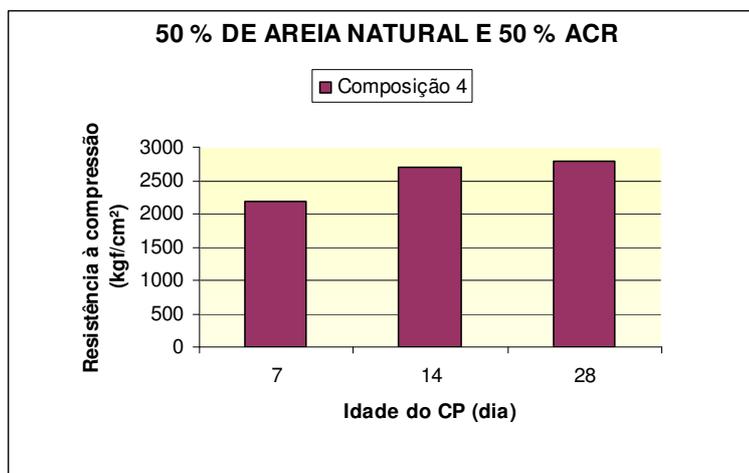


Figura 4.11 – RMC da composição 4

Examina-se no gráfico da Figura 4.11 um pequeno crescimento da resistência à medida que aumenta sua idade até 14 dias, aos 28 dias não há crescimento, contudo sua resistência ficou abaixo da argamassa referencial.

Há um decréscimo do valor da resistência em relação à composição 3, com baixa de 18 % aos sete dias, 2 % aos quatorze e 7 % aos vinte e oito dias.

#### **e) Análise da RMC da argamassa preparada com 40% de AN e 60 % de ACR, composição 5.**

A Figura 4.12 representa o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 5, com 40 % de areia natural e 60 % de ACR.

Analisa-se no gráfico da Figura 4.12 um pequeno crescimento da resistência à medida que aumenta sua idade até 14 dias, aos 28 dias há crescimento discreto, ficando próximo da resistência da argamassa referencial.

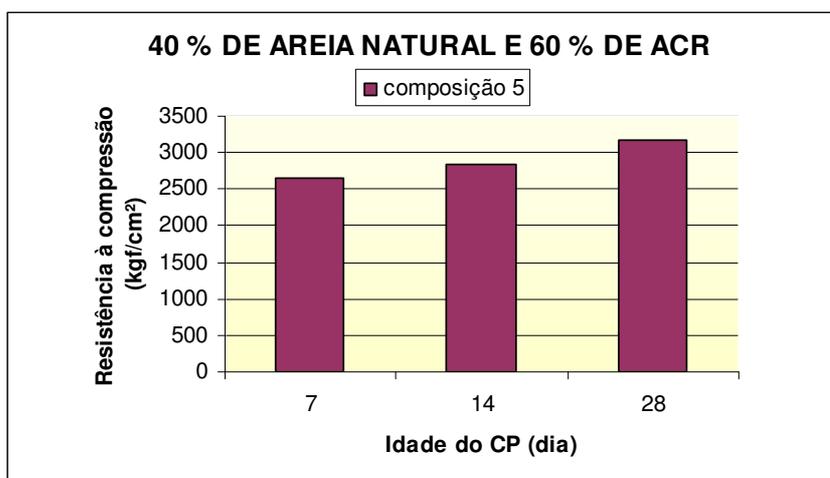


Figura 4.12 – RMC da composição 5

Há um crescimento do valor da resistência em relação à composição 4, com elevação de 21 % aos sete dias, 5 % aos quatorze e 13 % aos vinte e oito dias.

#### **f) Análise da RMC da argamassa preparada com 20% de AN e 80 % de ACR, composição 6.**

A Figura 4.13 representa o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 6, com 20 % de areia natural e 80 % de ACR.

Constata-se no gráfico da Figura 4.13 um crescimento gradual e proporcional da resistência à medida que aumenta sua idade até 28 dias, porém, ficando abaixo da resistência da argamassa referencial.

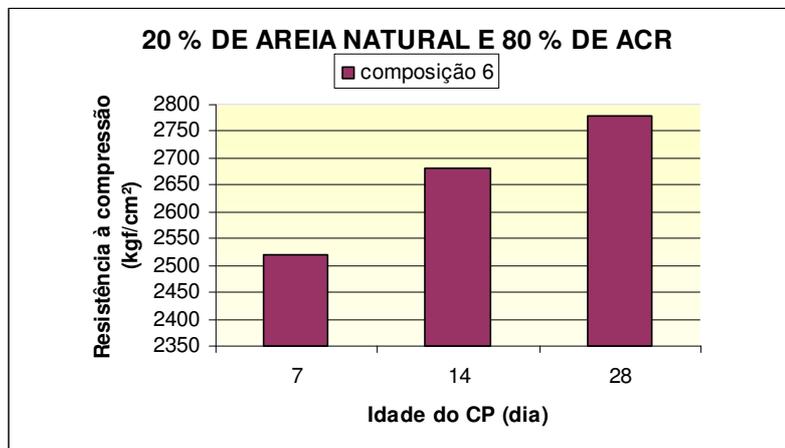


Figura 4.13 – RMC da composição 6

Há um decrescimento do valor da resistência em relação à composição 5, com diminuição de 4 % aos sete dias, 5 % aos quatorze e 13 % aos vinte e oito dias.

