

Carlos Roberto Bavaresco

**UTILIZAÇÃO DE ENTULHO RECICLADO PARA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS**

**Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil.**

**Florianópolis
2001**

UTILIZAÇÃO DE ENTULHO RECICLADO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Carlos Roberto Bavaresco

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Janaíde Cavalcante Rocha

Florianópolis
2001

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 05/03/2001.
Pela comissão examinadora

Prof.^a. Dr.^a. Janaíde Cavalcante Rocha (UFSC) – Orientador – Moderador

Prof. Dr. Armando Borges Castilhos Junior (UFSC)

Prof. Dr. Malik Cheriaf (UFSC)

Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleize (UFSC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de maneira direta ou indireta colaboraram para a conclusão deste trabalho, e, em particular:

A **DEUS** pela sua presença constante;

À Professora Orientadora **Janaíde Cavalcante Rocha**, pela orientação, incentivo e acompanhamento do trabalho;

Ao Professor **Malik Cheriaf**, pelas dicas e pela participação como membro da banca examinadora;

Ao Professor **Philippe Jean Paul Gleize**, pela participação como membro da banca examinadora;

Ao Professor **Armando Borges de Castilhos Junior**, pela ajuda na definição da proposta de pesquisa e pela participação como membro da banca examinadora;

Aos meus pais, **Ivalino e Tereza**, pelo exemplo de perseverança, trabalho, dedicação e amor que me serve de base em todos os grandes momentos de minha vida;

À minha esposa, **Angelita**, pelo constante apoio, dedicação e compreensão;

Aos meus filhos, **Filipe e Beatriz**, pela compreensão da falta de tempo em compartilhar o seu cotidiano;

Aos funcionários do Laboratório de Materiais de Construção Civil, **Luiz Henrique e Renato**, pelo apoio e colaboração nas atividades de laboratório;

Aos colegas, **Anderson e Leandro**, pelo apoio na realização de alguns ensaios;

Ao colega **Elon**, pelas dicas e incentivo ao trabalho;

Ao laboratorista da UNISUL, **Alfeu dos Santos**, pelas dicas para a execução de alguns ensaios;

À **UNISUL** – Universidade do Sul de Santa Catarina; pelo apoio financeiro, garantido pela **CAPES**,

Ao **DER**, pela disponibilização de seu laboratório;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	viii
DEFINIÇÕES.....	x
SIMBOLOGIA.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 – Justificativa.....	2
1.3 - Objetivos	3
1.3.1 – Objetivo Geral.....	3
1.3.2 – Objetivos Específicos.....	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - O Entulho como Problema	4
2.2 – Utilização do Entulho	6
2.3 – Composição do Entulho.....	8
2.4 - Resistência do Material Reciclado.....	10
2.5 – Considerações Sobre Funções da Argamassa de Assentamento	12
2.6 –Propriedade das Argamassas.....	13
2.6.1 – Propriedades no Estado Fresco	13
2.6.1.1 – Trabalhabilidade	13
2.6.1.2 – Índice de Consistência e Plasticidade	14
2.6.1.3 - Retenção de Água e de Consistência	15
2.6.1.4 – Densidade de Massa Aparente e Teor de Ar	15
2.6.1.5 - Exsudação de Água	17
2.6.2. – Propriedades no Estado Endurecido.....	17
2.6.2.1 – Resistência Mecânica.....	17
2.6.2.2 – Aderência	18
2.6.2.3 - Permeabilidade	18
2.6.2.4 - Estabilidade Volumétrica.....	19
2.7 – Descanso da Pasta de Cal.....	19
2.8 – Fatores que Afetam as Propriedades das Argamassas	20
2.8.1 - Granulometria das Areias Constituintes das Argamassas.....	20
2.9 – Estudos Nacionais – Argamassas Produzidas Com Entulho.....	22
3.- METODOLOGIA.....	32
3.1 - Seleção do Entulho a ser Reciclado.....	32
3.2 - Caracterização dos Materiais.....	35
3.2.1 - Composição Granulométrica dos Agregados.....	35
3.2.2 - Massa Específica	35
3.2.3 – Determinação do Material Pulverulento	35
3.2.4 - Absorção.....	36
3.2.5 – Massa Unitária	37
3.2.6 – Características Químicas do Agregado	37
3.3 - Caracterização do Cimento.....	38
3.4 – Cal.....	39
3.4.1 – Massa Unitária do Cimento e da Cal.....	40
3.5 - Definição dos Traços das Argamassas a Serem Estudadas.....	41
3.5.1 – Determinação do Traço.....	41
3.5.2 - Produção da Argamassa.....	42
3.5.3 – Retenção de Água	43
3.5.4 – Exsudação	43

3.5.5 – Densidade e Teor de Ar Incorporado.....	44
3.5.6 - Moldagem e Cura dos Corpos de Prova	44
3.5.7 - Verificação das Resistências à Compressão	45
3.5.8 – Resistência de Aderência à Tração	46
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.1. Caracterização dos Materiais	47
4.1.1. Caracterização Granulométrica do Agregado Miúdo.....	47
4.1.2. Massa Específica.....	49
4.1.3 – Material Pulverulento.....	50
4.1.4 – Massa Unitária	51
4.1.5 – Características Química dos Agregados.....	51
4.1.6 – Absorção	52
4.2 – Argamassa no Estado Fresco	53
4.2.1 – Produção da Argamassa	53
4.2.2 – Finos Totais Plastificantes	57
4.2.3 - Retenção de Água e de Consistência	58
4.2.4 – Exsudação	59
4.2.5 – Perda de Trabalhabilidade.....	60
4.3 – Ensaio na Argamassa no Estado Endurecido	61
4.3.1 – Resistência à Compressão	61
4.3.2 - Evolução da Resistência à Compressão.....	63
4.3.2.1 – Evolução da Resistência à Compressão Traço 1:1:6.....	63
4.3.2.2 – Evolução da Resistência à Compressão Traço 1:2:9.....	66
4.3.2.3 – Evolução da Resistência à Compressão com Relação às Substituições	70
4.4 – Consumo de Água.....	72
4.5 – Consumo de Cimento e Custos das Argamassas.....	75
4.6 – Resistência ao Sulfato	78
4.7 – Aderência.....	79
5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	86
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS I	100
ANEXO II.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Composição média do entulho gerado na cidade de Ribeirão Preto.....	9
Figura 2.2 -	Uso em argamassa (resistência à compressão).....	10
Figura 2.3 -	Uso em concreto (variação da resistência à compressão c/consumo).....	11
Figura 2.4 -	Uso em briquetes (variação da resistência à compressão c/consumo).....	11
Figura 2.5 –	Resistência à compressão aos 28 dias, para concretos produzidos com agregados reciclados saturados.....	12
Figura 2.6 –	Evolução da resistência à compressão.....	26
Figura 2.7 –	Resistência de aderência.....	26
Figura 2.8 -	Variação do índice de retenção de água.....	28
Figura 2.9 -	Resistência à compressão.....	29
Figura 2.10 -	Variação da relação água/materiais secos.....	30
Figura 2.11 -	Índice de consistência.....	30
Figura 2.12 –	Retenção de água das argamassas.....	31
Figura 2.13 –	Densidade de massa das argamassas.....	31
Figura. 3.1 –	Britador do DER.....	34
Figura 3.2 –	Ensaio de Lixiviação – jar-test - Grupo Valores.....	37
Figura 3.3 –	Filtragem dos AGR – ENS.....	38
Figura 3.4 –	Agregado sendo drenado.....	43
Figura 3.5 –	Cura dos corpos de prova - Câmara úmida.....	44
Figura 3.6 –	Prensa empregada no rompimento das amostras.....	45
Figura 4.1 –	Distribuição granulométrica.....	47
Figura 4.2 –	Massa unitária dos agregados em kg/m ³	51
Figura 4.3 –	Absorção de água dos agregados reciclados e da areia natural.....	53
Figura 4.4 –	Densidade de massa das argamassas – Traço 1:1:6.....	56
Figura 4.5 –	Densidade de massa das argamassas – Traço 1:2:9.....	57
Figura 4.6 –	Ensaio de retenção de água.....	59
Figura 4.7 –	Perda de trabalhabilidade – Traço 1:1:6.....	60
Figura 4.8 –	Perda de trabalhabilidade - Traço 1:2:9.....	61
Figura 4.9 –	Resistência à compressão – 100% entulho.- Traço 1:1:6.....	64
Figura 4.10 –	Resistência à compressão – 50% entulho 50% IPT.- Traço 1:1:6.....	64
Figura 4.11 –	Resistência à compressão – 70% entulho 30% IPT.- Traço 1:1:6.....	65

Figura 4.12 – Resistência à compressão – 100% entulho – Traço 1:2:9.....	66
Figura 4.13 – Resistência à compressão- 50% entulho – Traço 1:2:9.....	67
Figura 4.14 – Resistência à compressão 70% entulho 30% IPT – Traço 1:2:9.....	67
Figura 4.15 – Resistência à compressão do AGR I e AGR II com e sem substituição – Traço 1:1:6.....	68
Figura 4.16 - Resistência à compressão do AGR I e AGR II com e sem substituição – Traço 1:2:9.....	69
Figura 4.17 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:1:6 – AGR I	70
Figura 4.18 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:1:6 – AGR II	71
Figura 4.19 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:2:9 – AGR I	71
Figura 4.20 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:2:9 – AGR II	72
Figura 4.21 - Consumo de água em relação ao agregado seco – Traço 1:1:6.....	73
Figura 4.22 - Consumo de água em relação ao agregado seco – Traço 1:2:9.....	73
Figura 4.23 – Consumo de água em relação ao material seco – Traço 1:1:6.....	74
Figura 4.24 - Consumo de água em relação ao material seco – Traço 1:2:9.....	74
Figura 4.25 – Consumo de cimento.....	77
Figura 4.26 – Custos das argamassas.....	78
Figura 4.27 - Resistência ao sulfato de sódio traço 1:1:6.....	79
Figura 4.28 – Equipamento usado no ensaio de aderência.....	81
Figura 4.29 – Parede rebocada com AGR I – Traço 1:1:6.....	81
Figura 4.30 – Parede rebocada com AGR II – Traço 1:2:9.....	82
Figura 4.31 - Forma de ruptura dos corpos de prova.....	82
Figura 4.32 - Resistência à aderência para os corpos de prova com ruptura “a” – Traço 1:1:6.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Ocorrência de perdas na construção convencional de alguns países (% em massa).....	4
Tabela 1.2 – Presença de resíduos da construção e demolição em aterros.....	5
Tabela 2.1 – Classificação dos agregados de acordo com o seu módulo de finura.....	21
Tabela 2.2 – Resumo dos traços e resultados.....	23
Tabela 2.3 – Porcentagem de entulhos existentes nas misturas utilizadas para produção de argamassas.....	24
Tabela 2.4 – Distribuição granulométrica das misturas utilizadas, na produção das argamassas.....	24
Tabela 2.5 – Características das argamassas no estado fresco.....	25
Tabela 2.6 – Características físicas dos componentes utilizados na preparação do entulho.....	27
Tabela 2.7 – Proporção das adições em volume.....	28
Tabela 2.8 – Composição de entulho utilizados na pesquisa.....	29
Tabela 3.1 – Composição dos agregados.....	34
Tabela 3.2 – Caracterização do cimento utilizado na produção das argamassas.....	39
Tabela 3.3 - Características da cal.....	40
Tabela 3.4 - Massa unitária.....	40
Tabela 3.5 – Relação entre traços em volume e massa das argamassas ensaiadas.....	41
Tabela 4.1 – Coeficiente de uniformidade e curvatura.....	48
Tabela 4.2 – Resumo das características dos agregados.....	49
Tabela 4.3 - Massa específica aparente.....	49
Tabela 4.4 – Teor de material pulverulento.....	50
Tabela 4.5 – Ensaio de Lixiviação e Solubilização.....	52
Tabela 4.6 - Resumo dos resultados para traço 1:1:6.....	55
Tabela 4.7 – Resumo dos resultados para traço 1:2:9.....	55
Tabela 4.8 – Teor de finos plastificantes.....	58
Tabela 4.9 – Retenção de água.....	58
Tabela 4.10 - Exsudação	59
Tabela 4.11 - Resistência à compressão para traço 1:1:6.....	62
Tabela 4.12 - Resistência à compressão para traço 1:2:9.....	63

Tabela 4.13	Preço dos materiais.....	75
Tabela 4.14	Peso dos componentes para produzir 1 m ³ de argamassa traço 1:1:6.....	76
Tabela 4.15	Peso dos componentes para produzir 1 m ³ de argamassa traço 1:2:9.....	76
Tabela 4.16	Resistência à aderência.....	83
Tabela 4.17	Resistência à tração para os corpos de prova com ruptura “a”.....	84
Tabela 5.1	Comparação de custo e desempenho.....	89

DEFINIÇÕES

1 – ARGAMASSA – mistura de aglomerantes miúdos com água, com ou sem aditivos, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

2 – AGLOMERANTE – material pulverulento inorgânico, que misturado com água é capaz de ligar entre si partículas inertes, por secagem e/ou reação química conferindo ao conjunto coesão, resistência a esforços e capacidade de aderência.

Aglomerantes quimicamente ativos – são aqueles cujo endurecimento se dá através de reações químicas nas condições ambientes de temperatura e pressão. Podem ser classificados em:

aglomerantes aéreos – são aglomerantes que para começar a endurecer necessitam estar em contato com o ar.

aglomerantes hidráulicos – são aglomerantes que para endurecer independem da presença do ar.

3 – TRAÇO – proporção dos componentes relativos ao aglomerante principal, no caso o de maior reatividade química e potencial aglomerante. Nas argamassas mistas o traço é determinado em função do cimento e pode ser em massa ou volume.

4 - DOSAGEM – define-se dosagem de uma argamassa o estabelecimento, por meio de algum método, do traço com o qual espera-se obter as propriedades requeridas nos estados fresco e endurecido.

5 – AGREGADO MIÚDO – areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos, na grande maioria, passa pela peneira da ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

6 – CONSISTÊNCIA – é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas.

7 – PLASTICIDADE – propriedade que as argamassas possuem de deformar-se sem ruptura, sob a ação de forças superiores às que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação depois de cessado o esforço deformante.

8 – ADERÊNCIA – propriedade que permite as argamassas de revestimentos resistir as tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato. A aderência depende do revestimento e da base a ser revestida.

9 – BASE DO SUBSTRATO – material inorgânico, não metálico, tais como: tijolo maciço de barro cozido, bloco vazado de barro cozido, bloco vazado de concreto, bloco sílico-calcário etc. sobre o qual é aplicada a argamassa de revestimento.

10 – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – é a tensão máxima suportada por um corpo de prova de revestimento, quando submetido a um esforço normal de tração.

SIMBOLOGIA

- AGR I** – entulho composto pela mistura do material cimentado com o cerâmico;
- AGR II** – entulho composto somente por material cimentado;
- AGR III** – entulho composto por material cerâmico, este grupo está subdividido em azulejos e tijolos;
 - IPT** – Areia normalizada pela ABNT fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

RESUMO

BAVARESCO, Carlos Roberto. Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas. Florianópolis, 2001, 106p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

Uma das grandes preocupações da atualidade é a preservação do meio ambiente. O centro das preocupações passa pela redução do consumo de energia e de matéria-prima naturais bem como na geração de resíduos. A indústria da construção civil é uma atividade que gera grandes quantidades de resíduos, mas que também, tem condição de absorver quase a totalidade dos resíduos gerados.

Esta pesquisa procura contribuir para que o entulho deixe de ser depositado clandestinamente em locais impróprios e passe a ser visto como um material alternativo, destinado à produção de argamassas, com potencial de substituir os agregados miúdos.

Para tanto, foram estudadas argamassas produzidas com entulho provenientes de demolições e reformas. O entulho recebeu uma triagem, a fim de separá-lo em duas composições, uma composta por materiais com predominância de material cerâmico e a outra com materiais constituídos de argamassas e concretos endurecidos. Estas composições foram trituradas para reduzir seu tamanho. As argamassas foram produzidas com o material triturado que passou na peneira ABNT 4,8 mm, que conforme a NBR 7211, podem ser classificado como areia média. Foram testadas argamassas produzidas com 100% de agregado reciclado de entulho e nas composições de: 70% de agregado reciclado de entulho e 30% de areia do IPT e 50% de agregado reciclado de entulho e 50% de areia do IPT. O comportamento das argamassas com agregado de entulho reciclado foram comparadas com argamassas de referências, produzidas com areia encontrada na região da grande Florianópolis SC, nos traços 1:1:6 e 1:2:9.(cimento:cal:agregado). Na produção de argamassa com agregado reciclado de entulho, o agregado permaneceu 24 horas submerso em água, depois de drenado e adicionado à cal formando uma pasta, que permaneceu em repouso por 24 horas, para só então ser misturado com cimento Portland, tipo CP II F – 32.

Os resultados obtidos demonstram que o entulho pode substituir com certa vantagem as areias naturais. No ensaio de resistência à compressão as argamassas produzidas com

agregado reciclado do entulho, proveniente de material cerâmico tiveram resistências superiores às demais argamassas. No ensaio de aderência as argamassas, produzidas com agregado reciclado de entulho, apresentaram resistências maiores que as produzidas com areia natural e a ruptura aconteceu na interface argamassa/substrato.

ABSTRACT

BAVARESCO, Carlos Roberto. Use of recycled rubble for mortar production. Florianópolis, 2001, 106p. Masters Dissertation – Graduate Course in Civil Engineering – Universidade Federal de Santa Catarina.

One of today's biggest concerns is preservation of the environment. The focus of concern centers on reducing energy and natural raw material consumption, as well as residue generation. The civil construction industry is a field that generates large quantities of residues, but it is also capable of absorbing most of them.

This study attempts to contribute so that rubble stops being deposited clandestinely in improper places and starts being viewed as an alternative material for mortar production, with the potential of substituting fine aggregates.

For such, mortar that was produced with rubble from demolitions and construction reforms was studied. The rubble was sorted into two separate composites: one composed of predominantly ceramic materials and the other of materials made from mortar and hardened concrete. Both composites were crushed in order to reduce their size. The mortar was produced with the crushed material that was sifted through an ABNT sift of 4.8 mm and which, according to NBR 7211, can be classified as medium sand. Produced mortar with the following compositions was tested: 100% recycled aggregate from rubble; 70% recycled aggregate from rubble and 30% IPT sand; and 50% recycled aggregate from rubble and 50% IPT sand. The behavior of the mortar with aggregate from recycled rubble was compared to reference mortar, produced with sand found in the region of Greater Florianópolis, Santa Catarina, in ratios of 1:1:6 and 1:2:9 (cement:lime:aggregate). In the production of mortar with recycled aggregate from rubble, the aggregate remained immersed in water for 24 hours and was then drained and added to lime to form a paste that remained untouched for 24 hours. After this, the paste was mixed with portland cement, type CP II F – 32.

The results obtained demonstrate that rubble can substitute natural sand with certain advantages. In the compression resistance test, the mortar produced with recycled aggregate from rubble from the ceramic material had superior resistance to any other type of mortar. In the adherence test the mortar produced with recycled aggregate from rubble presented greater resistance than mortar produced with natural sand, and the rupture happened in the interface of mortar/substratum.

1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 - Introdução

Uma das grandes preocupações da atualidade é com a preservação do meio ambiente. Segundo VAZQUEZ (1997), o centro das preocupações está na redução do consumo de energia e de matérias-primas naturais, bem como na geração de resíduos.

A construção civil é uma atividade que gera grande quantidade de resíduos, mas que também tem condição de absorver grande parte destes resíduos.

As pesquisas acadêmicas de novos materiais para construção civil buscam cada vez mais substituir os materiais tradicionais por materiais alternativos com menor preço, mas pela falta de integração com as empresas que têm potencial para absorver estes novos materiais as pesquisas raramente saem do papel e chegam a ser utilizadas, JOHN (1996). Segundo este autor, além da qualidade técnica do resíduo o projeto deve incluir um estudo econômico comprovando a viabilidade deste novo material, sendo que, o desenvolvimento de produto deveria ser acompanhado de produção e utilização e como resultado final, uma metodologia e tecnologia pronta para ser empregada.

“A construção civil é a única indústria capaz de absorver quase totalmente os resíduos que produz”, afirma AGOPYAN (1987). É em cima desta vantagem que vamos trabalhar, para que haja, uma redução nos custos de retirada destes materiais do canteiro de obra, reaproveitando-os antes mesmo de serem despejados em locais inadequados, comprometendo a qualidade do meio ambiente.

Não se pode falar em preservação do meio ambiente sem se falar em reciclar. A necessidade de reciclar não está baseada somente no fato de impedir a contaminação do solo ou da água, mas na redução de energia e na preservação de jazidas para obtenção de materiais naturais SILVA e SOUZA (1995).

LEVY e HELENE (1995) comentam que, só a indústria da construção civil, se dá ao luxo de, não reciclar seus resíduos, em nome de modernos métodos e técnicas construtivas, indústrias mais sofisticadas, como a do alumínio, condutos elétricos, a do vidro, óleos e lubrificantes, plásticos e a do pneu entre outras já utilizam resíduos como fonte de matéria prima.

Sendo a indústria da construção civil, responsável por grandes quantidades de resíduos e com capacidade de absorvê-los, esta pesquisa procura contribuir para que este material deixe de ser depositado clandestinamente em locais impróprios e passe a ser visto como um material alternativo, com potencial para substituir em parte os materiais convencionais.

Nesta pesquisa são apresentados resultados de ensaios experimentais com argamassas produzidas a partir de agregado reciclado de entulhos, selecionados e triturados, em substituição à areia natural.

1.2 – Justificativa

Em muitos centros urbanos, o transporte de agregados naturais torna-se oneroso, devido as distâncias entre os depósitos e a construção HANSEN (1992).

O entulho reciclado da construção civil pode ser uma alternativa, pois é gerado nos centros urbanos e, caso a fonte geradora do entulho possua uma usina móvel para triagem e britagem deste material, o custo de transporte é nulo.

Os entulhos selecionados e britados podem substituir os agregados miúdos naturais, na produção de argamassas, de assentamento ou revestimento, pois, suas características se assemelham as dos agregados naturais. Apesar deste potencial a ausência de normas brasileiras, determinando as características mínimas a serem alcançadas para que o entulho selecionado e britado possa ser empregado como agregado miúdo na produção de argamassas, revela-se um entrave para uso deste material na construção civil.

Carência de estudos nacionais, identificando as propriedades e comportamento das argamassas, produzidas com entulho selecionado e britado, em substituição à areia natural.

1.3 - Objetivos

1.3.1 – Objetivo Geral

O objetivo da pesquisa visa a valorização dos entulhos, da construção e demolição, como agregado reciclado miúdo, para produção de argamassas.

1.3.2 – Objetivos Específicos

Como objetivos específicos pretende-se na presente pesquisa:

- Comprovar que o entulho tem condições de substituir a areia natural, na produção de argamassas;
- Avaliar as propriedades físico-químicas do entulho reciclado e triturado;
- Verificar se o entulho é inerte e pode ser usado na produção de argamassas sem risco;
- Avaliar o comportamento das argamassas produzidas com entulho reciclado;
- Verificar os parâmetros condicionantes do uso do entulho como agregado reciclado em diferentes dosagens de argamassa.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Entulho como Problema

O grande volume de resíduos provenientes das atividades de construção civil, nem sempre tem sua disposição final bem controlada, as demolições, construções e manutenção de edifícios geram milhões de toneladas de entulho.

Segundo CORBIOLI (1996) por falta de uma cultura maior de reciclagem são perdidos cerca de 20% a 30% do peso dos materiais de construção civil que entram em cada canteiro de obra. Segundo PINTO (1995), isto corresponde a uma perda financeira de 6% dos valores aplicados (10% considerando a mão-de-obra envolvida no retrabalho com esse material). A tabela 1.1 mostra as perdas individualizadas por materiais.

Tabela 1.1 – Ocorrência de perdas na construção convencional de alguns países (% em massa)

Materiais	Pinto Brasil (SP)	Norie Brasil (RS)	Skoyles Reino Unido	Hong Kong	Usual em orçamentos
Aço	26,19	19,07	3,60	-	20
Cimento	33,11	84,13	12,00	-	15
Concreto	1,34	13,18	6,00	11,00	5
Areia	39,02	45,76	12,00	-	15
Argamassa	91,25	86,68	12,00	15,00	15
Tijolos e blocos	26,94	12,73	13,00	11,00	10

Fonte: Pinto (1995)

Pode-se observar através dos dados da tabela 1.1 que as perdas com materiais de construção civil, em outros países embora menores que as perdas no Brasil não podem ser desprezadas.

A visão da construção civil tem que mudar, não só por causa do elevado desperdício de materiais e do indesejado impacto nos custos finais, mas também porque as áreas urbanas, disponíveis para a disposição final de resíduos estão acabando. A tabela 1.2 apresenta alguns dados que permitem a verificação, da geração de resíduos na construção e demolição no ambiente urbano, como também, dá a dimensão do problema criado, pela destinação final desse material.

Tabela 1.2 – Presença de resíduos da construção e demolição em aterros.

Canadá	1994 (Kalin Associates) participação do entulho no total dos resíduos sólidos urbanos	30%
Suíça	1988 (Federal Office Environment Forests and Landscape) participação do entulho no total dos resíduos sólidos urbanos	45%
Japão	1985 (H. K. Polytechnic) participação do entulho no total dos resíduos exclusivamente industriais	18%
Brasil	São Paulo – 1995 (Limpurb) Participação do entulho no total dos resíduos urbanos recebidos apenas em aterros municipais	25%
Brasil	Belo Horizonte – 1993 (I&T) Participação do entulho no total dos resíduos sólidos (sem resíduos industriais) recebidos apenas em aterros municipais	38%
Brasil	São José dos Campos – 1995 (I&T) Participação do entulho no total dos resíduos sólidos (sem resíduos industriais)	68%
Brasil	Ribeirão Preto – 1995 (I&T) Participação do entulho no total de resíduos sólidos (sem resíduos industriais)	67%

Fonte: Pinto (1995)

Segundo PINTO e LIMA (1993) para cada metro cúbico de entulho depositado clandestinamente pela cidade, isto gera um custo de US\$ 10,00 para as administrações municipais, referentes à limpeza das áreas e córregos, destinação final dos resíduos e controle de zoonoses. A agregação deste custo e dos outros ocorridos na atividade construtiva conferem ao resíduo em sua forma final um custo correspondente a cinco vezes o valor do material quando extraído da jazida.

De acordo com PINTO (1992) os resíduos têm presença assegurada em qualquer tipo e porte de obra, os resíduos são originados basicamente pela união de fatores que se não superáveis, podem ter sua interferência minorada, esses fatores podem ser descritos como:

- insuficiência de definição em projetos (arquitetura, estrutura, formas, instalações);
- baixa qualidade dos materiais e componentes de construção ofertados no mercado;
- ausência de procedimentos e mecanismos de controle na execução, que acabam provocando:
 - perda na estocagem e transporte em canteiro;
 - carência de controle geométrico;
 - ausência de prumo, nivelamento e planicidade da edificação;
 - acréscimo no consumo de materiais para recuperação de geometria.

