

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO
DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
COMO AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA
CONFEÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO**

Rogério da Silva Scott Hood

Porto Alegre
Novembro de 2006

Rogério Scott Hood

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO
AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA CONFECÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia na modalidade Acadêmico

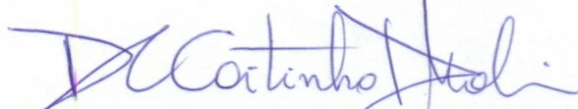
Porto Alegre
Novembro de 2006

ROGÉRIO DA SILVA SCOTT HOOD

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO
AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA CONFECÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

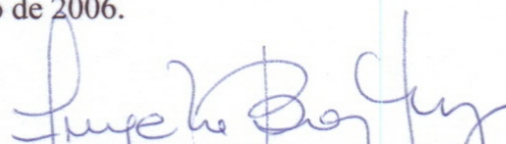
Porto Alegre, 28 de novembro de 2006.



Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Dra. pela Universidade de São Paulo

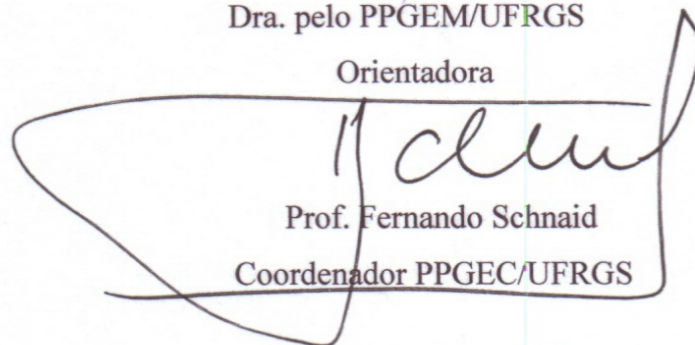
Orientadora



Profa. Angela Borges Masuero

Dra. pelo PPGEM/UFRGS

Orientadora



Prof. Fernando Schnaid

Coordenador PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profa. Maria Tereza Pouey (UFPEL)

Dra. pelo PPGEC (UFRGS)

Profa. Marlova Piva Kulakowski (FEEVALE)

Dra. pelo PPGEM/UFRGS

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)

Dr. pela Universidade de São Paulo (EPUSP)

SCOTT HOOD, Rogério da Silva

Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação / Rogério da Silva Scott Hood. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.

150 p.

Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mestre em Engenharia. Orientadoras: Denise Dal Molin e Angela Borges Masuero.

1. Reciclagem 2. Resíduos de construção e demolição 3. Blocos de concreto para pavimentação I. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Elisabete e Dalton.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus e à minha família, que me possibilitaram todas as condições para alcançar este objetivo.

Agradeço especialmente aos meus pais, Elisabete e Dalton, que apesar das dificuldades impostas pela distância, me apoiaram a realizar o presente trabalho, do início ao fim, sem vacilar, e, mesmo sem estarem ao meu lado fisicamente em todos os momentos, estavam permanentemente presentes.

Agradeço aos meus irmãos Deco e Duda pela colaboração e motivação. Também agradeço a tia Helena, que sempre me tratou com muito carinho.

Agradeço a minha namorada, Flávia, por compreender as incontáveis horas passadas na execução deste trabalho e por me dar muito amor e amizade, que foram fundamentais para eu continuar nessa caminhada. Também agradeço aos seus pais, Rossana e Fernando, pela amizade.

Agradeço aos meus dindos, Sueli e Wilson, e a minha prima Christina, pela amizade e forma como me acolheram em sua casa.

Agradeço ao pessoal da Polar Engenharia e Meio Ambiente Ltda, por compreenderem as minhas horas de ausência e me darem o apoio necessário à conclusão deste trabalho.

Agradeço às professoras Angela e Denise pela orientação, paciência e disponibilidade. Também agradeço ao colega Daniel Pagnussat pela ajuda na execução dos blocos e ensaios.

Agradeço a todos os meus amigos, que mesmo sem saber, me deram forças para continuar nesta caminhada, sendo minha válvula de escape das dificuldades impostas pela execução deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra tiveram alguma importância para que eu alcançasse este objetivo.

“Sirvam nossas façanhas de modelo a toda terra”

Hino Riograndense

Sumário

Lista de figuras.....	11
Lista de tabelas.....	12
Lista de siglas.....	14
Resumo.....	15
Abstract.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA	19
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	20
2 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE	21
2.1 DESENVOLVIMENTO INSUSTENTÁVEL.....	22
2.1.1 Produção e concentração de gás carbônico (CO ₂).....	22
2.1.2 Consumo de matérias-primas não-renováveis na indústria da construção civil.....	23
2.1.3 Impacto ambiental do RCD	25
2.2 REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS	26
3 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	29
3.1 DEFINIÇÃO	29
3.2 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO.....	29
3.3 CLASSIFICAÇÃO	31
3.4 GERAÇÃO	33
3.5 QUANTIFICAÇÃO	35
3.6 BRITAGEM DO RCD.....	37
3.7 CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RCD	39
3.8 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO RECICLADO	41
3.8.1 Concreto convencional	41
3.8.2 Argamassas	43

3.8.3	Blocos de concreto	45
4	BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	48
4.1	PROPRIEDADES REQUERIDAS.....	49
4.1.1	Estado fresco	49
4.1.2	Estado endurecido	50
4.2	MATERIAIS EMPREGADOS NA PRODUÇÃO	51
4.3	DOSAGEM	52
4.3.1	Composição granulométrica.....	53
4.3.2	Umidade da mistura	53
4.3.3	Proporção cimento:agregado	53
4.4	PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO	54
4.4.1	Etapas do processo de produção	55
4.5	CONSIDERAÇÕES APÓS A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	58
5	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	60
5.1	PLANEJAMENTO DA PESQUISA	60
5.1.1	Definição das variáveis estudadas	60
5.2	MATERIAIS UTILIZADOS	62
5.2.1	Cimento	62
5.2.2	Resíduo de construção e demolição (RCD)	64
5.2.3	Agregado miúdo natural.....	72
5.2.4	Agregado graúdo natural.....	74
5.2.5	Água	76
5.3	COMPARATIVO ENTRE O AGREGADO MIÚDO RECICLADO E OS AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS	77
5.4	PRODUÇÃO DOS BLOCOS	78
5.4.1	Métodos	80
5.4.2	Dosagem do concreto referência	81
5.4.3	Produção dos blocos de concreto para execução da análise comparativa.	86
5.4.4	Relação água/cimento.....	87
5.4.5	Composição granulométrica dos blocos produzidos	88
5.4.6	Massa dos blocos produzidos.....	92
5.4.7	Ensaio realizados.....	93
5.4.8	Análise estatística.....	96

6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	98
6.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	98
6.1.1	Análise estatística da resistência à compressão	101
6.1.2	Análise do consumo de cimento em relação à resistência à compressão obtida.....	102
6.2	RESISTÊNCIA À ABRASÃO	104
6.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA	107
7	CONCLUSÕES.....	110
7.1	CONCLUSÕES SOBRE CONCRETO NO ESTADO FRESCO	110
7.2	CONCLUSÕES SOBRE O CONCRETO ENDURECIDO	111
8	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	113
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXOS	121
	ANEXO 1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão	122
	ANEXO 2 – Massa dos blocos	125
	ANEXO 3 – Resultados da Análise Estatística	127
	ANEXO 4 – Resultados dos ensaios de resistência à abrasão.....	147
	ANEXO 5 – Resultados dos ensaios de absorção dos blocos	149

Lista de figuras

Figura 1 – Concentração de CO ₂ (ppm) ao longo do tempo. Fonte: CDIAC (2004).....	23
Figura 2 – Composição do RCD de Porto Alegre. Fonte: Leite (2001).....	31
Figura 3 – Britador de impacto. Fonte: Buttler (2003).....	38
Figura 4 – Britador de mandíbula. Fonte: Buttler (2003).....	39
Figura 5 – Exemplo de bloco de concreto para pavimentação.....	48
Figura 6 – Bloco com nata no entorno. Fonte: Pagnussat (2004).....	50
Figura 7 – Acabamento do bloco no estado endurecido.....	51
Figura 8 – Evolução do adensamento em função do tempo e do tipo de vibração. Fonte: Bresson (1981).....	54
Figura 9 – Britador de mandíbula empregado para redução até um diâmetro máximo de 32 mm.....	67
Figura 10 – Moinho rotativo empregado para obtenção de agregado miúdo reciclado.....	68
Figura 11 – Agregado miúdo reciclado.....	69
Figura 12 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.....	70
Figura 13 – Curva granulométrica das areias.....	73
Figura 14 – Brita zero utilizada.....	75
Figura 15 – Curva granulométrica da brita zero.....	76
Figura 16 – Betoneira de eixo vertical.....	78
Figura 17 – Visão frontal da vibro-prensa.....	79
Figura 18 – Detalhe dos moldes na vibro-prensa.....	79
Figura 19 – Visualização dos blocos obtidos a partir traço 6.....	85
Figura 20 – Curvas granulométricas da composição de agregados miúdos utilizados em cada traço.....	90
Figura 21 – Blocos com 0 % e 25 % de agregado miúdo reciclado.....	90
Figura 22 – Blocos com 50 %, 75 % e 100 % de agregado miúdo reciclado.....	91
Figura 23 – Blocos com 0 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 % de agregado miúdo reciclado. Visualização de cima para baixo, da esquerda para a direita.....	91
Figura 24 – Dispositivo de madeira empregado durante a execução do ensaio.....	94
Figura 25 – Resistência à compressão dos blocos com diferentes teores de agregados miúdos reciclados ao longo do tempo.....	100
Figura 26 – Massa (a) e índice de desgaste (b) dos blocos.....	106
Figura 27 – Massa e absorção de água dos blocos.....	108

Lista de tabelas

Tabela 1 – Fontes de geração de resíduos na fase de construção. Fonte: Galivan e Bernold (1994).....	34
Tabela 2 – Coleta de RCD em Porto Alegre.....	36
Tabela 3 - Resultados de resistência à compressão de blocos de vedação. Fonte: De Pauw (1982).....	46
Tabela 4 – Características físicas do cimento. Fonte: Votorantim (2006).....	63
Tabela 5 – Características químicas do cimento. Fonte: Votorantim (2006).....	64
Tabela 6 – Material constituinte do resíduo.....	66
Tabela 7 - Composição granulométrica do agregado miúdo reciclado.....	69
Tabela 8 – Massa específica e Massa unitária do agregado miúdo reciclado.....	71
Tabela 9 – Taxa de absorção de água do agregado miúdo reciclado.....	71
Tabela 10 - Composição granulométrica da areia fina natural.....	72
Tabela 11 - Composição granulométrica da areia média natural.....	73
Tabela 12 – Massa específica e Massa unitária dos agregados miúdos naturais.....	74
Tabela 13 – Taxa de absorção dos agregados miúdos naturais.....	74
Tabela 14 - Composição granulométrica da brita zero.....	75
Tabela 15 – Massa específica e Massa unitária da brita zero.....	76
Tabela 16 – Traço em massa do concreto referência para blocos de pavimentação de Pagnussat (2004).....	82
Tabela 17 – Características do traço referência de Pagnussat (2004).....	83
Tabela 18 – Traços executados para obtenção do concreto referência.....	85
Tabela 19 – Traço referência selecionado.....	86
Tabela 20 – Características do traço do concreto referência selecionado.....	86
Tabela 21 – Resistência à compressão (MPa) – Traço com 25 % de agregado miúdo reciclado e relação a/c = 0,37.....	87
Tabela 22 – Relação a/c dos traços estudados.....	88
Tabela 23 – Composição granulométrica do agregado miúdo dos diversos traços.....	89
Tabela 24 – Valores médios das massas dos blocos (kg).....	92
Tabela 25 – Fator multiplicativo da resistência à compressão.....	94
Tabela 26 – Resistência à compressão média (fc).....	99
Tabela 27– Desvio padrão (σ) e Coeficiente de variação (C.V.).....	99
Tabela 28 – Análise estatística dos dados de resistência à compressão.....	102
Tabela 29 – Consumo de cimento.....	103
Tabela 30 – Relação do consumo de cimento para cada MPa produzido.....	103

Tabela 31 – Ensaaios de resistência à abrasão.....	105
Tabela 32 - Análise estatística dos dados de resistência à abrasão.....	107
Tabela 33 – Resultados dos ensaios de absorção.....	107
Tabela 34 - Análise estatística dos dados de absorção de água.....	109

Lista de siglas

a/c: relação água/cimento

CFC: clorofluorcarbono

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado Rio Grande do Sul

CO₂: gás carbônico

CP-II-Z: cimento Portland tipo II composto com pozolana

CP-V-ARI: cimento Portland tipo V de alta resistência inicial

CPV-ARI-RS: cimento Portland tipo V de alta resistência inicial resistente a sulfatos

C.V.: coeficiente de variação

DMC: diâmetro máximo característico

DMAE: Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

hab: habitante

kg: kilograma

LEME: Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais

MPa: Mega-Pascal

NBR: Norma Brasileira Registrada

NM: Norma Mercosul

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

p: probabilidade

PCA: Plano de controle ambiental

RCD: resíduo de construção e demolição

RS: Estado do Rio Grande do Sul

ton: tonelada

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

SCOTT HOOD, R.S.; **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. Dissertação (Mestrado acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

A questão ambiental é um tema muito discutido e pesquisado atualmente. Isto advém da constatação que os recursos naturais não são ilimitados e que o meio ambiente não tem a capacidade de absorver a quantidade atual de resíduos sem que haja um desequilíbrio ambiental. Neste contexto insere-se a indústria da construção civil, que apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo produtivo, sendo um destes a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) em centros urbanos, que resulta em efeitos deteriorantes do ambiente local onde estes são dispostos e, em virtude do seu desperdício, aumenta a extração de materiais minerais.

Um dos meios de reduzir-se a quantidade de RCD disposto no meio ambiente e a extração de materiais minerais é a reciclagem do RCD e sua utilização na própria indústria que o gerou. Neste sentido, os blocos de concreto para pavimentação surgem como uma alternativa de pesquisa, já que estes têm ganhado espaço como solução para a pavimentação de áreas urbanas. Isto se deve ao aumento dos esforços de empresas e entidades representativas do setor em incentivar sua utilização e às vantagens técnicas inerentes ao sistema, como o fácil assentamento, a rápida liberação para o tráfego, a redução de iluminação pública e a permissão de acesso à rede subterrânea apenas com a retirada dos blocos, que podem ser recolocados após intervenção.

Neste sentido, o presente trabalho estudou a utilização do RCD, proveniente de Porto Alegre – RS, como agregado miúdo reciclado em substituição ao agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação. Foi utilizado o intervalo de teores entre 0 % e 100%, com o objetivo de investigar-se um espectro grande de possibilidades de utilização do agregado miúdo reciclado de RCD, sendo que os ensaios escolhidos (resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água) tiveram o intuito de dar subsídios ao entendimento do comportamento dos blocos produzidos perante as substituições. Após a realização dos ensaios, verificou-se que para o teor de 25% de substituição o material reciclado é passível de utilização, sendo que para os outros teores os resultados foram insatisfatórios.

Palavras chave: reciclagem; resíduos de construção e demolição; blocos de concreto para pavimentação.

Abstract

SCOTT HOOD, R.S.; **Technical Feasibility Study of the Use of Construction and Demolition Waste as a Fine Aggregate in the Manufacture of Concrete Block Paving.** Master's Degree Thesis – Program of Post Graduation in Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brazil, 2006.

Environmental issues are in the public eye and are the focus of extensive research nowadays as it becomes clear that natural resources are limited and that the large amounts of waste generated today will necessarily result in environmental imbalances. A considerable share of this waste is generated by the construction industry, whose activities hold a potential environmental impact throughout the stages of their production processes. Construction and demolition (C&D) waste generated in cities often produces detrimental effects in the sites where debris is dumped, a problem which is compounded by the fact that this waste could be used as a substitute for fresh materials that have to be extracted from mines, another activity with considerable environmental impact.

A possible way to reduce the amount of C&D waste dumped in the environment and also the need for fresh mineral resources is the recycling of C&D waste by the same industry that generated it. Research on the use of concrete block paving provides an interesting alternative as this material has become more widely used in pavements of urban areas as a result of the efforts of construction companies and associations, which now endeavor to promote the use of concrete blocks. These have intrinsic technical advantages, such as their fast placement, the fast release of paved areas to traffic, the reduced need for street lighting and the ease of access to underground networks because blocks can be quickly opened up and reinstated.

The present study investigated the use of C&D waste produced in Porto Alegre, RS, Brazil as a recycled substitute for conventional fine aggregate in concrete block paving. C&D waste was used as fine aggregate in concentrations ranging from 0% to 100% to provide a detailed picture of the possibilities of using recycled C&D waste as fine aggregate. The tests selected (compressive strength, abrasion resistance, water absorption) were used to provide information on the behavior of the blocks produced using different concentrations of C&D waste. These tests show that a concentration of 25% of recycled material as a substitution can be used with satisfactory results while all other concentrations yielded unsatisfactory results.

Keywords: recycling; construction and demolition waste; concrete block paving.

1 INTRODUÇÃO

Na história do desenvolvimento humano, a visão de progresso confundia-se com o crescente domínio e transformação da natureza. Neste contexto, os recursos naturais eram considerados ilimitados, sendo a preservação da natureza vista como antagônica ao desenvolvimento. Os primeiros sinais de que esta era uma visão equivocada foram as considerações a respeito da poluição do ar e da água, que levou à geração do conceito de controle ambiental, com o estabelecimento de legislação limitando a liberação de poluentes.

Assim, surgiu a visão de desenvolvimento sustentável, definida como não apenas a preservação dos recursos naturais de modo a garantir para as gerações futuras iguais condições de desenvolvimento, mas também sendo capaz de prover uma maior equidade no acesso aos benefícios gerados. Esta definição foi consolidada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, Brasil, que evidenciou a exploração desmedida e irresponsável dos recursos naturais, bem como a poluição causada por atividades antropogênicas que podem causar o desequilíbrio ambiental do planeta (BEZERRA e BURSZTYN, 2000).

Neste novo cenário, evidenciada a preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, têm-se incrementado a busca de alternativas sustentáveis de crescimento por parte de todos os segmentos da sociedade. Nesta nova visão, nenhuma sociedade poderá atingir a sustentabilidade sem que a indústria da construção civil passe por profundas transformações, já que a sua cadeia produtiva apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo produtivo: extração de matéria-prima, produção de materiais, construção, uso e demolição.

Um dos importantes impactos ocasionados pela atividade de construção civil é a geração do resíduo de construção e demolição (RCD) em centros urbanos. Este tipo de resíduo tem grande impacto no meio ambiente, sendo que a sua disposição inadequada em áreas livres impróprias para esse fim resulta em efeitos deteriorantes do ambiente local. Entre as principais interferências pode-se citar a alteração da paisagem, dificuldades impostas ao tráfego de pedestres e veículos, comprometimento da drenagem urbana, assoreamento de

recursos hídricos, atração para a disposição de resíduos não-inertes e a multiplicação de vetores de doenças.

Na busca pelo bem estar ambiental, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma alternativa eficaz na redução dos impactos causados pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela disposição inadequada de resíduos. Neste sentido, a transformação destes em fonte alternativa de matéria-prima dentro do próprio setor que a produziu constitui um desafio para o meio técnico-científico.

No interesse por maior conhecimento neste assunto, estuda-se a utilização do RCD como agregado reciclado na confecção de concretos e argamassas convencionais, sendo ainda incipiente a utilização destes agregados em blocos de concreto. A escassa pesquisa científica neste tipo de elemento é justificada pelo seu baixo grau de disseminação em várias regiões do país. Isto é explicado pela falta de conhecimento técnico sobre o assunto, desde a fabricação dos blocos nas centrais de produção, até o desenvolvimento das potencialidades atribuídas à utilização dos blocos.

A reversibilidade deste quadro está sendo buscada com o incremento da produção científica no estudo de características essenciais para a confecção de blocos de concreto. O estudo da influência dos materiais constituintes e de suas proporções nas propriedades do concreto utilizado em blocos contribuem para tornar a abordagem sobre este assunto sistêmica e não empírica como está estabelecida na realidade da execução de blocos. Neste sentido, e buscando agregar valor com o enfoque em outro tema essencial para o desenvolvimento sustentável, a reciclagem de resíduos, esta pesquisa busca avaliar a influência do agregado miúdo reciclado de RCD em substituição aos agregados miúdos naturais nas propriedades de blocos de concreto utilizados em pavimentação.

Assim, esta pesquisa tem o objetivo de contribuir para os estudos de utilização de blocos de concreto em pavimentação e no reaproveitamento de RCD como agregado miúdo reciclado na própria indústria da construção civil, que o gerou. A transformação de resíduos em matéria-prima tem a finalidade de permitir uma maior preservação de áreas de extração de agregados e áreas de disposição de resíduos. Portanto, esta pesquisa procura contribuir em duas áreas importantes na busca do desenvolvimento sustentável: construção civil e meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal analisar a viabilidade técnica do uso do RCD como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Como objetivos secundários, que serão alcançados à medida que o estudo desenvolver-se e contribuirão para as conclusões finais, tem-se:

- a) verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD nas características do concreto fresco;
- b) verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD na resistência à compressão de blocos de concreto para pavimentação;
- c) verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD na resistência à abrasão de blocos de concreto para pavimentação;
- d) verificar a influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados de RCD na absorção de água de blocos de concreto para pavimentação.