**g) Análise da RMC da argamassa preparada com 100 % de ACR, composição 7.**

A Figura 4.14 representa o gráfico da resistência mecânica à compressão da argamassa celular proposta para a composição 7, com 0 % de areia natural e 100 % de ACR.

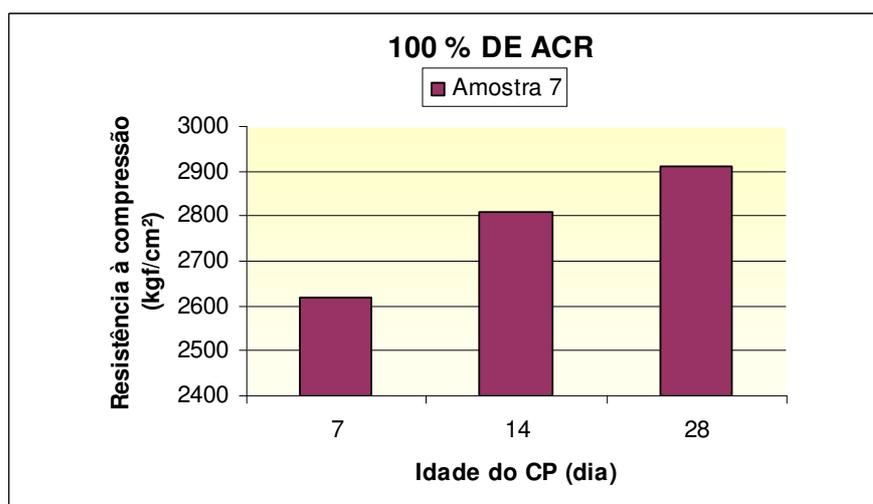


Figura 4.14 – RMC da composição 7

Verifica-se no gráfico da Figura 4.14 um crescimento proporcional da resistência à medida que aumenta sua idade até 28 dias, ficando próximo da resistência da argamassa referencial.

Há um crescimento do valor da resistência em relação à composição 6, com aumento de 4 % aos sete dias, 5 % aos quatorze e 4% aos vinte e oito dias.

#### h) Análise comparativa da RMC da argamassa entre as composições 1 e 4.

A Figura 4.15 destaca a curva comparativa da resistência mecânica à compressão da composição que contém 100 % de areia natural e da composição que contém a mistura de 50 % de areia natural e de ACR, percebe-se uma diminuição de 6 % aos sete dias, uma elevação 1 % aos quatorze dias e uma diminuição de 10 % aos vinte e oito dias.

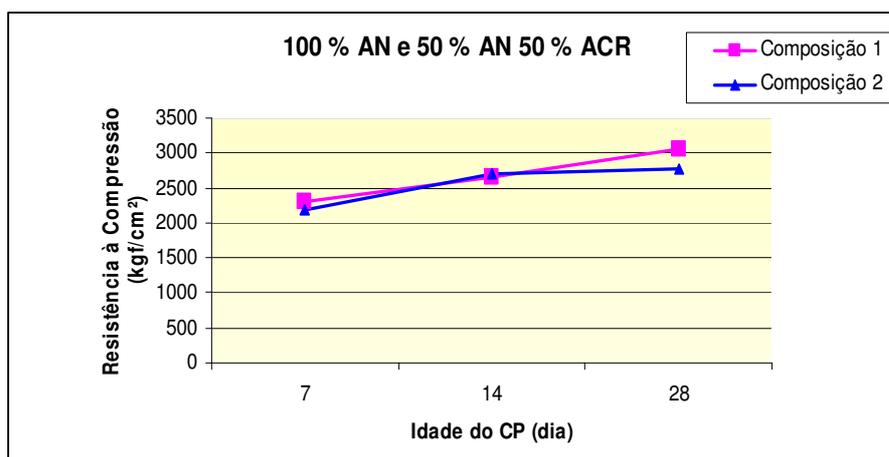


Figura 4.15 – Análise comparativa da RMC da composição 1 e 4

Constata-se que até a idade de 14 dias seus valores estão muito próximos, contudo aos vinte e oito dias há uma diminuição significativa.

#### i) Análise comparativa da RMC da argamassa entre as composição 4 e 7.

A Figura 4.16 mostra a comparação da resistência mecânica à compressão da composição que contém a mistura de 50 % de areia natural e ACR e a composição de 100 % de ACR, onde se percebe um aumento de 20 % aos sete dias, uma elevação 4 % aos quatorze dias e uma diminuição de 4 % aos vinte e oito dias.