PINTO (1992) comenta que, em São Paulo uma grande quantidade de material (em torno de duas mil toneladas/dia, o que corresponde a 500 viagens/dia) é muitas vezes retirada das obras, por pequenos transportadores e são depositadas indiscriminadamente no meio urbano. As conseqüências ambientais e financeiras, da disposição indiscriminada do entulho da construção civil, tornam necessária a criação de programas de otimização da coleta e adequação da disposição do resíduo nos municípios.

Segundo PINTO (1993) o manejo eficiente e racional desse material, propicia condições para a reciclagem, transformando-o em matéria-prima para utilização em obras públicas, inclusive em programas de habitação de interesse social.

2.2 – Utilização do Entulho

A utilização do entulho não é nenhuma novidade. Tem-se informação que os antigos romanos, no ano 19 a.C., utilizaram cacos de tijolos e telhas como agregados de concreto na construção de uma ponte e que ainda permanece em bom estado LEVY (1997).

Muito embora WEDLER e HUMMEL Apud LEVY (1997) comentam que, somente a partir de 1928, começaram a ser produzidas algumas pesquisas com agregados oriundos de alvenarias britadas, essas pesquisas tinham como objetivos verificar, o efeito do consumo de cimento, do consumo de água e da granulometria do agregado proveniente das alvenarias britadas.

Aplicações mais significativas do entulho reciclado foram registradas após a Segunda Guerra Mundial, onde grande parte dos edifícios, em diversas cidades européias, foram demolidos e o entulho gerado foi britado para produção de agregados. Segundo PERA (1996) na década de 40 é que começa a ser desenvolvida tecnologia para o emprego do entulho reciclado na construção civil bem como tecnologia para reciclagem de concreto proveniente de demolição.

A partir desta data os estudos para utilização de agregados provenientes de entulhos reciclados começam a ganhar importância. Calcula-se que aproximadamente 50 milhões de toneladas de concreto sejam demolidas por ano na Comunidade Econômica Européia E.R.L (1979) apud HANSEN (1992). No Japão este número é estimado em 10 a 12 milhões de toneladas por ano KARAA (1986) apud HANSEN (1992). Já nos Estados Unidos estima-se em 60 milhões de toneladas/ano a quantidade de concreto demolido WILSON et al. (1976 e 1979) apud HANSEN (1992).

PINTO (1993), desde 1983, vem verificando a viabilidade técnico-econômica do reaproveitamento dos resíduos de construção. Esses resíduos foram usados como agregados graúdos e miúdos em concreto não estrutural, em argamassas, e na fabricação de pré-moldados: blocos de concreto de vedação e briquetes para tráfego leve, argamassa de revestimento e de assentamento, sub-base para pavimentação, agregados para pré-moldados de guia, sarjeta, tubos de concreto, placas e como agregados ensacados para contenção de talude e canalização de córregos. Além disso, o entulho pode ser utilizado para aterro, dependendo da adequada granulometria e da retirada dos materiais inconvenientes como madeira, plástico, papéis, pneus, metais, etc.

Os resultados obtidos por PINTO (1993 e 1992) mostram que o material reciclado apresenta desempenho similar aos materiais convencionais e, em alguns casos, até mesmo superior, como é o caso do uso em argamassas. Ainda segundo o autor, existem resultados positivos que justificam os investimentos em reciclagem, realizados por vários países. São diversas instalações entre EUA, Japão e Europa (França, Itália Inglaterra e Alemanha), produzindo material reciclado para pavimentos rodoviários, fabricação de componentes e outros usos. E é um número significativo de administrações públicas que passam a cobrar a presença de resíduos reciclados na execução de uma série de serviços públicos.

O mesmo autor salienta que projeções apontam que, o entulho pode gerar agregados com custo 83% inferior ao preço médio dos agregados convencionais. Os agregados reciclados possuem todas as condições para serem usados em habitações de interesse social por associar baixos custos com desempenho adequado, podem ser usados em edificações ou na infra-estrutura de entorno.

No Brasil o município que mais tem incentivado a utilização de entulho reciclado é Belo Horizonte MG. O estado de São Paulo também possui algumas usinas de reciclagem de entulho localizadas nas cidades de Santo Amaro, Ribeirão Preto e São José dos Campos ZORDAN (1997).

Segundo SOUZA (1992) se a reciclagem do asfalto permite economia de petróleo e redução de danos ambientais associados, à reutilização dos resíduos da construção, de tijolos a madeira velha, poderia reduzir drasticamente as atividades de mineração de areia, brita e minério de aço, com todas as suas implicações ambientais.

LEVY (1995) salienta que os revestimentos produzidos com argamassas provenientes de entulho reciclado são apropriados para serem usados em revestimento interno e externo, e ainda segundo o autor algumas construções já utilizam estas argamassas há mais de 10 (dez) anos sem nunca terem observado qualquer tipo de patologia mesmo quando estes são aplicados em fachadas.

2.3 – Composição do Entulho

Segundo HENDRIKS (1996), os principais componentes do entulho oriundos de demolição ou construção de edificações são basicamente compostos de concreto, material cerâmico, madeira, metais, borracha, papel e papelão, vidro, materiais sintéticos, solo, tintas e gesso.

As flutuações econômicas ou a exaustão e o distanciamento das jazidas fornecedoras de matérias-primas causam a substituição de alguns materiais, o que causa uma variação na composição do entulho de uma região para outra. A figura 2.1 mostra resultados dos

estudos realizados por ZORDAN (1997) na cidade de Ribeirão Preto, onde segundo o autor o entulho apresenta a seguinte composição.

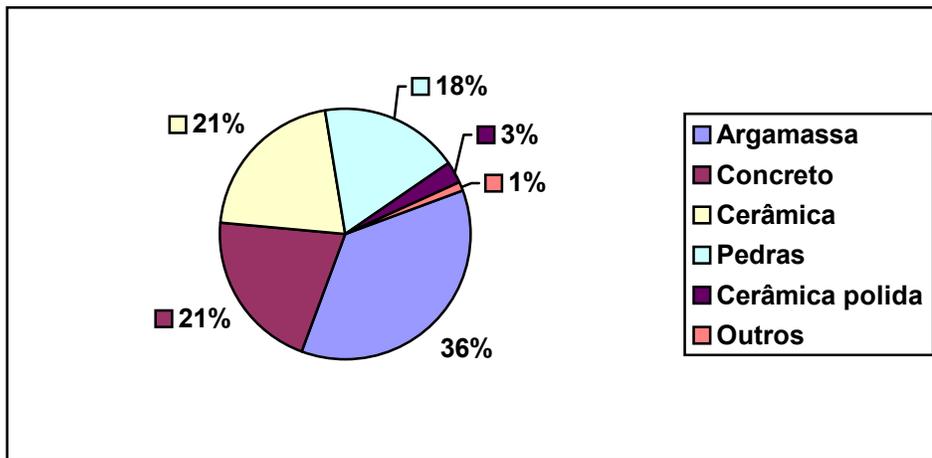


Figura 2.1 – Composição média do entulho gerado na cidade de Ribeirão Preto.

Fonte: ZORDAN (1997)

Com base na figura 2.1 pode-se observar que a maior presença no entulho é atribuída às argamassas seguidas do concreto.

A composição diversificada do entulho deve-se ao fato da grande quantidade de material empregado na construção civil, a composição do entulho varia conforme a região e de acordo com as características da construção.

A presença marcante de argamassas associa-se ao seu emprego em quase todas as fases da construção, atingindo grandes quantidades no lançamento de alvenarias, no revestimento e no acabamento.

As reformas e demolições são outras atividades consumidoras de argamassa, pois estão centradas no rearranjo de divisões e na construção de anexos, onde o material é preponderante.

O concreto vem do lançamento de estruturas e de sua demolição. A areia é a ligação direta entre o concreto e a argamassa. Além de encontrar-se em todos os outros processos construtivos. Os tijolos demonstram o peso da alvenaria na formação do entulho, seja na construção, reforma ou demolição.

ZORDAN (1997) conclui que, a geração de entulho está embasada na implantação das alvenarias no acabamento bem como no lançamento estrutural. As demolições geram grande fatia dos entulhos.

2.4 - Resistência do Material Reciclado

Segundo PINTO (1992), os resultados com materiais reciclados são bastante satisfatórios, em geral apresentam desempenho similar materiais convencionais, e, em alguns casos, como na produção de argamassas apresentam desempenho superior, como pode ser visto nas figuras 2.2, 2.3 e 2.4.

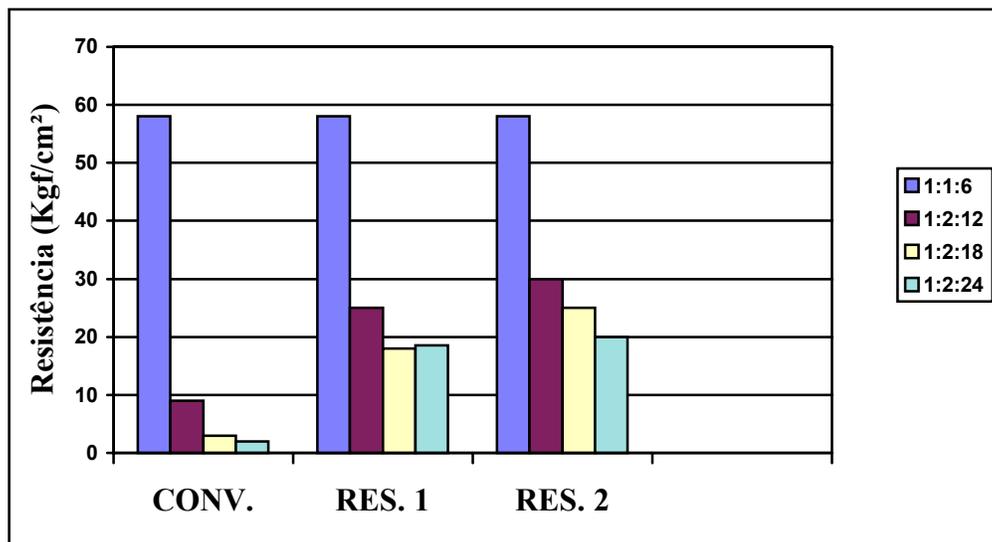


Figura 2.2 - Uso em argamassa (resistência à compressão aos 28 dias)

Fonte: PINTO (1986)

CONV. - agregado convencionais

RES 1 - agregados provenientes de resíduos de argamassa e concreto

RES 2 - agregados provenientes de resíduos de argamassas e cerâmicas

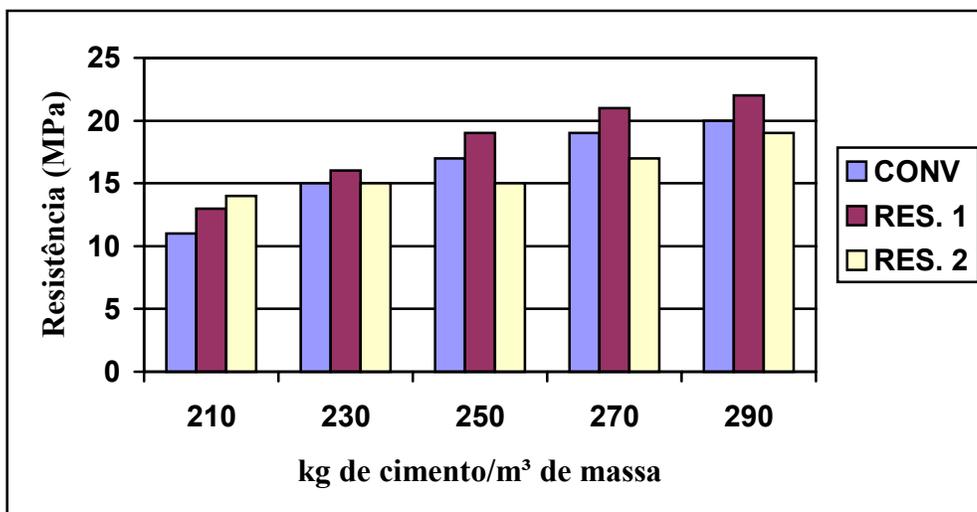


Figura 2.3 - Uso em concreto (variação da resistência à compressão c/consumo aos 28 dias)

Fonte: PINTO (1992)

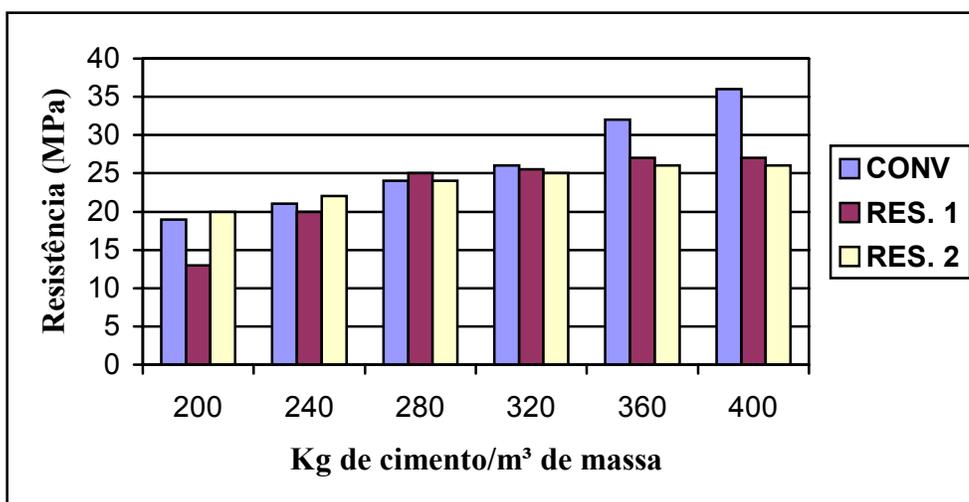


Figura 2.4 - Uso em briquetes (variação da resistência à compressão c/consumo)

Fonte: PINTO (1992)

BAZUCO (1999) verificou a resistência à compressão em concretos produzidos a partir de agregados provenientes de concretos triturados e segundo o autor estes concretos obtiveram resistências de 15% a 30% inferiores quando comparados aos concretos produzidos com agregados convencionais. Na figura 2.5 pode-se observar as resistências dos concretos produzidos com entulho reciclado.

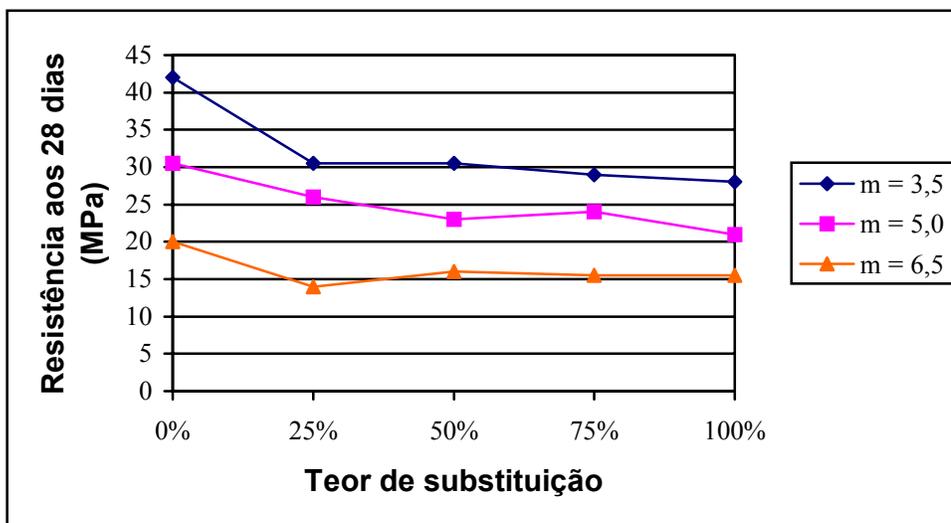


Figura 2.5 – Resistência à compressão aos 28 dias, para concretos produzidos com agregados reciclados saturados.

Fonte: BAZUCO (1999)

2.5 – Considerações Sobre Funções da Argamassa de Assentamento

Segundo SABBATINI (1984) apud FILOMENO (1993), as argamassas de assentamento não tem forma definida mas possuem uma função especial, destina-se ao assentamento de unidades de alvenaria. As argamassas de assentamento compõem a junta de argamassa a qual é um componente com forma e funções bem definidas. O autor ainda comenta que, as funções primárias das juntas de argamassa em paredes de alvenarias são:

- Unir solidamente as unidades de alvenarias e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área dos blocos;
- Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- Selar as juntas contra a penetração de água da chuva.

As argamassas não podem ser comparadas com o concreto, muito embora são produzidas com os mesmos materiais (aglomerantes e agregados), mas suas funções são extremamente opostas. O concreto é por si só um elemento estrutural, ao passo que a argamassa serve para unir os elementos em formação numa estrutura.

As propriedades mecânicas da argamassa são importantes para resistir às solicitações horizontais que ocorrem em uma parede. Estas solicitações laterais são as de flexão e cisalhamento, provocadas pela ação do vento, perpendicular ou paralela ao plano das paredes dos edifícios FRANCO (1988) apud FILOMENO (1993).

2.6 – Propriedade das Argamassas

2.6.1 – Propriedades no Estado Fresco

2.6.1.1 – Trabalhabilidade

Segundo DAVIDSON apud FILOMENO (1993) “a trabalhabilidade é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico”. Não se pode produzir uma argamassa de alta qualidade, se a mesma no estado plástico não possuir propriedades satisfatórias.

A RILEM no documento MR-3 (1982), considera trabalhabilidade como a facilidade do pedreiro trabalhar com a argamassa, isto é, conjunto de fatores da argamassa que atribuem boa qualidade e produtividade quando da sua aplicação. Trabalhabilidade é uma propriedade resultante de várias outras tais como: plasticidade, retenção de água, coesão, consistência e tixotropia. Pode-se ainda acrescentar outras propriedades tais como tempo de pega, adesão inicial e exsudação.

Para argamassa de revestimento trabalhabilidade traduz-se em uma adequada aderência ao substrato e a facilidade de acabamento superficial.

Outra definição para trabalhabilidade é a apresentada por SELMO (1989), “uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida ao ser transportada para a desempenadeira e lançada contra a base mantém-se coesa, porém sem aderir à colher, e permanece úmida o suficiente para ser espalhada, sarrafeada e ainda receber o tratamento superficial previsto.” É uma propriedade importante mas de difícil quantificação.

Segundo SABBATINI (1984), do ponto de vista prático, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando: “distribui-se facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias, (“agarra” a colher de pedreiro quando transportada e não “agarra” quando distribuída no tijolo); não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com blocos de sucção elevada e, permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos (tijolo) sejam assentados no nível e no prumo”.

Segundo FILOMENO (1993), a noção de trabalhabilidade é, muito mais subjetiva que física, sendo que o componente físico mais importante é a consistência, isto esta associada às propriedades intrínsecas da mistura fresca, relacionadas com, a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos constituintes, a trabalhabilidade depende também das propriedades dos substratos e da habilidade do pedreiro.

2.6.1.2 - Índice de Consistência e Plasticidade

A RILEM no documento MR - 3 (1982), admite que a trabalhabilidade das argamassas estão baseadas nas propriedades reológicas da consistência e da plasticidade. Define também consistência como “a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação”, isto é, a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação das cargas. A plasticidade é a propriedade pela qual, a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação.

Pode-se avaliar a consistência das argamassas através de ensaios que empregam a penetração de um corpo no interior da argamassa, e através de métodos que utilizam vibração ou choque que é o caso do “flow table test” que possibilitam produzir uma deformação nas argamassas a fim de medir a consistência e a plasticidade.

Outro parâmetro que pode ser usado como, controle da plasticidade é a dos finos total plastificantes, que inclui todos os materiais finos, partículas inferior a 75 µm partículas essas que podem contribuir para a plasticidade das argamassas, neste caso devemos somar a quantidade de cimento, cal e do agregado miúdo, segundo LAURETA e

MONTEVERDE (1984), as argamassas no estado fresco podem ser classificadas da seguinte forma:

Abaixo de 15% - argamassas magras

De 15% a 25% - argamassas média

Acima de 25% - argamassas gordas

2.6.1.3 - Retenção de Água e de Consistência

A retenção de água pode ser definida como a capacidade da argamassa em reter a água de amassamento quando em contato com uma superfície absorvente. Ou a capacidade da argamassa no estado fresco em manter sua consistência quando submetida a solicitações que provocam perda de água de amassamento seja por evaporação, sucção ou absorção por uma superfície.

Segundo SELMO apud TRISTÃO (1995), no estado fresco, em argamassas de revestimento a retenção de água interfere no tempo disponível de aplicação, regularização e desempenho da argamassa. No estado endurecido a retenção de água afeta as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal que são os responsáveis pela evolução do endurecimento da argamassa. Como a retenção interfere na velocidade de evaporação da água de amassamento, pode influir na retração por secagem.

2.6.1.4 – Densidade de Massa Aparente e Teor de Ar

Define-se densidade de massa aparente como a relação entre a massa do material e o volume, incluindo os vazios a uma temperatura estabelecida. Os vazios presentes na argamassa contêm ar aprisionado ou espaços, deixados pela evaporação do excesso de água de amassamento. A densidade de massa da argamassa foi calculada conforme prescreve a NBR 13278 (1995), através da seguinte equação:

$$A = \frac{Mma - Mm}{Vm} \quad (1.0)$$

Onde:

A = Densidade de massa da argamassa fresca, em g/cm³;

Mma = massa do molde preenchido e rasado com argamassa, em g;

Mm = massa média do molde limpo e seco, em g;

Vm = volume médio do molde em cm³.

O teor de ar tem influência sobre a trabalhabilidade e também na resistência de aderência dos revestimentos. FILOMENO (1993), comenta que as argamassas produzidas com materiais de mesma massa específica, porém com diferentes volumes de vazios, a argamassa que apresentar o menor volume de vazios apresentará a maior massa específica.

O teor de ar incorporado na argamassa foi obtido conforme especificado na NBR 13278/95, através da seguinte equação:

$$Ar = (1 - A/B) \times 100 \quad (2.0)$$

Onde:

A – Densidade de massa da argamassa no estado fresco

B – Densidade de massa teórica da argamassa sem vazios

Para as argamassas preparadas em obra o valor de B é obtido através da seguinte equação:

$$B = \frac{\sum Mi}{\sum (Mi/\gamma)} \quad (3.0)$$

Onde:

Mi – Massa seca de cada componente de argamassa, inclusive a massa da água.

γ - Densidade de massa de cada componente da argamassa.

2.6.1.5 - Exsudação de Água

Pode-se definir exsudação como, o fenômeno de separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca, quando esta é mantida em repouso, sem vibração ou choque. Em geral, a exsudação é manifestada tanto em argamassas plásticas como em argamassas fluidas. Esta propriedade interfere na trabalhabilidade, pois, exige que frequentemente a argamassa seja remisturada para homogeneização. Segundo SELMO (1989), a exsudação pode interferir na, capacidade de adesão da argamassa ao ser lançada contra a base.

2.6.2. – Propriedades no Estado Endurecido

2.6.2.1 – Resistência Mecânica

Segundo TRISTÃO (1995), as argamassas devem apresentar resistência suficiente para, suportar as movimentações da base, o que pode ocorrer por recalque ou por variação dimensional, por umedecimento e secagem ou por dilatação e contração do revestimento, devido as variações de temperatura. O autor comenta ainda que, embora a resistência mecânica das argamassas não represente uma propriedade fundamental como é para o concreto, sua determinação é justificada, pois, está relacionada com a elasticidade das argamassas que interferem na durabilidade dos revestimentos.

Segundo FILOMENO (1993), as argamassas de assentamento ocupam uma posição na alvenaria que as obrigam a resistir aos esforços de compressão, bem como, de flexão e cisalhamento provocados por esforços laterais nas paredes, como também, esforços de tração provocados pelas tensões internas que agem no material, provocados por movimentações nas estruturas que não podem ser desprezadas.

Ainda, segundo FILOMENO (1993), exceto para as argamassas usadas em alvenarias estruturais para edifícios de grande porte ou em locais com umidade constante, ou ambientes agressivos, não se justifica produzir argamassas muito resistentes.

2.6.2.2 – Aderência

A aderência de uma argamassa pode ser entendida como, a capacidade que a argamassa tem de resistir às tensões normais ou tangenciais à superfície de interface entre camadas. MARTINELLI (1989), diz que a aderência deve ser analisada quanto à sua resistência, isto é, capacidade mecânica de resistir à esforços normais de cisalhamento, e também quanto à extensão de aderência que é definida pela relação entre a área de contato efetivo e a área da base a ser revestida.

CINCOTTO et al, (1995), esclarecem que “a aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução” onde se exige um assentamento homogêneo sem descontinuidades excessivas.

CAMARGO (1995), comenta que, a argamassa produzida com material reciclado, tem excelente resistência ao arrancamento e um módulo de elasticidade maior do que as argamassas tradicionais “O fato de estas argamassas apresentarem muita retenção de água, devido ao entulho, especialmente o argiloso, acaba colaborando para uma melhor hidratação do cimento e conseqüente diminuição da retração e do surgimento de fissuras ao longo do tempo”.

2.6.2.3 - Permeabilidade

Entende-se por permeabilidade a passagem da água através da argamassa que pode ser ocasionada por infiltração sob pressão, por capilaridade onde a água é absorvida pelos materiais quando em contato superficial com a água, mas com baixa pressão hidrostática, ou ainda por difusão de vapor d’água.

TRISTÃO (1995), comenta que, a absorção de água capilar de um revestimento deve ser inferior à da base a ser revestida e quanto menor esta permeabilidade, melhor a proteção da base contra as intempéries, desde que possua permeabilidade ao vapor d’água.

2.6.2.4 - Estabilidade Volumétrica

As reações químicas de hidratação do cimento Portland ou pelas variações de umidade e temperatura podem ocasionar uma diminuição volumétrica. Durante a aplicação da argamassa, esta perde água de amassamento para a base e também por evaporação, ocasionada pela incidência solar, velocidade do ar, temperatura e umidade relativa.

A estabilidade volumétrica é fundamental no desempenho das argamassas de revestimento, pois afeta a estanqueidade e a durabilidade da mesma.

2.7 – Descanso da Pasta de Cal

A cal age na interface aumentando a penetração da argamassa em todos os interstícios do tijolo, tornando a microestrutura mais densa e contínua, o que pode contribuir para melhorar a resistência, durabilidade e estanqueidade. Possui também a capacidade de reter água, favorecendo a hidratação do cimento e permitindo um tempo maior para manuseio, mantendo a consistência da argamassa e melhorando sua trabalhabilidade.

A NBR 8214 (1983), determina que é recomendável misturar inicialmente a cal hidratada, ou a pasta de cal virgem extinta na obra, com areia e água em excesso, deixando a mistura em repouso por 72 horas antes da aplicação da argamassa. Já JAWOROSK e CAMPAGNOLLO (1990), apontam que o repouso seja de no mínimo 16 horas. Segundo estes autores, o repouso é necessário para que o hidróxido de cálcio na forma de cal hidratada, que se encontra mal cristalizado, passe a um produto bem cristalizado e em condições de desenvolver todo seu potencial, a boa cristalização depende da manutenção da pasta em condições de alta umidade durante certo tempo.