1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

O presente trabalho está estruturado de forma a abordar o tema a que se propõe estudar em oito capítulos. Primeiramente é realizada a introdução ao tema e aos fatores intervenientes ao estudo, citando os objetivos da pesquisa e suas limitações.

A revisão bibliográfica se desenvolve ao longo de três capítulos, abordando assuntos considerados relevantes para a contextualização, desenvolvimento e execução da pesquisa. No segundo capítulo é realizada uma análise dos problemas advindos do desenvolvimento econômico sem a preocupação com o meio ambiente, focando nos impactos causados pela indústria da construção civil, principalmente em relação à utilização de matéria-prima não renovável e na geração de RCD.

No terceiro capítulo é realizada uma análise do panorama geral do RCD, desde a sua geração e classificação até seus possíveis usos na própria indústria da construção civil após a realização do seu beneficiamento. No quarto capítulo é abordado o bloco de concreto para pavimentação, com uma descrição das suas características, materiais e maquinário utilizados na sua produção e das variáveis que podem interferir nas suas características.

No quinto capítulo podem ser observados os procedimentos executados no programa experimental, desde os materiais utilizados até os ensaios realizados. No sexto capítulo está indicada a análise dos resultados, no sétimo as conclusões advindas de tais análises e no oitavo as sugestões de trabalhos futuros nesta área.

1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O trabalho desenvolvido nesta pesquisa sofreu algumas limitações impostas por variáveis não controláveis. Estas variáveis foram questões referentes ao maquinário disponível para a pesquisa e ao custo dos ensaios de resistência à abrasão.

A primeira limitação foi a máquina vibro-prensa utilizada para a produção dos blocos de concreto para pavimentação. Este maquinário, disponível no laboratório de materiais do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NORIE/UFRGS), possui baixa capacidade produtiva e características de ajustes próprios, dificilmente conseguindo uma compactação eficiente que garanta blocos com resistências mais elevadas de maneira econômica. Assim, a dosagem do concreto referência foi executada de acordo com o equipamento disponível para a realização da pesquisa, procurando a produção de blocos com resistência na faixa de 25 MPa.

A segunda limitação foi referente ao ensaio de resistência à abrasão, que resulta em um importante parâmetro a ser considerado em blocos de concreto para pavimentação, o índice de desgaste por abrasão. Os ensaios foram realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado Rio Grande do Sul (CIENTEC), sendo realizados somente aos 28 dias em função de viabilizar o programa experimental, visto o seu alto custo de realização e a disponibilidade de uso dos equipamentos necessários à execução do ensaio.

2 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE

Na origem da sociedade industrial, o desenvolvimento econômico significou a transformação da natureza de maneira a melhorar a qualidade de vida da parcela da população beneficiada (JOHN, 2000). A lógica dessa cultura de produção intensa é que a quantidade de recursos naturais disponíveis em termos práticos é infinita e que a natureza é capaz de absorver ilimitadas quantidades de resíduos (LIDDLE, 1994).

Neste sentido, sistemas ecológicos e urbanos raramente são considerados de modo integrado, embora haja avanços nos campos das ciências ambientais e sociais. Para buscar a integração e o desenvolvimento sustentável há a necessidade de questionamentos quanto às atitudes hoje tomadas em relação ao meio ambiente (BIAN, 2004).

Segundo Santos (2004), a conversão de solo natural em urbano, associada à escassez de áreas naturais, impõe pressões inéditas ao ecossistema global. Essas pressões, convertidas em impactos, causam mudanças em larga escala e em tempos dilatados, reduzindo e fragmentando o ambiente natural.

Com a intensa industrialização, o advento de novas tecnologias, o incremento populacional em centros urbanos e a diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos transformaram-se em grave problema urbano, com um gerenciamento oneroso e complexo. Os problemas caracterizam-se por escassez de áreas de disposição, altos custos de gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento e contaminação ambiental (PINTO, 1999; JOHN, 2000; ANGULO et al., 2001).

O modelo de produção utilizado pela indústria moderna sempre gera algum tipo de resíduo, seja na confecção de bens de consumo duráveis ou não duráveis. Nesse processo, as matérias-primas utilizadas são, quase sempre, de origem natural e de procedência não-renovável (ANGULO et al., 2001).

2.1 DESENVOLVIMENTO INSUSTENTÁVEL

Segundo Braga et al. (2002), todo ecossistema procura um estado de equilíbrio dinâmico por meio de mecanismos de autocontrole e auto regulação que entram em ação assim que ocorre qualquer mudança. Entretanto, o ponto de equilíbrio que o planeta Terra chegará se for mantida a forma de desenvolvimento atualmente preponderante, com conseqüências como a alta geração de gás carbônico, o consumo de matérias-primas não renováveis e a geração de resíduos, poderá inviabilizar a continuidade da espécie humana, tanto decorrente de mudanças climáticas bruscas quanto pela falta de recursos naturais para a sobrevivência da espécie.

2.1.1 Produção e concentração de gás carbônico (CO₂)

Uma das evidências de que o desenvolvimento humano está alterando as características do meio ambiente é o aquecimento do globo terrestre, a partir do efeito estufa, que é resultado do acúmulo de gases capazes de absorver a radiação infravermelha na atmosfera. Estes gases são emitidos por máquinas, equipamentos e objetos manuseados por seres humanos. Entre estes gases pode-se citar o CO₂, considerado o principal gás do efeito estufa, o metano, os CFCs, ozônio e aerossóis (JOHN, 2000).

O observatório atmosférico de Mauna Loa, no Havaí, Estados Unidos, estima a quantidade de CO₂ presente na atmosfera. A figura 1 exibe o gráfico da concentração de CO₂, em partes por milhão, entre os anos de 1958 a 2004, evidenciando um crescimento linear da presença deste gás.

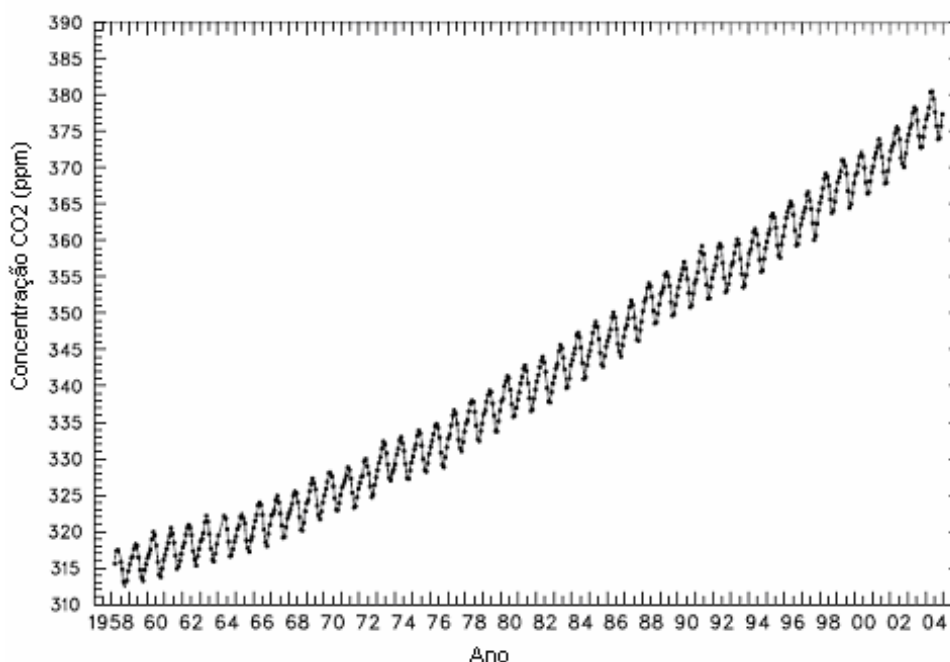


Figura 1 – Concentração de CO₂ (ppm) ao longo do tempo. Fonte: CDIAC (2004)

A produção e liberação de gás carbônico são um grande problema ambiental, mas precisa-se repensar também o consumo de energia, a poluição por nutrientes, a poluição do ar e conseqüente chuva ácida, o consumo de matérias-primas não-renováveis e a geração de resíduos em alta escala (JOHN, 2000).

2.1.2 Consumo de matérias-primas não-renováveis na indústria da construção civil

A indústria da construção civil requer uma grande quantidade de matérias-primas não-renováveis para a execução das suas diversas atividades. A exploração de jazidas de areia, argila e material pétreo é essencial para a continuidade das obras necessárias ao desenvolvimento humano, mas produzem um passivo ambiental que impede a sustentabilidade requerida pelas gerações futuras.

No Brasil, o consumo de agregados naturais está estimado em $380,6 \cdot 10^6$ ton/ano, o que contribui para a geração de impactos ambientais relevantes nas regiões de extração, como a degradação de determinada área e a necessidade de abertura de vias de acesso no entorno.

Além disso, há também o incremento do tráfego nas vias existentes, que causa impactos na região de extração, como por exemplo, o aumento no número de atropelamentos, tanto de animais quanto de pessoas. Neste caso, exemplificando, estima-se que a distribuição de areia natural na Região Metropolitana de São Paulo seja responsável por 1,35 milhões de viagens/ano entre os locais de extração e utilização do material (RANGEL et al., 1997).

A exploração de recursos minerais, se desenvolvida sem critérios técnicos, deixa para a região que a abriga todo um quadro de degradação que onera pesadamente a coletividade em termos financeiros e em qualidade de vida. As atividades não planejadas da retirada de materiais implicam em transformações significativas do meio ambiente tanto na jazida como em terrenos adjacentes, comprometendo o seu aproveitamento em outros usos (PULITANO, 1997).

O licenciamento das áreas de exploração de recursos naturais é imprescindível para o controle das atividades de retirada de materiais, devendo estas áreas serem regularizadas junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Além disso, deve-se prever um Plano de Controle Ambiental (PCA) para as atividades minerárias na área, mediante o qual seria possível o empreendedor tomar medidas de mitigação dos impactos.

A intensificação da exploração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, sem nenhum tipo de licenciamento, é um fenômeno que ainda está ocorrendo, em função da expansão econômica e da escassez de fiscalização. O crescimento dessas atividades acarreta sérios problemas ambientais, uma vez que a mineração produz impacto ao meio ambiente por possuir características bastante singulares em relação a outras atividades. A mais importante delas é a rigidez locacional, que não possibilita a alteração da localização de uma jazida. De modo geral, os principais impactos observados neste tipo de atividade são: a supressão da vegetação, o assoreamento de cursos d'água, a descaracterização da paisagem, a existências de cavas resultantes de processo de lavra, a interdição dos ramais para pedestres e veículos leves e a degradação de áreas protegidas (SANTOS, 2001).

Na intenção de reduzir a quantidade de passivos ambientais produzidos pela exploração de jazidas, podem ser realizadas a recuperação das áreas degradadas e a diminuição da quantidade de áreas exploradas. A primeira providência citada pode ser executada com a utilização de técnicas já consagradas de engenharia, que visam refazer a conformação original

dos locais impactados. A segunda só será possível de acontecer com uma mudança de mentalidade e de atitudes que possibilitem a utilização de um número menor de recursos naturais que os necessários atualmente.

Assim, há a necessidade da conscientização de que a matéria-prima proveniente da natureza não é ilimitada, devendo ser manejada de forma racional. Além disso, devem ser buscadas fontes alternativas de materiais, como a transformação de resíduos em materiais passíveis de utilização.

2.1.3 Impacto ambiental do RCD

O ambiente urbano construído é também responsável por mudanças climáticas, aumento do buraco na camada de ozônio, chuva ácida e desmatamentos. Além disso, as construções consomem recursos naturais na fase de construção e durante seu uso, sendo o setor da construção civil responsável por grande parte dos recursos naturais extraídos da natureza, sendo este montante estimado em 50 % (ALAVEDRA et al., 1997).

Segundo John (2000), em países desenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil, que ampliam continuamente o seu ambiente construído, existe a tendência de consumo elevado de insumos inerentes à construção civil, extraíndo recursos da natureza e gerando uma quantidade grande de RCD. Do ponto de vista ambiental, o problema principal com este tipo de resíduo está relacionado à sua disposição irregular, muito comum em todo o mundo, e aos grandes volumes produzidos (JOHN e AGOPYAN, 2000).

No Brasil, os números de RCD dispostos irregularmente, estimados por Pinto (1999) para cinco cidades médias, variaram entre 10 e 47% do total gerado, sendo esta uma variação muito grande, o que demonstra a dificuldade encontrada no levantamento destes dados e a imprecisão dos resultados. Entretanto, estes números indicam a significância da disposição irregular destes resíduos, principalmente pelos impactos decorrentes de tal atitude, como as enchentes provenientes de assoreamento de recursos hídricos, a proliferação de vetores nocivos à saúde, a interdição parcial de vias e a degradação do ambiente urbano.

O quadro mais comum encontrado nos municípios de médio e grande porte é a inadequada disposição de grandes volumes de RCD em aterros de inertes ou bota-foras. Constitui o

problema mais significativo na destinação dessa parcela dos resíduos o inexorável e rápido esgotamento das áreas designadas para disposição (PINTO, 1999). Outra questão é que, sendo o RCD considerado não-inerte, pelo menos em alguns casos, por diversos autores (ZORDAN, 2000; OLIVEIRA, 2002; CONAMA, 2002), esses aterros não devem ser considerados uma prática adequada, pois não consideram a possível lixiviação de efluentes poluentes, não possuindo soluções técnicas para o seu tratamento ou destino.

2.2 REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A vida útil de um produto é sempre limitada, não existindo produto que não se torne resíduo. Assim, a minimização da geração de resíduos, a reutilização deste material, aplicando-o em outro uso e a reciclagem dos resíduos, transformando-os em um subproduto, são alternativas para a consolidação do desenvolvimento sustentável (JOHN, 2000).

Leite (2001) considera que:

a reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria-prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos, a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas. A reciclagem de resíduos de construção irá minimizar também os problemas com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios. Haverá um crescimento de vida útil nos aterros, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos. Adicionalmente, haverá um melhor bem estar social e ambiental.

Na indústria da construção civil, a reciclagem pode gerar inúmeros benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, a redução do consumo de energia durante o processo de produção e a diminuição da emissão de gás carbônico (JOHN, 2000). Além disso, podem-se reduzir as áreas necessárias para aterro pela minimização do volume de resíduos gerados (PINTO, 1999).

Neste contexto, a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) imprimiu uma nova visão do gerenciamento de RCD no Brasil, ressaltando a importância da reciclagem destes. O que antes poderia ser definido somente como uma prática ambientalmente saudável ou de possível

interesse econômico, agora é definido legalmente. O artigo 10 dessa resolução definiu que o RCD deverá ser destinado da seguinte forma:

- a) Classe A: deverá ser reutilizado ou reciclado na forma de agregado, ou encaminhado a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- b) classe B: deverá ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- c) classe C: deverá ser armazenado, transportado e destinado em conformidade com as normas técnicas específicas;
- d) classe D: deverá ser armazenado, transportado, reutilizado e destinado em conformidade com as normas técnicas específicas.

Além disso, esta mesma resolução estabeleceu que os geradores incluíssem os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento dos órgãos competentes. Também definiu que os Municípios e o Distrito Federal elaborassem Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e cessassem a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de bota fora.

As estratégias que podem nortear estes projetos e programas devem abranger tanto o ambiente macro quanto o micro. As soluções relativas ao ambiente macro, considerado como as cidades, estão focadas na prevenção da disposição ilegal de resíduos em áreas não licenciadas para tanto e na não disposição destes em aterros sanitários. A disposição ilegal pode ser diminuída com a criação de uma rede de estações de transbordo de resíduos, que diminuirá os custos de transporte, e do controle da entrega nestas estações, sendo emitido um documento de entrega que deverá ser devolvido ao gerador. A disposição de resíduos em aterros sanitários pode ser menor se for agregado valor aos resíduos e houver uma menor geração, o que dependerá cada vez mais de pesquisas em busca de soluções viáveis economicamente para o problema da geração de resíduos (JOHN et al., 2004).

Também segundo John et al. (2004), no ambiente micro, considerado como os canteiros de obras, a triagem do RCD, separando os resíduos na fonte e os reutilizando para os fins adequados, resultaria em economia de material. Neste sentido, temos como prioridade a separação do gesso, que ainda não possui uma finalidade definida e pode contaminar o restante dos resíduos. Além disso, deve-se buscar uma gestão integrada das construções, tendo o foco também na diminuição da geração de resíduos, resultando em uma qualidade ambiental superior do canteiro de obras e, por consequência, do seu entorno.

3 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

3.1 DEFINIÇÃO

RCD é aquele proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Neste universo enquadram-se como tais os tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros (CONAMA, 2002).

Segundo Vieira (2003), RCD é todo material oriundo de atividades de demolição de obras civis, restos de obras ou reformas. Angulo (2000) também aceita essa definição e complementa, afirmando este ser todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja ele de novas construções, reformas, demolições, que envolvam atividades de obras de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes em limpezas de terreno.

Quanto à nomenclatura, alguns autores do meio científico definem resíduos de construção e demolição como RCD, porém, outros preferem o termo entulho, sendo, em muitos casos, esta discordância em função da abrangência das frações de materiais presentes e às atividades geradoras destes materiais (ANGULO, 2000).

3.2 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO

O RCD apresenta-se na forma sólida, com características físicas variáveis que dependem do seu processo gerador, podendo ser encontrado tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares: pedaços de madeira, argamassas, concretos, plástico, metais, etc. (ZORDAN, 2000).

Por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologias de produção, e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente, a composição do RCD depende muito da fonte que o originou. O momento de coleta da amostra também tem relevância, visto que a construção civil desenvolve muitas atividades dentro de um canteiro de obras. Tudo isso confere ao material uma alta heterogeneidade, sendo sua separação total praticamente impossível (LEVY, 1997; ZORDAN, 2000).

Kazmierczak et al. (2006) estudaram comparativamente o RCD das cidades de São Leopoldo e Novo Hamburgo, região metropolitana de Porto Alegre, sendo que os resultados percentuais da composição, após descarte de impurezas, não apresentaram grande dispersão entre si. Os valores encontrados foram, respectivamente, 22 e 34 % para argamassa, 32 e 23 % para cerâmica vermelha e 26 e 27 % para concreto.

Leite (2001) analisou a composição do RCD da cidade de Porto Alegre-RS a partir de triagem na fonte, seguida de um processo simplificado de catação visual das partículas. O resíduo para a realização desse estudo foi amostrado do aterro de inertes localizado no bairro da Serraria na zona sul da cidade de Porto Alegre-RS. Como este local destina-se a receber todo tipo de material inerte gerado na cidade, o resíduo pode ser proveniente tanto da etapa de construção quanto de manutenção e demolição.

A composição do resíduo apresentou os seguintes materiais: material cerâmico (blocos, tijolos, telhas, revestimento de piso e parede), argamassa (revestimento e assentamento), concreto e pedras naturais. Durante o beneficiamento da amostra em laboratório foram descartados papel, papelão, madeira, barras de aço, vidros, gesso e quaisquer outras impurezas que pudessem afetar o desempenho do concreto de forma mais significativa. A porcentagem desses materiais pode ser observada na figura 2 (LEITE, 2001).

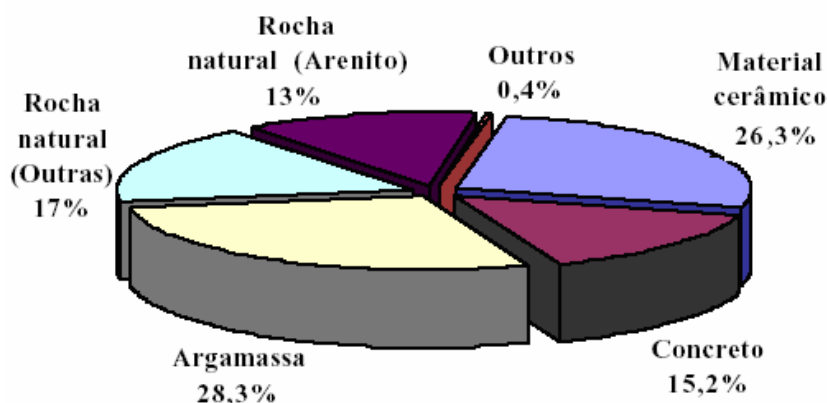


Figura 2 – Composição do RCD de Porto Alegre. Fonte: Leite (2001)

3.3 CLASSIFICAÇÃO

O RCD é o mais heterogêneo dentre os resíduos industriais, dificultando a sua classificação. Ele é constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, entre outros) e sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes. No entanto, a maior fração de sua massa é formada por material não mineral (madeira, papel, plásticos, metais e matéria orgânica) (ZORDAN, 2000).

Segundo a NBR 10004 (2004), os resíduos são classificados em Resíduos Classe I - Perigosos e Resíduos Classe II - Não Perigosos. Estes últimos são divididos em Classe II A - Não Inertes e Classe II B - Inertes, sendo o RCD enquadrado na categoria Classe II B. Entretanto, esta classificação é contestada por John e Agopyan (2000) e Zaharieva et al. (2002).

Para John e Agopyan (2000), se uma grande maioria do RCD gerado fosse submetida à análise, provavelmente seria classificado como não inerte, especialmente devido ao seu pH, podendo conter contaminações importantes. Estas contaminações podem tanto ser oriundas da fase de utilização da construção a partir das quais foram gerados quanto do seu manuseio posterior. Estes contaminantes podem afetar tanto a qualidade técnica do produto contendo o reciclado quanto significar riscos ambientais.