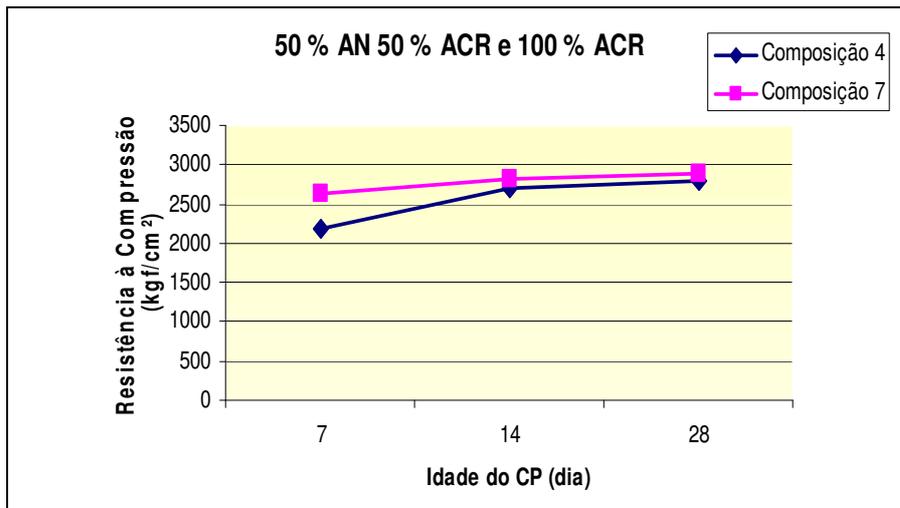


Figura 4.16 – Análise comparativa da RMC da composição 4 e 7

Pode-se perceber que aos sete dias há uma elevação significativa, contudo a partir da idade de 14 dias até 28 dias seus valores aumentam em pequena proporção e se mantêm constante.

**j) Análise comparativa da RMC da composição para sete dias.**

A Figura 4.17 apresenta a curva comparativa da resistência mecânica à compressão entre as composições. Percebe-se que a resistência aumenta ligeiramente na composição 2, talvez pela pequena quantidade de 20 % de ACR contida em sua mistura e começa a diminuir com o aumento gradual de 20 % e 50 % até composição 4.

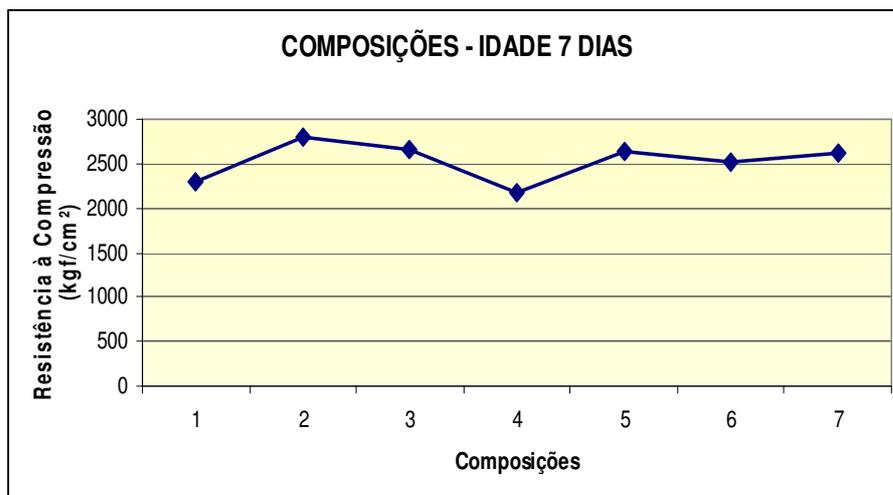


Figura 4.17 – RMC das composições com idade de sete dias

Percebe-se que começa uma ligeira elevação para composição 5, recebendo 60 % de ACR. Apesar de aumentar a quantidade de ACR na composição com 80 % e 100 %, respectivamente, percebe-se um comportamento estável até a amostra 7, em sua resistência à compressão.

### I) Análise comparativa da RMC das composições para quatorze dias.

Esta análise está relacionada à Figura 4.18, destaca a comparação da resistência mecânica à compressão entre as composições. Percebe-se que a resistência aumenta de forma acentuada da composição 1 para composição 2, pode-se considerar que, com o acréscimo de 20 % de ACR a mistura oferece uma boa compacidade, levando a uma maior resistência.

Em seguida, com o acréscimo de 40% de ACR ocorre uma diminuição acentuada até a composição 3 e, conseqüentemente mais um pouco para composição 4, pois é acrescido mais 10% de ACR.

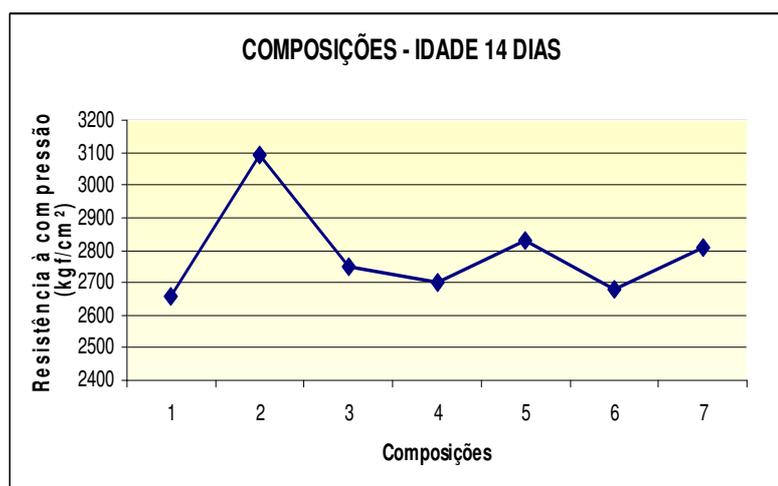


Figura 4.18 – RMC das composições com idade de quatorze dias

É importante observar que ocorre uma ligeira elevação para composição 5 com o acréscimo de 60% de ACR, onde as partículas apresentam dimensões maiores, apesar da compacidade ser maior que a composição 4. Ocorre uma oscilação entre as composições 5 e 7, pois com o aumento do percentual de ACR em 80 % a resistência diminui ligeiramente na composição 6, retornando a estabilidade na composição 7.