Segundo CINCOTTO (1989), se a cal for utilizada logo após a fabricação, quando a reação pode ainda não ter se completado, o aumento de volume que esta reação provoca, pode causar danos ao revestimento, mais especificamente no reboco, com efeitos diferentes, quer se trate do óxido de magnésio ou do óxido de cálcio. Quando existir óxidos de cálcio livres sob forma de grãos grossos, a expansão não pode ser absorvida pelos vazios da

argamassa e a consequência é a formação de vesículas, que podem ser notadas nos primeiros meses após a aplicação do reboco. Sendo a hidratação do óxido de magnésio muito mais lenta, essa se dá juntamente com a carbonatação. O revestimento endurecido empola gradativamente, desprendendo-se do emboço.

2.8 – Fatores que Afetam as Propriedades das Argamassas

2.8.1 - Granulometria das Areias Constituintes das Argamassas

LANDI (1987), comenta que, quem regula a água de amassamento das argamassas é a granulometria. A fração granulométrica do agregado miúdo abaixo da peneira ABNT 0,075 mm é denominada de material pulverulento e, desde que não esteja presente em excesso, pode contribuir para melhorar a trabalhabilidade das argamassas.

Ainda segundo LANDI (1987) os finos de natureza argilosa são poderosos plastificantes, mas quando em excesso, necessitam de grande quantidade de água de amassamento, o que pode provocar fissuras por retração na secagem do revestimento.

Segundo SELMO (1986), a granulometria deve ser contínua e regular, deste modo o volume de vazios a ser preenchido pela pasta será menor, isto leva a uma menor retração potencial da mistura.

De acordo com SELMO (1986), os agregados miúdos quando usados em argamassa além de desenvolverem papel tecnológico desenvolvem também papel econômico, pois em geral são materiais de menor preço quando comparados com os aglomerantes, o que contribui para diminuir o custo das argamassas, e podem contribuir para a qualidade final dos revestimentos. SELMO (1986), comenta ainda que, os agregados miúdos contribuem para melhorar a trabalhabilidade, resistência à aderência e diminuir a retração na secagem. As principais propriedades dos agregados miúdos, que influenciam no desempenho das argamassas de revestimentos são: composição química e mineralógica, características geométricas dos grãos e composição granulométrica. Na tabela 2.1 pode-se observar a classificação dos agregados proposta por SELMO (1986)

Tabela 2.1 – Classificação dos agregados de acordo com o seu módulo de finura

AREIA	MÓDULO DE FINURA
Grossa	MF >3,00
Média	3,00 ≥ MF ≥ 2,00
Fina	MF < 2,00

Fonte: SELMO (1986)

SELMO (1986), comenta ainda que, “quanto maior o módulo de finura do agregado, maior é a fração de grãos grossos e mais ásperos será a textura conferida, aos revestimentos de argamassa”. Desta maneira indicam-se as areias grossas para chapisco, às areias médias para emboço e as finas para reboco.

A ASTM 897-83 (1983), não recomenda que sejam utilizados agregados miúdos em argamassas de revestimentos, que apresentem mais de 25% em peso, de material retido entre as peneiras de abertura 0,30 e 0,15 mm, e que o agregado não tenha mais de 50%, em peso, retido entre duas peneiras consecutivas.

Em uma análise comparativa em diversas normas SELMO (1986), mostra que todas as especificações fixam valor máximo para teor de materiais pulverulentos em torno de 5%, bem como para o teor de matéria orgânica, que são avaliados pelo método colorimétrico.

TRISTÃO (1995), comenta que, deve-se tomar cuidado ao analisar somente o módulo de finura para classificar as areias em: grossa, média ou fina, pois, podemos ter areias com mesmo módulo de finura mas com composição granulométrica diferente e isto, pode levar a produção de argamassas com propriedades diferentes. O autor classifica as areias como:

- muito uniforme : $Cun < 5$;
- uniformidade média : $5 < Cun < 15$;
- desuniforme : $Cun > 15$

O coeficiente de uniformidade é a relação entre os diâmetros correspondentes a abertura de malha que passa 60% e 10% em massa:

$$Cun = P_{60}/P_{10} \quad (4.0)$$

Coefficiente de curvatura C_c é óbito pela equação:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{(d_{60} \times d_{10})} \quad (5.0)$$

onde, d_{30} é o diâmetro correspondente a 30% da porcentagem que passa.

Para granulometria bem graduada o coeficiente de curvatura esta compreendido entre 1 e 3.

2.9 – Estudos Nacionais – Argamassas Produzidas Com Entulho

SILVA (1997), estudou argamassas produzidas com 40% de entulho e 60% de areia, e verificou que a introdução do entulho reciclado obtido de restos de concreto, argamassas e blocos cerâmicos em substituição de parte da areia, não apresentaram alterações desfavoráveis quanto à resistência mecânica à compressão, os desempenhos das argamassas produzidos com entulho assemelham-se as argamassas tradicionais, com uso de cal ou adições. A tabela 2.2 mostra um resumo dos traços e dos resultados do estudo, de onde o autor comenta que para o traço 1:3 no uso em contrapiso houve uma redução significativa do consumo de cimento.

Tabela 2.2 - Resumo dos traços e resultados

Aplicação da argamassa	Traços Unitários (em massa)						Consistência (mm)	Massa Espec (kg/dm ³)	Teor de Ar (%)	Consumo de Cimento (kg/m ³)	Consumo de Cal (kg/m ³)	Resistência à Compressão (Mpa)	
	Cimento	Areia	Cal	Mat. Reciclado	Arenoso	Água						7 dias	28 dias
Emboço como base para revestimento	1,000	7,435	0,36	-	-	1,648	265	2,05	3,1	196	71	3,3	5,6
Emboço como base para revestimento	1,000	4,462	0,36	2,974	-	1,705	258	1,80	7,5	171	62	1,3	5,3
Emboço como base para revestimento cerâmico *	1,000	2,688	-	1,792	4,264	1,968	270	2,02	1,5	178	-	3,6	5,0
Contrapiso	1,000	3,000	-	-	-	1,500	220	1,82	2,3	331	-	19,6	20,2
Contrapiso (Peneira 4,8mm) *	1,000	4,234	-	2,822	2,520	2,000	150	2,01	5,0	160	-	4,3	6,2

* Traço com uso de 40% de entulho reciclado em relação a areia.

Fonte: SILVA (1997)

LEVY (1995), realizou estudos com argamassas produzidas com entulho reciclado, afim de, avaliar de que forma os vários componentes dos entulhos de obras contribuem para o desempenho dos revestimentos tanto no estado fresco como no estado endurecido. Na tabela 2.3 está apresentada a porcentagem de entulho utilizada para confecção das argamassas, e na tabela 2.4 está apresentada a distribuição granulométrica das misturas.

Tabela 2.3 – Porcentagem de entulhos existentes nas misturas utilizadas para produção de argamassas.

Materiais Misturas	Blocos Cerâmicos moídos	Argamassas Moídas c/ Resíduos cerâmicos	Blocos de concreto moídos	Argamassas moídas s/resíduos cerâmicos	Traço em volume com areia úmida	Traço em massa de materiais secos
M1	100%	-	-	-	1:2,87:8,47	1:2,81:8,16
M2	67%	33%	-	-	1:2,70:8,47	1:2,88:8,16
M3	50%	50%	-	-	1:2,57:8,47	1:2,91:8,16
M4	33%	67%	-	-	1:2,47:8,47	1:2,95:8,16
M5	-	100%	-	-	1:2,34:8,47	1:3,00:8,16
M6	-	-	100%	-	1:1,377:7,27	1:1,492:7,00
M7	-	-	67%	33%	1:3,57:7,27	1:4,66:7,00
M8	-	-	50%	50%	1:3,52:7,27	1:4,56:7,00

Fonte: LEVY (1995).

Tabela 2.4 – Distribuição granulométrica das misturas utilizadas na produção das argamassas.

Método de ensaio Materiais	NBR 7251/82 Massa unitária (kg/m³)	NBR 7217/82 – Distribuição Granulométrica (% retidas nas peneiras #)							
		4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	Ømáx.	m.f.
M1	1.125	3	8	20	40	60	82	4,8	2,13
M2	1.226	3	9	21	42	62	81	4,8	2,18
M3	1.302	4	9	20	42	62	83	4,8	2,20
M4	1.374	4	10	20	43	63	83	4,8	2,23
M5	1.472	4	8	18	41	63	80	4,8	2,14
M6	1.498	1	12	29	44	57	73	4,8	2,16
M7	1.497	2	10	24	41	58	77	4,8	2,12
M8	1.489	2	10	23	40	58	78	4,8	2,11
Areia	1.440	3	5	12	39	73	97	2,4	2,30

Fonte: LEVY (1995).

O cimento utilizado no estudo foi o cimento Portland CP II E – 32 e as argamassas foram produzidas sem a utilização da cal, as argamassas foram produzidas procurando

manter consistência entre 150 a 310 mm. Algumas propriedades das argamassas são mostradas na tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Características das argamassas no estado fresco

Misturas	Consistência das argamassas ($\pm 10\text{mm}$)	Consumo de cimento (kg/m^3)	Relação água/cimento (kg/kg)	Retenção de água (%)	Massa unitária Específica (kg/m^3)
M1	276,0	132	2,39	66,0	1.898
M2	225,6	135	2,04	82,0	1.902
M3	273,5	134	2,18	69,0	1.903
M4	276,5	134	2,18	65,0	1.908
M5	300,7	133	2,18	45,0	1.902
M6	318,4	134	2,18	44,0	2.023
M7	300,1	133	2,13	46,0	1.975
M8	205,2	132	1,87	47,0	1.905

Fonte: LEVY (1995).

LEVY (1995), destaca que as misturas M1 a M4 representando material cerâmico, a retenção de água foi superior comparando as misturas M5 a M8 as quais não contém material cerâmico.

A figura 2.6 apresenta a evolução das resistências à compressão e na figura 2.7 a resistência de aderência à tração sobre blocos de cerâmica, que foram obtidas com as 8 (oito) misturas ao 28 dias obtidos através de arrancamento.

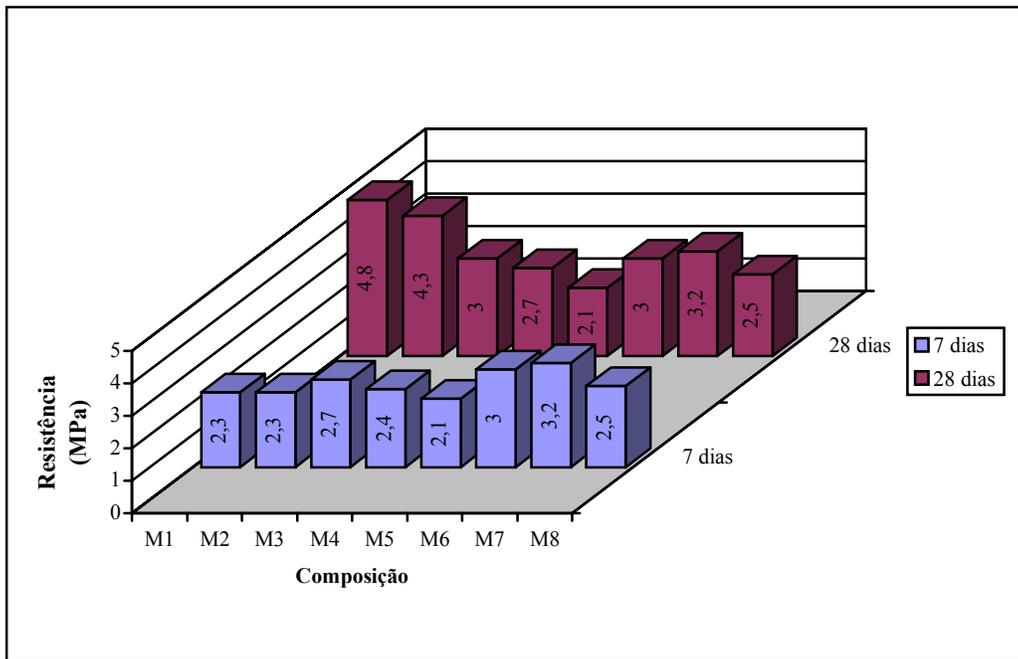


Figura 2.6 – Evolução da resistência à compressão.

Fonte: LEVY (1995).

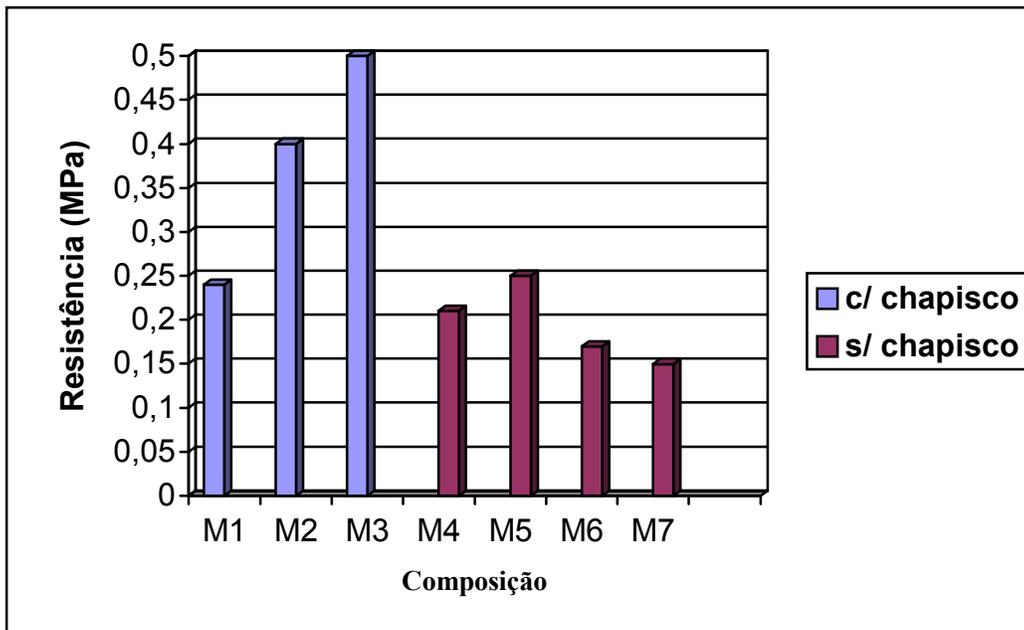


Figura 2.7 – Resistência de aderência.

Fonte: LEVY (1995).

O autor comenta que as argamassas produzidas com entulho apresentaram em relação ao traço convencional 1:2:9 uma redução de 10 a 15% no consumo de cimento e apresentando um ganho de resistência de 20 a 100% conforme o traço utilizado. As

argamassas produzidas com material cerâmico apresentaram desempenho superior as argamassas produzidas sem material cerâmico, ficando evidente a influência dos materiais cerâmicos reciclados na capacidade de retenção de água e no aumento da resistência à compressão.

LEVY (1997), estudou a influência que as argamassas, produzidas com materiais provenientes de entulho reciclados, finamente moídos, exercem nas propriedades das argamassas. Para tanto foram produzidas 8 (oito) argamassas diferentes, utilizando-se cimento, entulho moído e areia lavada. A tabela 2.6 mostra as características físicas dos componentes utilizados na preparação do entulho. Sendo que o entulho foi preparado em laboratório, triturando-se argamassas endurecida e resíduos cerâmicos, o cimento utilizado na preparação das argamassas foi o cimento Portland CP II E – 32. A tabela 2.7 mostra a proporção das adições.

Tabela 2.6 – Características físicas dos componentes utilizados na preparação do entulho.

Característica	Normas	Materiais			
		Cerâmica Moída	Argamassa Moída	Areia	Cimento
Distribuição Granulométrica	NBR 7217/87	2	1	2	
4,8mm		4	12	4	
2,4mm		10	29	10	
1,2mm		25	44	35	
0,6mm		43	57	79	
0,3mm		66	73	97	
0,15mm		100	100	100	
Fundo		1,50	2,16	2,27	
Modulo de Finura		2,40	4,80	2,40	
Dimensão Máxima Características (mm)					
Materiais Pulverulentos (%)	NBR 7218/87	30,4	15,40	-	
Impurezas Orgânicas (ppm)	NBR 7220/87	< 300ppm	<300 ppm	< 300 ppm	
Massa Específica (kg/m ³)	NBR 9776/87 NBR 6474/84	2510	2520	2590	3120
Massa Unitária Solta (kg/m ³)	NBR 7251/82	1145	1377	1417	1130
Área Específica (m ² /kg)	NBR 7224/89	586,4	231,9		364,3

Fonte: LEVY (1997).

Tabela 2.7 – Proporção das adições em volume

Misturas produzidas	Materiais cerâmicos	Argamassas endurecidas
C	100%	0%
Ca	66%	34%
cA	34%	66%
A	0%	100%

Fonte: LEVY (1997).

Na figura 2.8 está apresentado o percentual de retenção de água para as oito argamassas preparadas, onde, o autor comenta que, os melhores resultados foram obtidos com a utilização do entulho composto com 66% de material cerâmico e 34% de argamassas endurecidas. Na figura 2.9 estão apresentadas as resistências à compressão que o autor encontrou para as argamassas produzidas com o entulho nos traços 1:3:8 e 1:1,5:6 (Cimento : Entulho : Areia)

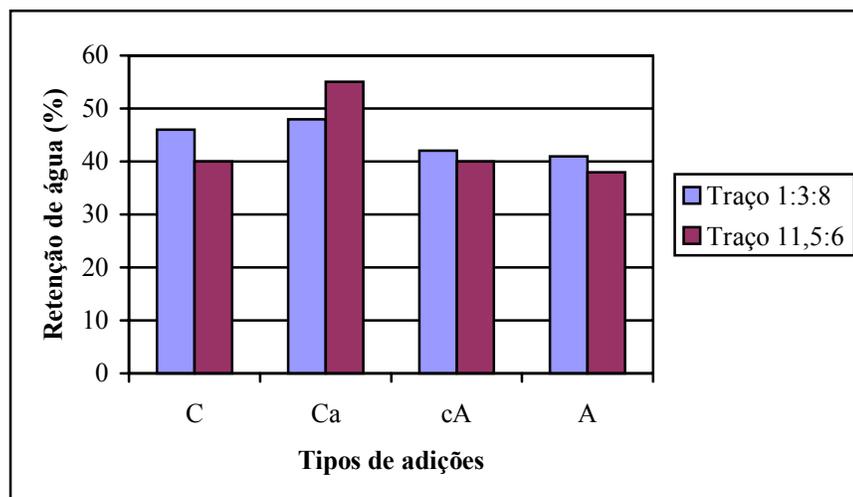


Figura 2.8 - Variação do índice de retenção de água

Fonte: LEVY (1997).

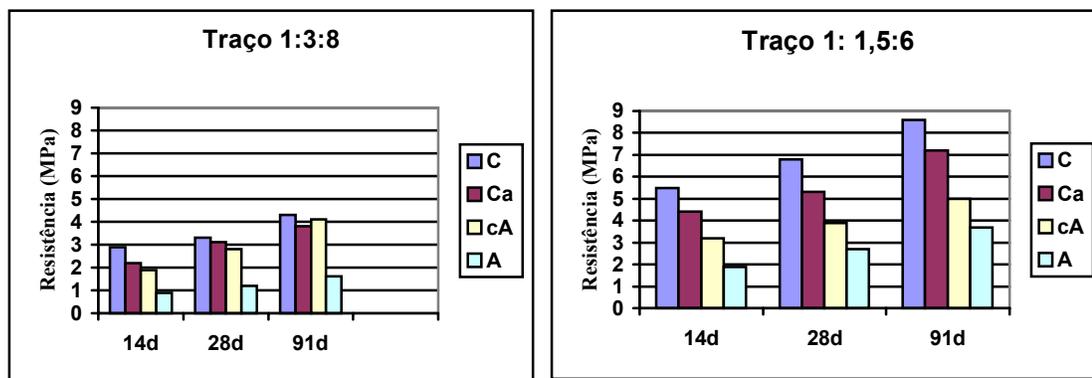


Figura 2.9 – Resistência à compressão

Fonte: LEVY(1997)

MIRANDA (1999), estudou argamassas produzidas com entulho reciclado nos traços 1:6, 1:7, 1:9 e 1:10 (cimento, agregado total em massa seca) sendo que a areia e o entulho foram prefixados pelo critério de “finos totais plastificantes”, o trabalho avaliou a trabalhabilidade, consistência, retenção de água, densidade da massa e teor de ar aprisionado bem como o custo por metro cúbico.

Para realização do estudo MIRANDA (1999), utilizou o cimento CP II E – 32 e areia fina de rio, como agregado miúdo principal, a composição do entulho que foi usado como parte do total de agregado miúdo, que tinha com a função principal à adição de plastificantes, consta na tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Composição de entulho utilizados na pesquisa.

Tipo e nº de identificação	Materiais constituintes, % em massa seca		
	Bloco cerâmico	Argamassa	Bloco de concreto
T1	75	25	0
T2	55	45	0
T2	35	65	0
T4	0	100	0
T5	0	65	35
T6	0	45	55
T7	0	25	75

Fonte: MIRANDA (1999).

O estudo mostrou também que, as argamassas com entulho consumiram mais água, que as argamassas produzidas com agregado normal, principalmente, quanto comparadas

com as argamassas produzidas com o entulho proveniente de materiais cerâmicos o que pode ser observado na figura 2.10. A figura 2.11 mostra o teor de argamassa moída versus índice de consistência de onde o autor observa que o traço 1:7 apresentou índice de consistência baixo. Isso porque esta argamassa foi composta com pouco entulho.

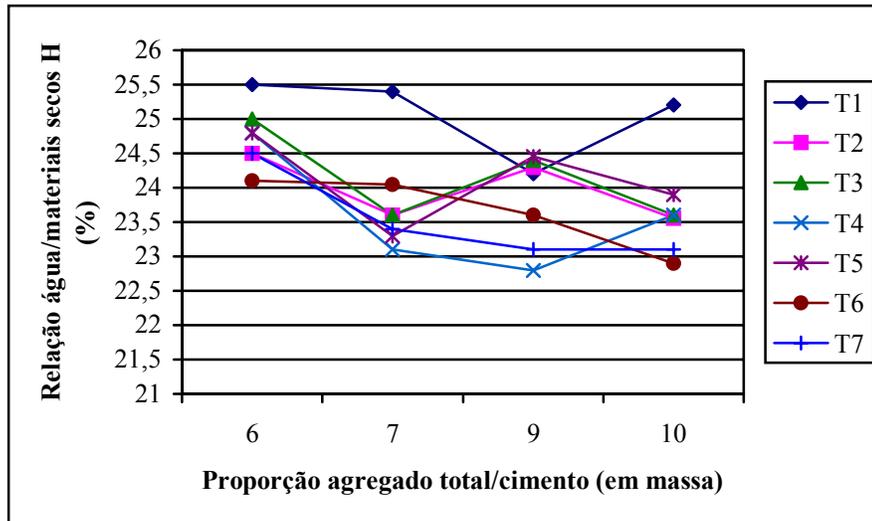


Figura 2.10 – Variação da relação água/materiais secos.

Fonte: MIRANDA (1999).

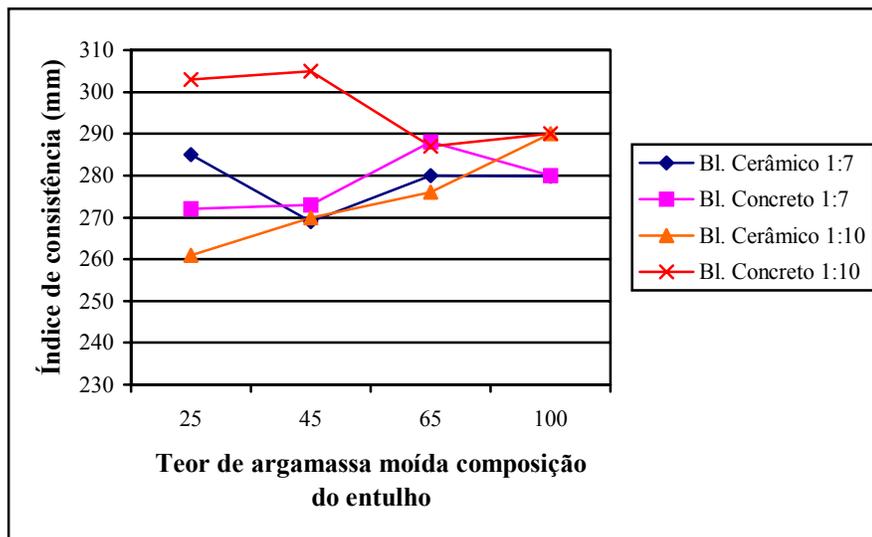


Figura 2.11 – Índice de consistência.

Fonte: MIRANDA (1999).

A retenção de água não sofreu variação significativa para o traço 1:7 devido ao baixo consumo de entulho. Já o traço 1:10 houve redução da retenção de água à medida que o

bloco cerâmico é substituído pelo bloco de concreto a figura 2.12 mostra os teores de argamassa moída em relação à retenção da água.

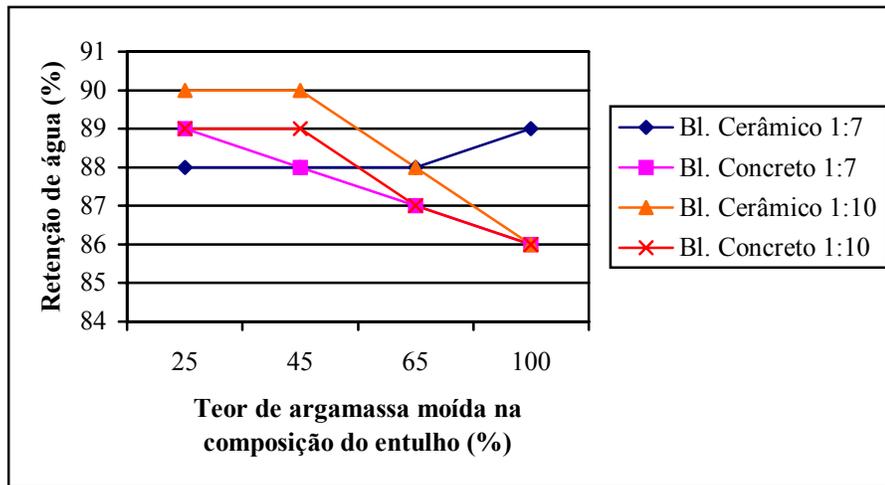


Figura 2.12 – Retenção de água das argamassas.

Fonte: MIRANDA (1999).

A figura 2.13 mostra densidade de massa das argamassas, de onde o autor comenta que a densidade de massa das argamassas decresceu conforme era substituído o entulho de bloco cerâmico ou de bloco de concreto pelo de argamassa moída. A maior densidade é encontrada para argamassa produzida com o maior teor de entulho de bloco de concreto.