Zaharieva et al. (2002) consideram que a característica de inerte não pode ser atribuída ao agregado reciclado de RCD devido a este não ser um material inerte, já que possui altos teores

de impurezas, entre eles metais pesados, que podem vir a lixiviar e afetar a durabilidade dos concretos produzidos a partir desses agregados. Entretanto, Zordan (2000) argumenta que o RCD pode inserir-se em quaisquer das classes II A ou II B, dependendo apenas da sua origem e constituição.

Assim, algumas classificações foram realizadas para o RCD, sendo citada a elaborada por Lima (1999). Esta classificação considerou os diferentes tipos de resíduos disponíveis para reciclagem, os sistemas de classificação existentes no Brasil e no exterior, as especificações para agregados, experiências estrangeiras de reciclagem e a necessidade de consumir quantidades significativas de resíduos:

- a) Classe 1: resíduo de concreto sem impurezas – material composto de concreto estrutural simples ou armado, com teores limitados de alvenaria, argamassa e impurezas;
- b) classe 2: resíduo de alvenaria sem impurezas – material composto de argamassa, alvenaria e concreto, com presença de inertes como areias, pedras britadas entre outros com teores limitados de impurezas;
- c) classe 3: resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas – material composto de argamassa, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes como areia e pedra britada, entre outros, com teores limitados de impurezas;
- d) classe 4: resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação – semelhante ao resíduo classe 2, mas pode ter presença de volume de terra, com maior teor de impurezas;
- e) classe 5: resíduo composto por terra e vegetação – material composto por terra e vegetação, com presença de argamassa e concretos e outros materiais inertes com maior teor de impurezas;
- f) classe 6: resíduo com predominância de material asfáltico – composto predominantemente de material asfáltico, com a presença de argamassa, terra, alvenarias, vegetação, gesso, vidros, entre outros.

Outra classificação, elaborada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, foi a divulgada pela Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), que separa o RCD em 4 classes distintas:

- a) Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: 1) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; 2) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; 3) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- b) classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- c) classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- d) classe D – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

3.4 GERAÇÃO

A geração de resíduos pela indústria da construção civil é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade na tentativa de promover o desenvolvimento sustentável nos grandes centros urbanos, visto que existe a necessidade de grandes áreas de disposição para este tipo de resíduo, acarretando na degradação do meio ambiente. Em muitos países, existem regulamentações que tratam da disposição e o gerenciamento desses resíduos, com a aplicação de elevadas taxas sobre os resíduos que são dispostos no meio-ambiente (BUTTLER, 2003).

Na indústria da construção civil, os resíduos são sempre gerados dentro dos próprios processos da obra. De acordo com Vieira (2003), pode-se dizer que há basicamente três fases

nas quais o RCD é gerado: fase de construção, fase de manutenção ou reformas e a fase de demolição.

O resíduo gerado durante a fase de construção é decorrente das perdas nos processos construtivos. Parte dessa perda permanece incorporada nas construções sob a forma de componentes cujas dimensões finais são superiores às de projeto. A outra parte das perdas vira o RCD propriamente dito (VIEIRA, 2003).

A construção artesanal predominante na construção civil brasileira contribui para a existência de perdas consideráveis de materiais e mão-de-obra, imperando o princípio da baixa produtividade e mau gerenciamento (ZORDAN, 1997). A tabela 1 indica as principais fontes de geração de resíduos em obras novas, ou seja, na fase de construção.

Tabela 1 – Fontes de geração de resíduos na fase de construção.
Fonte: Galivan e Bernold (1994)

Fonte	Causa
Projeto	Erro nos contratos
	Modificações de projeto
Intervenção	Ordens erradas, ausência ou excesso de ordens
	Erros no fornecimento
Manipulação de materiais	Danos durante o transporte
	Estoque inapropriado
Operação	Ambiente impróprio e erros do operário
	Mau funcionamento de equipamentos
	Uso de materiais incorretos em substituições
	Sobras de cortes e dosagens
	Resíduos do processo de aplicação
Outros	Vandalismo e roubo
	Falta de controle de materiais e de gerenciamento de resíduos

Segundo John e Agopyan (2000), na fase de manutenção a geração de resíduos está associada a vários fatores, citados a seguir:

- a) Correção de defeitos (manifestações patológicas);
- b) reformas ou modernização do edifício ou de partes do mesmo, que normalmente exigem demolições parciais;
- c) descarte de componentes que tenham se degradado e atingido o final da vida útil e por isso necessitam de ser substituídos.

Nesta fase, a redução da geração do resíduo vai depender da melhoria da qualidade da construção, de tal forma que a manutenção seja reduzida. Isto só será conseguido se houver estudos preliminares, envolvendo projetos que possam garantir o aumento da vida útil da estrutura. As demais medidas para redução dos resíduos nessa fase vão depender da conscientização de integrantes da cadeia produtiva da construção, que somente será obtida em longo prazo (JOHN e AGOPYAN, 2000).

Na etapa de demolição, a redução dos resíduos depende do prolongamento da vida útil de seus componentes, que, por sua vez, dependem tanto da tecnologia quanto dos materiais. Estes dependem da existência de incentivos para que os proprietários realizem modernizações e não demolições, e da existência de uma metodologia que permita reutilizar os componentes (VIEIRA, 2003).

3.5 QUANTIFICAÇÃO

A mensuração da quantidade de RCD gerado pode ser realizada através de pelo menos três formas: por área construída, movimentação de cargas por coletores e monitoramento de descargas. Este último sistema de quantificação é difícil de ser realizado, por causa da pulverização das descargas no ambiente urbano (PINTO, 1999).

Segundo John e Agopyan (2000), as estimativas internacionais variam entre 130 e 3000 kg/hab.ano. Pinto (1999) define que para cidades de Jundiaí, Santo André, São José dos

Campos, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, Campinas, Salvador e Vitória da Conquista, a quantidade varia entre 230 kg/hab.ano, para esta última, até 760 kg/hab.ano, para a primeira.

Para a cidade de Porto Alegre, a Prefeitura Municipal forneceu os dados oficiais sobre a coleta de RCD durante o período de oito anos, sendo estes observados na tabela 2. Leite (2001) fornece o dado de 350 ton/dia de entulho gerado para esta mesma cidade, sendo que ocorre uma discrepância entre esse valor e o divulgado pela Prefeitura Municipal, que é de 248,37 ton/dia.

Tabela 2 – Coleta de RCD em Porto Alegre. Fonte: DMLU (2006).

Ano	ton/dia	m³/dia
1998	299,54	249,62
1999	203,82	169,85
2000	211,36	176,13
2001	248,37	206,98
2002	376,67	313,89
2003	210,19	175,16
2004	186,76	155,63
2005	119,80	99,83

A análise destes dados demonstra uma variação significativa nos números referentes à coleta de RCD em Porto Alegre. Isto decorre do fato de que a produção de RCD não significa propriamente a sua coleta, ou seja, nem todo RCD produzido é coletado, podendo ser disposto irregularmente em locais não próprios para este fim. Assim, em determinados períodos pode ter ocorrido uma maior ou menor coleta, causando influência significativa na verificação de dados acerca da geração de RCD a partir dos dados de coleta.

Os dados expostos sobre a geração e coleta de RCD revelam que há uma disparidade muito grande na mensuração das quantidades de RCD gerado. Isto se deve ao fato de ainda não existir uma metodologia consagrada que sistematize esta avaliação e, também em função de

uma série de variáveis serem intervenientes ao processo, desde a época da realização da pesquisa até o treinamento dado a quem coleta as informações.

Em nível mundial, a quantidade de RCD gerado é muito grande. Como exemplo, pode-se observar a Comunidade Européia, que gera anualmente 480 milhões de toneladas de resíduos inertes. Deste total, 180 milhões correspondem a RCD com potencial de reaproveitamento, sendo reaproveitados 50 milhões de toneladas, que correspondem a 28% do total gerado. O restante é incinerado e depositado em aterros (DORSTHORST, 2000).

Hansen (1992) estimou que aproximadamente 50 milhões de toneladas de concreto são demolidos a cada ano nas comunidades européias, sendo que todos os anos cerca de 11 milhões de toneladas de concreto demolido são depositados em aterros no Reino Unido. Nos EUA são gerados 31,5 milhões de toneladas de resíduos, equivalendo a quase 25% de todo o resíduo sólido produzido neste país (PENG et al., 1997). Os países desenvolvidos e em desenvolvimento, que anualmente ampliam seu ambiente construído, consomem uma elevada quantidade de material e de recursos, aumentando significativamente a geração de resíduos (LAURITZEN, 1998).

3.6 BRITAGEM DO RCD

Para adquirir as dimensões adequadas à utilização como agregados reciclados, o RCD deve passar por um processo de britagem. Este processo pode ser realizado em circuitos abertos ou fechados. No circuito fechado, os materiais passam pelo britador até atingirem o tamanho máximo desejado, e no circuito aberto o material passa pelo britador uma única vez (BALLISTA, 2003).

Os britadores mais utilizados no beneficiamento de RCD são os de mandíbula e o de impacto. Os britadores de mandíbula processam o material através do esmagamento das partículas, sem, entretanto, reduzir significativamente o seu tamanho, havendo a necessidade de uma re-britagem em caso de se necessitar partículas menores. O britador de impacto brita o material através do choque de martelos maciços fixados por um rotor e pelo choque com placas fixas, produzindo partículas de menor tamanho (BARROS, 2005).

Também são utilizados, em menor escala, os moinhos rotativos para a obtenção do agregado na granulometria requerida, geralmente após a passagem do material em outro britador. Estes são dotados de câmara de britagem e cilindros de impacto que esmagam o material, produzindo o agregado miúdo (LEVY, 1997).

Segundo Jadovski (2005), os equipamentos citados são os mais importantes na linha de produção de agregados reciclados, sendo que Itec (1995) considera os britadores de impacto como o melhor equipamento para a produção de novos agregados destinados a serviços de pavimentação. Corroborando esta constatação, Buttler (2003) observou que o britador de impacto fornece uma melhor distribuição granulométrica do agregado reciclado para ser empregado em sub-bases e bases de rodovias, sendo que a utilização do britador de mandíbula fornece uma melhor distribuição granulométrica do agregado reciclado para a produção de concreto. Exemplo destes dois tipos de britadores podem ser observados nas figuras 3 e 4.



Figura 3 – Britador de impacto. Fonte: Buttler (2003)



Figura 4 – Britador de mandíbula. Fonte: Buttler (2003)

Pedrozo et al. (2000) processaram RCD da cidade de Porto Alegre-RS com britadores de mandíbula e de impacto, atingindo a granulometria requerida. Esta foi obtida a partir da utilização em seqüência destes, sendo em um primeiro momento o material processado no britador de impacto e, logo após, no de mandíbula.

3.7 CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RCD

O agregado miúdo reciclado de RCD apresenta características que dependem muito dos materiais utilizados e do tipo de processo empregado na sua produção. Assim, sempre há a necessidade da verificação destas características para a execução de qualquer trabalho com este tipo de agregado. Entretanto, existe a necessidade de realizar-se uma revisão sobre as características deste.

Neste contexto, partindo da observação da composição granulométrica deste tipo de agregado, Lima (1999) verificou que o agregado miúdo reciclado de RCD tem a tendência de apresentar uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco maior. Neste mesmo sentido, Leite (2001), que adotou como melhor faixa granulométrica todo o material passante na malha # 4,8 mm, constatou

uma elevada presença de finos no agregado miúdo reciclado a partir de RCD da cidade de Porto Alegre-RS. Esta característica do agregado miúdo reciclado pode diminuir a durabilidade dos concretos produzidos do ponto de vista da resistência à abrasão.

Nas cidades de São Leopoldo e Novo Hamburgo, localizadas na Região Metropolitana de Porto Alegre, Kazmierczak et al. (2006) verificaram que o agregado miúdo obtido pela moagem de RCD apresentou uma granulometria passível de ser utilizada para a fabricação de concreto. A dimensão máxima característica do agregado miúdo apresentou um valor de 4,8 mm, para os dois municípios, e o módulo de finura encontrado foi 2,49 para São Leopoldo e 2,74 para Novo Hamburgo.

Quanto à massa unitária e à massa específica de agregados miúdos reciclados de RCD, é consenso que estes dois parâmetros geralmente apresentam valores um pouco menores que os apresentados pelos agregados naturais utilizados na produção de concretos. Entretanto, os valores encontrados na bibliografia são muito variáveis, sendo este fato explicado pela própria composição do material, muito heterogêneo, e também pela diversidade de métodos utilizados para esta definição (LEITE, 2001).

A taxa de absorção de água dos agregados miúdos reciclados também é um importante parâmetro a ser estudado quando da utilização deste como agregado em blocos de concreto, pois geralmente este apresenta valores bem mais altos que os agregados naturais. Valores entre 7 % e 14 % de taxa de absorção de água são normalmente encontrados quando da análise deste parâmetro em agregados reciclados de RCD (TOPÇU e GUNÇAN, 1995; BAZUCO, 1999). Entretanto, valores entre 20 % e 22 % já foram observados, sendo este parâmetro dependente da composição do RCD que deu origem ao agregado miúdo reciclado (LEVY, 1997; LEITE, 2001).

No contexto apresentado, com a heterogeneidade que caracteriza o agregado reciclado, a implantação de uma usina de produção deste material tem a necessidade de contar com um procedimento que permita o controle das características do mesmo. Para tanto, ainda se procede com a catação e separação visual do RCD anteriormente a britagem, vislumbrando o conhecimento dos componentes que dão origem ao agregado reciclado.

No sentido de ter um controle maior das características do agregado reciclado, Angulo (2005) mostrou que a utilização da técnica de separação do agregado reciclado por líquidos densos pode ser usada como ferramenta de decisão para a triagem dos lotes dos agregados. Esta técnica consiste em agrupar partículas de densidade semelhante e, combinada com a catação e análise de imagem, pode contribuir com informações sobre as características do produto e melhorar a especificação de lotes de agregados a serem comercializados.

3.8 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO RECICLADO

Na indústria da construção civil existe a possibilidade do RCD ser utilizado como agregado reciclado em substituição ao agregado natural em materiais cimentícios. Existem, principalmente, três áreas onde estes podem ser utilizados: concreto convencional, argamassas e blocos de concreto.

3.8.1 Concreto convencional

De acordo com Pedrozo et al. (2000), os agregados provenientes da reciclagem de RCD da cidade de Porto Alegre-RS podem ser usados em concreto convencional. Neste mesmo sentido, Leite (2001) constatou que a utilização do agregado reciclado em concreto convencional em substituição total ou parcial do agregado miúdo natural, principalmente para baixas relações a/c, é viável.

Zordan (1997) também estudou a utilização de RCD como agregado reciclado em concretos e concluiu que a parte graúda do agregado revelou aspectos negativos para a resistência à compressão do concreto em relação ao concreto referência. Entretanto, o mesmo autor considerou que, após análise da resistência à compressão, resistência à abrasão e permeabilidade dos concretos produzidos, estes poderiam ser utilizados em concreto não estrutural. Topçu e Sengel (2004) corroboram esta afirmação, considerando que concretos com até 30 % de agregado reciclado de RCD fornecem um concreto com resistência à compressão de 16 MPa aos 28 dias, podendo ser utilizado de forma não estrutural.

Quanto à resistência à compressão, Lima (1999) afirma que, em face da possibilidade de reatividade pozolânica dos agregados reciclados, estes contribuem para a melhoria deste parâmetro em concretos, principalmente em idades mais avançadas. Neste sentido, corroborando esta conclusão, Leite (2001) afirma que a utilização de agregado reciclado sem a presença de agregado natural produz maiores taxas de crescimento de resistência dos 28 aos 91 dias, apontando a existência de atividade pozolânica da fração miúda do agregado reciclado.

Khatib (2005) também verificou que há o incremento da resistência à compressão dos 28 aos 90 dias devido à atividade pozolânica ocorrida em decorrência da presença de agregado miúdo reciclado. O mesmo autor também verificou que a presença de agregados miúdos reciclados de material cerâmico propicia maior resistência à compressão do concreto aos 90 dias do que agregados miúdos reciclados de concreto.

Leite (2001) também concluiu que a resistência à compressão dos concretos é muito influenciada pela porosidade dos materiais que o compõe e pela porosidade da zona de transição. Quando se utiliza agregado reciclado nas misturas de concreto, a relação a/c e o teor de agregado graúdo reciclado são os fatores de maior influência na determinação do valor da resistência final do concreto.

Analisando-se a quantidade de água necessária aos concretos produzidos com agregados reciclados de RCD, se evidencia uma maior necessidade em relação aos concretos convencionais em virtude da alta taxa de absorção apresentada pelo material reciclado. Quando o RCD possui em sua constituição material cerâmico, a quantidade de água necessária torna-se maior ainda (TOPÇU e SENDEL, 2004).

Quanto aos concretos constituídos de agregados reciclados de RCD com material cerâmico, Senthamarai e Devadas (2005) observaram que a trabalhabilidade destes é compatível com o concreto confeccionado com agregado natural. Além disso, o mesmo autor verificou que a resistência à compressão dos concretos com agregado reciclado também é similar aos concretos tradicionais.

A absorção de água nos concretos com agregados reciclados apresenta uma tendência crescente com o acréscimo do teor de reciclados. Este comportamento é explicado pela

absorção superior dos agregados reciclados em comparação com agregados naturais (ZORDAN, 1997; LEITE, 2001; LEVY, 2001).

Em relação à durabilidade, Levy (2001) estudou este parâmetro em concretos produzidos com agregados reciclados de RCD. Os resultados analisados mostraram que o incremento destes agregados até o teor de 20% não afeta o comportamento do concreto em relação ao de referência, demonstrando que poderão ser utilizados sem qualquer restrição quanto à resistência e à durabilidade. Levy e Helene (2004) verificaram que o desempenho de concretos produzidos com agregado reciclado de RCD em relação à carbonatação melhorou, contribuindo para uma maior durabilidade do concreto. Entretanto, Evangelista e Brito (2006) verificaram um aumento na carbonatação de concretos à medida que a taxa de agregado miúdo reciclado presente nos concretos aumenta, sugerindo que existe a necessidade de mais pesquisas nesta área para se ter uma conclusão definitiva.

Em outro enfoque, analisando-se a microestrutura de concretos, constata-se a melhora da zona de transição pasta/agregado de concretos confeccionados com agregados reciclados de RCD. A formação de produtos de hidratação na superfície dos agregados reciclados melhora o entrelaçamento entre a pasta e o agregado. Tal observação explica a melhoria das propriedades mecânicas observadas nos concretos com agregados reciclados, principalmente dos traços de concreto com relações a/c mais elevadas (LEITE, 2001; TAM et al., 2005).

3.8.2 Argamassas

Na confecção de argamassas de revestimento e assentamento com agregados reciclados de RCD, constata-se que as características do produto final são influenciadas pelas propriedades do material utilizado como agregado reciclado. Além disso, há a possibilidade deste material possuir contaminantes que podem modificar as propriedades mecânicas dos materiais constituídos a partir do RCD (LEVY, 1997).

Leite et al. (2000) utilizaram, na confecção de argamassas, agregado miúdo reciclado obtido a partir somente da britagem de concreto selecionado e obtiveram resultados que indicam este como um bom substituto do agregado natural no que diz respeito às propriedades avaliadas, que foram a resistência à compressão, o módulo de deformação e a carbonatação. Segundo

estes mesmos autores, a argamassa confeccionada com agregado reciclado teve incrementada sua resistência à compressão em relação às com executadas com agregado natural, mostrou-se mais deformável e, quanto à carbonatação, apresentou comportamento semelhante e até mesmo superior. Entretanto, Chen et al. (2003) indicaram que argamassas confeccionadas com agregado miúdo reciclado apresentam diminuição na sua resistência à compressão.

Para a resistência à tração de argamassas constituídas com agregados reciclados verifica-se uma melhora em relação à argamassa confeccionada com agregado natural. Quanto à resistência de aderência, as argamassas com substituição de agregado natural por reciclado apresentam resultados satisfatórios, acima dos prescritos em norma (MIRANDA, 2000; SANTANA et al., 2001).

Na verificação da granulometria ideal do agregado reciclado visando a produção de argamassas de revestimento, Miranda (2000) verificou que é necessário um controle do agregado entre as dimensões de 2,4 mm até 0,15 mm. A constatação disso deve-se ao fato de que o material com dimensão menor que 0,15 mm causa o aumento do consumo de água nas argamassas e dificulta o processo de controle granulométrico e de contaminantes.

Em uma análise mais ampla da confecção de argamassas com agregados reciclados pode-se concluir que as propriedades mecânicas destas argamassas devem ser analisadas através da relação a/c corrigida, principalmente em argamassas com grande quantidade de material cerâmico (MIRANDA e SELMO, 2001). Além disso, segundo Miranda (2000), pode-se considerar que as propriedades de resistência à compressão, à tração e de aderência de argamassas produzidas com agregados reciclados de RCD apresentam resultados satisfatórios.

Segundo Jadovski (2005), pode-se afirmar de um modo geral que a substituição de agregado natural por agregado reciclado apresenta-se como uma alternativa tecnicamente viável. Além disso, estudando a viabilidade econômica desta substituição, Miranda (2000) verificou que a produção do traço de argamassa com agregado reciclado chegou a custar 40 % a menos que o traço constituído por agregado natural.

3.8.3 Blocos de concreto

O estudo em torno da utilização de agregados reciclados de RCD em blocos de concreto depende da finalidade do uso do bloco, sendo os parâmetros avaliados relativos às características necessárias às solicitações de serviço. Se forem utilizados para pavimentação, os principais parâmetros estudados devem ser a resistência à compressão, a taxa de absorção de água e a resistência à abrasão. Na utilização como blocos de vedação, os principais parâmetros avaliados devem ser a resistência à compressão e a taxa de absorção de água.