### m) Análise comparativa da RMC das amostras para vinte e oito dias.

A Figura 4.19 representa a curva comparativa da resistência mecânica à compressão para cada composição. Percebe-se que a resistência aumenta para composição 2, considerando o acréscimo de ACR de 20 % e a melhora da compactidade da mistura de materiais secos. Na composição 3 a resistência volta ao nível da composição 1, mantendo-se estabilizada até composição 7, com pequenas oscilações, apesar do acréscimo gradual de ACR à mistura.

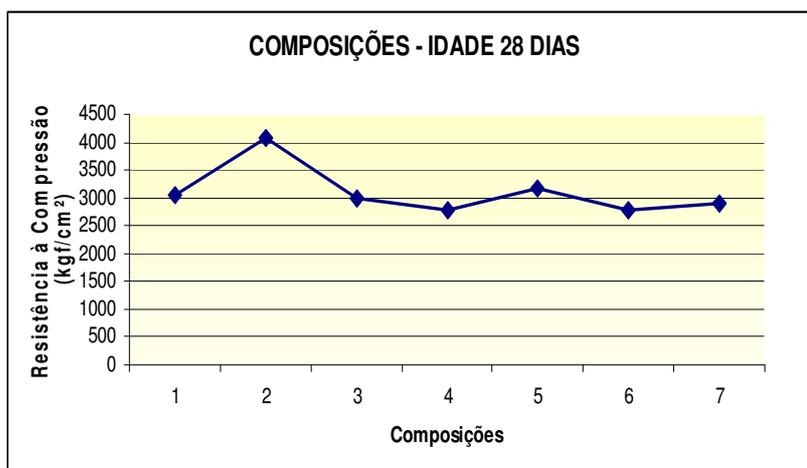


Figura 4.19 – RMC das composições com idade de vinte e oito dias

Observa-se que as composições 4 e 6 os valores da resistência à compressão se mantêm muito “iguais” nas idades 14 e 28 dias, enquanto as composições 1, 3, 5 e 7 seus valores estão muito próximos. Contudo, é preciso observar os outros fatores que dão origem à argamassa como: relação água/cimento, a proporção de espumante e microfibras e tempo de mistura.

A Figura 4.20, representa a análise comparativa do comportamento das composições, entre as três idades, em relação à resistência mecânica à compressão, onde se pode ter uma visualização mais abrangente das misturas.

Verifica-se que para idade de sete dias o único ponto destoante é da composição ACR – 50 %, para idade de quatorze dias apresenta um comportamento discreto com pequena variação para entre as composições e para idade de vinte e oito dias podemos destacar a composição ACR – 20 % que apresentou alta acentuada e as demais composições mantêm-se equilibrada.

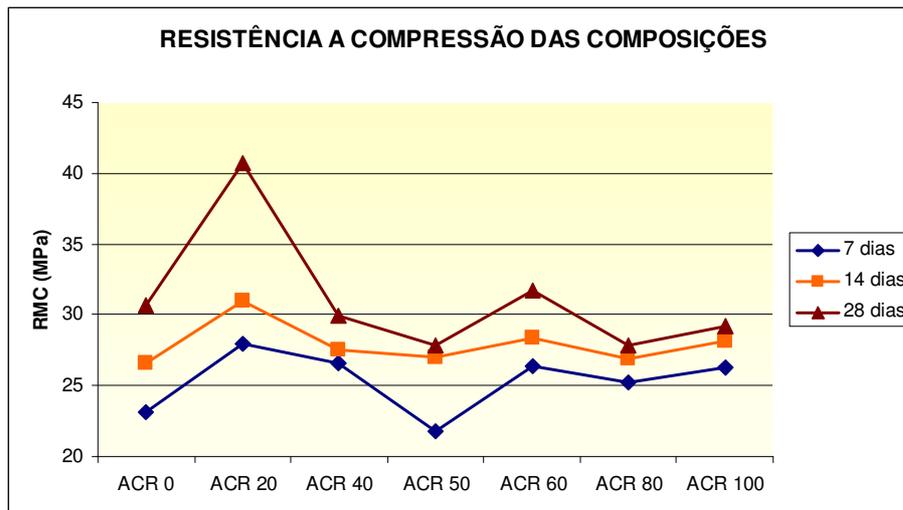


Figura 4.20 – Comparação da RMC das composições por idade

#### 4.10 Absorção água pelo CP da argamassa celular

A análise da absorção de água do CP de argamassa celular produzida em laboratório está conforme NBR 9778/1987. Pode-se observar, a partir da Figura 4.20, que a absorção de água apresenta uma proximidade entre os CP destacando a cada dois como: os CP 1 e 6 estão em 18%, os CP 2 e 5 estão à nível de 12 %, os CP 3 e 4 estão em 15 % e somente o CP 7 apresenta uma elevação de 38 %, conforme Figura 4.21.