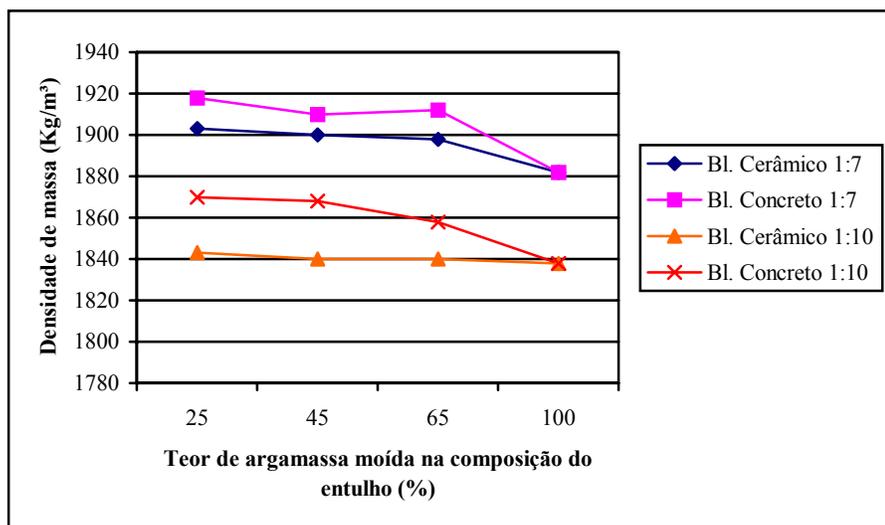


Figura 2.13 – Densidade de massa das argamassas.

Fonte: MIRANDA (1999)

3.- METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos propostos, o presente estudo seguiu as seguintes etapas:

- Seleção do entulho a ser reciclado;
- Caracterização dos materiais;
- Definição dos traços das argamassas a serem estudadas;
- Produção das argamassas com agregados reciclados;
- Realização de ensaios de laboratório;
- Tabulação e análise dos resultados.

3.1 - Seleção do Entulho a ser Reciclado

O trabalho tem por finalidade estudar o uso do entulho reciclado na produção de argamassas. Como o entulho é uma mistura de vários materiais e nem todos apresentam interesse para esta pesquisa, como por exemplo, papel, madeira, gesso, etc.,. O resíduo de construção proveniente de empresas coletoras de entulho foi selecionado, separando-se os materiais em famílias, sendo uma família composta pelo entulho contendo material cerâmico (parede, tijolo, telhas, etc.) e outra com material cimentante (argamassa endurecida, blocos de concreto, concreto, contra piso, etc.). Com esta separação obteve-se os agregados reciclados denominados de AGR I e AGR II, conforme especificado.

Família I (AGR-I) - entulho composto por material cerâmico.

Família II (AGR -II) - entulho composto por material cimentante.

As duas famílias foram encaminhadas para o laboratório do DER – SC (Departamento de Estrada de Rodagem de Santa Catarina) onde foram trituradas em um britador do tipo mandíbula, a figura 3.1 mostra o britador que foi usado para fragmentar o material,

que após passar no britador foi peneirado e o material retido na peneira ABNT 4,8mm foi desprezado, obtendo-se assim os agregados AGR I e AGR II selecionados.

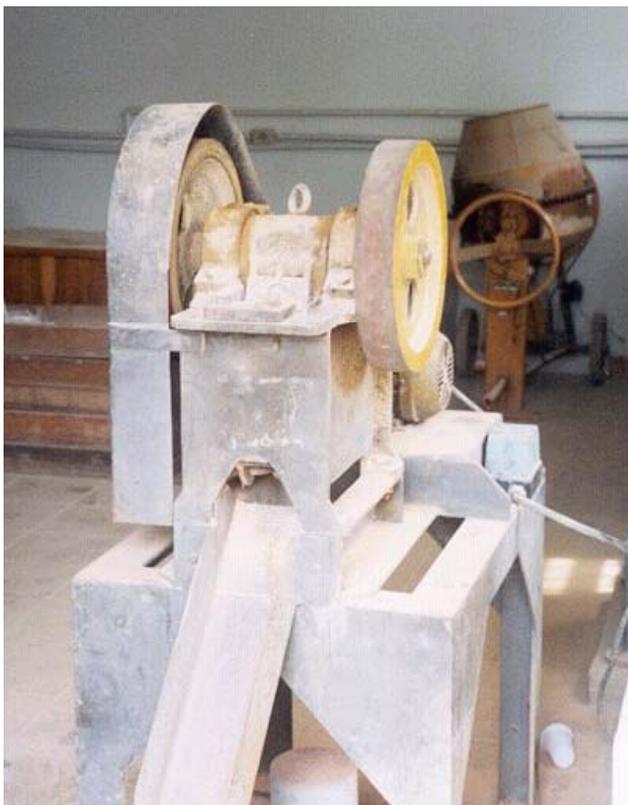


Figura. 3.1 – Britador do DER.

O estudo visa usar o entulho reciclado como agregado miúdo para produção de argamassas. Desta forma para cada família obteve-se 3 (três) agregados diferentes que foram obtidos através de mistura com areia do IPT. A composição de cada agregado pode ser observada na tabela 3.1. As argamassas produzidas com 100% de AGR I e AGR II, bem como, as produzidas com entulho misturados com areia do IPT serão comparados com as argamassas produzidas com areia natural.

Tabela 3.1 – Composição dos agregados

Amostra	Composição (%)				
	AGR I	IPT	NATURAL	AGR II	IPT
1	100				
2	50	50			
3	70	30			
4				100	
5				50	50
6				70	30
7		100			
8			100		

Os entulhos triturados AGR I e AGR II foram armazenados no laboratório de materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, em baldes plásticos fechados, até o momento de sua utilização.

3.2 - Caracterização dos Materiais

3.2.1 - Composição Granulométrica dos Agregados

O estudo da composição granulométrica dos agregados foi realizado de acordo com a NBR 7217 (1987) – Agregados – Determinação da composição granulométrica, que prescreve o método para análise granulométrica de agregados para concreto e argamassa.

3.2.2 - Massa Específica

A massa específica é definida como sendo a massa por unidade de volume e tem grande importância para calcular o traço para a produção de argamassa. Para determinação da massa específica foi usado o processo do picnômetro NBR 6508 (1984).

3.2.3 – Determinação do Material Pulverulento

A determinação do teor de materiais pulverulento foi realizada segundo a NBR 7219 (1987). A mesma norma define como material pulverulento as partículas de minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

3.2.4 - Absorção

A absorção é definida como sendo o aumento na massa de uma amostra de partículas de agregado seco devido à penetração de água nos poros das partículas do agregado. É expressa como porcentagem da massa seca da amostra.

Foi determinada a absorção para os agregados compostos por: 100% de AGR I , 100% de AGR II e para a areia natural. A absorção foi determinada para os seguintes tempos: 30 min; 1:00 hora; 1:30 horas; 3:00 horas e 24:00 horas;

Procedimento adotado para verificação da absorção do agregado:

- colocou-se em um frasco uma porção do material, um frasco para cada leitura de tempo;
- em cada frasco foi colocado água até completa imersão do material, tomando o cuidado para colocar água em excesso afim de garantir que o material não iria ficar descoberto no decorrer do tempo;
- decorrido os 30 minutos primeira leitura retirou-se toda a água, após pesou-se o material úmido juntamente com o frasco;
- colocou-se o material na estufa para secar, (até constância de peso);
- o mesmo procedimento foi adotado para as demais leituras.

Após secagem pesou-se o material seco e calculou-se a absorção do mesmo através da seguinte fórmula:

$$Absorção(\%) = \left(\frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{seca}} \right) \times 100 \quad (6.0)$$

3.2.5 – Massa Unitária

A determinação da massa unitária do agregado foi realizada segundo a NBR 7251 (1982), que segundo ela, é definida, pelo quociente da massa do agregado lançado no recipiente de acordo com o estabelecido nesta norma e o volume desse recipiente.

3.2.6 – Características Químicas do Agregado

A fim de determinar a presença de alguma substância que pudesse comprometer o uso dos agregados reciclados de entulho e verificar se, este era realmente inerte, realizou-se o teste de lixiviação e solubilização, segundo procedimentos prescritos nas NBRs 10005 e 10006, as amostras foram preparadas no Laboratório de Materiais da Engenharia Civil e filtrados no Laboratório de Engenharia Sanitária (ENS), o líquido filtrado foi encaminhado ao laboratório de Química da Universidade Federal de Santa Catarina. As figuras 3.2 e 3.3 mostram os equipamentos utilizados na preparação das amostras ensaiadas.



Figura 3.2 – Ensaio de Lixiviação – “jar-test” – Grupo Valores



Figura 3.3 – Filtragem dos AGR - ENS.

3.3 - Caracterização do Cimento

O cimento utilizado no experimento foi o Cimento Portland Composto com filer – CP II F – 32 fabricado pela empresa VOTORAN cujas características fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na tabela 3.2. Também foi fornecido pelo fabricante a massa específica de $3,16 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 3.2 - Caracterização do cimento utilizado na produção das argamassas.

ENSAIOS	UNID.	MÉDIA	DESVIO	MÍNIMO	MÁXIMO
ENSAIOS FÍSICOS					
Peneira 200	%	2,36	0,17	2,00	2,50
Peneira 325	%	11,19	0,48	10,70	11,80
Blaine	m ² /kg	322,91	8,47	310,10	335,40
Água consistência	%	26,55	0,08	26,40	26,60
Início de pega	hs/min	03:57	00:13	03:30	04:15
Fim de pega	hs/min	05:09	00:14	04:40	05:30
Expansão a quente	mm	0,88	0,35	0,50	1,50
Resistência 3 dias	MPa	22,61	0,78	21,60	23,80
Resistência 7 dias	MPa	27,19	0,38	26,60	27,80
Resistência 28 dias	MPa	34,83	1,46	32,30	37,70
ENSAIOS QUÍMICOS					
Perda ao fogo	%	5,95	0,08	5,80	6,10
SiO ₂	%	17,41	0,18	17,20	17,74
Al ₂ O ₃	%	4,12	0,08	4,02	4,25
Fe ₂ O ₃	%	2,64	0,03	2,60	2,69
CaO	%	59,67	0,18	59,31	59,95
MgO	%	5,90	0,07	5,73	5,96
K ₂ O	%	0,84	0,03	0,80	0,91
Na ₂ O	%	0,01	0,01	0,00	0,03
SO ₃	%	3,03	0,06	2,95	3,12
Resíduo insolúvel	%	1,41	0,12	1,26	1,58

3.4 – Cal

A cal utilizada no experimento foi a Cal Hidratada CH II fabricada pela MINERSOL – Indústria e Comércio de Cal Ltda. cujas características fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características da Cal

ENSAIOS	RESULTADOS
	%
Umidade	0,08
Perda ao fogo	19,3
Insolúveis em ácido clorídrico	5,33
Óxidos de ferro e alumínio ($Fe_2O_3+Al_2O_3$)	0,99
Óxidos de cálcio (CaO)	44,0
Óxido de magnésio (MgO)	30,50
Anidrido sulfúrico (SO_3)	0,04
Anidrido carbônico (CO_2)	4,44
Na base do material original	25,00
Óxidos não hidratados	
Na base de não voláteis	92,30
Óxidos totais (CaO+MgO)	

3.4.1 – Massa Unitária do Cimento e da Cal

A massa unitária foi determinada em recipiente paralelepípedo com volume de 15 litros, conforme prescrito na NBR 7251 (1982).A tabela 3.4 mostra a massa unitária da cal e do cimento obtidos pela média de duas determinações.

Tabela 3.4 – Massa unitária

Material	Massa Unitária (g/cm³)
Cimento	1,206
Cal	0,734

3.5 - Definição dos Traços das Argamassas a Serem Estudadas

3.5.1 – Determinação do Traço

As argamassas foram preparadas com traços descritos por TRISTÃO (1995) e MIBIELLI (1994), argamassa normal empregada em obras, cujos traços em volumes utilizados foram de: 1: 1: 6 e 1 2: 9 (cimento: cal: areia) o primeiro traço destina-se ao assentamento de alvenarias com unidades de média resistência, já o segundo tem uso mais corrente para assentamento de unidades pouco resistentes. Segundo IOPPI (1995), a fim de garantir sempre a mesma proporção, dos materiais empregados na produção das argamassas, o traço em volume pode ser convertido para traços em massa, a conversão dos traços foi feita usando a expressão abaixo e os valores obtidos da transformação, estão apresentados na tabela 3.5.

$$1 : \frac{V_p \times \delta_p}{\delta_c} : \frac{V_q \times \delta_q}{\delta_c} \quad (7.0)$$

onde:

V_p – Proporção de cal hidratada no traço da argamassa em volume aparente;

V_q – Proporção do agregado miúdo no traço da argamassa em volume aparente;

δ_c - Massa unitária do cimento, no estado solto, em kg/dm³;

δ_p - Massa unitária da cal hidratada, no estado solto, em kg/dm³;

δ_q - Massa unitária do agregado miúdo, no estado seco, em kg/dm³;

Tabela 3.5 – Relação entre traços em volume e massa das argamassas ensaiadas

Agregado	Composição %	Traço em volume (Cimento : Cal : Agregado)	
		1:1:6	1:2:9
AGR I	100	1 : 0,6085 : 5,8191	1 : 1,2171 : 8,7287
	70	1 : 0,6085 : 6,2461	1 : 1,2171 : 9,3691
	50	1 : 0,6085 : 6,5307	1 : 1,2171 : 9,7960
AGR II	100	1 : 0,6085 : 6,3245	1 : 1,2171 : 9,4868
	70	1 : 0,6085 : 6,5999	1 : 1,2171 : 9,8998
	50	1 : 0,6085 : 6,7834	1 : 1,2171 : 10,1751
NATURAL		1 : 0,6085 : 6,7653	1 : 1,2171 : 10,1480
IPT		1 : 0,6085 : 7,2423	1 : 1,2171 : 10,8634

3.5.2 - Produção da Argamassa

As argamassas foram confeccionadas com os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP II F 32
- Cal hidratada
- Entulho reciclado
- Areia do IPT para compor as frações
- Água proveniente da rede pública de Florianópolis.

Os agregados reciclados de entulho e a areia do IPT, depois de misturados para compor os agregados miúdos das argamassas, permaneceram submersos em água por 24 (vinte quatro) horas, em bandeja, com capacidade suficiente para acomodar a quantidade de agregado mais a água de saturação, necessárias para confeccionar as argamassas. Decorrido 24 horas, tempo que o agregado permaneceu submerso, a água foi drenada, colocando-se a bandeja na posição vertical conforme mostra a figura 3.4, a bandeja permanece nesta posição até que toda água em excesso tenha sido retirada, quando o agregado atingisse a condição de saturado com superfície úmida determinava-se a umidade do agregado pelo método da frigideira, desta maneira a água retida no agregado pode ser descontada do peso do agregado para não interferir na composição, traço em massa, já que as proporções dos traços referem-se aos componentes secos.

A mistura dos materiais, que foram pesados obedecendo à proporção entre os materiais, estabelecidos na convenção dos traços em volume, sendo que, o volume produzido era de aproximadamente 2 litros, tinha início com a mistura da cal e o agregado em argamassadeira durante 5 minutos, a mistura agregado cal permaneceu em repouso por 24 horas em bandeja coberta. Após o repouso a argamassa era levada a argamassadeira e misturada por mais 2 minutos, só depois desta remistura é que foi adicionado o cimento misturando-se por mais 3 minutos. Acrescentando água até obter-se argamassas com índice de consistência de 230 ± 10 mm.

A utilização da areia do IPT e não a areia natural, na composição do agregado, deve-se ao fato, da areia do IPT ser bem graduada e livre de impurezas e sempre apresentar as

mesmas características. Na verificação dos custos de produção das argamassas a areia do IPT foi considerado com preço igual ao da areia natural.



Figura 3.4 – Agregado sendo drenado

3.5.3 – Retenção de Água

A determinação da retenção de água foi de acordo com o prescrito na RILEM MR 4 (1982) e NBR 13277 (1995), que prescrevem os procedimentos de ensaio.

3.5.4 – Exsudação

A exsudação foi determinada de acordo com o prescrito na RILEM MR 6 (1982) que prescreve os procedimentos de ensaio.

3.5.5 – Densidade e Teor de Ar Incorporado

A determinação da densidade e de ar incorporado na argamassa foi de acordo com o prescrito na NBR 13278 (1995), que especifica os procedimento do ensaio, para realização deste ensaio foi substituído o recipiente cilíndrico de PCV por um recipiente de alumínio com capacidade aproximada de 100 ml.

3.5.6 - Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

A moldagem e a cura dos corpos de prova da argamassa, foram realizadas de acordo com a NBR.7215 (1982). Para cada agregado e para cada traço, foram moldados 9 corpos de prova, em cilindros metálicos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura. Para a cura da argamassa, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida, até a idade de ruptura. A figura 3.5 mostra parte dos corpos de prova na câmara úmida.



Figura 3.5 – Cura dos corpos de prova - Câmara úmida

3.5.7 - Verificação das Resistências à Compressão

Os corpos de prova foram ensaiados à compressão axial, na prensa hidráulica do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. A prensa é da marca SHIMADZU, com capacidade de carga de 500 toneladas e controle de carga manual. A figura 3.6 mostra a prensa usada no experimento.

Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 13279 (1995), “Argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência a compressão”. Os corpos de prova foram capeados com pasta de enxofre e cimento, para que houvesse uma maior regularização da superfície e distribuição dos esforços no momento do ensaio.



Figura 3.6 – Prensa empregada no rompimento das amostras.

3.5.8 – Resistência de Aderência à Tração

As argamassas produzidas com agregado composto com 100 % do AGR I e AGR II e areia natural com traço 1:1:6 foram submetidas ao ensaio de resistência ao arrancamento.

Para realização deste ensaio, as argamassas foram aplicadas por um oficial pedreiro da Universidade Federal de Santa Catarina, em paredes de alvenarias (substrato cerâmico) de 1,0 m², chapiscadas com argamassas de cimento e areia traço 1:3, o reboco foi aplicado para manter espessura média de dois centímetros, em paredes posicionadas na vertical e receberam acabamento com desempenadeira de madeira.

As paredes permaneceram dentro do Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, na posição vertical, até a data da realização do ensaio. Ao 28 dias as paredes foram preparadas para obtenção, através de corte com serra copo, com diâmetro de 50mm. O ensaio foi realizado conforme descrito na NBR 13528 (1995).

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão apresentados e discutidos neste capítulo os resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados nos materiais utilizados bem com os resultados de desempenho das argamassas produzidas.

4.1. Caracterização dos Materiais

4.1.1. Caracterização Granulométrica do Agregado Miúdo

As curvas granulométricas dos agregados, depois de triturados e previamente peneirados, para obter apenas a fração passante na peneira ABNT 4,8mm, a qual foi utilizada no trabalho, podem ser observadas na figura 4.1, as curvas foram compostas com as porcentagens retidas acumuladas. No anexo I encontra-se os demais valores obtidos do ensaio de granulometria, de todos os agregados.

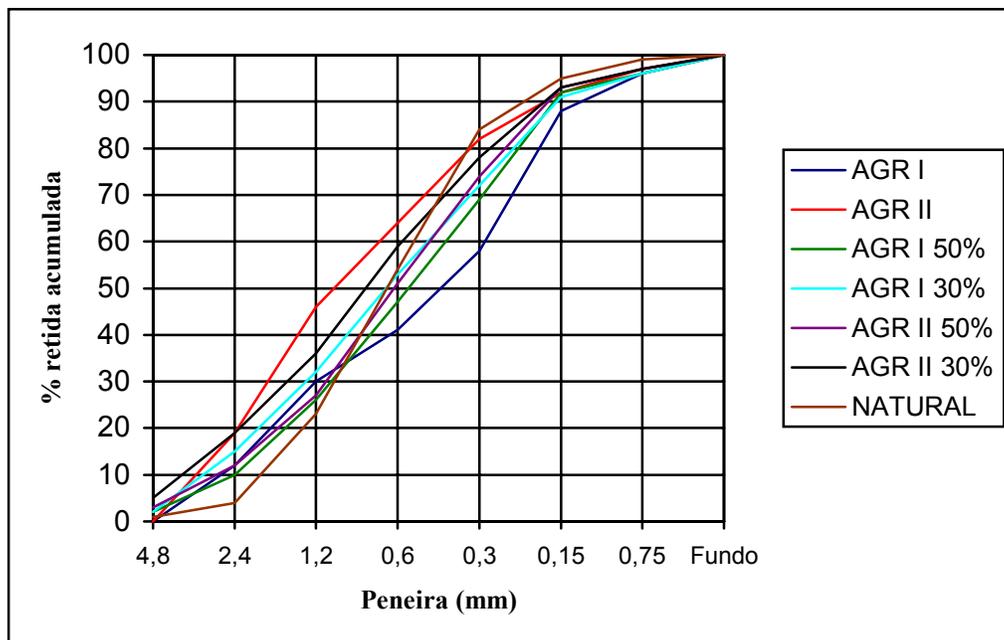


Figura 4.1 – Distribuição granulométrica.

Analisando o gráfico da figura 4.1, observa-se que, há uma variação na porcentagem retida acumulada para as faixas de peneiras compreendidas entre a peneira 2,4 e 0,15. Através das curvas de granulometria é possível obter os coeficientes de: uniformidade (Cun) e os coeficientes de curvatura (Cc). Na tabela 4.1 estão expressos os valores obtidos para estes coeficientes.

Tabela 4.1 – Coeficiente de uniformidade e curvatura

Agregados	Composição	Cun	Cc
AGR I	100%	0,125	2,0
	70%	0,125	0,5
	50%	0,250	1,0
AGR II	100%	0,250	1,0
	70%	0,125	2,0
	50%	0,125	0,5
Natural	100%	0,250	1,0

Conforme tabela 4.1, percebe-se que todos os agregados ficaram com $Cun < 5$ desta forma podem ser classificados como muito uniforme. Agregados com Cc compreendido entre 1 e 3 são classificados como bem graduados, sendo assim os agregados AGR I com 30% de areia do IPT e o AGR II 50% de areia do IPT ficaram com o coeficiente de curvatura (Cc) abaixo de 1,0 não podendo ser classificados como bem graduados, os demais estão na faixa de bem graduados.

Na tabela 4.2, apresenta um resumo das características de cada agregado que foi usado no experimento. A classificação dos agregados foi de acordo com o prescrito na NBR 7217 (1987).

Tabela 4.2 – Resumo das características dos agregados

Características	Agregado						
	Natural	AGR I			AGR II		
		100%	70%	50%	100%	70%	50%
Diâmetro Máximo	4,8	2,4	4,8	4,8	2,40	4,8	4,8
Diâmetro Mínimo	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Módulo de Finura	2,61	2,29	2,65	2,46	3,03	2,90	2,60
Classificação	Areia Média	Areia Média	Areia Média	Areia Média	Areia Grossa	Areia Média	Areia Média

4.1.2. Massa Específica

A tabela 4.3 apresenta os valores médios da massa específica aparente dos agregados utilizados na produção das argamassas. A massa específica foi determinada pelo método do picnômetro.

Tabela 4.3 - Massa específica aparente

Agregado	Composição %	Massa Específica (g/cm ³)
AGR I	100	2,39
	70	2,49
	50	2,53
AGR II	100	2,28
	70	2,54
	50	2,53
NATURAL	100	2,60
IPT	100	2,67

Conforme tabela 4.3 observa-se que, os valores encontrados para as massas específicas do entulho reciclado, ficaram cerca de 10% inferior a massa específica encontrada para o agregado natural. Segundo BAZUCO (1999), isso se deve ao fato, dos agregados reciclados, serem geralmente mais leves que os agregados naturais, basicamente em virtude da camada de argamassa velha, de menor massa específica, que fica aderida aos agregados e com a moagem deste material, esta argamassa passa a fazer parte do agregado, aumentando o teor de finos, isto também pode ser observado, nas tabelas de granulometria, no anexo I e também na porcentagem de material pulverulento.

4.1.3 – Material Pulverulento

Na tabela 4.4 estão expostos os valores do teor de material pulverulento encontrados, para os agregados compostos com 100% de AGR I e AGR II e a areia natural “referência”.

Tabela 4.4 – Teor de material pulverulento.

AGREGADO	MATERIAL PULVERULENTO (%)
AGR I	7,20
AGR II	5,79
NATURAL	1,85

A tabela 4.4 mostra que o teor de material pulverulento para o entulho reciclado é bem superior ao do agregado natural e a quantidade maior está presente no agregado proveniente do entulho onde predomina o material cerâmico. O material pulverulento encontrado na areia natural, não tem a mesma origem do material pulverulento encontrado nos AGR I e AGR II, para os AGRs o teor de material pulverulento não trouxe prejuízo para as argamassas.

4.1.4 – Massa Unitária

Na figura 4.2 estão representados, os valores obtidos no ensaio para determinação da massa unitária, dos agregados utilizados no estudo.

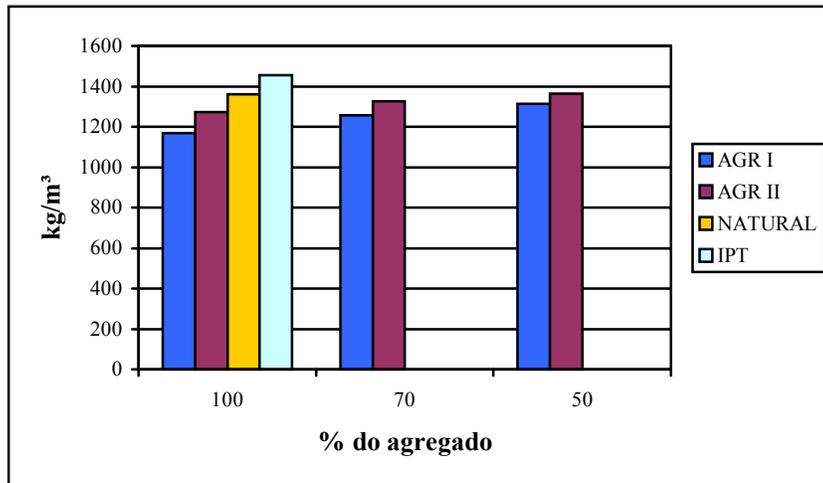


Figura 4.2 – Massa unitária dos agregados em kg/m³

O gráfico da figura 4.2 mostra as massas unitárias e sua variação conforme substituição, analisando este gráfico, pode-se observar, à medida que o entulho foi sendo substituído por areia do IPT, que possui massa unitária maior, a massa unitária do entulho foi aumentando. Para o AGR I mesmo com 50% de substituição a massa unitária ficou abaixo da massa unitária da areia natural, já para o AGR II com 50% de substituição a massa unitária ficou igual à massa unitária da areia natural.

A menor massa unitária, foi obtida para o entulho composto de 100% de material cerâmico, o qual é mais leve que os demais e também possui uma quantidade maior de finos.