3.8.3.1 Vedação

De Pauw (1982) avaliou a substituição de agregados naturais, convencionalmente utilizados na produção dos blocos de concreto, por agregados reciclados de RCD. Para todas as composições foi mantida uma porcentagem de agregado miúdo natural. A quantidade de água utilizada na mistura foi definida visualmente, pela mão-de-obra local, em função da facilidade de moldagem dos blocos. Os blocos produzidos foram ensaiados apenas à compressão aos 28 dias. A tabela 3 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para cada composição avaliada.

Em relação à composição de referência, observa-se que na média os resultados obtidos são satisfatórios. Para as composições com determinada porcentagem de agregados reciclados, na faixa entre 0 e 25 mm de diâmetro, verifica-se uma queda na resistência. Ao contrário, nas composições onde utiliza-se agregados reciclados nas faixas entre 3 e 12 mm de diâmetro, verifica-se um aumento da resistência para as porcentagens mais elevadas (DE PAUW, 1982).

Além da substituição do agregado natural por reciclado, Pollet (1997) também avaliou a influência do tempo de adensamento. Para tanto, os blocos, submetidos a dois tempos de adensamento, foram avaliados quanto à massa específica, resistência à compressão e à absorção de água. Os resultados obtidos mostraram-se favoráveis à utilização dos agregados reciclados na produção de blocos de concreto. Entretanto, salientou-se a necessidade de estudos mais aprofundados para o uso desses blocos em paredes externas ou subsolos.

Tabela 3 - Resultados de resistência à compressão de blocos de vedação. Fonte: De Pauw (1982)

Traços utilizados em massa						
Séries	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Agregado graúdo natural (kg)	Agregados reciclados (kg)		Resistência à compressão (MPa)
	P15 - 302	0 - 2 (mm)	3 - 8 (mm)	0 - 25 (mm)	3 -12 (mm)	
Referência	50	100	300			3,7
1	50	150		250		2,2
2	50	100		200		3,3
3	50	200		200		2,9
4	50	150			300	4,1
5	50	150			250	7,0
6	50	200			200	2,1

Sousa (2001) estudou os parâmetros que influenciam nas propriedades e no proporcionamento do concreto utilizado na produção dos blocos de concreto e a possibilidade de utilização de agregados reciclados de RCD em substituição aos agregados convencionais geralmente empregados na produção dos blocos. Este autor observou uma redução na massa específica e na resistência à compressão, e aumento na absorção, em relação aos materiais convencionais. Como conclusão, os resultados mostraram-se favoráveis à utilização deste resíduo reciclado na produção dos blocos, entretanto recomenda-se um maior controle nas características do resíduo, evitando-se a parcela inferior a 2,4 mm de diâmetro. Tais partículas mostraram-se com grande influência na deficiência das propriedades dos blocos de concreto.

3.8.3.2 Pavimentação

A bibliografia acerca da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em blocos de concreto para pavimentação ainda é muito incipiente. Segundo Poon et al. (2002), a substituição de agregado natural graúdo e miúdo por agregado reciclado de concreto até a taxa

de 50 % em massa não resultou em uma diminuição significativa da resistência à compressão dos blocos. Além disso, o desempenho destes quanto à durabilidade também foi satisfatório.

Analisando agregados reciclados de tijolos cerâmicos e concretos, Poon e Chan (2006) constataram que estes, quando utilizados em substituição aos agregados naturais em blocos de concreto para pavimentação, provocam a diminuição da resistência à compressão e o aumento da taxa absorção de água. Este mesmo autor também constatou que a resistência à abrasão diminui em relação ao bloco confeccionado com agregados naturais, mas que a porcentagem de agregados reciclados de tijolos cerâmicos e concretos não impõe variação significativa neste parâmetro.

4 BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

A produção de blocos de concreto no Brasil tem progressivamente ganho espaço como solução para a pavimentação de áreas urbanas. Isto se deve não só ao aumento dos esforços de empresas e entidades representativas do setor em incentivar sua utilização, mas também pelas vantagens técnicas inerentes ao sistema, tais como o fácil assentamento, a rápida liberação para o tráfego, a redução de iluminação pública e a permissão de acesso à rede subterrânea apenas com a retirada dos blocos, que podem ser recolocados após intervenção (PAGNUSSAT, 2004). A figura 5 permite a visualização de um bloco de concreto para pavimentação, tipo *unystein*, utilizado nesta pesquisa.



Figura 5 – Exemplo de bloco de concreto para pavimentação

Na produção de blocos de concreto, diversos fatores interferem na qualidade final destes, desde o maquinário utilizado até a quantidade de água na mistura. Conhecer as propriedades requeridas, os materiais constituintes, a execução da dosagem e o processo de produção são fatores essenciais para a obtenção de êxito no trabalho. Assim, com a realização da revisão bibliográfica descrita a seguir, foi possível definir quais os procedimentos a serem utilizados para o desenvolvimento do programa experimental.

4.1 PROPRIEDADES REQUERIDAS

O concreto utilizado na produção dos blocos de concreto possui várias particularidades que o difere, em muito, do concreto plástico de uso consagrado na construção civil. Possivelmente, essas diferenças de comportamento são responsáveis pelo empirismo que se observa no estabelecimento de traços de concreto para blocos por parte de um número considerável de produtores (TANGO, 1994).

4.1.1 Estado fresco

As propriedades do concreto requeridas para blocos no estado fresco estão relacionadas ao manuseio durante a produção, a trabalhabilidade da mistura e o acabamento. Neste sentido têm importância, dentre outros fatores, as características do molde (dimensões e geometria), a energia de adensamento e o processo de desmoldagem e manuseio (SOUSA, 2001).

A consistência necessária ao concreto para blocos está relacionada ao fato de que a desmoldagem se faz com os blocos ainda no estado fresco. É necessário que o concreto, sob estas condições, apresente características que determinem a facilidade de moldagem no equipamento e o manuseio após desforma. A consistência requerida, ou consistência de moldagem, varia em função do equipamento utilizado (TANGO, 1984).

No estado fresco também deve ser considerada a questão do acabamento relativo a presença de nata no entorno, figura 6, que não é recomendada, devendo ser evitada. A nata no entorno é referente a uma quantidade de água maior que a necessária, devendo ser verificada a relação a/c.

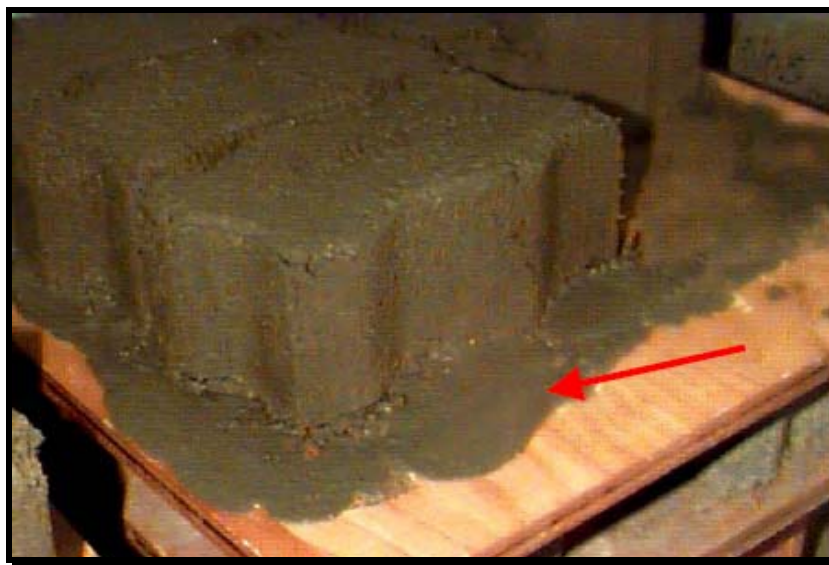


Figura 6 – Bloco com nata no entorno. Fonte: Pagnussat (2004)

4.1.2 Estado endurecido

Os blocos para pavimentação necessitam de características que correspondam às solicitações de serviço, principalmente ao trânsito de veículos e pedestres, que submetem o pavimento à esforços, tanto no sentido de comprimi-los quanto causando o desgaste superficial das peças. Além destes, também há a questão da absorção de água, que pode causar o surgimento de eflorescências que prejudiquem o aspecto visual e diminuam a vida útil do pavimento do ponto de vista estético. Neste sentido, além das características de ordem técnica, também há a necessidade dos blocos possuírem um bom acabamento visual, conforme necessidades de mercado. Na figura 7 pode ser observado um bloco com bom acabamento no estado endurecido, com uma superfície lisa, sem a visualização do pedrisco.



Figura 7 – Acabamento do bloco no estado endurecido

O objetivo mais amplo da dosagem do concreto para blocos é a escolha do traço do concreto que, com o equipamento e o processo de produção empregado, resulte na confecção de blocos cujas propriedades no estado endurecido satisfaçam às exigências de uso predeterminadas, com um custo mínimo. Estas exigências são estabelecidas pelas solicitações de serviço a partir das propriedades do concreto, como a resistência à compressão, a absorção de água e a resistência à abrasão (TANGO, 1984).

4.2 MATERIAIS EMPREGADOS NA PRODUÇÃO

Os materiais utilizados na produção dos blocos de concreto resumem-se em aglomerante, agregado graúdo, agregado miúdo, aditivo e água (SOUSA, 2001). Como regra geral, a maioria dos pesquisadores indica que os materiais utilizados para a produção de concreto convencional são também adequados para produção de blocos de concreto, embora, considerando as peculiaridades intrínsecas de cada processo (MEDEIROS, 1993).

4.3 DOSAGEM

O concreto para blocos precisa de certas precauções na dosagem, entendida como o conjunto de operações para o estabelecimento do traço, considerando este ser um concreto com consistência de terra úmida e não um concreto plástico. Neste último, a pasta (cimento mais água) praticamente ocupa todos os espaços deixados pelos agregados, enquanto que no concreto para blocos existe a presença de ar em volume significativo na mistura. Isso faz com que o concreto para blocos não siga o princípio, consagrado para o concreto plástico, de que é preciso menos água para aumentar a resistência (TANGO, 1994).

No Brasil, grande parte dos fabricantes de blocos não dispõe de um método racional para a dosagem dos blocos de concreto, sendo esta indústria caracterizada por processos extremamente artesanais, baseadas em grande parte na experiência dos funcionários e em uma série de tentativas e erros. Esta prática, associada a meios inadequados de dosagem dos materiais, contribui para a adoção de elevados consumos de cimento, gerando perdas desnecessárias de recursos e de produtividade (TANGO, 1984; MEDEIROS, 1993; OLIVEIRA, 2004).

Medeiros (1993) cita diretrizes para a dosagem do concreto a ser utilizada na produção dos blocos:

- a) Determinar a melhor composição granulométrica para a mistura dos agregados e suas proporções ideais. Tal determinação tem em vista condições máximas de compacidade e empacotamento durante o adensamento;
- b) determinar a quantidade de água a ser empregada na mistura. Está relacionada a critérios que dependem, dentre outros fatores, da funcionalidade do equipamento e da composição e características individuais dos constituintes da mistura;
- c) determinar a quantidade adequada de cimento. Está relacionada às especificações de resistência e absorção.

4.3.1 Composição granulométrica

Além da energia de adensamento, que é característica do equipamento, a compactidade que se pode obter depende muito da composição granulométrica dos agregados. Muitas vezes não é possível escolher agregados cuja curva granulométrica esteja dentro de determinados padrões. Geralmente, é necessário adaptar a produção aos materiais disponíveis. Para tanto, têm-se conseguido bons resultados com a realização de experiências onde se varia a proporção entre o agregado graúdo e o miúdo, procurando a máxima compactidade possível (TANGO, 1984).

4.3.2 Umidade da mistura

O teor de umidade do concreto dos blocos relaciona-se com a resistência à compressão de maneira diferente das observadas com o concreto plástico convencional. Para um traço fixo, a quantidade de água ideal será aquela que proporciona aos blocos a maior compactidade durante a moldagem. Normalmente a máxima compactidade é obtida com a maior quantidade de água possível, até o limite em que os blocos começam a perder coesão e a aderir nas paredes dos moldes (FERREIRA, 1995).

Neste sentido, e procurando avaliar a trabalhabilidade dos concretos produzidos, tem-se como método a verificação do ponto de pelota. Este é utilizado para verificar a umidade ótima, que corresponde à máxima quantidade de água possível presente na mistura, de modo a permitir moldar uma pelota de concreto nas palmas das mãos sem que esta desmanche (falta de água) ou suje excessivamente as mãos (excesso de água) (PAGNUSSAT, 2004).

4.3.3 Proporção cimento:agregado

É possível fabricar blocos de concreto de boas características com diversos consumos de cimento, desde traços ricos, com maior quantidade de cimento, como por exemplo, 1 : 4 (cimento:agregado em massa), até traços mais pobres, com uma menor quantidade de cimento, como: 1 : 6 (FERREIRA, 1995). A escolha do traço é função principalmente da resistência desejada, variando com o tipo de equipamento empregado na moldagem e, principalmente, com a granulometria dos agregados (MEDEIROS, 1993).

4.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Para a produção dos blocos de concreto há a necessidade da utilização de uma vibro-prensa, que recebe esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos blocos, vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes, sendo que a segunda influencia o adensamento e o controle da altura dos blocos (SOUSA, 2001).

Segundo Sousa (2001), o mecanismo de vibração das vibro-prensas é responsável direto pelas características dos componentes moldados. A direção em que ocorre a vibração influencia a capacidade de transmissão de vibração do molde para o concreto. Ensaios experimentais realizados em concreto para blocos, sobre mesmas condições e diferentes tipos de vibrações (verticais e horizontais), mostraram que a vibração horizontal é mais eficiente, conforme mostrado na figura 8 (BRESSION, 1981).

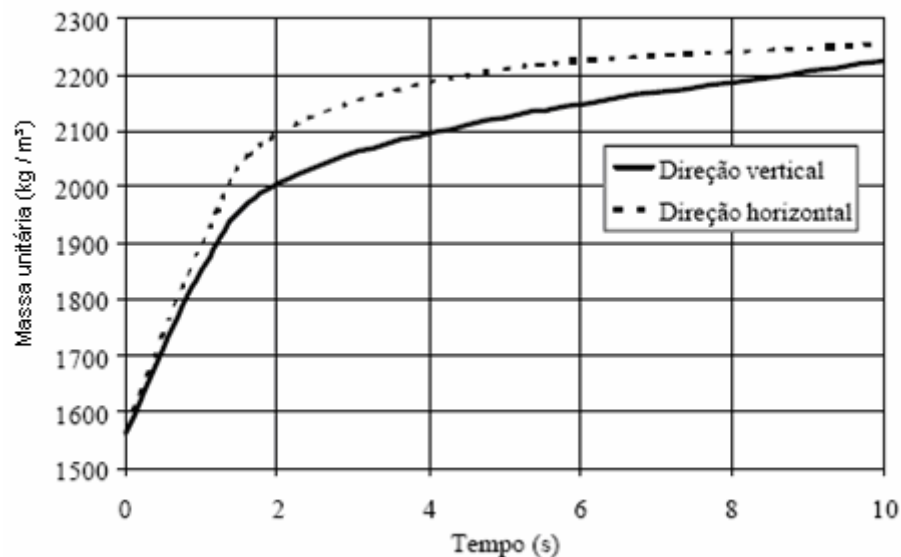


Figura 8 – Evolução do adensamento em função do tempo e do tipo de vibração. Fonte: Bresson (1981)

Segundo Bresson (1981), no processo de vibração do concreto, o comportamento deste é distinto no decorrer do tempo. Em um primeiro momento há uma agitação dos grãos maiores, depois ocorre o escoamento viscoso e, posteriormente, há a liquefação aparente da massa do concreto.

O tempo de adensamento do concreto é definido em função de critérios relacionados às características do bloco após a desforma. Este tempo será aquele que possibilita que se obtenha o total preenchimento e adensamento da mistura nos moldes da prensa, a adequada aparência e resistência dos blocos ao manuseio logo após a desforma e a esperada produtividade das operações (SOUSA, 2001).

4.4.1 Etapas do processo de produção

4.4.1.1 Proporcionamento dos materiais constituintes

Nesta etapa executa-se a medida da quantidade de cada material que compõe o traço, já previamente estabelecido pela dosagem do concreto dos blocos. Este procedimento pode ser em massa ou em volume. Entretanto, ressalta-se que para obterem-se blocos com características pouco variáveis é preferível que os materiais sejam proporcionados em massa, devido ao fenômeno do inchamento das areias, que variam de volume de acordo com a umidade (RODRIGUES, 1995).

Nas usinas, em muitos casos, não é considerada a relação a/c especificada, sendo a água acrescentada em função da experiência dos operários. Isto ocasiona uma grande variação nas características dos blocos, principalmente devido às variações no grau de compactação durante a moldagem (MEDEIROS, 1993).

As principais causas da variabilidade dos blocos são as variações de volume devido à umidade dos agregados, à variação da quantidade de cimento e às decisões empíricas que ocorrem na determinação da água de amassamento. Assim, a correta determinação do traço, em massa, e da quantidade de água, além da sua execução conforme o proposto, permite uma maior confiabilidade nas características previamente estabelecidas como as satisfatórias para os blocos (TANGO, 1984).

4.4.1.2 Mistura e moldagem

A mistura dos materiais básicos para produção de blocos de concreto muitas vezes não recebe os cuidados adequados, mesmo esta sendo de grande importância para a uniformidade da produção. A seqüência de colocação dos materiais e o tempo adequado de mistura devem ser definidos em função do tipo de equipamento utilizado no processo (SOUSA, 2001).

Entretanto, Rodrigues (1995) descreve uma ordem preferencial de colocação dos materiais na misturadora:

- a) Pedrisco e parte da água, ligando-se a misturadora por apenas alguns segundos. Esse procedimento permite lavar o agregado, retirando o material fino que fica aderido às suas partículas;
- b) cimento, misturando-o com o pedrisco, fazendo com que as partículas do agregado sejam envolvidas por uma camada de pasta de cimento;
- c) areia e o restante da água.

Após a mistura, durante a moldagem na vibro-prensa, o material destinado à moldagem dos blocos sofre compactação através de vibração e prensagem. Para garantir que os blocos de concreto obtenham o grau de compactação previsto e atendam às características de projeto, devem-se respeitar os tempos de alimentação e vibração do equipamento. A maioria das máquinas vibro-prensas, com exceção das manuais de pequeno porte, possui sistemas de alimentação totalmente automatizados. Estes sistemas controlam desde o preenchimento da mistura nos moldes até o tempo necessário para adensar e liberar os blocos (SOUSA, 2001).

A seqüência básica de funcionamento das vibro-prensas durante a moldagem dos blocos, resume-se em (MEDEIROS, 1993):

- a) Preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada à moldagem dos blocos;
- b) preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados, com vibração;

- c) compactação dos blocos através dos extratores, acompanhada de nova vibração do molde, finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida;
- d) desforma dos blocos logo após o término da operação anterior. Nesta fase os extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre a chapa onde foram moldados;
- e) a chapa com os blocos recém-moldados avançam para a frente da máquina, enquanto uma nova chapa vazia ocupa seu lugar sob o molde;
- f) o molde metálico desce então para sua posição original, enquanto os extratores ascendem, preparando-se para um novo ciclo.

4.4.1.3 Cura

O processo de cura corresponde a um conjunto de operações que visa proporcionar aos blocos, durante certo tempo, condições de umidade, temperatura e pressão necessárias a uma adequada reação de hidratação do cimento. Qualquer alteração nessas condições pode refletir diretamente nas características finais dos blocos de concreto (TANGO, 1984).

A cura é uma importante etapa no processo de produção dos blocos de concreto. A escolha de um processo de cura adequado pode ter como resultado, dentre outros fatores, redução no consumo de cimento e no tempo necessário de cura, o que implica em um tempo menor de permanência dos blocos na fábrica (TANGO, 1984).

Um dos tipos de cura geralmente utilizado na produção de blocos de concreto é a cura a vapor. Este sistema é normalmente empregado pelos produtores de blocos que exigem de seus componentes melhor desempenho a curtas idades. O ciclo de cura a vapor é variável, podendo chegar a 24 horas (MEDEIROS, 1993).

A cura natural também é bastante utilizada, principalmente em situações onde as exigências de desempenho para os blocos são menores e as condições climáticas favorecem o rápido endurecimento do concreto. Neste tipo de cura, recomenda-se que os blocos permaneçam

úmidos e protegidos do vento e da insolação direta, pelo menos durante os sete primeiros dias, evitando a evaporação excessiva de água (TANGO, 1984; MEDEIROS, 1993).

4.5 CONSIDERAÇÕES APÓS A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada evidenciou a estreita relação entre o ambiente onde está inserido o ser humano e as conseqüentes alterações causadas pelas suas intervenções. Estas, como foram executadas ao longo das últimas décadas, causaria a derrocada do ambiente como hoje o conhecemos. Entretanto, a mudança de visão em relação ao meio ambiente está tornando viável prever um futuro promissor nesta interação homem/natureza.

Esta relação possui pontos frágeis a serem discutidos, entre eles, a geração e a disposição de resíduos. Entre os resíduos gerados pelo ser humano em suas diversas atividades, foi focado na revisão bibliográfica o RCD, sendo evidenciado que esta questão é muito importante em função deste ser gerado em grande quantidade e fazer parte de uma atividade vital e inerente à sociedade, a construção civil.

O RCD necessita de grandes áreas de disposição e muita energia para transporte. A fim de diminuir-se a quantidade enviada para disposição, ficou claro que uma série de atitudes podem ser tomadas, entre elas, a melhor gestão de obras a fim de diminuir a geração, a reutilização destes como material de construção e a reciclagem.