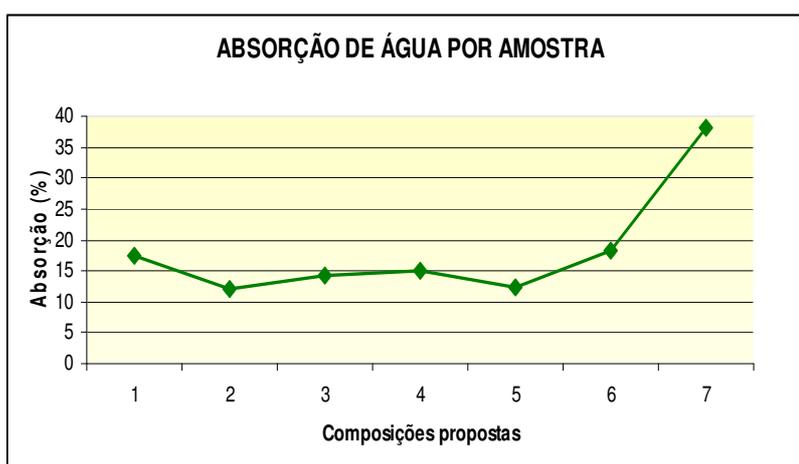


Figura 4.21 - Representa a absorção de água do CP para cada composição

Nas composições ACR - 0 %, ACR - 80 % e ACR - 100 %, a quantidade de finos apresenta uma maior quantidade, justificando sua elevada absorção, enquanto que as composições ACR - 40 % e ACR - 50 % apresentam normalidade na

absorção, considerando que a proporção de agregado areia natural e ACR está muito próxima.

#### 4.11 Índice de Vazios no CP da argamassa celular

Para esta análise do índice de vazios no CP de argamassa celular produzida em laboratório está conforme NBR9778/1987. Observa-se, a partir da Figura 4.22, que o índice de vazios apresenta uma igualdade entre os CP 3 e 4 no valor de 1,9, destacando um índice elevado no CP 5 e um menor valor de 1,2 para o CP 7.

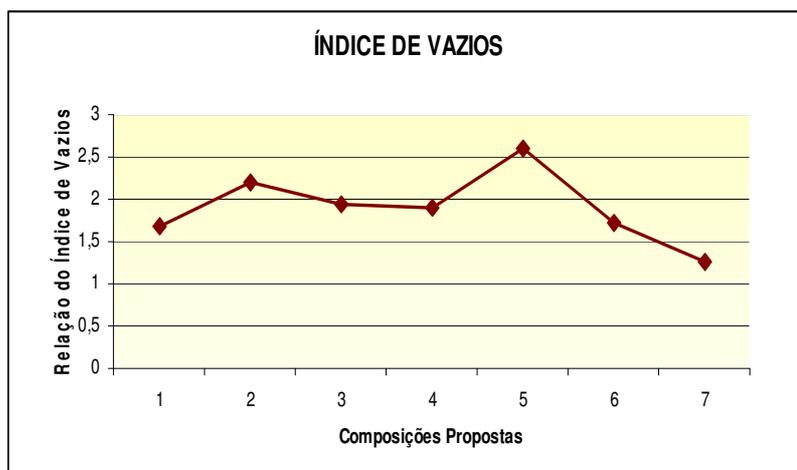


Figura 4.22 – Relação do Índice de vazios do CP para cada composição

O fato do índice de vazio ser menor nas amostras 1 e 7 não está condicionado a compacidade do material, pois seus valores são diferentes. Contudo, pode estar relacionado com a grande quantidade de partículas pequenas na composição 1, enquanto que na composição 7 apresenta uma quantidade significativa de partículas maiores, portanto, não há acomodação bem compacta devido o tamanho que está entre 4,8 mm a 1,2 mm.

As composições ACR – 40 % e ACR – 50 % apresentam índice de vazio próximo, pois as proporções de materiais são praticamente iguais bem como sua compacidade. Na composição ACR – 60 % se observa uma elevação acentuada, talvez pelo incremento de uma quantidade maior de RCD a mistura.

#### 4.12 Densidade do CP da argamassa celular

Na análise da densidade do CP de argamassa celular produzida em laboratório, conforme NBR9778/1987, observa-se, a partir da Figura 4.23, que a

densidade apresenta um valor muito próximo entre os CP 3 e 4 no valor de 13 kg/L, destacando um índice elevado no CP 5 e um menor valor de 3 kg/L para o CP 7.