4.1.5 – Características Química dos Agregados

A tabela 4.5 mostra os valores obtidos com os agregados submetidos ao ensaio de lixiviação a fim de determinar a presença de contaminantes acima da concentração estabelecida para a potabilidade da água.

Tabela 4.5 – Ensaio de Lixiviação e Solubilização

Elemento	LIXIVIAÇÃO		SOLUBILIZAÇÃO	
	AGR I	AGR II	AGR I	AGR II
Níquel	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
Fluoreto	0,512 ppm	0,725 ppm	0,411 ppm	0,280ppm
Cloreto	3,04 ppm	1,86 ppm	13,7 ppm	7,29 ppm
Cádmio	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
Ferro	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
Sulfato	90,51ppm	45,82 ppm	189,9 ppm	42,67 ppm
Zinco	0,02 ppm	0,01 ppm	Não detectado	Não detectado
Potássio	24,5 ppm	18,3 ppm	52,5 ppm	63,0 ppm
Amônia	Não detectado	Não detectado	1,35 ppm	1,72 ppm
Chumbo	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
Cromo Total	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
Alumínio	Não detectado	Não detectado	1,43 ppm	3,85 ppm

A tabela 4.5 mostra que, os agregados constituídos tanto por AGR I como AGR II podem ser classificados como resíduos que pertencem a Classe III, isto é, resíduos inertes.

4.1.6 – Absorção

Na figura 4.3 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de absorção, com os agregados reciclados AGR I e AGR II bem como para a areia natural, para o tempo de vinte quatro horas de imersão em água.

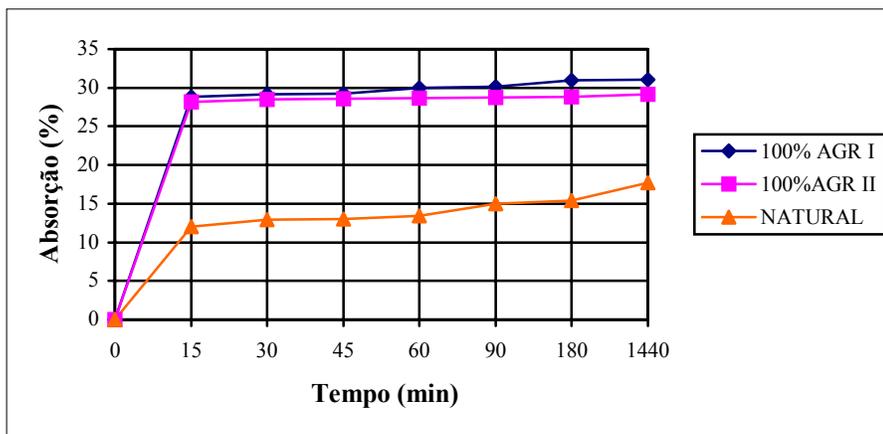


Figura 4.3 – Absorção de água dos agregados reciclados e da areia natural.

De acordo com o gráfico da figura 4.3, observa-se que os agregados apresentam maior absorção nos primeiros minutos em que ficam em contato com água. Nos primeiros 15 minutos a absorção para os agregados reciclados chega a 92.60% do valor atingido com 24 horas de imersão. Para a areia natural a absorção nos primeiros 15 minutos chega a 67,8% do valor obtidos em 24 horas. Os agregados reciclados absorveram quase 75% a mais de água, quando comparados com a areia natural. Devido à alta absorção inicial dos agregados reciclados de entulho, optou-se por saturar com águas os agregados antes de produzir as argamassas.

4.2 – Argamassa no Estado Fresco

4.2.1 – Produção da Argamassa

As argamassas foram confeccionadas através da mistura dos agregados e aglomerantes, devidamente pesados conforme relação apresentada no item 3.5.2. Para realização do ensaio de resistência a compressão, o volume produzido era de aproximadamente dois litros.

O preparo das argamassas teve início, com a saturação do agregado, isto é, o agregado permanecia submerso em água por vinte quatro horas, decorrido as vinte quatro horas, a água era retirada, determinado-se a umidade pelo processo da frigideira, corrigia-se o peso do agregado, pois a proporção dos traços era para agregado seco, em seguida o

agregado é misturado com a cal hidratada e água, utilizando-se a argamassadeira, durante 5 minutos. A argamassa de cal permanece repousando em bandeja coberta por 24 horas.

Após o repouso a argamassa de cal era levada a argamassadeira e misturada por mais 2 minutos, adiciona-se o cimento e mistura-se por mais 3 minutos. Acrescentando água até obter argamassas com índice de consistência de 230 ± 10 mm.

Foram moldados 9 (nove) corpos de prova para cada argamassa produzida, para serem rompidos 3 corpos de prova em cada idade. As tabelas 4.6 e 4.7 mostram um resumo das argamassas produzidas. As tabelas com as quantidades de material usados na produção das argamassas estão no anexo II.

Tabela 4.6 – Resumo dos resultados para traço 1:1:6

Componente		Traço 1 : 1 : 6				Consistência (mm)	Densidade g/cm ³	Teor de Ar Incorporado %	Fator	
		Cimento (g)	Cal (g)	Agregado (g)	Água (g)				a/c	a/cc
AGR I	100%	511,60	311,33	2977,06	1180,79	232,30	1,83	1	2,31	1,43
	70%	483,79	294,41	3021,80	985,72	240,00	1,87	2	2,04	1,27
	50%	466,87	284,12	3049,01	918,21	234,10	1,94	2	1,97	1,22
AGR II	100%	479,01	291,50	3029,49	1041,58	239,00	1,87	1	2,17	1,35
	70%	462,94	281,72	3055,34	906,41	227,90	2,00	2	1,96	1,22
	50%	452,81	275,56	3071,63	850,35	235,00	2,01	2	1,88	1,17
NATURAL		453,79	276,15	3070,05	809,14	230,4	2,04	2	1,78	1,11
IPT		429,34	261,27	3109,39	760,80	234,6	2,06	3	1,77	1,10

Tabela 4.7– Resumo dos resultados para traço 1:2:9

Componente		Traço 1 : 2 : 9				Consistência (mm)	Densidade g/cm ³	Teor de Ar Incorporado %	Fator	
		Cimento (g)	Cal (g)	Agregado (g)	Água (g)				a/c	a/cc
AGR I	100%	347,17	422,53	3030,30	1225,05	234,1	1,81	1	3,53	1,59
	70%	327,98	399,18	3072,84	1002,36	233,6	1,86	2	3,06	1,38
	50%	316,32	384,99	3098,69	928,42	228,0	1,89	3	2,94	1,32
AGR II	100%	324,68	395,16	3080,16	1157,43	230,4	1,83	2	3,56	1,61
	70%	313,61	381,70	3104,69	1005,11	230,2	1,95	3	3,20	1,45
	50%	306,64	373,22	3120,14	892,61	235,0	1,96	3	2,91	1,31
NATURAL		307,32	374,03	3118,65	764,00	234,6	2,00	5	2,49	1,12
IPT		290,51	353,58	3155,92	701,92	235,5	1,95	4	2,42	1,09

As tabelas 4.6 e 4.7 mostram que, as argamassas com maior consumo de água, foram as produzidas com agregado composto com 100% de material cerâmico (AGR I) seguida pelo agregado composto com 100% de material contendo resto de concreto, contra-piso e argamassa endurecida (AGR II).

Pode-se observar também que o consumo de cimento diminui a medida que o entulho foi sendo substituído pela areia do IPT.

Com os dados da tabela 4.6 e 4.7 foram confeccionados os gráficos das densidades de massas. As figuras 4.4 e 4.5, mostram a variação da densidade das argamassas quando o entulho reciclado foi sendo substituído pela areia do IPT.

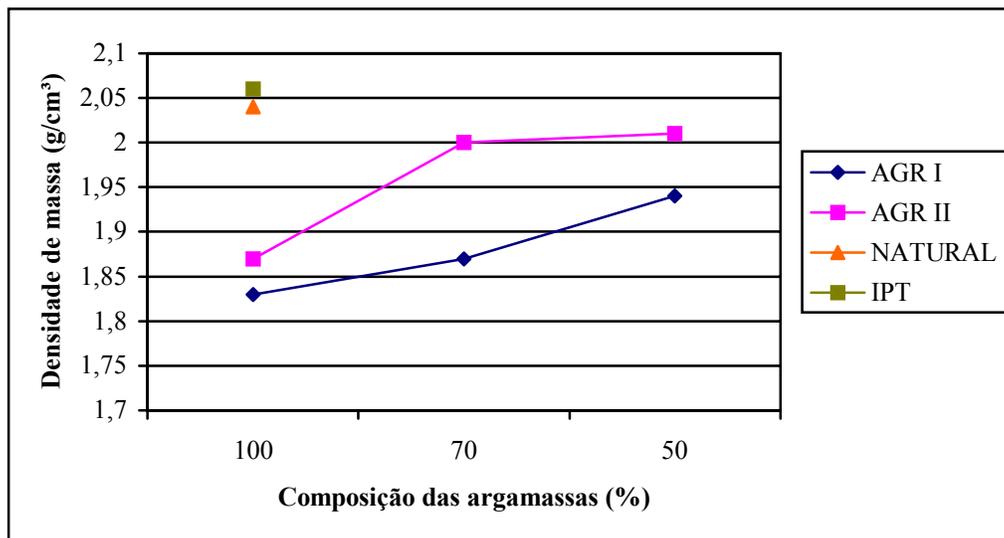


Figura 4.4 – Densidade de massa das argamassas – traço 1:1:6

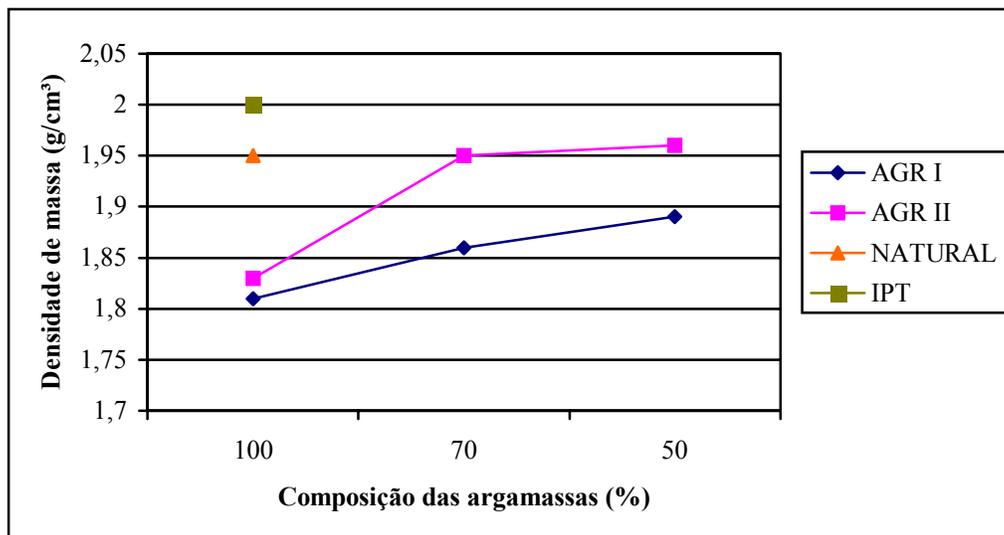


Figura 4.5 – Densidade de massa das argamassas – traço 1:2:9

Nas figuras 4.4 e 4.5 observa-se que, a densidade de massa, das argamassas produzida com, AGR I e AGR II aumentou, quando foram sendo substituídos pela areia do IPT. As argamassas produzidas com areia natural apresentaram a maior densidade de massa.

4.2.2 – Finos Totais Plastificantes

Através das tabelas de granulometria, de cada agregado e das quantidades de materiais secos, utilizados para produção das diferentes argamassas, foi determinado o teor de finos total plastificantes, cujos valores encontrados podem ser observados na tabela 4.9. Estas porcentagens foram obtidas somando a quantidade de agregado passante na peneira de abertura de malha # 0,075mm com a quantidade de cimento e cal e este resultado dividido pela quantidade total de materiais secos usados para produção de cada argamassa.

Tabela 4.8 – Teor de finos plastificantes

Componentes		Teor de finos (%)	
		Traço	
		1 : 1 : 6	1 : 2 : 9
AGR. I	100%	23,9	22,6
	70%	22,7	21,5
	50%	22	20,7
AGR. II	100%	22,2	20,9
	70%	21,5	20,3
	50%	21	19,8
NATURAL		18,8	19,7

Verificando a tabela 4.8 pode-se observar que todas as argamassas podem ser classificadas como argamassas médias, pois os teores de finos encontram-se na faixa de 15 a 25%. As argamassas produzidas com 100% de entulho foram as que, apresentaram o maior índice de teor de finos plastificantes. Quanto maior o teor de finos melhor a trabalhabilidade das argamassas, isto foi verificado quando o mestre pedreiro aplicou as argamassas em parede de alvenaria, e segundo ele as argamassas produzidas com 100% de entulho foram melhores para aplicar, e quando comparadas às argamassas produzidas com 100% de AGR I e 100% de AGR II a melhor de aplicar segundo o pedreiro foi aquela produzida com AGR I.

4.2.3 - Retenção de Água e de Consistência

Os resultados obtidos no ensaio de retenção de água podem ser observados na tabela 4.9. A figura 4.6 mostra o ensaio de retenção de água.

Tabela 4.9 – Retenção de água

Agregado	Composição	Retenção de água%	
		Traço	
		1 : 1 : 6	1 : 2 : 9
AGR I	100%	98	99
	70%	97	96
	50%	97	97
AGR II	100%	97	97
	70%	96	97
	50%	96	96

Analisando a tabela 4.9 pode-se verificar que as argamassas tiveram comportamentos padrão quanto à capacidade de retenção de água, a diferença entre o índice maior e o menor chegou a 2%. Todas as argamassas produzidas entulho reciclado apresentaram uma boa capacidade de retenção, superior a 75% fixado pela ASTM 270.



Figura 4.6 – Ensaio de retenção de água

4.2.4 – Exsudação

A tabela 4.10 apresenta um resumo dos valores obtidos para o ensaio de exsudação.

Tabela 4.10 - Exsudação

Agregado	Composição (%)	Exsudação (%)	
		Traço	
		1:1:6	1:2:9
AGR I	100	2,0	3,6
	70	3,9	4,7
	50	4,7	5,0
AGR II	100	3,0	3,2
	70	3,8	4,0
	50	4,8	5,6
NATURAL	100	5,1	5,8

A tabela 4.10 mostra que as argamassas produzidas com AGR I perderam menos água que as argamassas produzidas com o AGR II, em ambos os traços, pode-se observar também que à medida que o entulho reciclado foi sendo substituído pela areia do IPT a quantidade de água perdida foi aumentando.

4.2.5 – Perda de Trabalhabilidade

Para realização deste ensaio, a argamassa foi preparada conforme procedimento apresentado no item 3.5.2, com consistência inicial de 230 ± 10 mm. Sendo que a cada 15 minutos era verificado na nessa “Flow Table” o valor da consistência, antes d cada verificação a argamassa era remisturada manualmente. Os gráficos das figuras 4.7 e 4.8 mostram os valores da perda de trabalhabilidade obtidos para as argamassas produzidas com entulho reciclado e com agregado natural. No anexo II pode-se observar os pesos dos materiais e as propriedades das argamassas produzidas para realização deste ensaio.

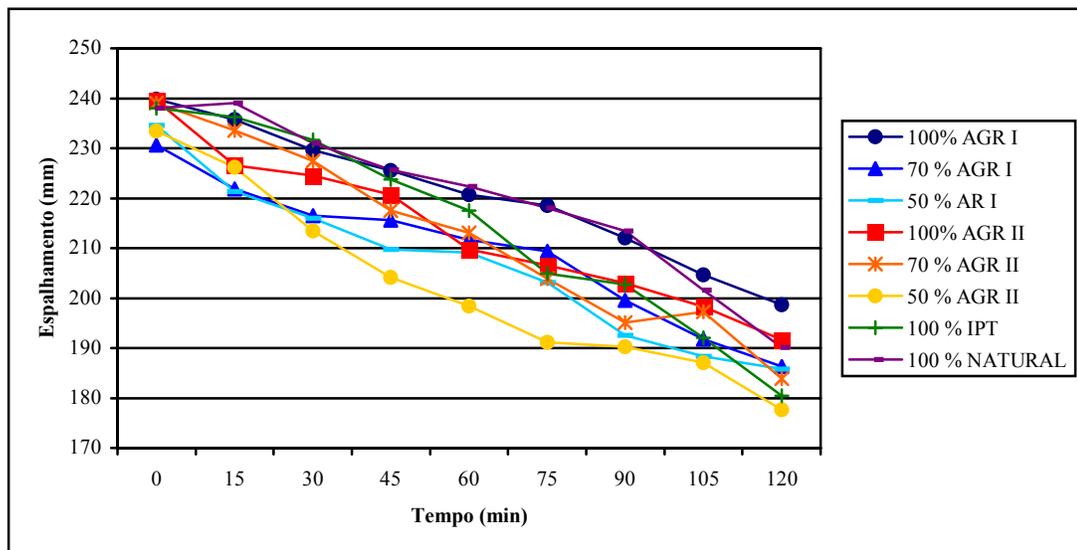


Figura 4.7 – Perda de trabalhabilidade – Traço 1:1:6

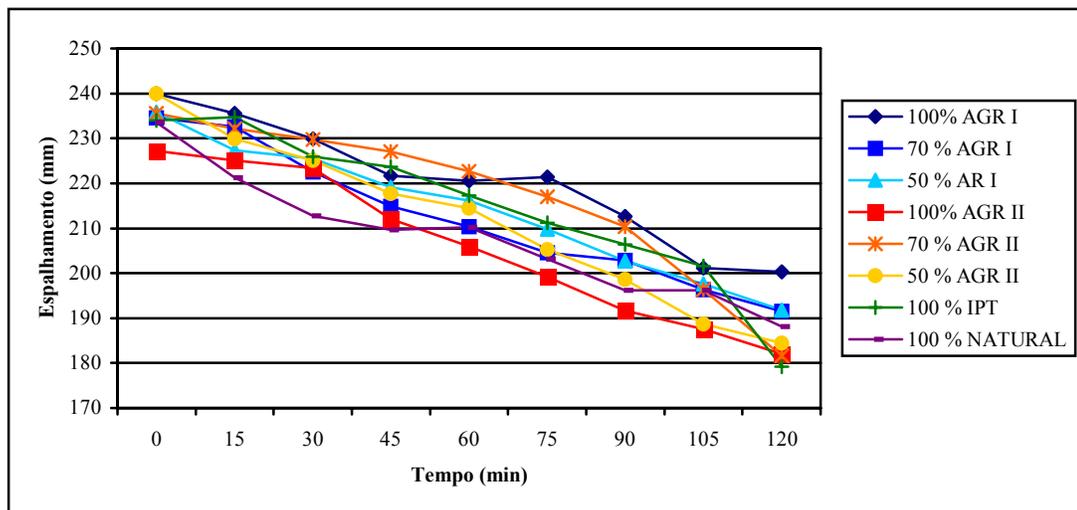


Figura 4.8 – Perda de trabalhabilidade - traço 1:2:9

Nas figuras 4.7 e 4.8 podemos observar que, as argamassas tiveram comportamento parecido, quanto à perda de trabalhabilidade, para o tempo verificado de 2 horas. As argamassas produzidas com AGR I e AGR II, nos traços 1:1:6 e 1:2:9 apresentaram aumento percentual na perda na trabalhabilidade, isto pode ter ocorrido devido ao fato dos AGR I e AGR II apresentarem maior teor de finos plastificantes. As menores perdas foram verificadas para as argamassas produzidas com traço 1:2:9. A menor perda de trabalhabilidade para ambos os traço foi verificado para as argamassas produzidas com 100% de AGR I e a maior, para as argamassas produzidas com 100% de areia do IPT, a diferença percentual verificada entre a maior e a menor foi de 7% para os dois traços.

4.3 – Ensaios na Argamassa no Estado Endurecido

4.3.1 – Resistência à Compressão

A resistência à compressão será determinada de acordo com o prescrito na NBR 13279(1995). Os valores médios obtidos para cada argamassa nos traços 1 : 1 : 6 e 1 : 2 : 9 podem ser observados nas tabelas 4.11 e 4.12. As tabelas com as composições dos traços usados para o ensaio de resistência podem ser verificadas no anexo II, bem como todos os valores obtidos neste ensaio.

Tabela 4.11 – Resistência à compressão para traço 1:1:6

Componente		Traço 1 : 1 : 6				Consistência (mm)	Resistência à Compressão (MPa)		
		Cimento (g)	Cal (g)	Agregado (g)	Água (g)		7 dias	14 dias	28 dias
AGR I	100%	511,60	311,33	2977,06	1180,79	232,30	6,17	7,71	9,42
	70%	483,79	294,41	3021,8	982,72	240,00	4,84	6,74	8,44
	50%	466,87	284,12	3049,01	918,21	238,10	5,31	6,35	7,66
AGR II	100%	479,01	291,50	3029,49	1041,58	239,00	3,50	4,17	4,69
	70%	462,94	281,72	3055,34	906,41	227,90	4,29	5,26	6,38
	50%	452,81	275,56	3071,63	850,35	235,00	3,65	4,15	4,74
NATURAL		453,79	276,15	3070,05	809,14	230,40	1,34	1,58	2,45
IPT		429,34	261,27	3109,39	760,80	234,60	3,69	4,23	5,29

De acordo com a tabela 4.11 pode-se observar que as argamassas produzidas com 100% de AGR I a resistência à compressão aos 7 dias é de aproximadamente 2,7 vezes maior que as resistências alcançadas aos 28 dias pelas argamassas produzidas com areia natural. E nas argamassas produzidas com 100% de AGR II a resistência à compressão ao 7 dias foi de 1,6 vezes maior que as resistências à compressão verificadas aos 28 dias das argamassas produzidas com areia natural. Outra observação verificada é que as argamassas produzidas com AGR I e suas composições obtiveram um incremento maior em suas resistências dos 7 dias para os 28 dias. Conforme tabela apresentada no anexo II, com todos os valores das resistências foi possível fazer uma análise estatística de onde se observa que para todas as argamassas produzidas o desvio padrão ficou abaixo de 11%, exceto para duas amostras, sendo que, o maior desvio padrão foi verificado para a argamassa produzida com 50 de entulho e 50% de areia natural ao 28 dias, este desvio chegou a 13%.

Tabela 4.12 – Resistência à compressão para traço 1:2:9

Componente		Traço 1 : 2 : 9				Consis- tência (mm)	Resistência à Compressão (MPa)		
		Cimento (g)	Cal (g)	Agregado (g)	Água (g)		7 dias	14 dias	28 dias
AGR I	100%	347,17	422,53	3030,30	1225,05	234,1	2,17	3,32	4,88
	70%	327,98	399,18	3072,84	1002,36	233,6	2,12	3,07	4,06
	50%	316,32	384,99	3098,69	928,42	228,0	1,90	2,63	3,47
AGR II	100%	324,68	395,16	3080,16	1157,43	230,4	1,41	1,76	2,16
	70%	313,61	381,70	3104,69	1005,11	230,2	1,27	1,68	2,18
	50%	306,64	373,22	3120,14	892,61	235,0	1,18	1,96	2,25
NATURAL		307,32	374,03	3118,65	764,00	234,6	1,60	1,88	2,43
IPT		290,51	353,58	3155,92	701,92	235,5	1,49	1,69	2,15

A tabela mostrada no anexo II com todos os valores das resistências dos corpos de prova ensaiados, através da análise estatística é possível verificar-se que o desvio padrão ficou abaixo de 11%, o que significa boa uniformidade entre os corpos de prova.

4.3.2 - Evolução da Resistência à Compressão

4.3.2.1 – Evolução da Resistência à Compressão Traço 1:1:6

As figuras 4.9, 4.10 e 4.11 mostram os gráficos onde pode-se verificar o crescimento da resistência à compressão das argamassas produzidas com traço 1: 1: 6.

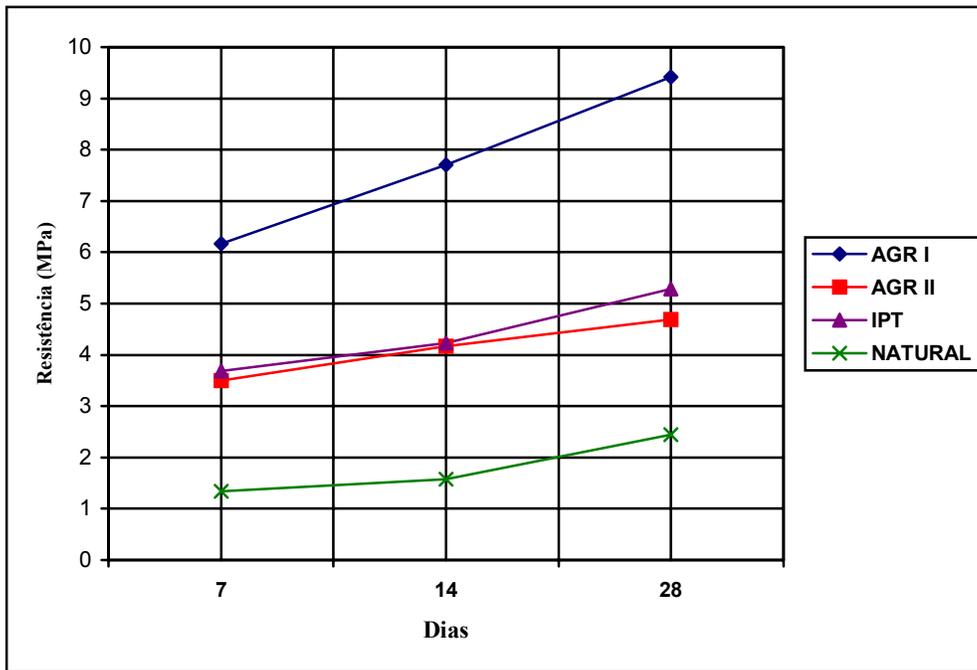


Figura 4.9 – Resistência à compressão – 100% entulho – Traço 1:1:6

O gráfico da figura 4.9 mostra que, as resistências alcançadas pelo AGR I, foram bem superiores as alcançadas pelas argamassas produzidas com: AGR II, areia natural e areia do IPT. Observa-se também que a resistência do AGR I é quase duas vezes maior, que a do AGR II e quando comparadas com o agregado natural, as resistências ficaram próximas de quatro vezes maior.