Neste contexto se buscou informações relativas à reciclagem destes resíduos, enfocando o seu uso na própria indústria que o gerou, a da construção civil. Ficou clara a possibilidade de diversas utilizações destes resíduos como agregados em materiais compostos por cimento e agregados. Entretanto, também ficou clara a necessidade de um número maior de pesquisas e envolvimento dos diversos setores da construção civil neste sentido.

Assim, se buscou direcionar a revisão para um tipo específico de artefato composto por cimento e agregados, o bloco de concreto para pavimentação. Foi realizado o direcionamento neste sentido em função da insipiência de estudos na utilização de resíduos neste tipo de bloco e a evidência que este pode ser uma opção para ajudar na resolução do problema da disposição de resíduos, visto que, estes blocos, quando utilizados sob baixa carga, como em

passeios, não necessita de alta resistência à compressão, diminuindo a necessidade de um controle que torne inviável a sua utilização. Além do fator já citado, com esta pesquisa também se busca contribuir para a diminuição da extração de materiais, haja vista que a extração de agregados, tanto graúdos como miúdos, causa uma série de áreas degradadas, considerados passivos ambientais.

Também foi observada a possibilidade de dar continuidade a uma linha de pesquisa que estuda o uso de resíduos neste tipo de bloco no NORIE/UFRGS, com a presença de uma máquina vibro-prensa e condições que viabilizam a execução da pesquisa, principalmente de pessoas com conhecimento do assunto. Assim, em vista dos fatores explicitados, e vislumbrando a possibilidade de tornar viável a utilização do RCD em curto prazo neste setor da construção civil, foi realizado o programa experimental explanado no presente trabalho.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental visou atingir os objetivos propostos nesta dissertação. Foi desenvolvido para que fossem dados subsídios ao entendimento do comportamento de blocos de concreto para pavimentação produzidos com agregados reciclados de RCD. Assim, foram estudadas algumas propriedades destes blocos no estado endurecido, onde foram utilizados diferentes teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado na confecção dos blocos.

5.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

O planejamento de experimentos é fundamental, pois os resultados encontrados são mais eficientes em termos de informação em relação a qualquer outra seqüência não estruturada. Ensaios não sistematizados, quando muitos fatores estão envolvidos, inviabilizam a análise estatística posterior dos dados (DAL MOLIN, 1995). Assim, partindo desse pressuposto, foram realizadas as etapas descritas no desenvolvimento deste capítulo.

5.1.1 Definição das variáveis estudadas

A definição das variáveis a serem estudadas no programa experimental foi realizada através da análise das características que o produto a ser abordado deve possuir para satisfazer as necessidades de mercado. Estas necessidades foram então transformadas em variáveis de resposta que podem ser analisadas estatisticamente.

As variáveis de resposta são parâmetros mensuráveis que permitem quantificar as características de qualidade exigidas. Assim, o programa experimental caracterizou-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas ao objeto de estudo, já que a relação entre causa e efeito de um fenômeno se dá pela manipulação destas variáveis (CERVO e BERVIAN, 2002). Portanto, a definição das variáveis estudadas é uma etapa essencial na

execução do programa experimental, visto que terão influência direta nas conclusões obtidas neste trabalho.

A definição das variáveis de resposta se relacionou diretamente com as características necessárias aos blocos para que estes correspondessem às solicitações de serviço, principalmente ao trânsito de veículos e pedestres, que submetem o pavimento a esforços, tanto no sentido de comprimi-los quanto causando o desgaste superficial das peças. Além destes, também há a questão da absorção de água, que pode causar o surgimento de eflorescências que prejudiquem o aspecto visual e a durabilidade dos blocos.

Assim, tendo como premissa a avaliação do desempenho dos blocos estudados, definiram-se as seguintes características de qualidade a serem avaliadas, citadas anteriormente como variáveis de resposta:

- a) Resistência à compressão;
- b) resistência à abrasão, expressa em termos de índice de desgaste por abrasão;
- c) absorção de água.

Após a definição das variáveis de resposta, foram escolhidos os fatores controláveis e seus níveis de controle:

- a) Teor de substituição em massa de agregado miúdo (0, 25, 50, 75 e 100%);
- b) idade de ensaio de resistência à compressão dos blocos (3, 7, 14 e 28 dias);
- c) idade de ensaio de resistência à abrasão dos blocos (28 dias);
- b) idade de ensaio de absorção de água dos blocos (28 dias);

O intervalo de teores entre 0 % e 100% foi escolhido com o objetivo de investigar-se um espectro grande de possibilidades de utilização do agregado miúdo reciclado de RCD. A escolha das idades de ensaios foi realizada a partir das especificações necessárias para blocos pré-fabricados e a partir de limitações de custos e maquinário.

Para os ensaios de resistência à compressão, além da idade característica de 28 dias, foram escolhidas idades de 3, 7 e 14 dias em função dos blocos de concreto necessitarem de resistências elevadas em idades recentes, em virtude da necessidade de serem transportados e submetidos a esforços, além do tempo de desforma e cura ser menor que em concretos convencionais. Assim, foi avaliado o comportamento dos blocos produzidos já nos primeiros dias de cura.

Para os ensaios de resistência à abrasão se buscou viabilizar o programa experimental, visto que o seu alto custo de realização e a disponibilidade de uso dos equipamentos necessários à execução do ensaio não possibilitaram a realização dos ensaios em mais de uma idade. Neste sentido, realizou-se o ensaio aos 28 dias em função desta ser uma idade de referência para fins de projeto, sendo também utilizado este argumento para a realização do ensaio de absorção de água somente nesta idade.

Quanto à relação água/cimento, esta não foi considerada um fator controlável, visto que se procurou a maior umidade possível de compactação sem a perda de forma dos blocos, objetivando a maior resistência e o melhor acabamento possível.

5.2 MATERIAIS UTILIZADOS

O programa experimental seguiu uma seqüência onde foram, primeiramente, escolhidos os materiais utilizados na pesquisa.

5.2.1 Cimento

A escolha do tipo de cimento adequado considerou a disponibilidade deste material na cidade e região onde se realizou a pesquisa, a cidade de Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Embora no RS haja predominantemente um consumo de cimentos pozolânicos (CP-IV), esta realidade não se reflete nas principais indústrias de artefatos pré-moldados de concreto. Para a confecção dos blocos em empresas do RS, são geralmente utilizados cimentos do tipo CP-II-Z, CP-V-ARI e CPV-ARI-RS, conforme classificação,

respectivamente, das NBR 11578 (1991), NBR 5733 (1991) e NBR 5737 (1992) (PAGNUSSAT, 2004).

Neste contexto, optou-se pelo uso do CPV-ARI-RS para a realização deste programa experimental, já que o uso dos cimentos de alta resistência inicial é particularmente interessante em pré-moldados de concreto. Isto advém do fato que é desejável que os blocos de concreto para pavimentação adquiram resistências elevadas em idades recentes.

Além disso, este tipo de cimento é encontrado com facilidade no mercado da região e proporciona uma maior resistência a agentes agressivos do meio ambiente, principalmente a sulfatos, o que é desejável para artefatos de concreto que estarão expostos à intempéries e em contato com o solo. A tabela 4 apresenta as principais características físicas do cimento utilizado nesta pesquisa e a tabela 5 as suas características químicas, em valores médios, informadas pela fabricante do cimento.

Tabela 4 – Características físicas do cimento. Fonte: Votorantim (2006)

Item de controle	Unidade	Valor
Massa específica	g/cm ³	2,99
Material Retido #200 (mesh)	%	0,10
Material Retido #325 (mesh)	%	1,35
Blaine	cm ² /g	4916
Água de Consistência	%	29,32
Início de Pega	horas	03:14
Fim de Pega	horas	04:17
Expansibilidade a quente	mm	0,40
Resistência - 1 dia	MPa	22,87
Resistência – 3 dias	MPa	32,17
Resistência – 7 dias	MPa	36,76
Resistência – 28 dias	MPa	47,20

Tabela 5 – Características químicas do cimento. Fonte: Votorantim (2006)

Item de controle	% (média)
Perda ao Fogo	3,21
SiO ₂	24,37
Al ₂ O ₃	7,51
Fe ₂ O ₃	3,35
CaO	52,03
MgO	5,71
K ₂ O	1,09
Na ₂ O	0,07
SO ₃	3,09
Resíduo Insolúvel	13,06
CO ₂	2,20

5.2.2 Resíduo de construção e demolição (RCD)

Este material foi coletado de um aterro de inertes localizado no bairro da Serraria em Porto Alegre-RS. Foi realizada a segregação manual do material, retirando-se as impurezas presentes, como as peças metálicas, pedaços de madeira, restos de vegetação, plásticos e gesso. Após isto, foi realizada a caracterização deste material e a sua britagem, ocorrendo a obtenção de agregado miúdo.

5.2.2.1 Coleta da amostra de RCD

O RCD possui uma composição bastante heterogênea, tornando sua separação no local onde ocorre sua disposição uma prática difícil e onerosa. A partir desta constatação, o resíduo foi coletado como se encontrava no local, sem descarte de impurezas, sendo a separação realizada posteriormente.

A definição do tamanho da amostra coletada foi realizada objetivando a obtenção de material suficiente para a realização deste programa experimental. Deste modo, foram coletados aproximadamente 900 kg de resíduos em uma campanha de coleta, sendo o material transportado até o Campus Centro da UFRGS, onde foi disposto para posterior separação, britagem e peneiramento do material.

A metodologia de coleta do material considerou os 3 locais de disposição existentes, na época da realização desta atividade, no aterro de inertes. Estes locais caracterizavam-se por terem aproximadamente 2 metros de altura de resíduos inertes, sendo que a disposição do material por parte dos responsáveis não seguia critério algum de separação por tipo de resíduo, apenas visava a melhor utilização possível da área e a logística de descarga.

A coleta dos resíduos teve como premissa retirar estes dos terços inferior, médio e superior em quantidades semelhantes dos 3 pontos, visando caracterizar a realidade dos resíduos dispostos no aterro. Além disso, este método teve o objetivo de uniformizar a amostra, já que a tendência das partículas finas dos resíduos é acumular-se na base dos pontos de descarga, sendo que a coleta somente nos terços superiores ou inferiores poderia não corresponder à realidade do resíduo existente.

5.2.2.2 Determinação da composição do RCD

Na determinação da composição do resíduo, partiu-se do pressuposto que este não poderia apresentar impurezas que pudessem afetar o desempenho dos blocos de concreto, como papel, papelão, madeira, metal, vidros e gesso. Assim, estas foram descartadas no processo de separação e caracterização da amostra.

A determinação da composição do resíduo, após descarte das impurezas, foi realizada a partir do quarteamento do mesmo. Este processo consiste na mistura dos resíduos e posterior separação de amostras que representem a totalidade dos resíduos. Assim, na análise da composição do RCD foram encontrados os seguintes constituintes:

- a) Material cerâmico: material constituído de blocos, tijolos, telhas e revestimento de piso e parede;

- b) argamassa: material constituído de cimento e/ou cal e areia sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;
- c) concreto: material composto por cimento, areia e brita;
- d) rochas naturais: qualquer tipo de fragmento de rocha natural que não apresente nenhum tipo de material aglomerante.

Após concluída a separação do material cada fração foi pesada e, a partir dos resultados das massas obtidas, determinou-se a porcentagem de cada constituinte do resíduo, como está apresentado na tabela 6.

Tabela 6 – Material constituinte do resíduo

Material	Quantidade (%)
Argamassa	38,43
Concreto	26,58
Material Cerâmico	29,13
Rocha Natural	5,86
Total	100

Os resultados mostram uma elevada incidência de argamassa, seguida de material cerâmico e concreto. A ocorrência de um grande percentual de argamassa na composição dos resíduos de construção e demolição já havia sido apontada em outros estudos no Brasil, como os de PINTO (1986) e ZORDAN (1997).

Em uma análise comparativa dos resultados encontrados com a composição do RCD de Porto Alegre verificado por Leite (2001), percebe-se que as porcentagens de material cerâmico são semelhantes. Entretanto, Leite (2001) encontrou maior presença de rocha natural e menor de concreto e argamassa.

5.2.2.3 Britagem do RCD

Após a segregação do material foi realizada a britagem para que este obtivesse as características de agregado miúdo quanto a sua composição granulométrica. O procedimento de britagem foi de primeiramente utilizar um britador de mandíbula e posteriormente um moinho rotativo, equipamentos disponíveis na UFRGS e que podem ser observados nas figuras 9 e 10:

- a) Britador de mandíbula: britador utilizado para reduzir o material a um diâmetro máximo de aproximadamente 32 mm;
- b) moinho rotativo: utilizado após a passagem do material pelo britador de mandíbula, buscando a produção de agregado miúdo reciclado.



Figura 9 – Britador de mandíbula empregado para redução até um diâmetro máximo de 32 mm



Figura 10 – Moinho rotativo empregado para obtenção de agregado miúdo reciclado

Terminada a britagem, o material foi peneirado em peneirador mecânico. Posteriormente, foi acondicionado todo o material passante na malha 4,8 mm, sendo este classificado como agregado miúdo e separado para ser utilizado no programa experimental.

5.2.2.4 Composição granulométrica do agregado miúdo reciclado

No presente trabalho foi utilizado como agregado miúdo todo o material passante na malha # 4,8 mm, sem a retirada dos finos passantes na malha # 0,15 mm, em função dos resultados obtidos para a mesma faixa em Leite (2001) e com o objetivo de não inserir mais uma atividade no processo. A aparência final do agregado miúdo reciclado, após o beneficiamento, pode ser observada na figura 11.



Figura 11 – Agregado miúdo reciclado

O estudo da composição granulométrica do agregado miúdo reciclado foi realizado de acordo com as especificações da NBR NM248 (2003). Os resultados deste estudo estão apresentados na tabela 7, sendo a curva granulométrica apresentada na figura 12, em conjunto com os limites de distribuição granulométrica apresentados na NBR 7211 (2005).

Tabela 7 - Composição granulométrica do agregado miúdo reciclado

Agregado miúdo reciclado		
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado
2,4	21	21
1,2	20	41
0,6	23	64
0,3	27	91
0,15	7	98
< 0,15	2	100
DMC (mm)	4,8	
Módulo de finura (mm)	3,15	

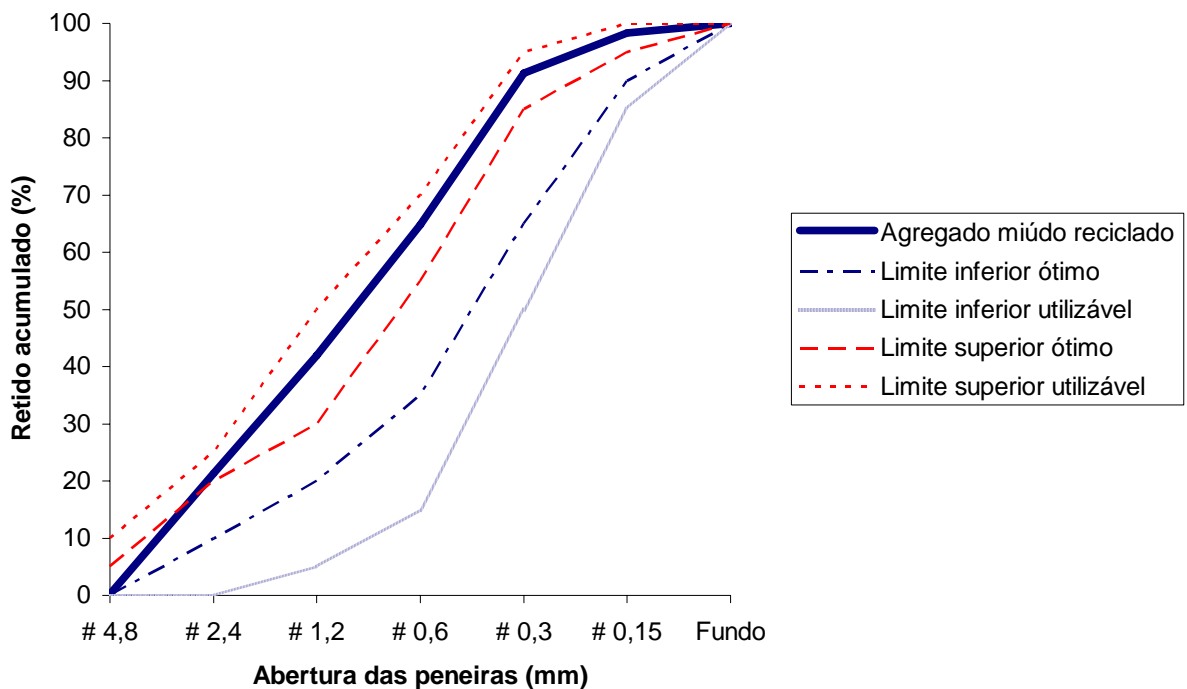


Figura 12 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado

A composição granulométrica do agregado miúdo reciclado apresentou uma graduação de agregado miúdo com predominância da fração grossa, se enquadrando nos limites superiores da NBR 7211 (2005), que fornece a especificação para agregados para concreto. Este agregado foi utilizado no programa experimental sem alterações em sua granulometria, pois o intuito do estudo foi utilizar o agregado no estado em que ele era produzido, objetivando o mínimo beneficiamento e restrições possíveis quanto a sua britagem.

5.2.2.5 Massa específica e massa unitária do agregado miúdo reciclado

A determinação da massa específica dos materiais é fator essencial na dosagem de concreto, já que o conhecimento do seu valor possibilita o cálculo do consumo de materiais utilizados na produção das misturas. A massa específica é definida como a relação entre a massa e o volume de cheios, isto é, o volume dos grãos dos agregados, sendo verificada pela NBR NM52 (2003).

Também foi realizado o ensaio de massa unitária do material no estado solto. A massa unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de

volume, ou seja, o volume ocupado por partículas e vazios entre os mesmos, sendo determinada de acordo com a prescrição da NBR 7251 (1982). Os resultados dos ensaios de massa específica e de massa unitária do agregado miúdo reciclado estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Massa específica e Massa unitária do agregado miúdo reciclado

Agregado miúdo reciclado	
Massa específica (kg/dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
2,366	1,257

5.2.2.6 Taxa de absorção do agregado miúdo reciclado

A determinação da taxa de absorção dos agregados miúdos é realizada de acordo com as prescrições da NBR NM30 (2001). Entretanto, segundo Leite (2001), a utilização desta norma é dificultada devido aos finos presentes no agregado miúdo reciclado, sendo sugerido pela autora um método para a obtenção deste parâmetro. Assim, nesta pesquisa foi realizada a verificação da taxa de absorção do agregado miúdo reciclado pelos dois métodos, pois ainda não existe uma norma específica para o estudo deste parâmetro neste tipo de material, sendo os resultados mostrados na tabela 9.

Tabela 9 – Taxa de absorção de água do agregado miúdo reciclado

Método	Taxa de absorção (%)
Leite (2001)	15,88
NBR NM30 (2001)	9,61

Os resultados observados para cada método de ensaio diferem bastante um do outro. Entretanto, estes valores são maiores do que os encontrados nos agregados miúdos naturais, mostrando uma alta taxa de absorção do material reciclado.

Em uma análise comparativa dos valores verificados nesta pesquisa com os observados na bibliografia, se conclui que o valor encontrado a partir da NBR NM30 (2001) é mais comumente verificado, ficando na faixa delimitada pelos valores 7 % e 14 %. Entretanto, valores maiores de taxa de absorção já foram observados, não sendo descartado o valor encontrado pelo método de Leite (2001). Concluindo, há a necessidade de pesquisas que estabeleçam um método a ser utilizado, evitando-se a inconsistência entre dados oriundos da execução de dois métodos diferentes.

5.2.3 Agregado miúdo natural

Como agregado miúdo natural foram utilizadas areia fina calcária e areia média quartzosa disponíveis nos fornecedores de agregados na época da confecção dos blocos, visto não haver a necessidade de características singulares, a não ser as especificadas na NBR 7211 (2005). A composição granulométrica das areias fina e média foi verificada de acordo com as especificações da NBR NM248 (2003), sendo apresentadas nas tabelas 10 e 11, respectivamente. As curvas granulométricas estão apresentadas na figura 13, em conjunto com os limites de distribuição granulométrica apresentados na NBR 7211 (2005).