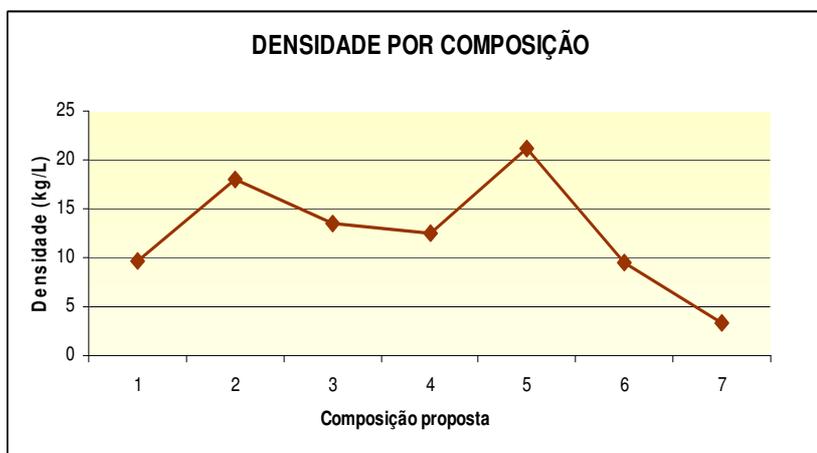


Figura 4.23 - Densidade do CP para cada composição

Observa-se que a composição ACR – 100 %, apresenta baixa densidade em virtude de sua granulometria, pois a dimensão das partículas inibe a penetração da pasta em algumas regiões do CP, enquanto que nas composições ACR – 40 % e ACR – 50 %, pela proporção da mistura, apresentam densidade iguais.

Verifica-se que o ponto médio, apresenta a absorção de água, o índice de vazios e a densidade estão muito próximos a composição ACR – 40 %.

A Tabela 4.11, estão contidos as massas dos CP no estado seco, úmido e saturado, bem como absorção de água, índice de vazios e densidade para cada composição.

Tabela 4.11 – Massa do CP com absorção de água, índice de vazios e densidade.

Composição	Massa (kg)			Absorção de Água (%)	Índice de vazios	Densidade (kg/L)
	Seco	Úmido	Saturado			
C1	1,75	1,87	2,05	17,39	1,68	9,68
C2	2,10	2,24	2,36	12,20	2,20	18,04
C3	1,99	2,13	2,28	14,34	1,94	13,54
C4	2,03	2,18	2,34	15,08	1,90	12,58
C5	2,14	2,30	2,40	12,29	2,60	21,12
C6	1,99	2,15	2,36	18,34	1,73	9,45
C7	1,81	1,95	2,50	38,09	1,26	3,30

Na Figura 4.24 podemos observar a estrutura interna do CP para cada amostra, verifica-se que o CP 1 apresenta uma conformação de pequenas partículas com aparência uniforme; Os CP 2 e 5 apresentam uma estrutura consistente e de compactação melhor justificada pela sua densidade; Os CP 3 e 4 apresentam uma textura mais aberta pelas bolhas justificada pela densidade média; O CP 6 apresenta uma textura parecida com as composições 3 e 4, porém pela conformação da mistura sua densidade se assemelha ao CP 1 e o CP 7 apresenta uma estrutura mais aberta pela quantidade de bolhas e pelo tamanho de seus grãos, oferecendo uma densidade menor.



Figura 4.24 – Mostra da estrutura interna do CP

#### 4.13 Custo de um bloco

Foi calculado o custo de um bloco referencial nas dimensões proposta no item 3.13 da metodologia, cujo volume total de argamassa para moldá-lo é de 0,007 m<sup>3</sup>. Na tabela 3.4 estão representados os quantitativos dos materiais com seus respectivos preços.

Tabela 3.4 - Relação de materiais e preço para confecção de um bloco

<b>Materiais e Mão de Obra</b>	<b>Volume (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Areia quartzo natural	4,73	12,42	0,18	0,36
ACR triturado	4,28	10,15	0,15	-
Cimento Portland	1,65	0,52	0,22	0,22
Água	1,36	1,36	0,03	0,03
Microfibra	0,0018	0,0005	0,01	0,01
Espumante	0,0041	0,004	0,02	0,02
Mão de obra +Imposto	-	-	0,19	0,19
Total	-	-	0,80	0,83

Fazendo a análise comparativa entre o preço do tijolo cerâmico e o bloco confeccionado com argamassa proposta por este trabalho experimental, verifica-se que o custo do bloco é 1/3 a mais do que o tijolo cerâmico, contudo deve-se observar que, por sua estrutura compacta oferece maior resistência.

Verifica-se que no comércio da cidade de Manaus o bloco confeccionado com argamassa de cimento e areia, com as dimensões 9 cm x 19 cm x 39 cm é produzido a preço de custo de R\$ 0,80 e comercializado ao preço de R\$ 1,10 com custo superior ao proposto por este trabalho de pesquisa, onde o custo é 76 % do bloco convencional.

Esta análise estar condicionada a estrutura maciça do bloco em relação ao convencional que apresenta furo e com baixa resistência por sua estrutura, ressaltando o custo benefício para o meio ambiente e a questão sócio-econômica ofertada as famílias da cidade.

## 5 CONCLUSÕES

Percebe-se que a maior quantidade de areia natural possui granulometria 0,6 mm a 0,15 mm e a quantidade maior do ACR está entre 4,8 mm e 0,6 mm. Diante da granulometria apresentada pelo ACR britado, será necessário um estudo junto a CPRM para viabilizar um sistema de britagem que possibilite uma distribuição próxima a da areia.

A diagramação do resultado fornece uma análise de possibilidade na utilização de 100 % de ACR (composição ACR- 100), pois os valores estão dentro do previsto em norma, no que se refere a resistência mecânica à compressão e demais parâmetros para confecção de blocos de argamassa celular.

Após a mistura da argamassa celular verifica-se que o agente espumante parece ter maior influência que a compactação à seco dos componentes, pelo seu poder de gerar bolhas interpolando entre os grãos.