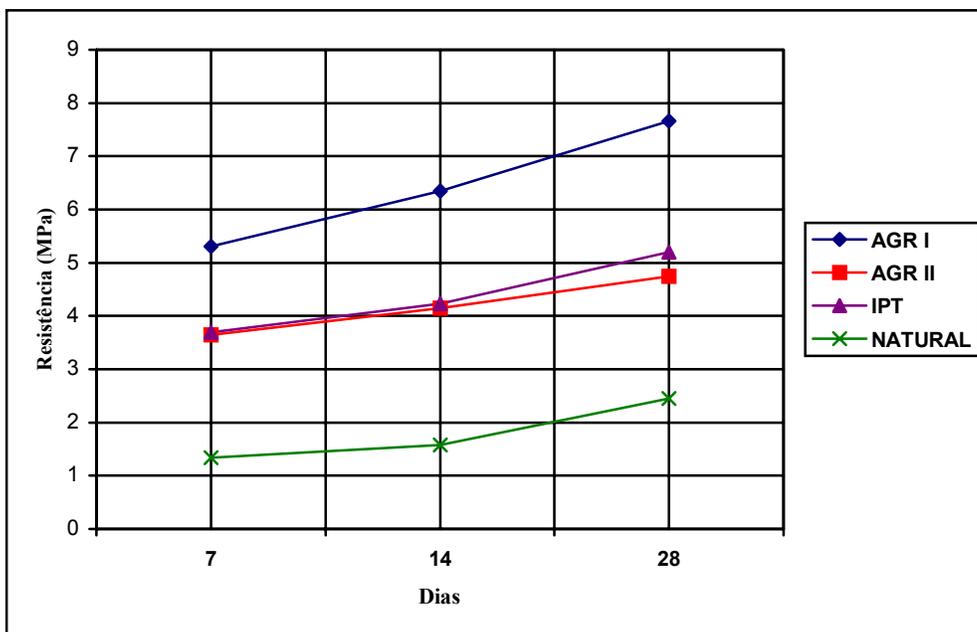


Figura 4.10 – Resistência à compressão – 50% entulho 50% IPT – Traço 1:1:6

De acordo com a figura 4.10 pode-se observar a superioridade da resistência da argamassa produzida com o AGR I, a resistência desta argamassa é em geral 40% superior as argamassas produzidas com o AGR II. As argamassas produzidas com 50% de AGR I, aos 28 dias obtiveram resistências 3,4 vezes maior que as argamassas produzidas com areia natural, já as argamassas produzidas com 50% de ARG II, a resistência aos 28 dias, foi cerca de duas vezes maior, quando comparada com as argamassas produzidas com areia natural.

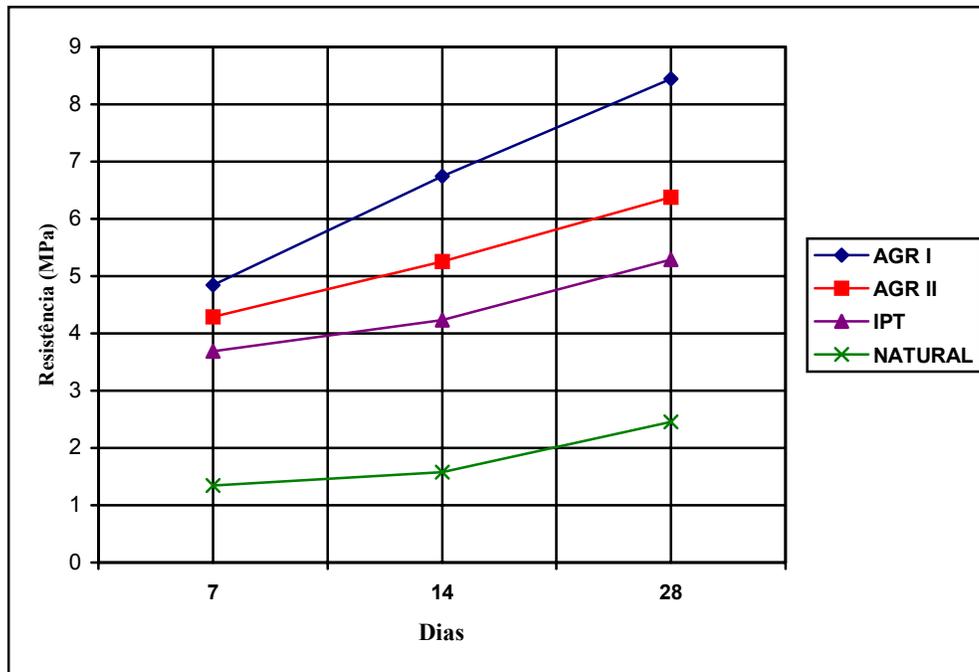


Figura 4.11 – Resistência à compressão – 70% entulho 30% IPT – traço 1:1:6

O gráfico da figura 4.11 mostra que, também as argamassas produzidas com 70% de entulho e 30% de areia do IPT, continuam sendo mais resistentes que as demais. Quando se compara a resistência aos 28 dias, observa-se que a resistência do AGR I, chega a ser quase quatro vezes maior, que as argamassas produzidas com areia natural. As argamassas produzidas com 70% de AGR II e 30% de areia do IPT, aos 28 dias alcançaram resistências quase três vezes maiores, que as argamassas produzidas com areia natural. Em relação ao AGR II e a areia do IPT a resistência do AGR I é cerca de 30% superior.

4.3.2.2 – Evolução da Resistência à Compressão Traço 1:2:9

Nas figuras 4.12, 4.13 e 4.14 pode-se observar a evolução da resistência à compressão das argamassas produzidas no traço 1:2:9 nas composições 100% entulho; 70% entulho e 30% areia do IPT e 50% entulho e 50% areia do IPT.

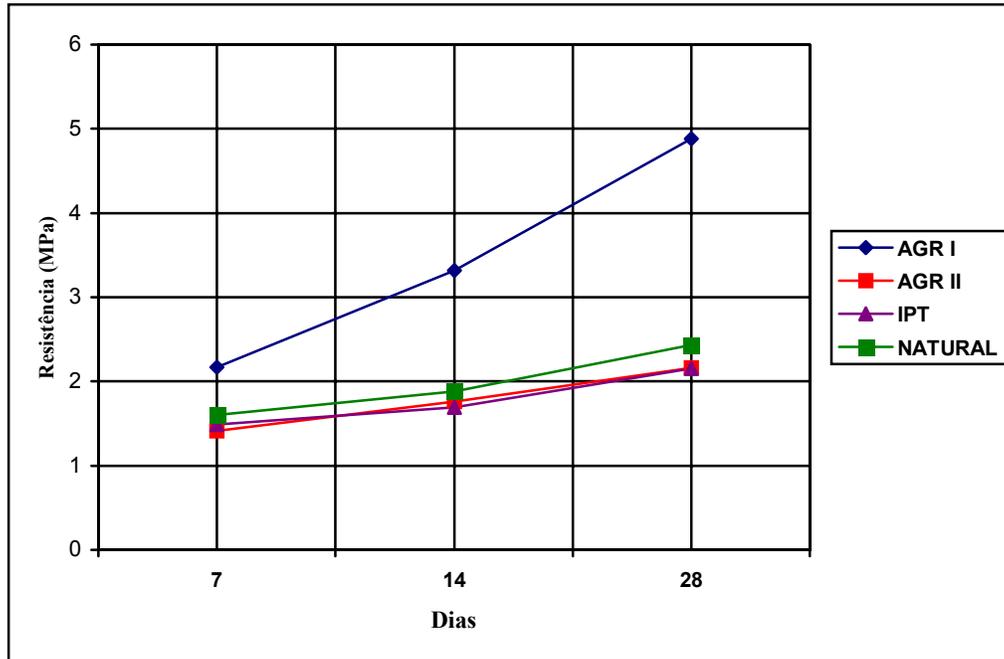


Figura 4.12 – Resistência à compressão – 100% entulho – Traço 1:2:9

Nas argamassas produzidas com traço 1:2:9 e com 100% de entulho, as que apresentaram as maiores resistências foram, as produzidas com o AGR I e esta também apresentou um ganho maior na resistência com a idade, conforme podemos observar no gráfico da figura 4.12. Aos 7 dias a resistência do AGR I é aproximadamente 40% maior que as argamassas produzidas com o AGR II, a areia do IPT e a areia natural, já aos 28 dias, a diferença passa para próximo dos 100%. Este gráfico mostra que praticamente não há diferença na resistência à compressão das argamassas produzidas com AGR II, Areia do IPT e a areia natural.

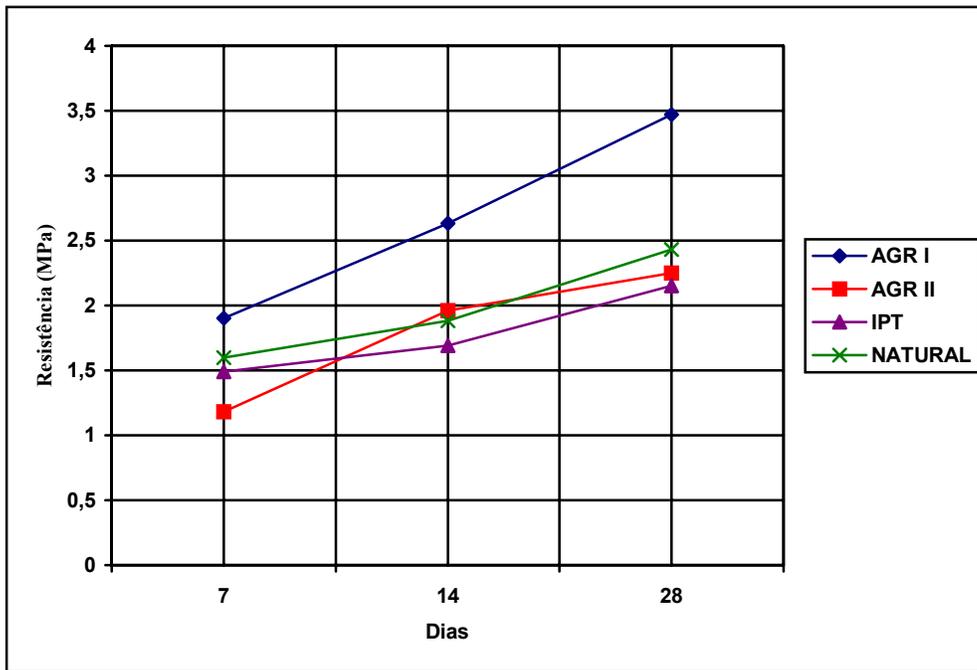


Figura 4.13 – Resistência e compressão- 50% entulho 50% IPT – Traço 1:2:9

As argamassas produzidas com 50% de substituição apresentaram comportamento parecido, aos obtidos com as argamassas produzidas com, agregados sem substituição. Aos 7 dias a resistência do AGR I é aproximadamente 20% maior que as demais, aos 28 dias a diferença aumenta para cerca de 40% .

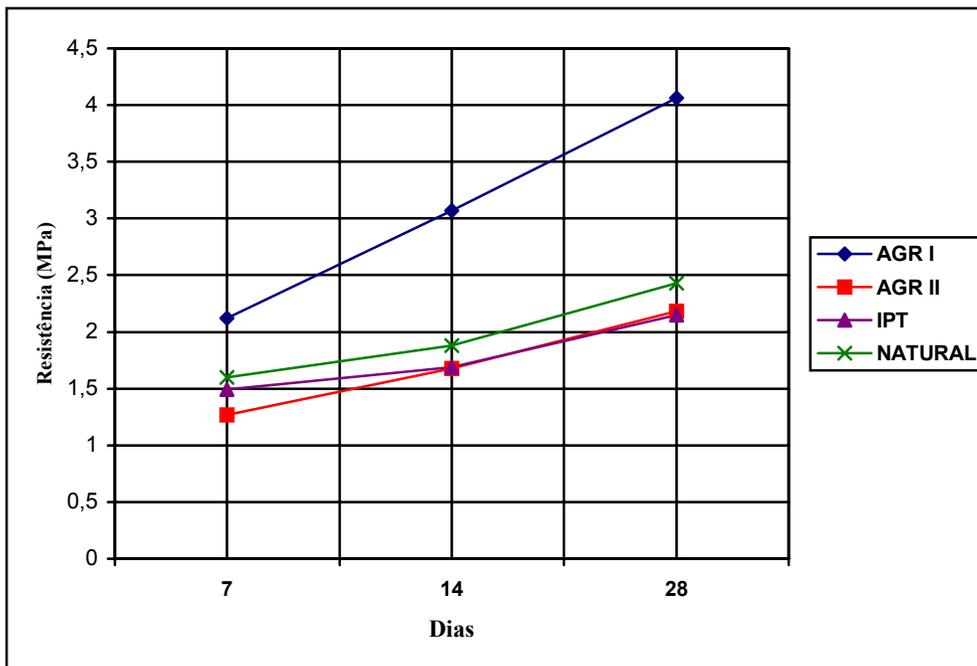


Figura 4.14 – Resistência à compressão - 70% entulho 30% IPT – Traço 1:2:9

Observando o gráfico da figura 4.14 nota-se uma semelhança com o gráfico da figura 4.12, argamassas produzidas com agregados sem substituição e a argamassa produzida com o AGR I ganharam mais resistência com a idade, as argamassas produzidas com os demais agregados tiveram praticamente o mesmo comportamento.

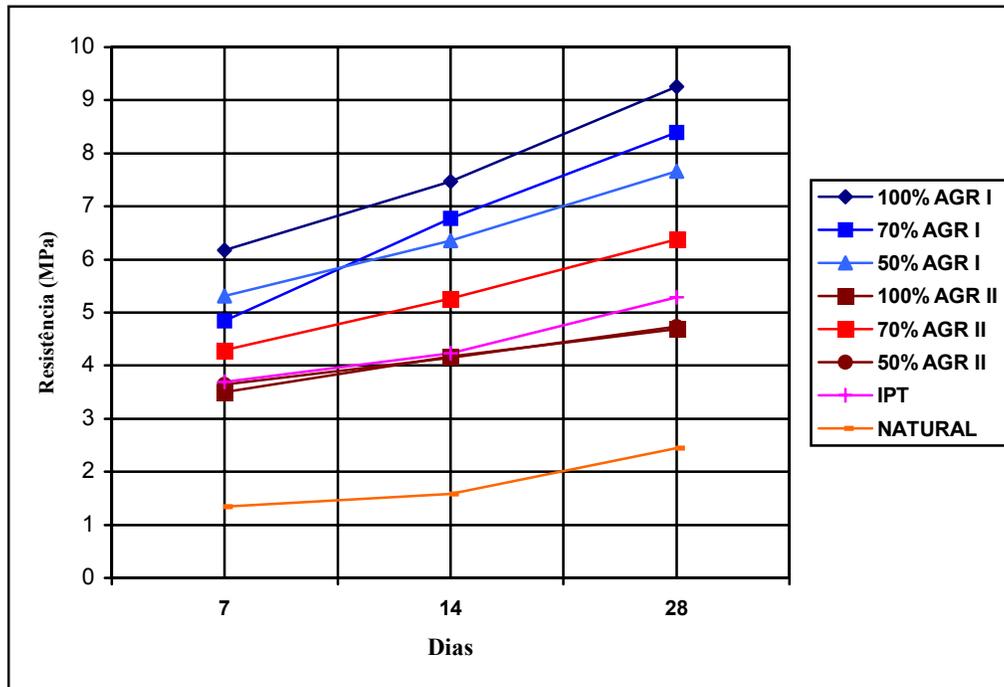


Figura 4.15 – Resistência à compressão do AGR I e AGR II com e sem substituição – Traço 1:1:6.

O gráfico da figura 4.15 mostra que as argamassas produzidas com o entulho proveniente de material cerâmico (AGR I) sem composição com a areia do IPT foram as alcançaram as maiores resistências, para o AGR I a medida que vai-se substituindo o entulho pela areia do IPT a resistência da argamassa diminui exceto para as argamassas produzidas com 50% de substituição aos 7 dias. Já as argamassas produzidas com o AGR II as que alcançaram maior resistência foram as produzidas com 70% de entulho e 30% de areia IPT, as argamassas produzidas com 100% de AGR II e as produzidas com 50% de AGR II tiveram o mesmo comportamento. Se compararmos as argamassas produzidas com 100% de AGR I e as produzidas com a areia natural observa-se que há uma diferença bastante grande nas suas resistências aos 7 dias, o AGR I alcançou uma resistência 4,6 vezes maior e ao 28 dias a resistência do AGR I foi de 4,2 vezes maior que a areia natural.

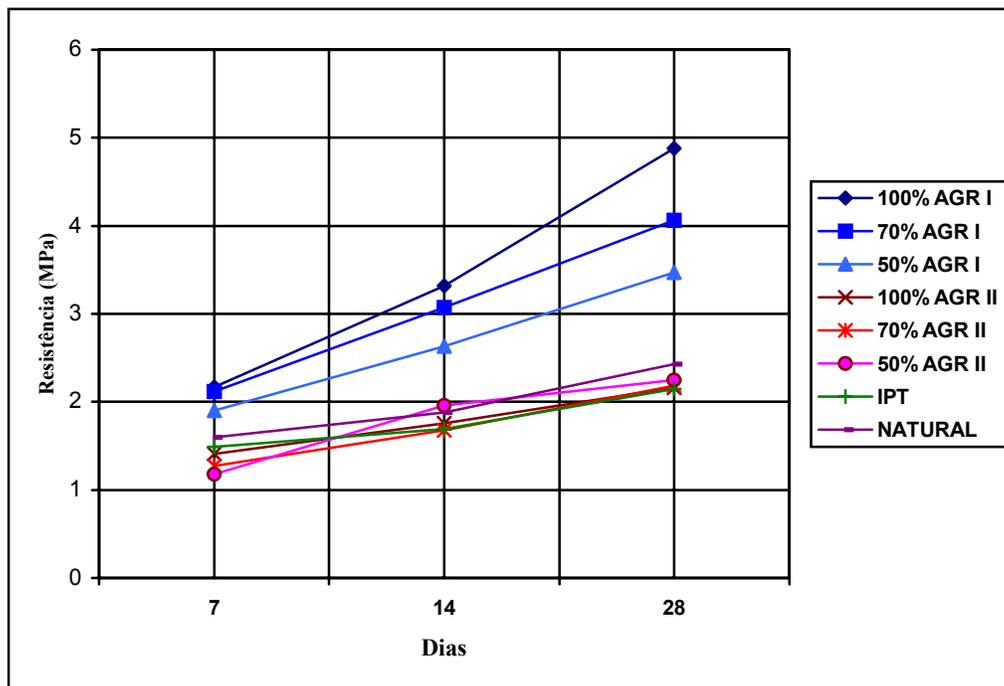


Figura 4.16 - Resistência à compressão do AGR I e AGR II com e sem substituição – Traço 1:2:9.

Através do gráfico da figura 4.16 pode-se observar que as argamassas produzidas com o AGR I no traço 1:2:9 tiveram o mesmo comportamento que as argamassas produzidas com o AGR I traço 1:1:6, as demais argamassas tiveram comportamentos bem parecidos ou seja, quase não teve variação das suas resistências a diferença mais significativa deste traço para o traço 1:1:6 é que as argamassas produzidas com a areia natural tiveram uma resistência maior que as demais.

Os gráficos das figuras 4.15 e 4.16 mostram ainda que, além das argamassas produzidas com entulho reciclado apresentarem maiores resistências a compressão as argamassas produzidas com AGR I, apresentam uma tendência em continuar ganhando resistência, após os 28 dias. Três hipóteses são levantadas para tentar explicar esses resultados. A primeira hipótese diz respeito a maior presença de material fino total plastificantes, e estes finos, além de melhorar a trabalhabilidade das argamassas, ocupa os espaços vazios deixados pela evaporação da água e diminui o teor de ar incorporado nessas argamassas, tornando-as mais compactas. A segunda poderia ser conferida a maior porosidade dos agregados, que favorece o contato do hidróxido de cálcio com o gás carbônico, a que acaba acelerando a produção do carbonato de cálcio, com isso

gera resistências maiores. Outra hipótese levantada é conferida à presença de argila calcinada, presente no entulho causando reação pozolânica e isto acaba contribuindo para aumentar a resistência a compressão nas argamassas, principalmente em idades mais avançadas, o que é evidenciado nas figuras 4.15 e 4.16.

4.3.2.3 – Evolução da Resistência à Compressão com Relação às Substituições

Através da tabela 4.11 foram montados os gráficos das figuras 4.17 e 4.18 argamassas produzidas com AGR I e AGR II respectivamente, com traço 1:1:6, onde se verifica a variação da resistência quando o entulho é substituído por areia do IPT.

A seguir serão apresentados gráficos através dos quais podemos verificar o comportamento das resistências das argamassas com relação às substituições.

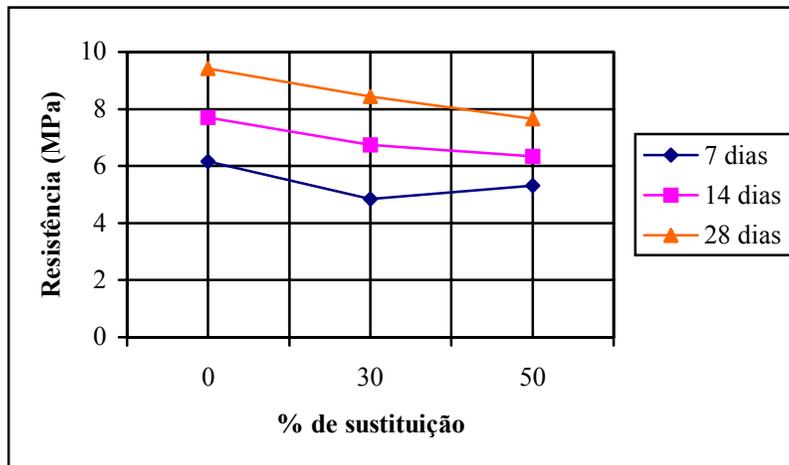


Figura 4.17 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:1:6 – AGR I

Este gráfico mostra que há uma tendência em diminuir a resistência das argamassas quando o entulho é substituído por areia do IPT.

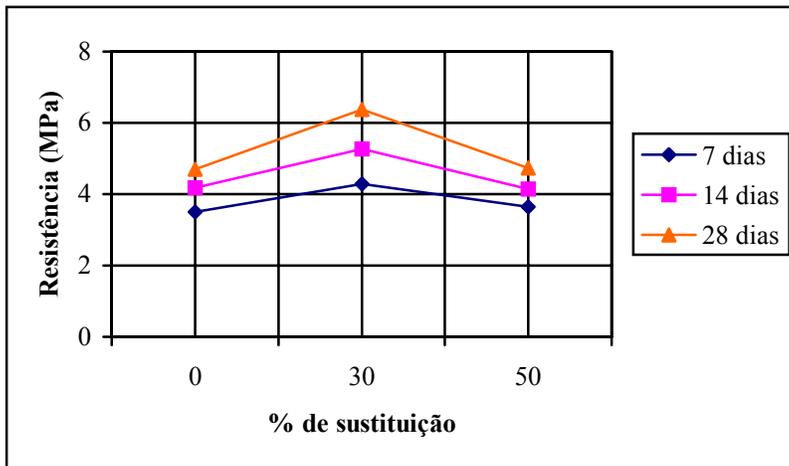


Figura 4.18 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:1:6 – AGR II

O gráfico da figura 4.18 mostra que, as argamassas produzidas com 100% de AGR II, apresentaram resistências iguais às argamassas produzidas com, 50% de AGR II e 50% de areia do IPT, já as argamassas produzidas com trinta por cento de substituição, apresentaram resistências superiores às produzidas com zero e cinquenta por cento de substituição, este comportamento se verifica aos 7, 14 e 28 dias.

Através da tabela 4.12 foi montado os gráficos das figuras 4.19 e 4.20 argamassas produzidas com AGR I e AGR II respectivamente, com traço 1:2:9, onde se verifica a variação da resistência quando o entulho é substituído por areia do IPT.

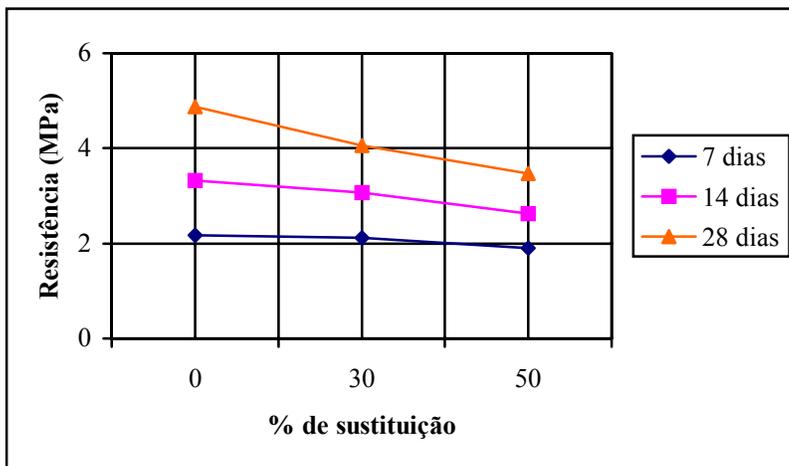


Figura 4.19 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:2:9 – AGR I

Conforme figura 4.19 observa-se que as argamassas apresentam tendência a diminuir a resistência à medida que se aumenta a substituição do entulho por areia do IPT.

Observa-se também que aos 28 dias esta tendência de aumento da resistência é maior que para as demais idades

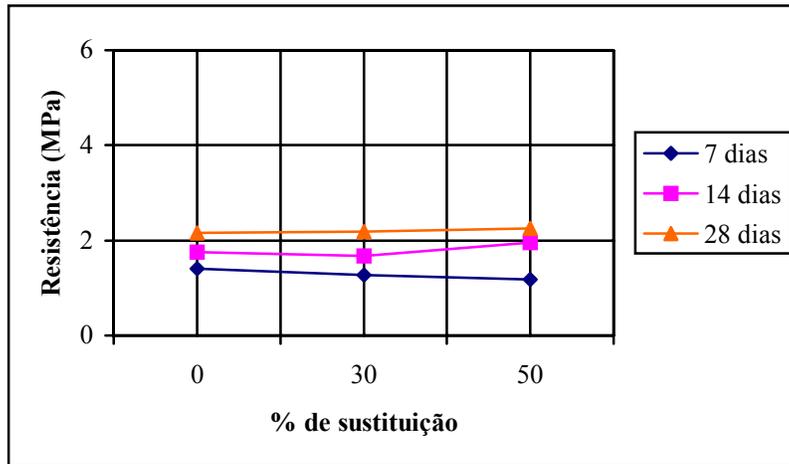


Figura 4.20 – Evolução da resistência em relação à substituição traço 1:2:9 – AGR II

O gráfico da figura 4.20 mostra que para as argamassas produzidas com AGR II com traço 1:2:9 praticamente não houve variação na resistência a medida que o entulho foi substituído por areia do IPT. A alteração maior é verificada aos 7 dias.

4.4 – Consumo de Água

Os gráficos apresentados nas figuras 4.21 e 4.22 mostram a variação do consumo de água, em relação à substituição do entulho por areia do IPT, para os traços de 1:1:6 e 1:2:9 respectivamente. Conforme podemos observar nas figuras 4.21 e 4.22 as argamassas produzidas com 100% de entulho apresentam um consumo maior de água, quando o entulho passa a ser substituído por areia do IPT a quantidade de água, necessária para atingir a consistência de 230 ± 10 mm diminui. O maior consumo de água, se verifica para as argamassas produzidas com 100% de entulho, proveniente de material cerâmico, AGR I, e o menor consumo se verifica para as argamassas produzidas com 100% de areia do IPT, seguida pela areia natural. Também se observa que, a maior variação no consumo de água é para as argamassas produzidas com o agregados provenientes de material cerâmico e também apresentaram maior teor de material pulverulento. Para as argamassas produzidas com o AGR II, onde predomina

material cimentante, esta tendência é mantida, só que a variação no consumo de água foi menor.