Tabela 10 - Composição granulométrica da areia fina natural

Areia fina natural		
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado
0,6	0	0
0,3	10	10
0,15	83	93
< 0,15	7	100
DMC (mm)	0,6	
Módulo de finura (mm)	1,03	

Tabela 11 - Composição granulométrica da areia média natural

Areia média natural		
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado
4,8	4	4
2,4	6	10
1,2	13	23
0,6	26	49
0,3	45	94
0,15	6	100
DMC (mm)	4,8	
Módulo de finura (mm)	2,80	

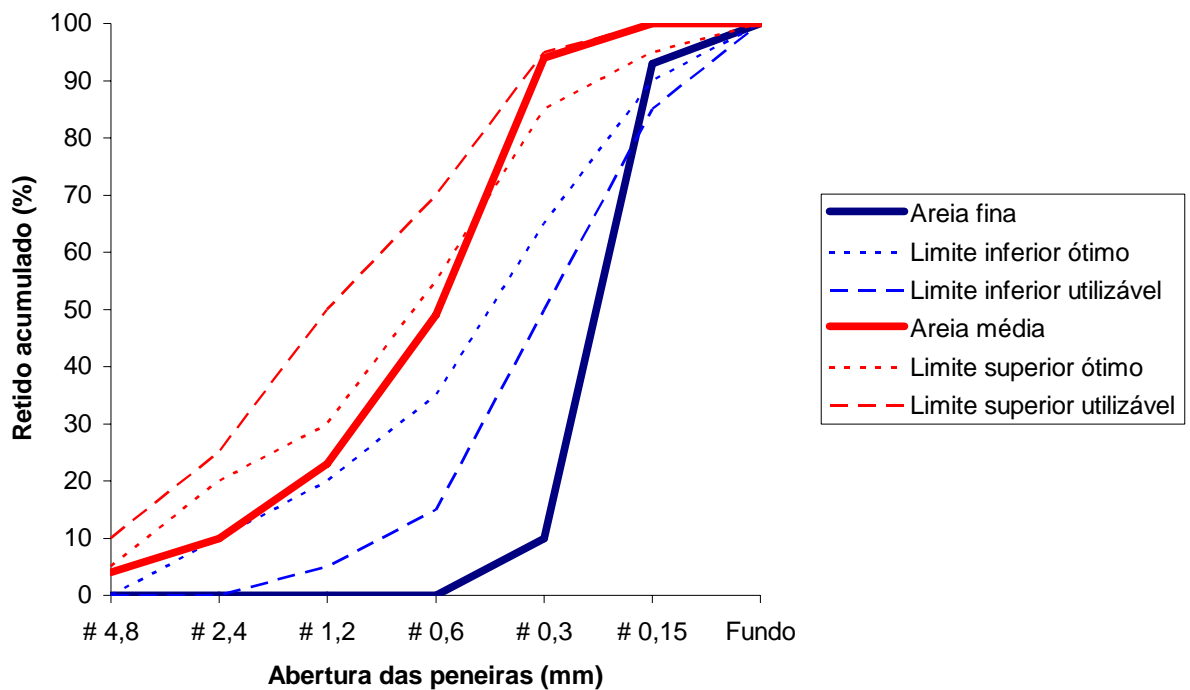


Figura 13 – Curva granulométrica das areias

Também foram realizados os ensaios de massa unitária no estado solto e massa específica do material, de acordo com a prescrição da NBR 7251 (1982) e da NBR NM52 (2003) respectivamente, além da verificação do módulo de finura para estes agregados. Os resultados dos ensaios de massa específica e de massa unitária dos agregados miúdos naturais estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Massa específica e Massa unitária dos agregados miúdos naturais

Agregado miúdo natural		
Agregado	Massa específica (kg/dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Areia Fina	2,61	1,57
Areia Média	2,62	1,57

Concluindo esta caracterização, também foram realizados os ensaios de absorção para estes materiais de acordo com a prescrição da NBR NM30 (2001). Os resultados dos ensaios de absorção dos agregados miúdos estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Taxa de absorção dos agregados miúdos naturais

Agregado miúdo natural	
Agregado	Absorção (%)
Areia Fina	0,51
Areia Média	0,43

5.2.4 Agregado graúdo natural

Como agregado graúdo natural foi utilizada brita zero granítica, conforme pode ser observada na figura 14, também conhecida comercialmente por pedrisco. Este agregado desempenha a função de agregado graúdo na dosagem dos blocos. O estudo da composição granulométrica deste agregado foi realizado de acordo com as especificações da NBR NM248 (2003), sendo os resultados apresentados na tabela 14 e a curva granulométrica mostrada na figura 15.



Figura 14 – Brita zero utilizada

Tabela 14 - Composição granulométrica da brita zero

Brita zero		
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado
9,5	13	13
6,3	37	50
4,8	33	83
2,4	15	98
<2,4	2	100
DMC (mm)	19	
Módulo de finura (mm)	5,94	

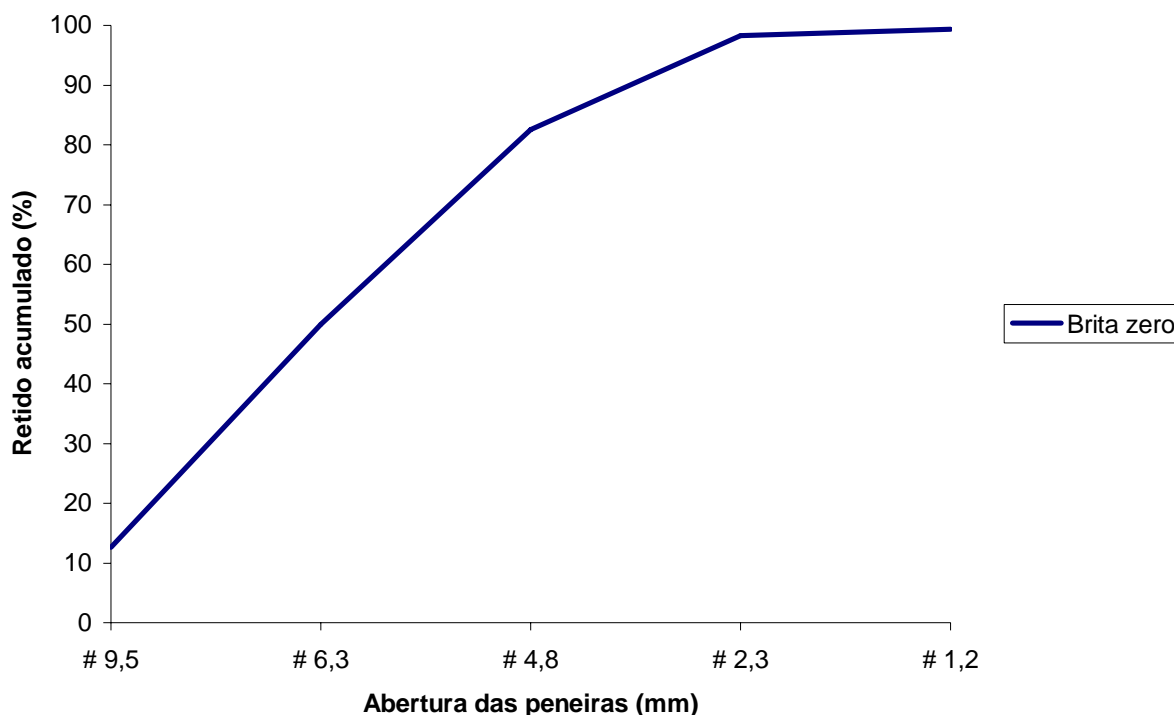


Figura 15 – Curva granulométrica da brita zero

Os ensaios de massa unitária e massa específica do material, mostrados na tabela 15, foram realizados de acordo com as prescrições das NBR 7251 (1982) e NBR NM53 (2003) respectivamente, além de também ser obtido o módulo de finura e o DMC para estes agregados, nos valores de 5,94 mm e 19 mm.

Tabela 15 – Massa específica e Massa unitária da brita zero

Brita zero	
Massa específica (kg/dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)
2,64	1,45

5.2.5 Água

A água utilizada nas concretagens foi a disponível para abastecimento local, fornecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE).

5.3 COMPARATIVO ENTRE O AGREGADO MIÚDO RECICLADO E OS AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS

As características dos agregados utilizados nesta pesquisa são relevantes para a análise dos resultados obtidos nos ensaios com os blocos. Neste sentido, como o escopo da pesquisa previu a substituição de agregados miúdos naturais por agregados reciclados, são válidos os comentários a respeito destes materiais.

Primeiramente, a observação da massa específica dos agregados evidencia que este parâmetro no agregado miúdo reciclado é cerca de 10 % menor que nos agregados miúdos naturais, tanto para a areia média quanto para a areia fina. Na comparação da massa unitária, evidenciou-se que este parâmetro no agregado miúdo reciclado também é menor, em torno de 20 % quando comparado com as areias naturais. Os resultados relativos à comparação das massas específicas e unitárias apontaram para uma menor densidade do material reciclado em relação ao material natural.

Também se observou o módulo de finura dos agregados, que se traduz em uma definição das características das partículas deste. O agregado miúdo reciclado apresentou o maior módulo de finura dos estudados, sendo que com este resultado seria possível dizer que a demanda de água para este agregado deveria ser menor do que a do natural, uma vez que quanto maior o seu módulo de finura, maior o tamanho dos seus grãos, menor a superfície específica dos agregados e menor a necessidade de água para lubrificar suas partículas. No entanto, quando se analisa a quantidade de água necessária para as misturas, deve-se também considerar a taxa de absorção de água.

A verificação da taxa de absorção de água do agregado miúdo reciclado revelou um valor maior do que os encontrados para os agregados miúdos naturais. Isto advém do fato de que o RCD que deu origem ao agregado miúdo reciclado é constituído de parcelas significativas de argamassa e material cerâmico, constituintes que possuem como característica o alto teor de absorção de água.

5.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS

O concreto produzido para a confecção dos blocos foi executado em uma betoneira de eixo vertical, figura 16. Os blocos foram produzidos em uma vibro-prensa PMB-10, mostrada nas figuras 17 e 18, pertencente ao laboratório de materiais do NORIE/UFRGS, com capacidade de produção de seis blocos por ciclo. A vibração nesta vibro-prensa tem a direção horizontal, sendo realizada por um eixo excêntrico movimentado por um motor de 3 hp trifásico.



Figura 16 – Betoneira de eixo vertical



Figura 17 – Visão frontal da vibro-prensa



Figura 18 – Detalhe dos moldes na vibro-prensa

Para a realização do programa experimental foram produzidos 182 blocos, sendo 36 destinados à dosagem do concreto referência, seis para o primeiro ciclo com agregados reciclados e o restante para os ensaios necessários. Na realização dos ensaios de resistência à compressão foram moldados seis blocos para cada idade de ruptura e teor de agregado reciclado. Para a realização dos ensaios de resistência à abrasão e absorção de água foram moldados mais quatro blocos para cada teor de agregado reciclado, sendo um para o ensaio de abrasão e três para o ensaio de absorção de água. Entre estes teores de agregado reciclado está o teor 0 %, que corresponde ao concreto referência selecionado.

5.4.1 Métodos

A produção de todos os blocos teve como premissa seguir o mesmo procedimento de confecção do concreto e manuseio da máquina de vibro-prensagem em todos os ciclos. Isto partiu da necessidade de diminuir a interferência do fator humano no processo, explicitada na revisão bibliográfica como um fator importante na obtenção das características finais dos blocos.

O processo teve como primeira etapa a pesagem dos materiais secos e a posterior colocação na betoneira, sendo primeiramente colocados o pedrisco e parte da água, depois o cimento, os agregados miúdos e o restante da água. Esta ordem foi determinada em função de que este procedimento permite lavar o pedrisco, retirando o material fino que fica aderido a ele e faz com que o pedrisco seja envolvido por uma camada de pasta de cimento antes da presença do agregado miúdo.

Na definição da quantidade de água necessária para a produção dos blocos, alguns critérios foram estabelecidos com vistas a minimizar a variabilidade do processo. Primeiramente estabeleceu-se que apenas uma pessoa iria definir a quantidade de água necessária em toda a produção dos blocos, sendo utilizado o método do ponto de pelota. Nesta verificação as mãos deveriam estar limpas e secas, sendo realizada esta limpeza após cada pelota executada. Além disso, definiram-se os seguintes procedimentos:

- a) Colocar água até a relação a/c 0,30;
- b) verificar o ponto de pelota;

- c) adicionar água de acordo com o observado na análise anterior;
- d) aguardar 30 segundos, em função da necessidade de homogeneizar-se a mistura, para a nova verificação do ponto de pelota;
- e) verificar o ponto de pelota;
- f) se não foi verificado o ponto de pelota, repetir o processo até verificá-lo.

Dando continuidade ao processo de produção dos blocos, após a verificação do ponto de pelota, o concreto, ainda no estado fresco, era levado até a máquina de vibro-prensagem, onde era colocado nos moldes metálicos, vibrado por 30 segundos para realizar o seu adensamento e compactado através de extratores acompanhados de nova vibração do molde. A desforma dos blocos foi realizada logo após o término da operação anterior, sendo que os extratores permanecem imóveis enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre a chapa de madeira onde foram moldados.

A última etapa do processo correspondeu à cura, onde foi realizada a cura natural, apenas mantendo os blocos protegidos de insolação e vento. Esta cura foi escolhida em função de ser utilizada em situações onde as exigências de desempenho são menores, o caso da utilização prevista destes blocos.

5.4.2 Dosagem do concreto referência

A NBR 9781 (1987) estabelece duas faixas de resistência à compressão (35 e 50 MPa) para blocos de concreto para pavimentação, conforme o tipo e a intensidade do tráfego de veículos ao qual o pavimento será submetido. Entretanto, é comum ter no mercado de blocos para pavimentação a oferta de blocos com resistências menores, na faixa de 25 MPa, para situações específicas de menor solicitação de tráfego de veículos ou de trânsito de pedestres.

Segundo Pagnussat (2004), a máquina de pequeno porte disponível no laboratório do NORIE/UFRGS, onde foi realizado este programa experimental, dificilmente consegue uma compactação eficiente que garanta blocos com resistências mais elevadas de maneira econômica. A produção de blocos de 35 ou 50 MPa demandaria um consumo muito elevado

de cimento e de tempos maiores de vibro-prensagem, o que poderia inviabilizar o programa experimental. Assim, a dosagem do concreto referência foi executada de acordo com o maquinário disponível para a realização da pesquisa, procurando a produção de blocos com resistência na faixa de 25 MPa.

Pagnussat (2004) realizou um estudo da dosagem de materiais para as condições de vibro-prensagem do equipamento utilizado nesta pesquisa. Este estudo foi de grande valia para a realização desta pesquisa, visto que se trata do mesmo maquinário e das mesmas características buscadas nos blocos de concreto. Assim, foi utilizada a dosagem desta bibliografia como ponto de partida para a confecção do concreto referência, já que a utilização de diferentes materiais promoveu alterações no traço considerado ideal na bibliografia citada.

5.4.2.1 Procedimento para ajuste da dosagem

A dosagem do concreto para a produção dos blocos para essa pesquisa consistiu em ter como referência o traço executado por Pagnussat (2004) e, a partir deste, ajustar as quantidades e a relação a/c às características dos materiais utilizados no momento de execução dos blocos. Isto foi devido ao fato de que este autor utilizou a mesma vibro-prensa usada nesta pesquisa, com o mesmo ajuste para a produção dos blocos e, também, materiais disponíveis na região.

O procedimento utilizado por Pagnussat (2004) na dosagem do seu concreto referência foi de primeiramente ajustar o teor de argamassa, de modo a verificar o acabamento mais adequado dos blocos. Após este ajuste, procurou alcançar a maior resistência possível sem perda de acabamento, variando o teor de umidade dos blocos. Assim, foi obtido o traço apresentado na tabela 16, sendo suas características expostas na tabela 17.

Tabela 16 – Traço em massa do concreto referência para blocos de pavimentação de Pagnussat (2004)

Traço			
Cimento	Areia média	Areia fina	Pedrisco
1	2,8	0,7	1,06

Tabela 17 – Características do traço referência de Pagnussat (2004)

Traço						
H (%)	a/c	C* (kg/m ³)	C** (kg/m ³)	(α)	fc28 médio (MPa)	σ 28
7,2	0,4	411,5	395,04	0,81	28,87	2,43

H% - teor de umidade a/c – relação água/cimento α - teor de argamassa

C*- consumo teórico de cimento, desprezando os vazios

C** - consumo estimado de cimento considerando 4% de vazios no concreto

σ - desvio padrão

Na dosagem dos blocos para esta pesquisa, os traços foram sendo executados e avaliados sob o ponto de vista do acabamento e da resistência à compressão, segundo a NBR 9780 (1987), aos 14 dias, onde se pôde verificar se os blocos de concreto teriam as características desejadas. Esta análise foi realizada aos 14 dias também em virtude de se otimizar o processo de dosagem, permitindo que este fosse realizado em um tempo viável. Neste estudo também foi considerada a viabilidade econômica da produção dos blocos, procurando a máxima resistência à compressão com a utilização da menor quantidade possível de cimento, material de maior custo econômico na produção do concreto.

O primeiro traço executado nesta pesquisa, traço 1, teve as mesmas proporções de material do concreto referência de Pagnussat (2004). A relação a/c que se mostrou mais adequada, conforme visualização empírica do ponto de pelota, foi a relação 0,34. Os blocos após moldados mostraram um bom acabamento e ausência de nata no entorno, indicando que, possivelmente, a quantidade de água estava correta. Entretanto, na verificação se a resistência à compressão estava dentro dos valores requeridos, observou-se que a resistência potencial dos blocos não atingiu os 25 MPa, ficando aquém do pretendido. A possível causa disto foi que este traço, com os materiais disponíveis, não proporcionou a compacidade necessária para que os blocos atingissem a resistência requerida.

Após esta verificação, se buscou a confecção do mesmo traço anterior com uma maior relação a/c, 0,38, sendo este o traço 2. Os blocos após moldados possuíam muita nata no entorno, verificando-se um excesso de água na mistura. Em consequência disto, o processo de deslocamento dos blocos, após curados, ocorreu com dificuldade, visto que houve a presença de nata no entorno e a ligação entre os blocos, havendo a necessidade de extrair-se esta. Os

resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 14 dias mostraram-se satisfatórios, entretanto, a sua relação a/c e conseqüente acabamento inviabilizaram este traço.

Após a realização destes dois primeiros traços partiu-se para uma variação da quantidade dos materiais utilizados. Em um primeiro momento, buscou-se manter a mesma quantidade de argamassa na mistura, mas aumentando-se a quantidade de areia fina em relação à areia média, sendo determinado o traço 3. Este traço, pela visualização empírica do ponto de pelota, teve como relação a/c ideal o valor de 0,34, mostrando um bom acabamento, melhor inclusive que do traço 1, em virtude da maior quantidade de areia fina. Entretanto, no ensaio de resistência à compressão aos 14 dias, estes blocos apresentaram uma resistência muito baixa. Este fato possivelmente decorreu da baixa compactação dos blocos.

Em seguida foi confeccionado um traço com maior quantidade de cimento, traço 4. Foi obtida a relação a/c de 0,32, resultando em um bom acabamento após moldado. No ensaio de resistência à compressão aos 14 dias foi constatada a importância do cimento neste parâmetro, com a observação de valores bastante altos. Entretanto, este traço é inviável economicamente para a indústria a que essa pesquisa se propõe a auxiliar, devido ao alto consumo de cimento.

Assim, foram dosados mais dois traços com um menor consumo de cimento, buscando-se o proporcionamento ideal para o concreto referência a ser utilizado nesta pesquisa. Primeiro analisou-se o traço 4 e partiu-se para a diminuição da quantidade de cimento, aumentando-se a quantidade de areia média e fina. A relação a/c obtida foi de 0,36 e os ensaios de resistência à compressão aos 14 dias mostraram resultados satisfatórios.

Além deste traço, foi dosado mais um, traço 6, com uma quantidade menor de argamassa em relação ao traço 2, mas ainda com uma quantidade de cimento inferior ao traço 5, buscando-se o proporcionamento ideal, com a resistência e o acabamento pretendidos e um consumo de cimento viável economicamente. Assim, foi verificado uma relação a/c de 0,37, que apresentou um bom acabamento após moldado, conforme figura 19, e resultados de acordo com o pretendido nos ensaios de resistência à compressão aos 14 dias. Este traço foi considerado o ideal com os materiais disponíveis, sendo que a pesquisa o tem como referência para a confecção dos blocos de concreto para a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado.



Figura 19 – Visualização dos blocos obtidos a partir traço 6

Na tabela 18 podem ser observados os traços executados, com a visualização da relações a/c e os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos diversos traços desenvolvidos nesta dosagem. Os dados completos dos ensaios de resistência à compressão estão expostos no anexo 1.

Tabela 18 – Traços executados para obtenção do concreto referência

Traço	Cimento	Areia média	Areia fina	Pedrisco	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	
						Potencial	Média
1	1	2,8	0,7	1,06	0,34	19,68	16,07
2	1	2,8	0,7	1,06	0,38	36,26	25,20
3	1	2,45	1,05	1,06	0,34	9,51	9,00
4	1	1,8	0,45	0,76	0,37	45,55	42,06
5	1	2,4	0,6	1	0,36	40,27	38,43
6	1	2,67	0,67	1,16	0,37	38,64	29,74

O traço considerado ideal é mostrado na tabela 19, sendo que as características deste estão indicadas na tabela 20, onde podem ser observados o seu teor de umidade, a relação a/c e o teor de argamassa. Além disso, também são mostrados o consumo teórico de cimento desprezando os vazios e os considerando como sendo de 4 % no concreto, além do desvio padrão obtido na resistência à compressão aos 14 dias.

Tabela 19 – Traço referência selecionado

Traço				
Traço	Cimento	Areia média	Areia fina	Pedrisco
6	1	2,67	0,67	1,16

Tabela 20 – Características do traço do concreto referência selecionado

Características do traço 6						
H (%)	a/c	C * (kg/m ³)	C ** (kg/m ³)	(α)	fc14 médio (MPa)	σ 14
6,7	0,37	414,30	397,73	0,79	29,74	5,55

H% - teor de umidade a/c – relação água/cimento α - teor de argamassa
 C*- consumo teórico de cimento, desprezando os vazios
 C** - consumo estimado de cimento considerando 4% de vazios no concreto
 σ - desvio padrão

5.4.3 Produção dos blocos de concreto para execução da análise comparativa

A execução dos blocos de concreto necessários à completa execução desta pesquisa teve como ponto de partida a produção dos blocos obtidos a partir do traço referência selecionado. Estes blocos foram produzidos com agregados naturais, sem a presença de agregados reciclados. Para fins de controle da produção, foram chamados de blocos com 0 % de resíduos.