Vale ressaltar a importância da busca de novos processos construtivos para a indústria da construção civil, considerando sobre tudo a escassez de matéria-prima próxima à área urbana e, ao cumprimento a legislação ambiental para Amazônia, para o Brasil, bem como, o contexto mundial na relevância da observação dos acordos para o equilíbrio climático no mundo.

Observa-se que a ACR das composições produzida em laboratório está próxima da argamassa referencial, contudo observa-se que aos sete dias de idade há um comportamento discreto na resistência das composições, porém aos quatorze dias e vinte e oito dias há uma descontinuidade na composição ACR - 20, nas demais ocorre pequenas variações, levando a uma reflexão para este ponto.

Na preparação da argamassa utilizou-se a mesa para avaliação da consistência, descrita pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996), contudo é necessário uma avaliação mais profunda para definir a quantidade de água para uma perfeita mistura.

Na absorção de água pela argamassa seca (CP) há uma variação entre as composições ACR - 0 e ACR – 80, variando entre 12 % e 18 %, ocorrendo somente um ligeiro desequilíbrio na composição ACR – 100.

Quanto ao índice de vazios varia em pequena proporção entre as composições, havendo uma pequena elevação na composição ACR - 60, talvez pela acomodação da argamassa no molde e um ligeiro declínio na composição ACR - 100.

Apesar do agregado de ACR ter sido triturado, pela dimensão de suas partículas, pode ter influenciado na densidade e no índice de vazios. Todavia, à resistência à compressão estão muito próximas nas idades de 7, 14 e 28.

Deve salientar que a microfibras teve um papel fundamental, pois o CP não apresentou nenhuma fissura. Porém em sua estrutura interna verifica-se a presença de vazios, em virtude das bolhas de ar incorporadas à estrutura interna do CP.

Na densidade há um equilíbrio entre as composições ACR - 40 e ACR - 50 pela acomodação da argamassa no molde, nas composições ACR - 20 e ACR - 60 há uma pequena elevação na densidade que pode estar condicionada à mistura e a composição ACR - 100 apresenta baixa densidade pela má acomodação das partículas na moldagem, considerando que os grãos em sua totalidade são ACR.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

- Verificar a influência da granulometria na compatibilidade do agregado miúdo nas propriedades da argamassa produzidas pela mistura proposta;
- Avaliar a retração plástica da argamassa no estado fresco e no estado endurecido por secagem, com a variação da dosagem do espumante e da microfibras sem perder o desempenho nas propriedades da argamassa;
- Continuar o processo avaliativo na busca do equilíbrio na proporção do agregado de areia/ACR, aglomerante e água, de modo a consolidar um modelo de argamassa com bom desempenho e baixo custo, mas que satisfaça a NBR 13281/2005;
- Desenvolver um protótipo de bloco nas dimensões 9 cm x 19 cm x 39 cm, que atenda a necessidade do mercado para fechamento de vão;
- Fazer uma microscopia para determinar a distribuição média do tamanho dos poros.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, **Concretos leves – tipos e comportamento estrutural. ET- 68.** São Paulo. 1996.60P.

AGUIAR, G. **Estudos de Argamassa com Agregados Contaminados por Gesso de Construção.** 2004. 282p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

AGOPYAN, V. **Números do desperdício.** Técnica. Revista de Tecnologia e Negócios da Construção, Editora PINI, São Paulo, agosto de 2001, v. 53, ano 10, p. 30-32.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados.** 2000.155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento de Concretos.** Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR EB-228: Agregados leves para concreto de elementos para alvenaria.** Rio de Janeiro, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura em corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.467: Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211: Concreto: Determinação do Módulo de Elasticidade Estática e Diagrama de Tensão-Deformação.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.217: Agregados: determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.522: Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.778: Argamassa e Concreto endurecidos. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.833: Concreto fresco: determinação da massa específica e do teor de ar aprisionado pelo método gravimétrico – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos de Construções e Demolições.** Classificação, São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.645: Execução de paredes de concreto celular espumoso moldado no local – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.646: Paredes de concreto celular espumoso moldado no local – Especificação.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116: Agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

BASTOS FILHO, A. I. R. **Reciclagem da Parte Mineral do Resíduo de Construção Civil e Demolição como Agregado na Confecção de Concreto de Cimento Portland (CP) de Uso Estrutural: Uma Alternativa ao Uso indiscriminado do seixo rolado no município de Manaus.** Manaus. 2005. 60p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

BRITO FILHO, J. A. **Cidades Versus Entulho.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais.** São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 – Meio Ambiente, 1999. p. 56-67.

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados.** Dissertação (Mestrado) – EESC-USP. São Carlos, 2003.

CARNEIRO, A. P. et al. **Características do Entulho e do Agregado Reciclado.** In: CASSA, J. C. S. CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. (org.). **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção.** Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. p. 46-75.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil.** Construção. São Paulo, PINI n 1855, p27-30, agosto, 1983.

CPRM, Serviços Geológicos do Brasil. **Projeto Materiais de Construções no Domínio Baixo Amazonas.** Série Rochas e Minerais Industriais, nº 01. Manaus, 2007.

DORSTHORST, B. J. H.; HENDRIKS, CH. F. **Re-use of Construction and Demolition Waste in the EU.** In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. **Proceedings...** [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 9p.