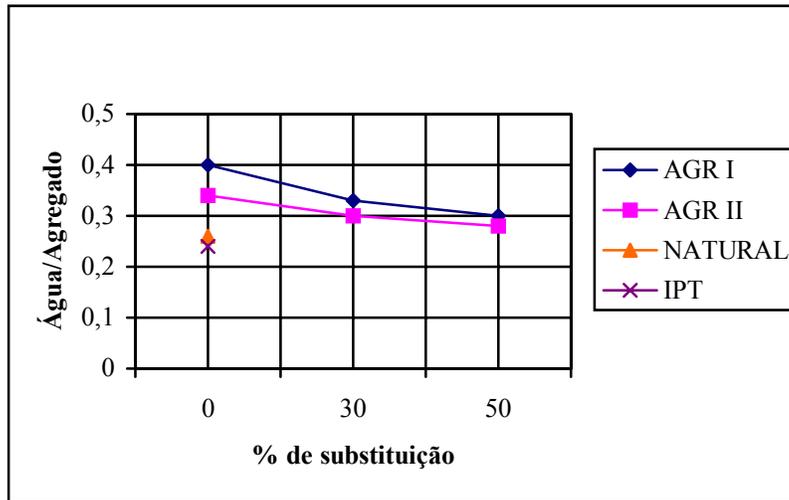


Figura 4.21 - Consumo de água em relação ao agregado seco – Traço 1:1:6

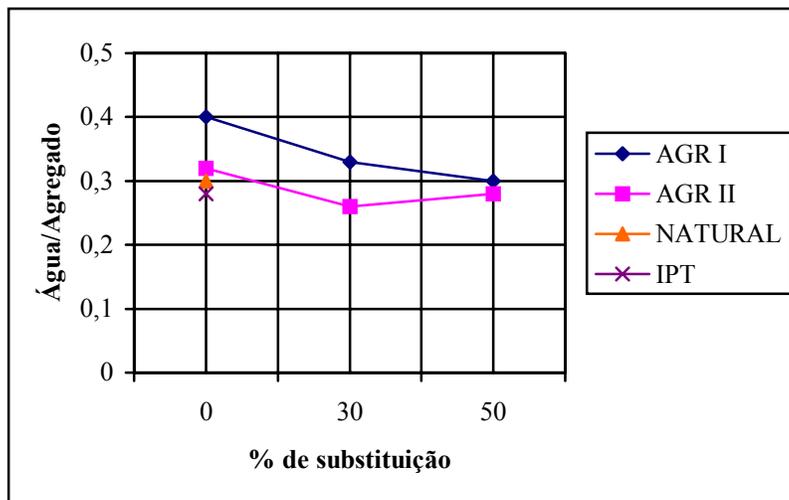


Figura 4.22 - Consumo de água em relação ao agregado seco – Traço 1:2:9

As figuras 4.23 e 4.24 mostram os gráficos com o consumo de água em relação ao total de material seco, inclusive, o cimento e a cal utilizado na produção das argamassas, nos traços 1:1:6 e 1:2:9 respectivamente.

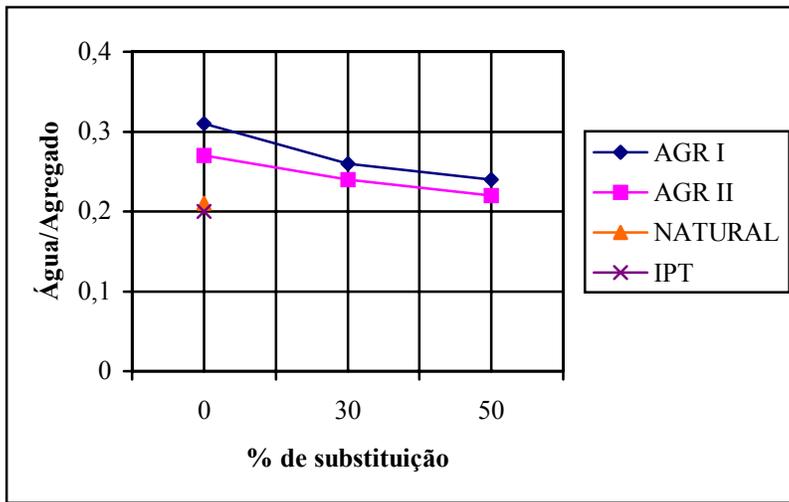


Figura 4.23– Consumo de água em relação ao material seco – Traço 1:1:6

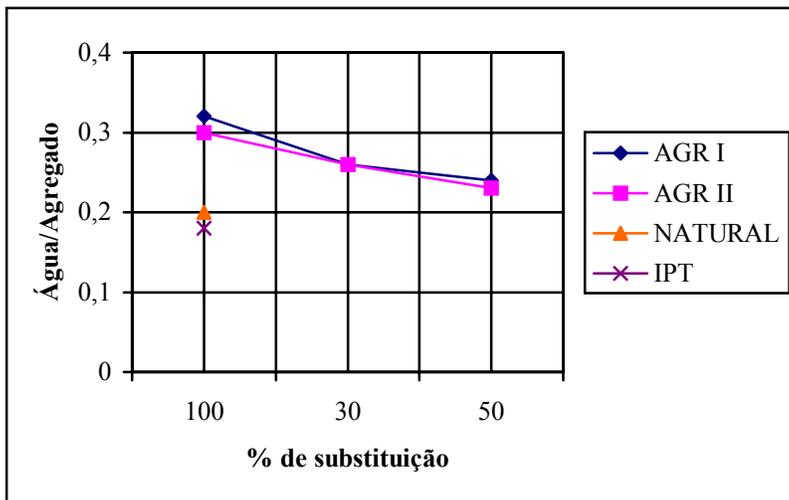


Figura 4.24 - Consumo de água em relação ao material seco – Traço 1:2:9

Observando os gráficos das figuras 4.23 e 4.24 pode-se verificar que há uma diminuição do consumo de água à medida que o entulho é substituído por areia do IPT, o maior consumo de água é observado para as argamassas produzidas com o AGR I e o menor consumo é observado para as argamassas produzidas com 100% de areia do IPT.

O consumo maior de água, nas argamassas produzidas com entulho reciclado, já era esperado, pois, estes agregados apresentaram maior teor de finos totais plastificantes, o que contribui para aumentar a quantidade de água nas argamassas.

4.5 – Consumo de Cimento e Custos das Argamassas

A seguir serão apresentados estudos comparativos das argamassas produzidas com os agregados utilizados nesta pesquisa, quanto ao consumo de cimento e quanto ao custo de cada argamassa.

Partindo-se das tabelas 4.11 e 4.12 que mostram os pesos dos materiais utilizados para produzir as argamassas nos traços 1:1:6 e 1:2:9, respectivamente, os valores destas tabelas foram utilizados para compor as tabelas 4.14 e 4.15 traço 1:1:6 e 1:2:9, respectivamente, que mostram o consumo de material para produzir 1,0 m³ de argamassa. Considerando os preços mostrados na tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Preço dos materiais

Material	Custo R\$/Kg
Cimento	0,22
Cal	0,125
Entulho	0,006
Areia natural	0,013
Areia do IPT	0,013
Água	0,001

Tabela 4.14 – Peso dos componentes para produzir 1 m³ de argamassa traço 1:1:6

Agregado		Cimento	Cal	Areia IPT	Areia Natural	Entulho	Água	Custo	Resistência à Compressão (Mpa)		
Composição		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(R\$)	7 dias	14 dias	28 dias
AGR I	100%	255,80	155,66	0,00	0,00	1488,53	590,40	85,26	6,17	7,71	9,42
	70%	241,90	147,20	453,27	0,00	1057,63	492,86	84,35	4,84	6,74	8,44
	50%	233,44	142,06	762,25	0,00	762,25	459,10	84,06	5,31	6,35	7,66
AGR II	100%	239,50	145,75	0,00	0,00	1514,74	520,79	80,52	3,50	4,17	4,69
	70%	231,47	140,86	458,30	0,00	1069,37	453,20	81,36	4,29	5,26	6,38
	50%	226,40	137,78	767,91	0,00	767,91	425,18	82,05	3,65	4,15	4,74
NATURAL	100%	226,90	138,08	0,00	1535,2	0,00	404,57	87,54	1,34	1,58	2,45
IPT	100%	214,67	130,64	1554,70	0,00	0,00	380,40	84,15	3,69	4,23	5,29

Tabela 4.15 – Peso dos componentes para produzir 1 m³ de argamassa traço 1:2:9

Agregado		Cimento	Cal	Areia IPT	Areia Natural	Entulho	Água	Custo	Resistência à Compressão (Mpa)		
Composição		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(R\$)	7 dias	14 dias	28 dias
AGR I	100%	173,58	211,26	0,00	0,00	1515,15	612,52	74,30	2,17	3,32	4,88
	70%	163,99	199,59	490,93	0,00	1075,49	501,18	73,97	2,12	3,07	4,06
	50%	158,16	192,50	774,67	0,00	774,67	464,21	74,04	1,90	2,63	3,47
AGR II	100%	162,34	197,58	0,00	0,00	1540,08	578,72	70,23	1,41	1,76	2,16
	70%	156,80	190,85	465,70	0,00	1086,64	502,56	71,43	1,27	1,68	2,18
	50%	153,32	186,61	780,03	0,00	780,04	446,30	72,32	1,18	1,96	2,25
NATURAL	100%	153,66	187,02	0,00	1559,32	0,00	382,00	77,84	1,60	1,88	2,43
IPT	100%	145,26	176,79	1577,96	0,00	0,00	350,96	74,92	1,49	1,69	2,15

Através da tabela 4.15 é possível observar que a variação do consumo de cimento foi de 19% entre o menor e o maior consumo, a variação na resistência foi da ordem de 4,2 vezes, comparando a resistência ao 28 dias das argamassas produzidas com a natural e as argamassas produzidas com 100% de AGR I. Para as argamassas produzidas com 100% de AGR II o aumento na resistência foi da ordem de 2,1 vezes. Para as argamassas produzidas com AGR I é possível afirmar que, o ganho de resistência não esta relacionado somente ao maior consumo de cimento.

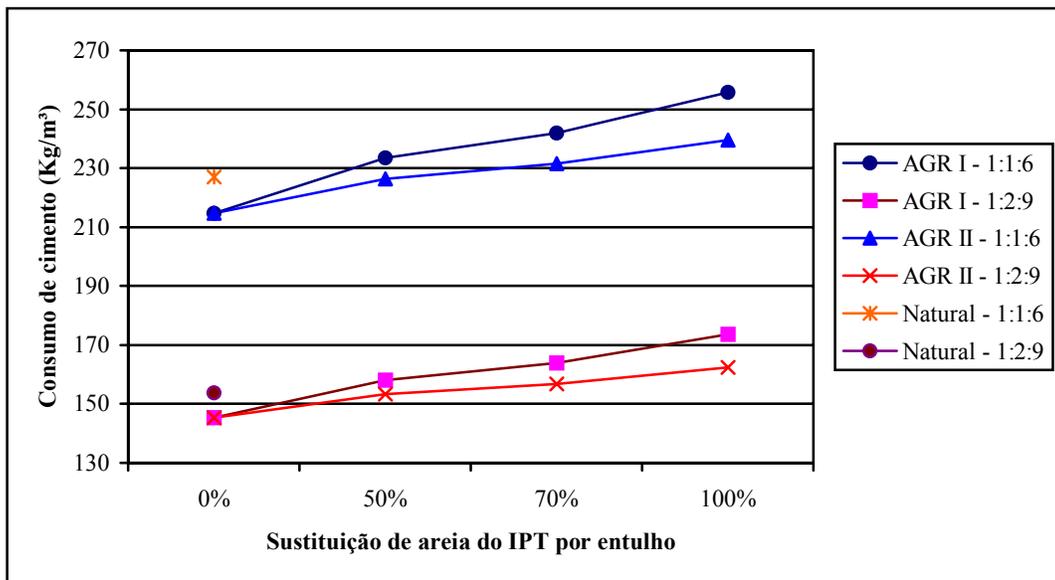


Figura 4.25 – Consumo de cimento

Analisando o gráfico da figura 4.25, que apresenta a variação do consumo de cimento, em relação à substituição da areia do IPT por entulho reciclado e triturado, pode-se verificar que, o consumo de cimento aumenta à medida que aumenta a porcentagem de entulho.

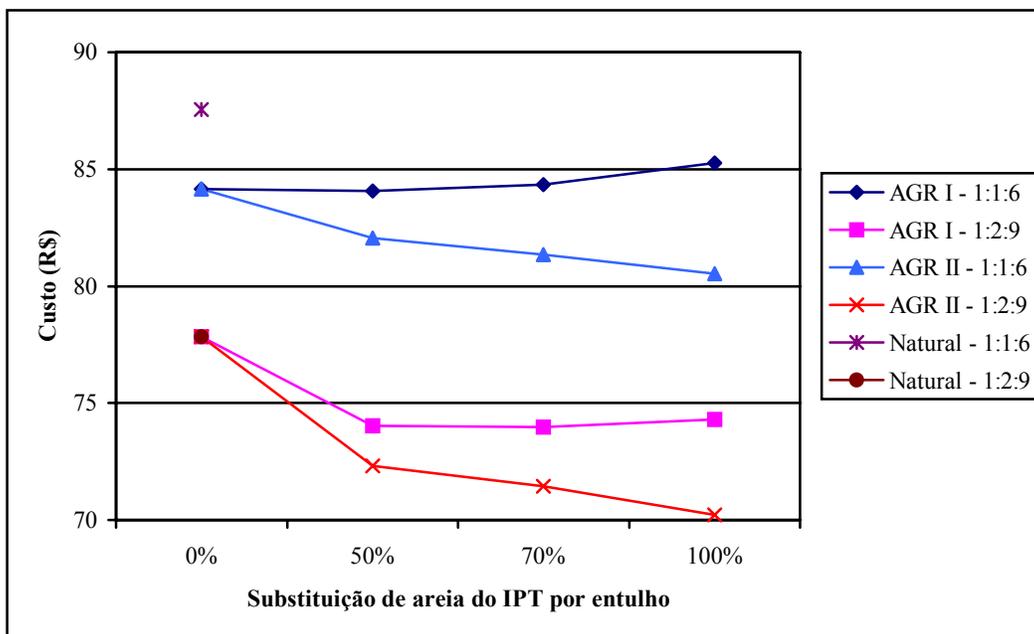


Figura 4.26 – Custos das argamassas.

Através da figura 4.26 podemos verificar que as argamassas tiveram seus custos diminuídos à medida que a porcentagem de entulho utilizado aumentou. A exceção foi para as argamassas produzidas com 100% de AGR I, estas argamassas tiveram um pequeno aumento de preço, isto por que, foram às argamassas que tiveram maior consumo de cimento. As argamassas produzidas com 100% entulho foram cerca de 5% mais baratas quando comparadas com as argamassas produzidas com areia natural.

4.6 – Resistência ao Sulfato

As argamassas produzidas com 100% de AGR I, AGR II e areia natural no traço 1:1:6 foram submetidas ao ataque de sulfato, para isso preparou-se uma solução Na_2SO_4 (Sulfato de Sódio) a 0,4N e foram confeccionados corpos de prova com os agregados descrito acima, parte dos corpos de prova foram colocados na solução e parte permaneceu em câmara úmida, após noventa dias de cura e imersão na solução, os corpos de prova foram rompidos. Na figura 4.28 estão apresentados os valores das resistências à compressão das argamassas produzidas com traço 1:1:6, para os dois caso.

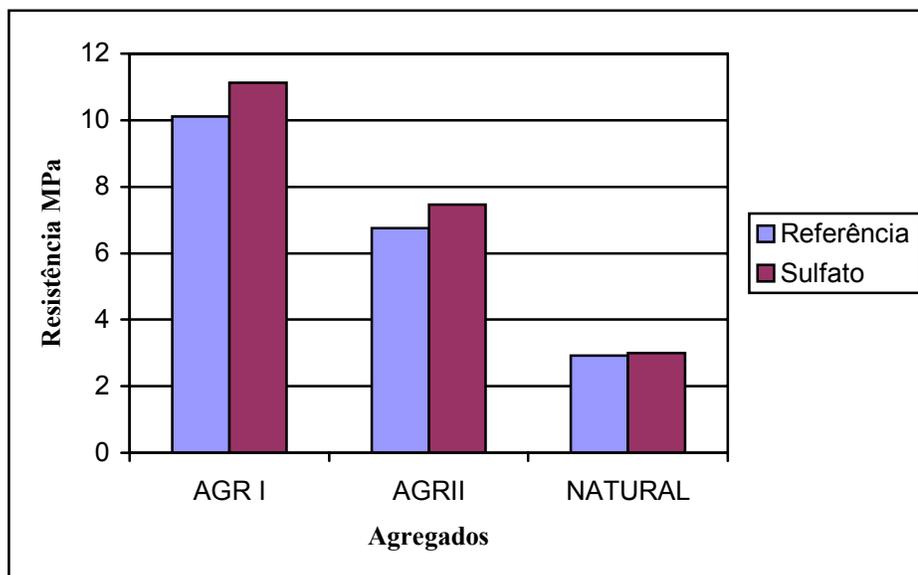


Figura. 4.27 – Resistência ao sulfato de sódio traço 1:1:6

Verifica-se através da figura 4.27 que o sulfato de sódio não prejudicou as resistências das argamassas, pelo contrario as argamassas que permaneceram submersas na solução tiveram um pequeno ganho de resistência. Se comparar a figura 4.17 com os dados da tabela 4.15 é possível verificar que todas as argamassas apresentaram ganho de resistência após os 28 dias, sendo que as produzidas com entulho reciclado foram as que mais ganharam resistência com a idade. O fato das argamassas que permaneceram imersas na solução de sulfato, apresentarem ganho maior de resistência, pode ser explicado, pela melhor hidratação do cimento.

4.7 – Aderência

Na tabela 4.16 estão mostrados os valores obtidos no ensaio de aderência para as argamassas produzidas com 100% de AGR I, 100% de AGR II e com areia natural, com traço 1:1:6. O pedreiro que aplicou as argamassas comentou que: não houve muita diferença quanto à aplicação das argamassas produzidas com e entulho e com areia natural, a observação foi que o entulho apresentava grãos maiores o que tornou o reboco mais áspero e segundo ele estas argamassas seriam melhores para receber revestimento cerâmico, outra observação foi que a argamassa produzida com o AGR I foi melhor de aplicar que a argamassa produzida com o AGR II, esta diferença deve-se ao fato do AGR I

possuir maior quantidade de material pulverulento proveniente de argila e isto contribui para o aumento da trabalhabilidade.

A figura 4.28, mostra o equipamento que foi usado no ensaio de aderência e nas figuras 4.29 e 4.30 mostram algumas das paredes onde foram realizados os ensaios de aderência, na figura 4.31 pode-se observar a forma de ruptura que praticamente foi a mesma para a maioria dos corpos de prova.

Apresentação dos resultados segundo NBR 13528 (1995):

- as argamassas foram produzidas com 100% de entulho AGR I, AGR II e areia natural nos traços 1:1:6;
- as argamassas foram aplicadas em substrato de alvenaria de tijolo salpicada, com argamassa de cimento e areia;
- as argamassas foram produzidas conforme descrito no item 4.2.1, o volume produzido foi de 30 litros, sendo que a mistura foi realizada em betoneira;
- os corpos de prova foram obtidos com serra copo com 50 mm de diâmetro, de forma seca, com corte de 5 mm no substrato;
- o equipamento utilizado para o ensaio foi o Form + Test – Prüfsysteme, conforme figura 4.28
- os valores das resistências e as formas de rupturas estão representadas na tabela 4.16 e as resistências dos corpos de prova, que apresentaram a mesma forma de ruptura, estão listadas na tabela 4.17, conforme determina a NBR 13528 (1995).



Figura 4.28 – Equipamento usado no ensaio de aderência



Figura 4.29 – Parede rebocada com AGR I – Traço 1:1:6



Figura 4.30 – Parede rebocada com AGR II – Traço 1:2:9



Figura 4.31 – Forma de ruptura dos corpos de prova.

Tabela 4.16 – Resistência à aderência

Corpo de prova		Carga (N)	Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)	Forma de Ruptura	Espessura do Revestimento (mm)
Componente	Traço					
AGR I	1 : 1 : 6	669	1963,5	0,34	a	10,5
		446		0,23	a	12
		697		0,35	a	9,5
		662		0,34	a	14,75
		309		0,16	a	11,5
		302		0,15	a	10
AGR II	1 : 1 : 6	881		0,45	a	9
		717		0,36	a	8
		577		0,29	a	12
		802		0,41	b	10
		478		0,24	a	13,5
		736		0,37	a	11,5
NATURAL	1 : 1 : 6	17		0,009	a	15
		301		0,15	a	12
		469		0,24	a	11
		380		0,19	a	12,5
		586		0,30	a	13,5
		420		0,21	a	13,5
NATURAL	1 : 2 : 9	523	0,27	a	10,5	
		295	0,15	b	11	
		509	0,26	a	10	
		245	0,12	b	10,5	
		82	0,04	b	12,5	
		426	0,22	a	16,5	

OBS: Quanto a forma de ruptura

a – Ruptura na interface argamassa / substrato

b – Ruptura da argamassa de revestimento

c – ruptura do substrato

d – ruptura na interface revestimento / cola

e – ruptura na interface cola / pastilha

Tabela 4.17 – Resistência à tração para os corpos de prova com ruptura “a”

Corpo de Prova		Carga (N)	Seção (mm ²)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média (Mpa)
Componente	Traço				
AGR I	1:1:6	669	1963,5	0,34	0,26
		446		0,23	
		697		0,35	
		662		0,34	
		309		0,16	
		302		0,15	
AGR II	1:1:6	881		0,45	0,34
		717		0,36	
		577		0,29	
		478		0,24	
		736		0,37	
NATURAL	1:1:6	301		0,15	0,22
		469	0,24		
		380	0,19		
		586	0,30		
		420	0,21		

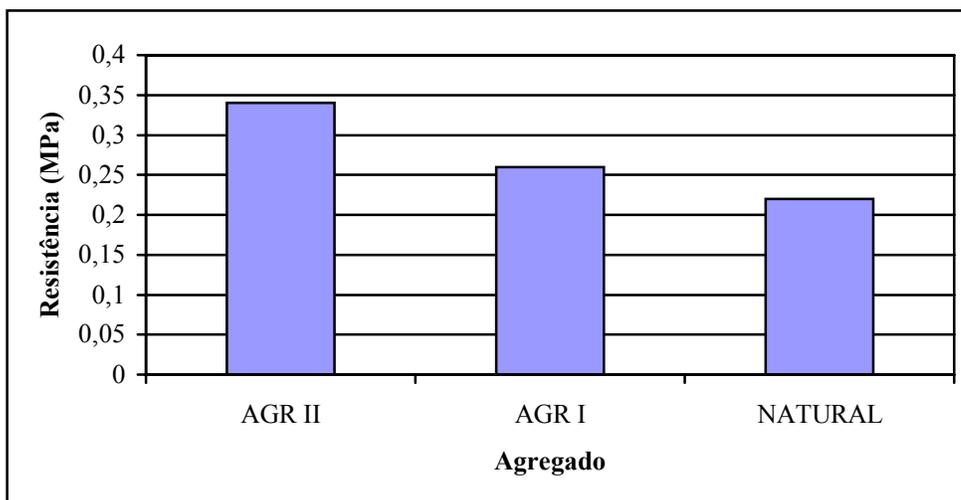


Figura 4.32 - Resistência à aderência para os corpos de prova com ruptura “a” – Traço 1:1:6.

O gráfico da figura 4.32 obtido com as resistências, dos corpos de prova que romperam na interface argamassa/substrato, mostra que a argamassas que apresentaram maiores

resistências ao arrancamento foram as produzidas com AGR II seguida pelo AGR I e por ultimo areia natural. Para justificar os melhores resultados, obtidos com as argamassas produzidas com entulho pode-se lançar mão do fato destas argamassas apresentarem maior consumo de água, como as argamassas foram aplicadas em paredes secas, a sucção da água pelo tijolo promove penetração das argamassas nos poros o que contribui para aumentar a resistência de aderência. No caso das argamassas com areia natural, consumo de água menor, pode ter faltado água para hidratação do cimento. Outro fato que pode ter contribuído, para o aumento da resistência de aderência, para as argamassas produzidas com entulho, refere-se maior consumo de cal destas argamassas produzindo maiores quantidades de carbonatos de cálcio. As argamassas produzidas com entulho reciclado apresentaram boa retenção de água e isto segundo PINTO (1986) aumenta a resistência à aderência. De acordo com a tabela mostrada no anexo II, com todos os valores obtidos nos ensaios de aderência e através da análise estatística é possível observar que o desvio médio ficou abaixo dos 10% para todas as argamassas ensaiadas.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a análise dos resultados apresentados nos capítulos anteriores é possível verificar que o entulho reciclado tem grande potencial de reutilização. Este material pode ter um destino mais nobre, do que simplesmente ser depositado em locais nem sempre adequados, comprometendo o meio ambiente. Muito embora, a maioria dos entulhos de construção civil possam ser considerados inerte, é um material estranho ao meio, causando modificação no ambiente onde for depositado. Os resultados desta pesquisa ressaltam, as potencialidades que o entulho reciclado possui, quando utilizado como material alternativo para a própria fonte geradora.

Através dos ensaios de granulometria realizados e apresentados no capítulo 4, o entulho reciclado e triturado pode ser classificado como areia média, conforme NBR 7217(1987) o que possibilita sua utilização como agregado miúdo, para produção de argamassas de assentamento ou revestimento. Como o entulho antes de ser usado, sofre um processo de triagem e trituração isto possibilita obtê-lo com outras classificações. No ensaio de determinação do material pulverulento verificou-se que a quantidade deste material é bem superior no entulho que na areia natural, o que faz com que as argamassas produzidas com entulho consumam mais água, mas em contra-partida são argamassas mais gordas o que facilita sua aplicação.

Conforme ensaios químicos realizados nos agregados AGR I e AGR II, os quais podem ser observados no capítulo 3, ficou comprovado que o entulho utilizado no experimento pode ser classificado como resíduos de classe III “inertes”, o que já era esperado, uma vez que, o entulho era proveniente de resto de construção e demolição de edificação de uso residencial. Quando não for conhecida a origem do entulho será prudente a realização de ensaios químicos tais como; lixiviação e solubilização para determinar possíveis contaminantes nestes materiais, que podem comprometer o uso dos mesmos. Em uma usina de reciclagem de entulho o ideal seria conhecer a procedência do entulho antes de misturá-los, descartando aqueles que possam estar contaminados.