Após a produção destes, procedeu-se a confecção dos blocos com a substituição em massa de agregados miúdos naturais por reciclados. Foram executados 4 traços com diferentes teores de substituição de agregado natural por reciclado, sendo a presença do material reciclado

considerada como 25 %, 50 %, 75 % e 100 % do total de agregado miúdo, considerando tanto a areia média quanto a areia fina.

Neste sentido, substituiu-se o agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de acordo com as proporções presentes no traço referência. Assim, quando da substituição de determinada porcentagem, esta era retirada proporcionalmente de cada um dos agregados miúdos naturais que constituíam o traço referência, procurando analisar a influência do agregado reciclado quando em substituição em massa aos dois agregados miúdos do concreto.

5.4.4 Relação água/cimento

Em um primeiro momento procurou-se manter a relação a/c especificada no traço referência selecionado para os traços com agregado miúdo reciclado, sem a verificação do ponto de pelota. Entretanto, para o traço com 25 %, o primeiro a ser executado com agregado miúdo reciclado, foi observado um acabamento ruim nos blocos, sendo que o ensaio de resistência à compressão aos 14 dias corroborou a necessidade do aumento da relação a/c, já que mostrou resultados muito baixos (tabela 21).

Tabela 21 – Resistência à compressão (MPa) – Traço com 25 % de agregado miúdo reciclado e relação a/c = 0,37

Traço	fc14 (MPa)	Relação a/c
25 %	9,53	0,37

Em função disto, percebeu-se a necessidade de verificar a relação a/c relativa a cada traço, pois a substituição de agregado miúdo natural por reciclado acarretou uma maior quantidade de água de amassamento. Assim, foi utilizado o método do ponto de pelota para a verificação da quantidade correta de água na mistura, sendo que a relação a/c e a umidade de cada traço podem ser observadas na tabela 22.

Tabela 22 – Relação a/c dos traços estudados

Traços	Relação a/c	Teor de umidade (%)
0 %	0,37	6,7
25 %	0,43	7,8
50 %	0,52	9,4
75 %	0,58	10,5
100 %	0,63	11,4

Ficou evidenciada a maior necessidade de água na mistura quanto maior a presença de agregado miúdo reciclado. Isto ocorreu provavelmente em virtude da maior absorção do agregado miúdo reciclado em relação aos agregados miúdos naturais, necessitando de mais água para que se verificasse o ponto de pelota.

5.4.5 Composição granulométrica dos blocos produzidos

A produção dos blocos teve primeiramente a confecção de blocos sem a presença de agregado reciclado. Estes tiveram na sua composição a presença de cimento, areia média, areia fina e pedrisco, além de água. Os agregados miúdos naturais, focos deste estudo em decorrência da sua substituição por agregado miúdo reciclado, formaram uma granulometria que serve de referência para a comparação com a granulometria dos blocos produzidos com agregado miúdo reciclado. Na tabela 23 pode-se observar a composição granulométrica dos agregados miúdos dos diversos traços estudados e na Figura 20, as suas curvas granulométricas.

Tabela 23 – Composição granulométrica do agregado miúdo dos diversos traços

Peneira	0 %		25 %		50 %		75 %		100 %	
	Ret. (%)	Acum. (%)	Ret. (%)	Acum. (%)	Ret. (%)	Acum. (%)	Ret. (%)	Acum. (%)	Ret. (%)	Acum. (%)
# 4,8	3	3	2	2	2	2	1	1	0	0
# 2,4	5	8	9	11	13	15	17	18	21	21
# 1,2	10	18	13	24	15	30	18	36	20	41
# 0,6	21	39	21	45	22	52	22	58	23	64
# 0,3	38	77	35	80	32	84	29	87	27	91
# 0,15	21	98	18	98	14	98	11	98	7	98
< 0,15	2	100	2	100	2	100	2	100	2	100
Módulo de finura (mm)	2,43		2,60		2,81		2,98		3,15	

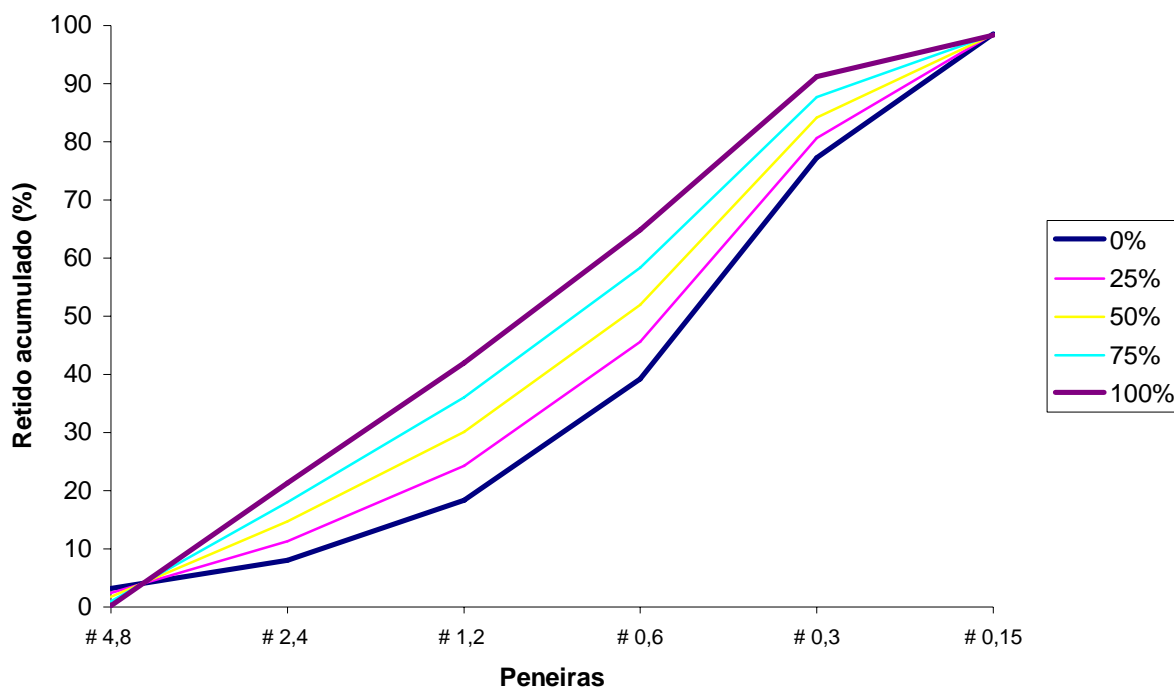


Figura 20 – Curvas granulométricas da composição de agregados miúdos utilizados em cada traço

Na análise das diversas composições obtidas, pode-se observar que o traço 0 %, sem substituição de agregado natural por reciclado, é o que possui a menor fração grossa na sua composição. Neste sentido, o traço com 100 % de agregado miúdo reciclado foi o que apresentou a maior fração grossa, sendo que a sua granulometria foi a mesma do agregado miúdo reciclado.

Os outros traços foram tendo uma diminuição gradativa na sua quantidade de material de fração mais fina à medida que ia diminuindo a quantidade de areia fina na composição e aumentava a quantidade de agregado miúdo reciclado. Isto se refletiu na questão do acabamento dos blocos no estado endurecido, onde à medida que se ia aumentando a quantidade de agregado miúdo reciclado, o acabamento ia ficando pior até ser praticamente o mesmo para os teores de 75 e 100 %, conforme pode ser observado nas figuras 21, 22 e 23.



Figura 21 – Blocos com 0 % e 25 % de agregado miúdo reciclado



Figura 22 – Blocos com 50 %, 75 % e 100 % de agregado miúdo reciclado



Figura 23 – Blocos com 0 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 % de agregado miúdo reciclado. Visualização de cima para baixo, da esquerda para a direita

Em todos os blocos produzidos o teor de argamassa não se alterou, permanecendo em 79 %, haja vista que a substituição dos agregados miúdos foi proporcional em massa, não alterando o traço do concreto.

5.4.6 Massa dos blocos produzidos

Segundo Pagnussat (2004), a resistência das peças produzidas está associada à maior compactidade possível das mesmas e, conseqüentemente, ao menor número de vazios no concreto, sendo que blocos de maior massa tendem a apresentar maiores resistências. Com o intuito de verificar se houve variação na massa dos blocos produzidos e a influência da substituição de agregado miúdo natural por reciclado na compactidade dos blocos, foi realizada a pesagem destes quando da idade do seu rompimento, antes da realização do capeamento e da saturação. Os valores médios das massas dos blocos podem ser observados na tabela 24 e os dados completos no anexo 2.

Tabela 24 – Valores médios das massas dos blocos (kg)

Idade dos blocos (dias)	Traço				
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
3	3,33	3,34	3,05	2,84	3,52
7	3,67	3,57	3,14	3,12	3,55
14	3,68	3,66	3,25	3,24	3,56
28	3,70	3,70	3,29	3,32	3,58
Média	3,59	3,56	3,18	3,13	3,55

Nesta análise verificou-se que os blocos com maior idade possuem maior massa, sendo que isto possivelmente ocorreu em virtude do maior número de grãos de cimento hidratados com o tempo. Também se observou que a quantidade de agregado miúdo reciclado na mistura teve influência na massa dos blocos, sendo que a presença deste representou uma menor massa dos blocos em relação aos blocos produzidos somente com agregados naturais. Os resultados possivelmente tiveram como causa a menor massa específica do agregado reciclado em relação aos agregados naturais e a menor compactidade obtida pelos blocos quando da presença destes agregados em relação aos naturais.

Em outro enfoque, analisando-se somente os blocos com agregado miúdo reciclado, observa-se que até o teor 75 % a massa dos blocos apresenta tendência decrescente. Entretanto, para o

teor 100 % a massa dos blocos aumenta, apresentando valores semelhantes aos blocos com teor 25 %.

5.4.7 Ensaios realizados

A verificação das propriedades dos blocos produzidos foi realizada através de ensaios que consideram variáveis essenciais ao desempenho e vida útil destes em relação a sua futura utilização. Foram realizados ensaios de verificação da resistência à compressão dos blocos, de resistência à abrasão e de absorção de água.

5.4.7.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão é um importante parâmetro a ser considerado na produção de blocos de concreto para pavimentação. Neste caso, resistências satisfatórias em baixas idades são essenciais, devido à questão de desforma, cura, armazenamento e transporte ocorrerem de maneira acelerada. Neste sentido, a avaliação da resistência à compressão dos blocos produzidos deve contemplar estas características. O procedimento de ensaio seguiu as recomendações propostas pela NBR 9780 (1987). Os blocos foram capeados com argamassa de cimento e areia fina em um traço 1:1 e após 24 horas de cura do capeamento, as peças foram imersas também por 24 horas, de modo a apresentarem-se completamente saturadas no momento do ensaio. Entretanto, no ensaio dos blocos aos 3 dias não foi possível promover a saturação dos blocos em virtude da cura do capeamento ocorrer no dia do ensaio.

Os blocos de concreto foram ensaiados em uma prensa hidráulica, marca SHIMADZU, modelo UH2000kN, com uma capacidade de 4 a 200 toneladas, sendo a velocidade de carregamento de 300 KPa/s até a ruptura dos blocos. Para a realização do ensaio foram utilizados gabaritos de madeira que propiciaram o ajuste do local para a disposição do bloco, figura 24, sendo estes colocados entre placas metálicas auxiliares de 90 mm de diâmetro.



Figura 24 – Dispositivo de madeira empregado durante a execução do ensaio

Para obter-se a resistência à compressão dos blocos foi realizada uma análise da altura das peças. Esta altura, conforme a NBR 9780 (1987), é utilizada para determinar um fator “p” de multiplicação que evidencia a resistência à compressão dos blocos estudados. A relação entre este fator e a altura pode ser observada na tabela 25.

Tabela 25 – Fator multiplicativo da resistência à compressão

Altura nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo ‘p’
60	0,95
80	1,00
100	1,05

A análise dos blocos produzidos evidenciou que a variação de altura dos blocos foi pequena, permanecendo na faixa de 86 à 89 mm de altura. Assim, o fator ‘p’ adotado foi igual a 1,00.

5.4.7.2 Resistência à abrasão

A resistência dos blocos de concreto à abrasão é um importante parâmetro a ser considerado em peças como blocos para pavimentação, onde a vida útil destes está ligada ao desgaste provocado pela circulação de veículos e pedestres. Esta resistência está expressa em um índice de desgaste por abrasão a partir de ensaios realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado Rio Grande do Sul (CIENTEC), que desenvolveu uma metodologia própria para avaliação do desgaste dos blocos.

Esta metodologia foi chamada de método CIENTEC, que tem como procedimento simular um percurso de 500 metros percorridos por um bloco de concreto submetido a uma pressão constante de 0,06 MPa sobre pó abrasivo carborundo. Neste método, são extraídas duas amostras de cada bloco através de corte com serra diamantada, sendo o resultado apresentado em termos de índice de desgaste, que equivale à média das diferenças entre as alturas iniciais e finais de cinco pontos no bloco de concreto.

Os ensaios foram realizados somente aos 28 dias em função de viabilizar o programa experimental, visto o seu alto custo de execução e a disponibilidade de uso dos equipamentos necessários à realização do ensaio.

5.4.7.3 Absorção de Água

A absorção de água dos blocos de concreto é uma característica importante a ser considerada, pois tem reflexo direto na qualidade do bloco produzido e na vida útil do bloco em condições de utilização. Neste sentido, blocos de concreto que absorvam muita água, em geral, são menos resistentes, além de poderem lixiviar elementos químicos mais facilmente, podendo causar eflorescências que prejudiquem o aspecto do pavimento.

Embora não existam normas nacionais específicas de absorção de água para blocos de concreto para pavimentação, para a realização do ensaio de absorção foi utilizado o proposto pela NBR 12118 (1991), que determina procedimentos para verificar a absorção de água para blocos de concreto para alvenaria. O ensaio consiste em secar os blocos em estufa, a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até constância de massa. Após esta etapa, os mesmos são resfriados até a temperatura ambiente e imediatamente imersos em água, onde leituras são realizadas após 24 horas e

depois de 2 em 2 horas, ou até que não registre-se diferença de massa superior a 0,5% entre duas leituras consecutivas. O valor da absorção considera a massa do bloco saturado de água e após seco em estufa, sendo calculado pela equação (1):

$$a\% = 100 \times (m_2 - m_1) / m_1 \quad (1)$$

onde,

$a\%$ = absorção de água;

m_1 = massa do bloco após secagem em estufa;

m_2 = massa do bloco saturado de água.

5.4.8 Análise estatística

Os resultados encontrados nos ensaios realizados no programa experimental foram analisados estatisticamente, utilizando um delineamento experimental unifatorial completamente casualizado. Esta análise foi executada no intuito de interpretar se os resultados observados são realmente oriundos da influência da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados ou se estão dentro de variações devidas ao acaso, ou seja, não consideradas provenientes desta substituição. Os resultados da análise estatística estão expostos no Anexo 3.

Para tanto, foram realizados ensaios de resistência à compressão, resistência à abrasão e de absorção de água, havendo cinco tratamentos, 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de teor de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, sendo o primeiro considerado como referência. Para a obtenção dos resultados estudados, foram realizados 6 ensaios para cada teor na análise da resistência à compressão, 1 para a resistência à abrasão, com 6 pontos estudados no bloco, e 3 para a absorção de água.

Com os dados obtidos, realizou-se um teste de hipóteses via análise da variância acoplada a testes de aleatorização (MANLY, 1991; PILLAR e ORLOCI, 1996), utilizando-se o programa estatístico *Multiv* 2.1.1 (PILLAR, 2001). A escolha dos testes de aleatorização para esta análise estatística baseia-se no fato de que as probabilidades utilizadas para julgar a

significância da variação entre grupos são geradas a partir dos próprios dados (MANLY, 1991; PILLAR e ORLOCI, 1996), sendo uma alternativa aos testes estatísticos clássicos, cujas frequências esperadas e suas probabilidades são pré-estabelecidas.

O teste de hipóteses permitiu avaliar se os resultados observados nos tratamentos com teores de 25 a 100% de agregados miúdos reciclados diferem significativamente dos dados obtidos para o teor referência, sendo oriundos das substituições executadas, ou se não diferem significativamente, sendo provenientes de uma variação que poderia ocorrer ao acaso em blocos com as mesmas proporções de materiais. Esta análise é realizada através da verificação da probabilidade (p) da ocorrência de variação nos resultados, sendo que se estabeleceu que quando esta for menor que 5 % os dados diferem significativamente, pois esta, segundo Manly (1991), seria baixa o suficiente para esta indicação.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos nos diversos ensaios propostos e realizados no programa experimental. Também apresenta a avaliação da utilização de agregado miúdo reciclado de RCD em substituição aos agregados miúdos naturais em relação aos resultados obtidos, utilizando-se de análise estatística para esta verificação. Assim, serão expostos os resultados de cada ensaio realizado e a análise destes, procurando entender as razões pelas quais foram verificados tais resultados.

6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os dados referentes aos ensaios de resistência à compressão foram analisados de maneira a entender a evolução deste parâmetro com o tempo e quais as causas deste ocorrer de tal forma.

O ganho de resistência ao longo do tempo pode ser analisado a partir da observação dos dados de resistência à compressão existentes na tabela 26, onde estão indicadas as médias dos resultados deste parâmetro para cada idade e teor de substituição estudado, e na observação da figura 25, sendo os dados de todos os ensaios mostrados no anexo 1. Na tabela 27 estão indicados o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (C.V.), parâmetros estatísticos que permitem uma melhor avaliação dos dados estudados. O desvio padrão indica o quanto os dados afastaram-se da média e o coeficiente de variação indica se o desvio padrão é baixo (menor que 25) ou não (maior que 25).

Tabela 26 – Resistência à compressão média (fc)

Traço (% de substituição)	Resistência à compressão média (fc)			
	fc3 (MPa)	fc7 (MPa)	fc14 (MPa)	fc28 (MPa)
0	20,63	26,13	29,74	32,53
25	17,15	19,78	23,50	26,67
50	9,02	9,75	11,26	11,84
75	6,54	8,76	10,23	11,16
100	4,70	4,87	7,16	9,95

Tabela 27– Desvio padrão (σ) e Coeficiente de variação (C.V.)

Traço (% de substituição)	Resistência à compressão média (fc)							
	fc3		fc7		fc14		fc28	
	σ	C.V.	σ	C.V.	σ	C.V.	σ	C.V.
0	4,19	20,31	2,92	11,17	5,55	18,65	5,44	16,72
25	2,71	15,82	4,67	23,61	3,42	14,56	4,20	15,74
50	1,49	16,53	1,85	18,93	1,52	13,54	2,03	17,15
75	0,84	12,84	1,90	21,68	1,53	14,98	1,98	17,78
100	0,94	20,01	1,14	23,34	1,31	18,28	2,08	20,91

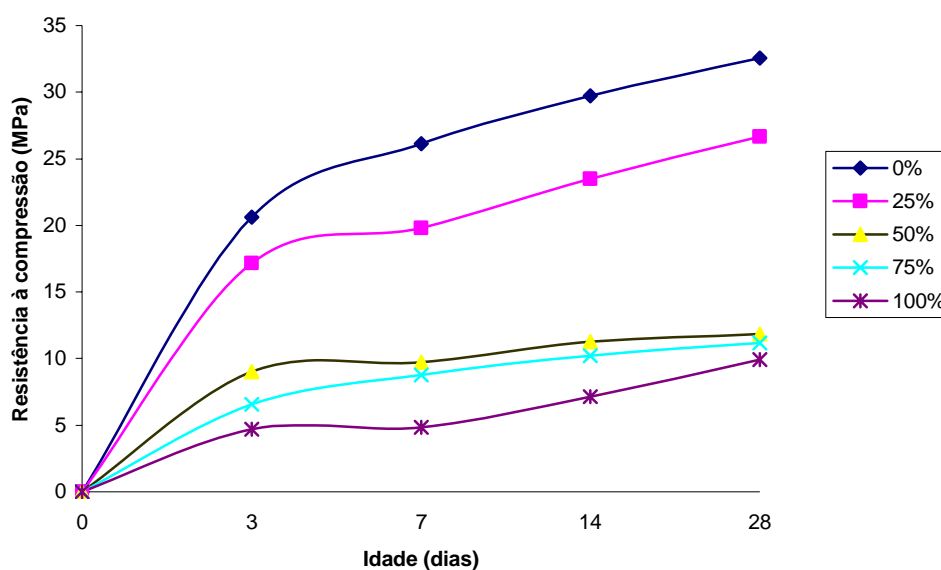


Figura 25 – Resistência à compressão dos blocos com diferentes teores de agregados miúdos reciclados ao longo do tempo

Em um primeiro momento foram verificados o desvio padrão e o C.V., indicando que os resultados podem ser considerados homogêneos em todas as idades e teores analisados. A partir desta constatação partiu-se para a análise dos resultados, onde se verificou que os blocos executados com o traço 25 % tiveram como resultado para a resistência à compressão aos 28 dias o valor de 26,67 MPa, que está dentro do parâmetro definido como de utilização nesta pesquisa, ou seja, igual ou superior a 25 MPa. Este valor é superior ao encontrado em Pagnussat (2004), que utilizou o mesmo maquinário desta pesquisa, substituindo agregado miúdo natural por escória granulada de fundição nos teores de 10 e 30 %, verificando os valores de 18,86 e 17,48 MPa respectivamente.

Os blocos confeccionados nos teores subseqüentes, 50 %, 75 % e 100 %, apresentaram queda na resistência à compressão em relação aos blocos com traços 0 % e 25 %. Nos blocos com teor de 50 % aos 28 dias, este parâmetro cai na ordem de 63 % em relação ao traço 0 % e, 55 % em relação ao traço 25 %.