HENDRIKS, CH. F. & PIETERSEN, H. S. **Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste.** Report 22. France: RILEM: Publications s.a.r.l., 2000.

HENDRIKS, CH. F. **Durable an Sustainable Construction Materials**. The Netherlands: Aeneas Technical Publishers.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V.J.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. Seminário – **Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares**. SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2001. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>, acessado em 21 de outubro de 2008. 13 p.

KRYCKYJ, P. R. E TRICHÊS, G. **Aproveitamento de Entulho da Construção Civil na Pavimentação Urbana**. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. São José dos Campos, 1999.

LATTERZA, L. M. **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção: Um Novo Material para Fabricação de Painéis Leves de Vedação**. 1998. 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LEAL, U. **Sobras que Valem Uma Obra**. *Téchne- Revista de Tecnologia e Negócios da Construção*. Ed. PINI, (55): 58-62.

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

MEDEIROS, K. F. *et al.* **Análise das Propriedades Físico-Mecânicas em Blocos de Cimento, com Adição de Isopor, sem Função Estrutural**. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. 12, 2006, Natal, RN.

MIRANDA, L. P. R. **Estudos de Fatores que Influem na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado**. 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

PETRUCCI, G. R. E. **Concreto de Cimento Portland**. Editora Globo. São Paulo. 2005.

PINTO, T. P. **Utilização de Resíduos de Construção. Estudos do Uso em Argamassas**. 196.140p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil. Situação Atual**. In: **Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para a Proteção Ambiental**, 29, São Paulo, 1997, **Anais**. São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI/UPE, 1997, p. 1-10.

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

SILVA, G. N. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Paraná. Curitiba. PR. 2006.

SILVA, D. S. **Estudo Comparativo dos Métodos de Produção de Argamassa de Revestimento Utilizada em Obras do Município de Tubarão**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão. SC. 2008.

SINDUSCON. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**. Sindicato da Construção. São Paulo, SP. 2005.

TÉCHNE. **Revista de Tecnologia da Construção**. São Paulo: Ed. PINI, ano 10, n. 55, out. 2001. 96 p.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho Como Agregado, na Confecção do Concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 1997.

## 7 APÊNDICES

## APÊNDICE

## CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Tabela 7.1 – Caracterização física do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas.

Determinação	Método	Resultado (%)	Limites da NBR 5.732/91 CP I ( Classe 32)
Finura Resíduo na peneira de 0,075 mm	NBR 11.579/91	0,20	≤ 12,0 %
Água para pasta normal (%massa do cimento)	NBR-NM 43/03	28,80	-
Íncio de pega (h:min)	NBR-NM 65/03	3:15	≤ 60 min (01 h)
Fim de pega (h:min)	NBR-NM 65/03	4:15	≤ 600 min (10 h)
Expansibilidade - Frio (mm)	NBR 11.582/91	0,00	≤ 5,0 mm
Expansibilidade - Quente (5h) (mm)	NBR 11.582/91	0,00	≤ 5,0 mm
Massa específica ((g/cm <sup>3</sup> )	NBR-NM 23/01	3,14	-
Finura - método de Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	NBR-NM 76/98	3750	-
Finura - método de Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	NBR-NM 76/98	3750	≤ 260 m <sup>2</sup> /kg

Tabela 7.2 – Caracterização química do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas.

Determinação	Resultado %	Limites especificados % NBR 5.732/91
Perda ao fogo (PF)	1,59	≤ 2,0
Dioxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	20,90	-
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,21	-
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,15	-
Óxido de cálcio (Ca <sub>2</sub> O)	64,30	-
Óxido de magnésio (MgO)	1,26	≤ 6,5
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	2,81	≤ 4,0
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	0,09	-
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,26	-
Equivalente alcalino (em Na <sub>2</sub> O) <sup>Nota 2</sup>	0,26	-
Sulfeto (S <sup>2-</sup> )	Não detectado	-
Óxido de cálcio livre (CaO)	2,41	-
Resíduo insolúvel (RI)	0,30	≤ 1,0
Anidrido carbônico (CO <sub>3</sub> )	0,48	≤ 1,0
Material carbonático (em CaCO <sub>3</sub> ) <sup>Nota 3</sup>	1,10	0

Nota 2: Equivalente alcalino (em Na<sub>2</sub>O) = % Na<sub>2</sub>O + 0,658 x % K<sub>2</sub>O.

Nota 3: Teor calculado estequiometricamente por meio do resultado de ensaio do anidrido carbônico (% CO<sub>2</sub> x 2,27 = CaCO<sub>3</sub>)

**Tabela 7.3 – Resistência à compressão do cimento CP I – 32 utilizado na preparação das argamassas, NBR 7.215/96.**

Idade (dias)	Resistência (MPa) do Corpo-de-prova				Média (MPa)	DRM (%)	Limites da NBR 5.732/91 CP I (Classe 32)
	1	2	3	4			
3	31,8	31,5	32,1	32	31,9	1,3	≤ 10,0 MPa
7	47,1	46,3	44,8	45,7	46,0	2,6	≤ 20,0 MPa
28	56,6	57,1	54,5	56,3	56,1	2,9	≤ 32,0 MPa