Para confecção das argamassas partiu-se do traço em volume 1:1:6 e 1:2:9, traços usuais em obras, e converteu-se estes traços de volume para traços em massa, para isto foi necessário a determinação da massa unitária de cada agregado que iria compor as argamassas, através dos resultados pode-se observar que a massa unitária do agregado obtido com material cerâmico, AGR I, é aproximadamente 16% menor que a massa unitária da areia natural, e o agregado obtido com material onde predomina o, AGR II, a massa unitária encontrada foi cerca de 7% menor que a massa unitária da areia natural. A massa unitária aumenta à medida que o entulho vai sendo substituído por areia do IPT cuja massa unitária é maior que a massa unitária da areia natural.

A massa unitária menor implica em maior consumo de cimento, isto foi verificado quando calculado os traços em volume. Na tabela 5.1 estão apresentados os pesos de materiais necessários para produzir 1,00 m³ de argamassa nos traços 1:1:6 e 1:2:9, e pela análise desta tabela pode-se tecer alguns comentários:

- nas argamassas produzidas com entulho, embora, o consumo de cimento tenha sido maior, estas argamassas foram mais baratas, que as argamassas produzidas com areia natural;
- as argamassas produzidas com 100% de entulho foram cerca de R\$ 3,00 /m³ mais baratas que as argamassas produzidas com areia natural;
- as argamassas produzidas com entulho consomem mais cal, fato que acaba tornando estas argamassas mais gordas;
- a resistência das argamassas produzidas com entulho reciclado, proveniente de material cerâmico foram bem superiores as argamassas produzidas com areia natural, isto ocorre devido a presença de material pozolânico, proveniente da argila calcinada.
- como as argamassas produzidas com entulho consomem mais cimento, isto acaba aumentando o custo, porém estas poderiam ser mais baratas se diminuísse a quantidade de cimento, o que acabaria diminuindo a resistência, porém como a resistência das

argamassas de entulho reciclado é maior do que, as resistências das argamassas produzidas com areia natural isto não comprometeria sua utilização.

- Para as argamassas estudadas no traço 1:1:6 uma variação no consumo de cimento de 9,85% a 10,27% resulta em um incremento da ordem de 4,2 vezes na resistência à compressão das argamassas com agregado AGR I e de 2,1 vezes para as argamassas com agregado AGR II. Essa alteração pode ser explicada pelo desenvolvimento do potencial aglomerante do material cerâmico, presente no agregado, devido a uma ação pozolânica combinado ao efeito filler.

Tabela 5.1 – Comparação de custo e desempenho.

Traço em Volume	Composição		Relação Agl/Agr	Cimento (%)	Cal (%)	Cimento (kg/m³)	Cal (kg/m³)	Custo Total (R\$/m³)	Custo Comparado	Resistência à Compressão 28 dias (Mpa)	Resistência Comparada
1:1:6	Natural		1:3	9,85	5,99	226,90	138,08	87,54	100,0	2,45	100,0
	IPT			9,41	5,73	214,67	130,64	84,15	96,1	5,29	255,2
	AGR I	100		10,27	6,25	255,80	155,66	85,26	97,4	9,42	419,0
		70		10,11	6,15	241,90	147,20	84,35	96,4	8,44	379,6
		50		9,90	6,02	233,44	142,06	84,06	96,0	7,66	346,6
	AGR II	100		9,89	6,02	239,50	145,75	80,52	92,0	4,69	212,2
		70		9,84	5,99	231,47	140,86	81,36	92,9	6,38	288,7
		50		9,74	5,93	226,40	137,78	82,05	93,7	4,69	212,2
	1:2:9	Natural		1:3	6,73	8,20	153,66	187,02	77,84	100,0	2,43
IPT		6,45	7,85		145,26	176,79	74,92	96,2	2,15	88,8	
AGR I		100	6,91		8,41	173,58	211,26	74,30	95,4	4,88	199,2
		70	6,83		8,31	163,99	199,59	73,97	95,0	4,06	162,4
		50	6,69		8,14	158,16	192,50	74,04	95,1	3,47	143,4
AGR II		100	6,55		7,97	162,34	197,58	70,23	90,2	2,16	89,3
		70	6,53		7,94	156,80	190,85	71,43	91,8	2,18	90,1
		50	6,53		7,95	153,32	186,61	72,32	92,9	2,25	93,0

As argamassas produzidas com AGR I foram as que apresentaram os melhores resultados quanto à resistência à compressão, e segundo o pedreiro foram as melhores para trabalhar, estas argamassas também são mais leves que as demais. As argamassas produzidas com AGR II apresentaram resistências menores que as produzidas com o AGR I, mas, maiores que as produzidas com areia natural, quanto à resistência à aderência foram as que apresentaram melhores resultados, estas argamassas segundo o pedreiro, quanto à aplicação compararam-se as argamassas produzidas com areia natural.

Os ensaios realizados no experimento demonstraram que, de um modo geral, as propriedades das argamassas produzidas com entulho reciclado não diferem muito das argamassas produzidas com areia natural, exceto quanto a resistência à compressão, ficou demonstrado que a resistência das argamassas produzidas com o entulho apresentaram resistência superior.

Ao final da pesquisa, não é difícil verificar que os entulhos de construção civil não devem ser vistos e tratados como lixo, mas sim como um material com grande potencial de uso na produção de argamassas e com qualidades superiores quando comparadas com as produzidas com areia natural.

Num planeta de recursos finitos e com a população em crescimento, o uso adequado e racional, bem como, a diminuição dos desperdícios e reaproveitamento das sobras é imprescindível para manutenção das reservas naturais. As pesquisas que visam diminuir o uso dos recursos e reutilizar os resíduos gerados por qualquer atividade industrial não podem parar, as gerações futuras agradecerão.

O estudo restringiu-se a confecção de argamassas produzidas com cimento CP II F – 32 que usualmente apresenta menor desempenho que os demais cimentos existentes no mercado.

Como recomendação para trabalhos futuros ficam as seguintes sugestões:

- Realizar estudos com argamassas produzidas com AGR I e AGR II empregando outros tipos de cimento Portland, a fim de avaliar a influencia destes nas argamassas;

- Reduzir o consumo de cimento verificando a quantidade mínima para que o agregado reciclado possa substituir a areia normal, de maneira a obedecer-se os requisitos mínimos de desempenho das argamassas;
- Análise micro-estrutural nas argamassas produzidas com entulho reciclado, para verificação da hidratação do cimento;
- Ensaio em câmara de envelhecimento, para verificar o comportamento das argamassas produzidas com entulho reciclado em idades mais tardias;
- Produzir argamassas com agregado reciclado utilizando aditivos plastificantes;
- Definir junto aos demais centros de pesquisas, critérios mínimos de desempenho para que as argamassas de agregado reciclado possam ser utilizadas e estabelecer características mínimas para os agregados reciclados;
- Avaliar a influência da granulometria, do teor de finos e da atividade pozzolânica dos agregados reciclados nas argamassas;
- Otimizar a avaliação das qualidades das argamassas produzidas com agregados reciclados.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. **Estudo dos materiais de construção civil** – Materiais alternativos In: Tecnologia das Edificações. PINI. São Paulo, 1987.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Specification for aggregate for job-mixed Portland**. Easton, ASTM 897 – 83, 1983.
- ANDERSON, C. **Tensile board test with concrete blocks**. **International Journal of Masonry Construction**, London, v. 1, n.4, p. 134-148. 1981.
- BAZUCO, Régis Sandro. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 1999, 112 p.
- BOYNTON, R. S. & GUTSCHIK, K. A. **Aderência de argamassa e elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência**. Tradução IPT-ABCP. Notas Técnicas nº 3 sobre argamassa de assentamento de componentes de alvenaria, da “National Lime Association”, 1964.
- CAMARGO, Antônio. **Minas de Entulho**. Revista Técnica nº 15. Editora Pini. p. 15 Mar/Abr. 95.
- CARASEK, H. **Ensaio de aderência para revestimento de argamassa**. In: Anais de XXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Porto Alegre, RS. 1991.
- CARASEK, H. e SCARTEZINI, L. M. B. **Evolução da Resistência de Aderência dos Revestimentos de Argamassas Mista**. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória – ES, 1999.

- CINCOTTO, M. A.; MARQUES, J. C. & HELENE, P. R. do L. **Propriedades das argamassas de cimento: cal: areia.** In: Seminário sobre Argamassas. Reunião Anual de 1985 do Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 1985.
- CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de Revestimento – análise e recomendações.** Publicação IPT n^o 1801, São Paulo, 1989.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de Revestimento Características, propriedades e métodos de ensaio.** Publicação IPT n^o 2378, São Paulo, 1995.
- CORBIOLI, Nanci. **Do caos à solução.** Revista Construção Região Sul n^o 329. Editora Pini - p. 8. mar/96.
- FILOMENO, ORLANDO LUZ, **Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 1993.
- FORMOSO, C.T.; FRAUNCH, C.C. & SOIBELMAN, L. **Um estudo sobre as perdas de materiais na indústria da Construção civil e suas principais causas.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC – São Paulo, 1993. Anais vol. 2, p. 571-580.
- FRANCO, L.S. **A capacidade resistente de paredes de alvenarias.** In: Anais EPUSP, série A. Pt. 5, São Paulo, v. 1, p. 77-94, 1988.
- HANSEN, T.C. **Recycling of demolished concrete and masonry.** RILEM Report 6. ed. Chapman & Hall, London, 1992.
- HENDRIKS, C.F. **Recycling and reuse as a basis for sustainable development in construction industry.** Concrete For Environment Enhancement and Protection. London, 1996.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 7251/82 – **Agregado em estado solto determinação da massa unitária.** 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 7215/82 – **Ensaio de Cimento Portland.** 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 7219/82 – **Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados – Método de Ensaio.** 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. NBR 8214 02:242 - **Assentamento de azulejos (Procedimentos),** ABNT, 1983.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 6508/84 - **Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica.** 1984.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 7217/87 – **Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio,** 5 p. Agosto, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 9777/87 - **Agregados – Determinação da absorção de água em agregados miúdos.** 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 7219/87 – **Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos,** 3 p. Agosto, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 13528/95 - **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.** 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 13277/95 – **Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.** 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 13278/95 – **Argamassa para assentamento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.**

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO NBR 13279/95 – **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência a compressão.** 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. TEXTO NORMATIVO – ME – 10 – **Determinação da resistência de aderência de revestimento com argamassa – Método de Ensaio.** São Paulo. IPT, 1981.

INSTITUTO EDUARDO TORROJA – **Argamassa de Cal.** 1967.

INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES – RILEM. **Rilem recommendations MR1-21; Testing methods of mortars and renderings**, 1 st. Ed. France, RILEM, 1982.

IOPPI, Paulo Roberto. **Estudo de aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995.

- JAWOROSK, H. C. E CAMPAGNOLO, J. L. **Aderência de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.** In: 10^o Encontro Nacional da Construção Gramado, RS. 1990.
- JOHN, V.M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos.** In: Workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. São Paulo: Anais, PCC-USP, 1996.
- LANDI, F.R. **Argamassas de assentamento e revestimento.** Escola Politécnica da USP/BNH – CEF. Relatório final, agosto 86 – Julho 87.
- LAURETA, J.V., MONTERDE, G.J.C. **Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábricas de ladrillos para la actualización de la Norma Básica MV 201-1972;** 1.parte: Momorial del estudio. Materiales de Contruccion. 34 (196(: 3-41),Madrid, 1984.
- LEVY, Salomon Mony ; HELENE, Paulo R.L. **Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta.** I Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. p. 315 – 325. Goiânia, 1995.
- LEVY, Salomon M. et all. **A influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas argamassas.** II simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. p. 51-63, Salvador BA, 1997
- LICHTENSTEIN, N. B. N. **Formulação de modelo para dimensionamento do sistema de transporte em canteiro de obras de edifícios de múltiplos andares.** São Paulo, 1987. (Tese se Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), p. 25-36.
- MARTINELLI, Frederico Augusto. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias.** São Paulo, EPUSP, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – CPGES. Escola de Engenharia de UFRGS, 1989.

- MIBIELLI, J.G. **Estudo da aderência de revestimentos cerâmicos externos.** Tese de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 1994, 132 p.
- MIRANDA, Leonardo F. R. e SELMO, Sílvia M.S. **Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem.** III Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. pg. 295 - 307, Vitória – ES, 1999.
- PERA, J. State of the Art Report – **Use of Waste Materials in construction in Western Europe.** In **Workshop – Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil.** São Paulo, 1996.
- PINTO, Tarcísio de Paulo – **Utilização de resíduos de construção estudo do uso em argamassas.** Dissertação de mestrado Universidade de São Carlos - SP 1986.
- _____. **Entulho de construção: problema que pode gerar soluções.** Revista Construção n^o 2325 Editora Pini – pg. 11. agosto 31/92.
- _____. **De volta à questão do desperdício.** Revista Construção n^o 2491 Editora Pini, pg. 18. nov/95.
- PINTO, T.P. e LIMA, J.A.R. **Industrialização de componentes a partir da definição de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana.** Anais do III Simpósio Ibero-Americano sobre técnicas construtivas industrializadas de interesse social - 1993.
- RILEM - MR – 3 - **The complex workability consistence - plasticidade.** St, Ed. France, 1982.
- RILEM - MR 4 – **Water – retention capacity or mortars,** 1982.
- RILEM MR 6 – **Tendency of water to separate from mortars (bleeding),** 1982.

- ROJAS IBANEZ, S. **La Trabajabilidad de morteros. In: VI jornadas Chilenas del Hormigon.** UNIVERSIDAD DE VALPARAISO – CENTRO TECNOLÓGICO DEL HORMIGON. Valparaiso, Universidad de Valparaiso, oct. 1986.
- SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edificios de alvenaria estrutura sílico-calcária.** Dissertação de mestrado. USP, São Paulo, 1984.
- SELMO, S.M. DE S. **Agregados miúdos para argamassas de revestimentos.** In: Anais I Simpósio Nacional de Agregados – EPUSP , São Paulo, 1986.
- SELMO, S.M. DE S. **Dosagem de argamassas de Cimento portland e Cal para revestimento Externo de Fachada de edifícios.** Dissertação de Mestrado – Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da USP – São Paulo, 1989.
- SILVA. Antônio S.R. da. et all. **Argamassa inorgânica com emprego de entulho reciclado.** II simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. p. 201 - 207 Salvador - BA, 1997
- SILVA, M. G. e SOUZA, F. L. S. **Proposta de Utilização de Resíduos da Indústria de Celulose/papel e Entulho de Obra em Componentes de Construção.** Anais ENTAC-95 – Vol II p. 749-754, Rio de Janeiro, 1995.
- SOUZA, Marcos. **Tudo se Transforma.** Revista Construção nº 2315. Editora Pini, p.14 Jun 22/92.
- TAUIL, C.A. **Manual Técnico de Alvenaria. Associação Brasileira de Construção Industrial.** São Paulo. 1990.
- TRISTÃO, F.A., **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995, 196 p.

VAZQUEZ, E. Utilización de residuos en la C.E.E: Aspectos políticos y ambientales. Estado del arte y normalización. In: Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental. Anais. São Paulo. NUDEPE/POLI-UPE, 1997.

ZORDAN, S. E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Dissertação de mestrado apresentada à UNICAMP. Campinas, 1997.

ANEXOS I

Composição Granulométrica dos agregados usados no experimento

Peneira (mm)	AGR I									AGR II									NATURAL		
	100%			70%			50%			100%			70%			50%			100%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
4,8	0,23	0	0	20,8	2	2	18,5	2	2	0	0	0	54,9	5	5	34,2	3	3	10,8	1	1
2,4	130,23	12	12	126,4	13	15	85,2	8	10	190,12	19	19	138,6	14	19	92,1	9	12	35,1	3	4
1,2	190,67	18	30	169,5	17	32	159,1	16	26	279,07	27	46	175,7	18	36	154,5	15	27	196,6	19	23
0,6	128,65	12	41	207,3	21	53	209,6	21	47	188,61	18	64	228,4	23	60	237,6	24	51	328	31	54
0,3	177,35	16	58	190,5	19	72	218,6	22	69	185,92	18	82	186,2	19	78	234,2	23	74	310	30	84
0,15	326,50	30	88	189,3	19	91	229,9	23	92	101,79	10	92	147,5	15	93	191,5	19	93	116,5	11	95
0,075	89,91	8	96	54,9	5	96	42,6	4	96	47,06	5	97	38,20	4	97	36,9	4	97	40,5	4	99
Fundo	41,38	4	100	36,7	4	100	35	4	100	31,62	3	100	29,40	3	100	28,9	3	100	13,7	1	100
Total	1084,69			995,4	100		998,5	100		1024,19			998,9	100		1009,9	100		1051,2	100	

Onde:

A – Peso Retido (g)

B - % Retida

C - % Retida Acumulada

ANEXO II

A transformação dos traços em volume para traços em massa foi obtida através da fórmula abaixo:

$$1 : \frac{V_p \times \delta_p}{\delta_c} : \frac{V_q \times \delta_q}{\delta_c}$$

onde:

V_p – Proporção de cal hidratada no traço da argamassa em volume aparente;

V_q – Proporção do agregado miúdo no traço da argamassa em volume aparente;

δ_c – Massa unitária do cimento, no estado solto, em Kg/dm³;

δ_p – Massa unitária da cal hidratada, no estado solto, em kg/dm³;

δ_q – Massa unitária do agregado miúdo, no estado seco, em Kg/dm³.

Valores das massas unitárias dos componentes utilizados na produção das argamassas.

Cimento	– 1206,15 kg/dm ³
Cal	– 734,00 kg/dm ³
AGR I	– 1169,78 kg/dm ³
AGR II	– 1271,39 kg/dm ³
50 % AGR I E 50% IPT	– 1312,83 kg/dm ³
50% AGR II e 50% IPT	– 1363,63 kg/dm ³
70% AGR I e 30% IPT	- 1255,61 kg/dm ³
70% AGR II e 30% IPT	- 1326,74 kg/dm ³

A tabela a seguir apresenta as relações obtidas na conversão dos traços bem como a quantidade de cada componente necessária para produzir 3 kg de argamassa.

TRAÇO 1:1:6					
Agregado	Composição %		Cimento	Cal	Agregado
AGR I	100	Relação	1	0,60855	5,8191
		Massa (g)	403,89	245,79	2350,31
	70	Relação	1	0,6085	6,2461
		Massa (g)	381,94	232,43	2385,63
	50	Relação	1	0,6085	6,5307
		Massa (g)	368,58	224,3	2407,11
AGR II	100	Relação	1	0,6085	6,3245
		Massa (g)	378,16	230,13	2391,71
	70	Relação	1	0,6085	6,5999
		Massa (g)	365,48	222,41	2412,11
	50	Relação	1	0,6085	6,7834
		Massa (g)	357,49	217,55	2424,97
NATURAL	100	Relação	1	0,6085	6,753
		Massa (g)	358,26	218,02	2423,73
IPT	100	Relação	1	0,6085	7,2423
		Massa (g)	338,95	206,27	2454,78
TRAÇO 1 : 2 : 9					
AGR I	100	Relação	1	1,2171	8,7287
		Massa (g)	274,08	333,58	2392,34
	70	Relação	1	1,2171	9,6391
		Massa (g)	258,93	315,14	2425,93
	50	Relação	1	1,2171	9,796
		Massa (g)	249,73	303,94	2446,33
AGR II	100	Relação	1	1,2171	9,4868
		Massa (g)	256,32	311,97	2431,7
	70	Relação	1	1,2171	9,8998
		Massa (g)	247,59	301,34	2451,07
	50	Relação	1	1,2171	10,1751
		Massa (g)	242,09	294,64	2463,27
NATURAL	100	Relação	1	1,2171	10,1480
		Massa (g)	242,62	295,29	2462,09
IPT	100	Relação	1	1,2171	10,8634
		Massa (g)	229,35	279,14	2491,51

Nas tabelas abaixo pode-se observar a composição das argamassas bem como os valores obtidos para o ensaio de perda de trabalhabilidade.

Traço 1:1:6

Agregado	Comp	Peso seco (g)			Agr. Úmido (g)	Água (g)	Consistência (mm)								
		Cimento	Cal	Agregado			0 min	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	105 min	120 min
AGR I	100	134,63	81,93	783,44	1077,86	310,42	239,8	235,7	229,6	225,6	220,6	218,5	212,0	204,6	198,6
	70	127,31	77,48	795,21	977,31	249,10	230,6	221,9	216,5	215,6	211,6	209,3	199,5	191,7	186,3
	50	159,72	97,20	1043,08	1356,00	312,92	234,6	221,3	216,0	209,8	209,1	203,2	192,6	188,4	185,8
AGR II	100	126,05	76,71	797,24	1036,41	264,17	239,5	226,6	224,6	220,7	209,7	206,5	203,0	198,2	191,6
	70	121,83	74,14	804,04	1006,66	237,62	239	233,6	227,5	217,5	213,1	203,8	195,2	197,2	183,9
	50	119,16	72,52	808,32	991,00	222,68	233,5	226,2	213,4	204,2	198,4	191,2	190,3	187,1	177,6
IPT	100	135,58	82,51	981,91	1195,97	379,06	238,0	236,2	231,7	223,7	217,5	204,9	202,7	192,1	180,5
NATURAL	100	155,24	94,47	1050,28	1235,76	265,48	238,0	239,1	231,0	225,6	222,3	218,0	213,5	201,6	190,1

Traço 1:2:9

Agregado	Comp.	Peso seco (g)			Agr. Úmido (g)	Água (g)	Consistência (mm)								
		Cimento	Cal	Agregado			0 min	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	105 min	120min
AGR I	100	91,36	111,19	797,45	1059,81	343,76	240,0	235,6	229,9	221,7	220,6	221,4	212,6	207,2	200,2
	70	86,31	105,05	808,64	1001,90	249,86	234,6	232,6	222,5	214,9	210,4	204,6	202,8	196,4	191,5
	50	83,24	101,31	815,44	1055,99	285,75	235,9	227,4	225,5	219,2	216,2	209,8	202,7	197,6	191,8
AGR II	100	85,44	103,99	810,57	1007,05	307,38	227,2	225,1	223,4	212,0	205,9	199,2	191,6	187,6	182,0
	70	82,53	100,45	817,02	1033,53	324,11	235,6	232,2	229,7	227,1	222,7	217,0	210,3	196,4	181,6
	50	80,70	98,21	821,09	1073,16	296,57	240,0	229,9	225,1	217,7	214,4	205,2	198,6	188,7	184,5
IPT	100	76,45	93,05	830,50	994,77	212,47	234,0	234,8	226	223,6	217,3	211,2	206,4	201,6	179,2
NATURAL	100	80,87	98,43	820,70	962,68	251,78	233,6	221,2	212,7	209,6	210,2	203,1	196,2	196,2	188,2

Resistência de todos os corpos de prova ensaiados – Traço 1:1:6

Agregado	Composição	Idade (dias)	Resistência (MPa)			Média	Desvio Padrão	Desvio Médio
AGR I	100	7	6,21	6,13	6,17	6,17	0,04	0,03
		14		7,71	7,70	7,71	0,01	0,00
		28	9,37	9,46		9,42	0,06	0,05
	70	7	4,93	4,78	4,80	4,84	0,08	0,06
		14	6,64	6,80	6,79	6,74	0,09	0,07
		28	8,37	8,50		8,44	0,09	0,07
	50	7	5,35	5,20	5,38	5,31	0,10	0,07
		14	6,39	6,38	6,27	6,35	0,07	0,05
		28	7,74	7,51	7,72	7,66	0,13	0,10
AGR II	100	7	3,48	3,45	3,58	3,50	0,07	0,05
		14	4,15	4,13	4,22	4,17	0,05	0,04
		28	4,77	4,61	4,69	4,69	0,08	0,05
	70	7	4,18	4,39	4,3	4,29	0,11	0,07
		14	5,17	5,33	5,28	5,26	0,08	0,06
		28	6,43	6,39	6,32	6,38	0,06	0,04
	50	7	3,63	3,63	3,69	3,65	0,03	0,03
		14	4,01	4,21	4,23	4,15	0,12	0,09
		28	4,65	4,76	4,81	4,74	0,08	0,06
NATURAL	100	7	1,32	1,38	1,33	1,34	0,03	0,02
		14	1,58	1,48	1,69	1,58	0,11	0,07
		28	2,47	2,35	2,54	2,45	0,10	0,07
IPT	100	7	3,65	3,63	3,79	3,69	0,09	0,07
		14	4,14	4,19	4,35	4,23	0,11	0,08
		28	5,27	5,40	5,20	5,29	0,10	0,07

Resistência de todos os corpos de prova ensaiados – Traço 1:2:9

Agregado	Composição	Idade (dias)	Resistência (MPa)			Média	Desvio Padrão	Desvio Médio
AGR I	100	7	2,15	2,19	2,18	2,17	0,02	0,02
		14	3,41	3,26	3,28	3,32	0,08	0,06
		28	4,97	4,76	4,90	4,88	0,11	0,08
	70	7	2,10	2,17	2,10	2,12	0,04	0,03
		14	3,02	3,09	3,09	3,07	0,04	0,03
		28	4,01		4,11	4,06	0,07	0,05
	50	7	1,89	1,87	1,93	1,90	0,03	0,02
		14	2,66	2,62	2,62	2,63	0,02	0,02
		28	3,59	3,37	3,44	3,47	0,11	0,08
AGR II	100	7	1,41	1,40	1,43	1,41	0,02	0,01
		14	1,81	1,74	1,72	1,76	0,05	0,04
		28	2,13	2,15	2,20	2,16	0,04	0,03
	70	7	1,24	1,33	1,25	1,27	0,05	0,04
		14	1,67	1,69	1,67	1,68	0,01	0,01
		28	2,12	2,25	2,18	2,18	0,07	0,04
50	7	1,18	1,16	1,19	1,18	0,02	0,01	
	14	1,96	1,92	2,01	1,96	0,05	0,03	
	28	2,20	2,30	2,25	2,25	0,05	0,03	
NATURAL	100	7	1,62	1,58	1,59	1,60	0,02	0,02
		14	1,89	1,79	1,97	1,88	0,09	0,06
		28	2,23	2,40	2,55	2,42	0,13	0,09
IPT	100	7	1,51	1,44	1,51	1,49	0,04	0,03
		14	1,62	1,72	1,73	1,69	0,06	0,05
		28	2,14	2,10	2,22	2,15	0,06	0,04

Resistência à aderência dos corpos de prova que romperão conforme caso “a” Ruptura da interface argamassa/substrato. Traço 1:1:6

Agregado	Resistência (MPa)	Média	Desvio Padrão	Desvio Médio
AGR I	0,34	0,26	0,09	0,08
	0,23			
	0,35			
	0,34			
	0,16			
	0,15			
AGR II	0,45	0,35	0,08	0,06
	0,36			
	0,29			
	0,41			
	0,24			
	0,37			
NATURAL	0,15	0,22	0,06	0,04
	0,24			
	0,19			
	0,3			
	0,21			