Os blocos com traços 75 % e 100 % apresentaram resultados bastante baixos nas idades mais recentes, principalmente o traço 100 %, que apresentou os menores valores para a resistência

à compressão. Entretanto, na análise da resistência à compressão aos 28 dias, os blocos com traço 75 % apresentaram um valor médio bastante próximo do traço 50 %.

Na avaliação destes resultados pode-se constatar que possivelmente a composição granulométrica do agregado miúdo reciclado contribuiu para uma menor compacidade dos blocos em relação aos blocos confeccionados somente com agregado natural, refletindo-se em uma menor resistência à compressão.

Em uma análise comparativa, o valor encontrado para o f_{c28} no teor de 50 %, 11,84 MPa, é muito menor do que o verificado por Pagnussat (2004), que foi de 20,44 MPa para 50 % de substituição de agregado miúdo natural por escória granulada de fundição. Nesta comparação também foi verificado que quanto maior a presença de agregado miúdo reciclado nos blocos menor a resistência à compressão, o que não se observou em Pagnussat (2004), que identificou aumento da resistência à compressão em blocos com teores de substituição maiores que 30 %.

Quando comparados com os resultados obtidos por Poon et al. (2002) e Poon e Chan (2006), os parâmetros aqui verificados apresentaram valores inferiores. Isto possivelmente decorre do maquinário utilizado por estes autores, que fornece uma compactação eficiente que garante blocos com resistências mais elevadas de maneira econômica, o que não é o caso do equipamento utilizado no presente trabalho.

Em outro aspecto, segundo Poon et al. (2002) e Poon e Chan (2006), a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado oriundo de RCD diminui a resistência à compressão dos blocos à medida que a presença de agregado reciclado aumenta. Isto corrobora o verificado no presente trabalho, podendo-se concluir que, independentemente do maquinário utilizado para a confecção dos blocos, o aumento do teor de agregado reciclado de RCD nas misturas diminui a resistência à compressão dos blocos.

6.1.1 Análise estatística da resistência à compressão

A análise dos dados obtidos, após a realização dos ensaios de resistência à compressão, sob o ponto de vista estatístico, pode ser observada na tabela 28. Esta revelou que os valores encontrados para os teores de substituição de 50 %, 75 % e 100 % são significativamente

diferentes dos resultados encontrados para o teor de 0 % ($p \leq 0,05$), mas não entre si. Isto representa que a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, nestes teores, realmente causa a diminuição da resistência à compressão dos blocos nas idades estudadas em relação ao teor 0 %, mas que o aumento do percentual de material reciclado a partir de 50 % não apresenta prejuízos significativos aos blocos quando comparados os teores entre 50 % e 100 %.

Tabela 28 – Análise estatística dos dados de resistência à compressão

Traço (% de substituição)	Resistência à compressão ¹ (MPa)			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
0	20,63 ± 4,19 ^a	26,13 ± 2,92 ^a	29,74 ± 5,55 ^a	32,53 ± 5,44 ^a
25	17,15 ± 2,71 ^a	19,78 ± 4,67 ^a	23,50 ± 3,42 ^a	26,67 ± 4,20 ^a
50	9,02 ± 1,49 ^b	9,75 ± 1,85 ^b	11,26 ± 1,52 ^b	11,84 ± 2,03 ^b
75	6,54 ± 0,84 ^b	8,76 ± 1,90 ^b	10,23 ± 1,53 ^b	11,16 ± 1,98 ^b
100	4,70 ± 0,94 ^b	4,87 ± 1,14 ^b	7,16 ± 1,31 ^b	9,95 ± 2,08 ^b

¹Média ± desvio padrão. Valores com letras iguais, comparados na vertical, não diferem significativamente entre si.

Entretanto, para o teor de 25 %, os valores não diferem significativamente do teor 0 %, ou seja, não são menores a ponto de representar um decréscimo significativo na resistência à compressão dos blocos em função da substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado. Assim, as diferenças observadas na resistência à compressão entre os blocos com 0 e 25 % de agregados miúdos reciclados devem-se à variação ao acaso dos dados. Portanto, pode-se afirmar que não ocorrem prejuízos significativos aos blocos quando constituídos por 25 % de agregados miúdos reciclados.

6.1.2 Análise do consumo de cimento em relação à resistência à compressão obtida

A análise da viabilidade econômica dos diversos traços estudados deve considerar não somente o consumo de cimento, mas também a resistência à compressão obtida. Assim,

primeiramente, para realizar-se uma análise da viabilidade econômica dos traços executados, foi estimado o consumo de cimento para cada um destes, conforme pode ser observado na tabela 29.

Tabela 29 – Consumo de cimento

Cimento		
Traço (% de substituição)	Consumo teórico (kg/m³)	Consumo estimado (kg/m³)
0	414,30	397,73
25	398,74	382,79
50	379,92	364,73
75	366,79	352,12
100	355,80	341,57

Esta medida de consumo contemplou o consumo teórico, desprezando os vazios, e o consumo estimado, com 4% de vazios no concreto. Nesta análise evidenciou-se um menor consumo de cimento quanto maior o teor de substituição. Entretanto, isto não implica diretamente em concreto com maior viabilidade econômica, pois há a necessidade de avaliar-se em conjunto a resistência à compressão e o consumo de cimento obtido para os diversos traços. Esta avaliação pode ser observada na tabela 30, onde está demonstrado o consumo estimado de cimento para os diversos traços produzidos, sendo que estes foram agrupados de acordo com a análise estatística realizada, considerando que os traços 0 e 25 % não diferem significativamente, assim como os traços 50, 75 e 100 %.

Tabela 30 – Relação do consumo de cimento para cada MPa produzido

Traços (% de substituição)	Intervalo de fc28 (MPa)	Intervalo de consumo estimado (kg/m³)	Intervalo da relação consumo estimado / fc28	Intervalo de % de consumo
0 - 25	32,53 – 26,67	397,73 – 382,79	12,23 – 14,35	100 – 117
50 - 75 - 100	11,84 – 9,95	364,73 – 341,57	30,80 – 34,33	252 - 280

Nesta análise foi considerado como referência o maior valor de f_{c28} atingido e o consumo de cimento estimado para este traço. A partir deste foi verificada qual a porcentagem de consumo de cimento necessária para a produção de cada MPa de concreto, sendo que para os traços 0 e 25 % este consumo pode ter um acréscimo variável de até 17 % e para os outros traços estudados este acréscimo pode ser de até 180 % em relação ao referência.

Esta avaliação demonstrou que a necessidade de cimento para cada MPa produzido aumenta consideravelmente quanto maior o teor de agregado miúdo reciclado nas misturas. Assim, a maior quantidade de agregado miúdo reciclado tem reflexo direto no custo final dos blocos, já que o cimento é o material de maior valor econômico dentre os componentes do concreto, sendo este o material que dita a viabilidade econômica ou não de determinado traço de concreto.

Entretanto, também se deve considerar que a utilização de agregado miúdo reciclado substitui o agregado natural, que tem maior custo econômico e ambiental. Esta substituição tem relevância à medida que pode contribuir para a diminuição da extração de materiais minerais da natureza e diminuir as áreas de disposição de resíduos em virtude de agregar-se valor a um material que seria fator de diminuição da vida útil de aterros e poderia ser disposto em locais impróprios para tal atividade. Assim, estas variáveis ainda não estão sendo totalmente contabilizadas nos custos inerentes à produção de concreto, mas poderão vir a ter papel fundamental, já que as áreas de extração de materiais tendem a diminuir, sendo que as restrições ambientais a estas tendem a aumentar, assim como a obrigatoriedade do aumento da reciclagem e reutilização de resíduos.

6.2 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Os resultados do ensaio de resistência à abrasão dos blocos de pavimentação, exibidos em índices de desgaste à abrasão, podem ser observados na tabela 31. Os ensaios foram realizados em blocos com 28 dias de idade, sendo que foram estudados os diversos teores de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado explanados no programa experimental. Para a verificação da homogeneidade dos dados foram calculados o desvio padrão e o C.V., indicando que os resultados podem ser considerados homogêneos. O relatório completo dos ensaios pode ser consultado no anexo 4.

Tabela 31 – Ensaio de resistência à abrasão

Traço (% de substituição)	Índice de desgaste (mm)	σ	C.V.
0	6,17	1,06	17,20
25	10,63	0,63	5,88
50	12,80	1,60	12,50
75	14,65	3,01	20,52
100	11,98	2,51	20,93

Na análise dos resultados destes ensaios observou-se um aumento do índice de desgaste à abrasão quando da presença de agregado miúdo reciclado nos blocos de concreto. Isto possivelmente ocorreu em virtude da presença de resíduos de material cerâmico e argamassa na composição do agregado reciclado, materiais menos resistentes que os constituintes do agregado natural.

Na verificação dos teores de substituição e resistências obtidas, não foi observada uma correlação linear entre uma maior quantidade de agregado miúdo reciclado e um maior índice, já que o maior valor para este parâmetro foi encontrado para os blocos oriundos do traço 75 %. Assim, até o teor de substituição de 75 % há um aumento no índice de desgaste, sendo que para o teor 100 % já existe uma diminuição relativa aos teores 50 % e 75 %. Neste sentido, observou-se uma relação entre a variação das massas e o índice de desgaste dos blocos, conforme pode ser visualizado na figura 26, sendo que quanto maior a massa dos blocos menor o índice de desgaste.

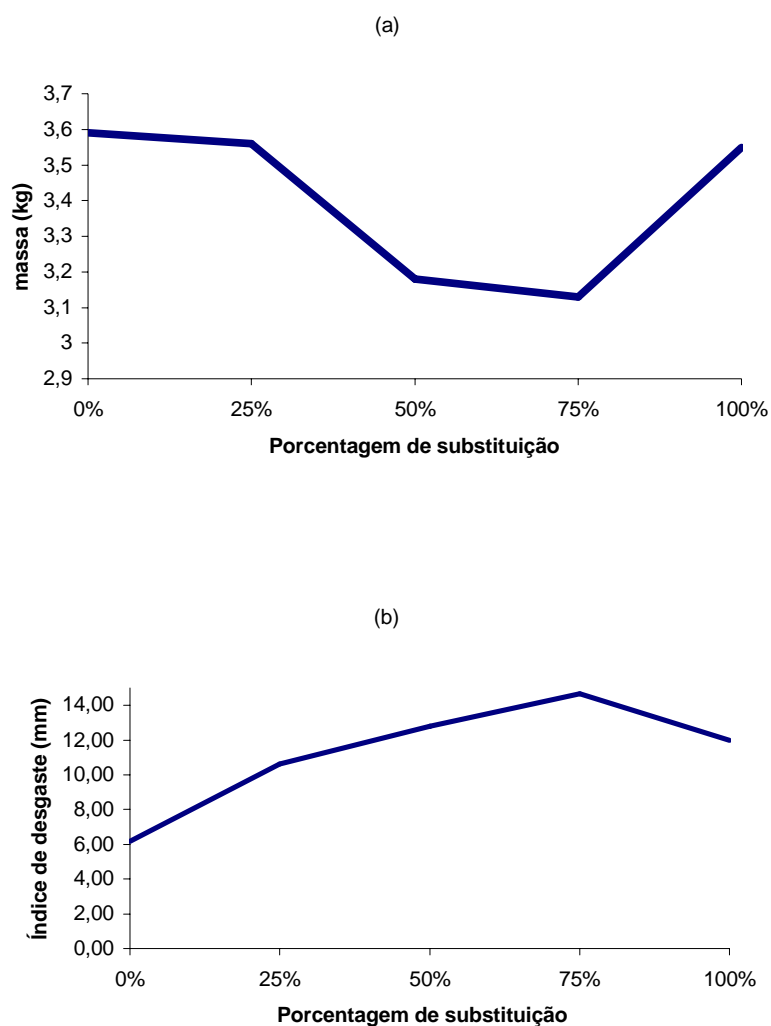


Figura 26 – Massa (a) e índice de desgaste (b) dos blocos

Comparativamente aos resultados verificados por Pagnussat (2004), que também utilizou o método CIENTEC, observaram-se valores maiores de desgaste para os blocos confeccionados no presente trabalho. Neste sentido, verifica-se que a resistência à abrasão de blocos de concreto com agregados reciclados de RCD é menor que a de blocos confeccionados com agregados reciclados de escória granulada de fundição.

Na análise estatística realizada para este parâmetro verificou-se que os valores encontrados para os blocos com teores de agregado miúdo reciclado diferem significativamente do teor 0 %, ou seja, são maiores a ponto de representar um decréscimo na resistência à abrasão dos blocos em função da substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado. Portanto, pode-se afirmar que existe uma variação deste parâmetro para qualquer que seja o

teor de substituição estudado nesta pesquisa. Os valores desta análise podem ser observados na tabela 32.

Tabela 32 - Análise estatística dos dados de resistência à abrasão

Traço (% de substituição)	Índice de desgaste (mm)
0	6,17 ± 1,06 ^a
25	10,63 ± 0,63 ^b
50	12,80 ± 1,60 ^{bc}
75	14,65 ± 3,01 ^c
100	11,98 ± 2,51 ^{bc}

¹Média ± desvio padrão. Valores com letras iguais, comparados na vertical, não diferem significativamente entre si.

6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos para pavimentação confeccionados com diversos teores de agregados miúdos reciclados e, dos blocos sem a presença destes, estão expostos na tabela 33. Estes ensaios foram realizados de acordo com as prescrições da NBR 12118 (1991), sendo que os dados completos dos ensaios podem ser visualizados no anexo 5. Também foram verificados o desvio padrão e o C.V., indicando que os resultados podem ser considerados homogêneos.

Tabela 33 – Resultados dos ensaios de absorção

Traço (% de substituição)	Absorção (%)	σ	C.V.
0	6,73	0,03	0,43
25	7,39	0,03	0,39
50	10,14	0,62	6,15
75	12,25	1,03	8,41
100	10,27	1,22	11,91

A análise dos resultados destes ensaios revela uma tendência de aumento da absorção de água dos blocos com maiores teores de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, sendo que isto possivelmente ocorreu em virtude da maior taxa de absorção de água do agregado reciclado e menor compactidade dos blocos. Entretanto, esta relação não é linear, sendo que os blocos com 75 % de substituição apresentaram maior porcentagem de absorção que os blocos com 100 %, verificando-se um comportamento semelhante ao do índice de desgaste dos blocos, sendo que quanto maior a massa menor a absorção de água dos blocos, conforme observado na figura 27.

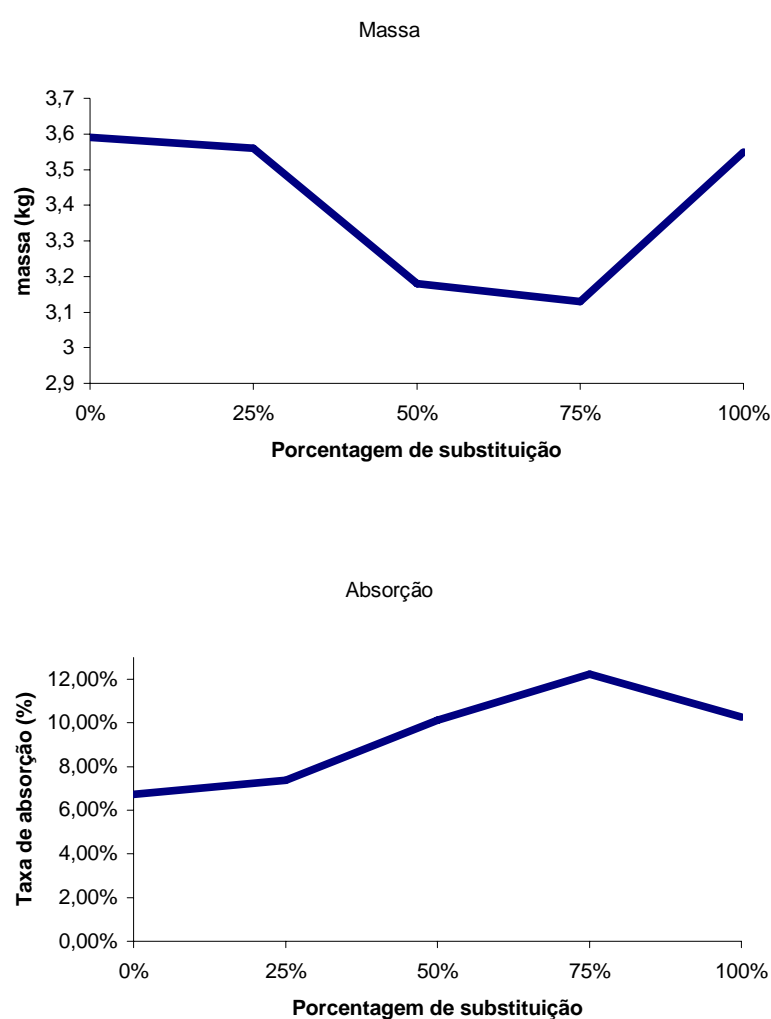


Figura 27 – Massa e absorção de água dos blocos

Na realização da análise comparativa com os resultados verificados por Pagnussat (2004), que utilizou o mesmo método de ensaio, percebe-se valores maiores de absorção de água nos

blocos do presente trabalho, verificando-se que a absorção de água de blocos de concreto com agregados reciclados de RCD é maior que a de blocos confeccionados com agregados reciclados de escória granulada de fundição. Em outra comparação, Poon e Chan (2006) encontraram valores maiores de absorção de água para blocos de concreto do que os verificados nesta pesquisa, sendo que isto possivelmente ocorreu em virtude das características dos agregados reciclados presentes na mistura.

Quanto à análise estatística, observada na tabela 34, evidenciou-se que os valores encontrados para os teores de substituição de 50 %, 75 % e 100 % são significativamente diferentes dos resultados encontrados para o teor de 0 %, mas não entre si. Entretanto, para o teor de 25 %, os valores não diferem significativamente do teor 0 %, ou seja, não são maiores a ponto de representar um aumento na absorção de água em função da substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado. Portanto, as diferenças observadas na absorção de água entre os blocos com 0 % e 25 % de agregados miúdos reciclados devem-se à variação ao acaso dos dados, não ocorrendo prejuízos significativos aos blocos quando constituídos por 25 % de agregados miúdos reciclados.

Tabela 34 - Análise estatística dos dados de absorção de água

Traço (% de substituição)	Absorção de água ¹ (%)
0	6,73 ± 0,03 ^a
25	7,39 ± 0,03 ^{ab}
50	10,14 ± 0,62 ^{bc}
75	12,25 ± 1,03 ^c
100	10,27 ± 1,22 ^{bc}

¹Média ± desvio padrão. Valores com letras iguais, comparados na vertical, não diferem significativamente entre si.

7 CONCLUSÕES

Neste capítulo estão descritas as conclusões obtidas após a realização da pesquisa foco desta dissertação. Nesta análise consideraram-se as observações e conclusões descritas nos capítulos onde foi realizada a revisão bibliográfica dos temas pertinentes a este trabalho e os resultados obtidos no programa experimental.

Na realização da revisão bibliográfica ficou evidenciado o problema causado pela geração e disposição de resíduos, com enfoque no RCD, que corresponde a uma grande parcela do total de resíduos gerados no mundo, necessitando de grandes áreas de disposição e muita energia para transporte. Neste sentido, foi considerado que a melhor gestão de obras a fim de diminuir a geração, a reutilização destes como material de construção e a reciclagem, são ações que podem contribuir em muito na resolução deste problema.

A partir das constatações expostas e focando em um tema essencial para a realização desta pesquisa, a reciclagem de RCD, foi verificada a possibilidade de diversas utilizações do RCD como agregado reciclado em materiais compostos por cimento e agregados. Entretanto, para que esta utilização seja incorporada ao mercado, há a necessidade de um maior número de pesquisas na área para que se viabilize técnica e economicamente a utilização de agregado reciclado de RCD.

Assim, buscando contribuir nesta área, o programa experimental realizado teve como premissa a análise da viabilidade técnica do uso do RCD como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Este programa gerou uma série de resultados, já expostos, que promoveram as considerações e conclusões explanadas a seguir.

7.1 CONCLUSÕES SOBRE CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Primeiramente, na etapa inicial de produção dos blocos, foram avaliadas as características do concreto fresco produzido com agregado miúdo reciclado em relação ao concreto sem a presença deste. Neste sentido, mesmo com a maior presença de água nas misturas executadas com agregado miúdo reciclado, não se observaram variações na trabalhabilidade dos

concretos e, também não se observou a presença de nata no entorno dos blocos. Isto corroborou a verificação do ponto de pelota para os concretos com agregado miúdo reciclado, evidenciando que não havia água excedente na mistura.

7.2 CONCLUSÕES SOBRE O CONCRETO ENDURECIDO

Nos ensaios realizados para a execução do programa experimental foram estudados parâmetros fundamentais para a verificação da qualidade final dos blocos quando colocados em serviço. Assim, foram estudados a resistência à compressão, a resistência à abrasão e absorção de água dos blocos.

Na análise dos resultados ficou evidenciado o decréscimo na resistência à compressão dos blocos à medida do incremento do teor de substituição de agregado miúdo natural por reciclado. Neste sentido, os teores de 50 %, 75 % e 100 % apresentaram resultados bastante insatisfatórios, muito abaixo dos 25 MPa aos 28 dias pretendidos, sendo que a análise estatística corroborou esta avaliação, demonstrando que o agregado miúdo reciclado teve influência na observação destes valores.

No entanto, para o teor de 25 %, o valor verificado para a resistência à compressão aos 28 dias ficou acima dos 25 MPa. Assim, há a possibilidade de utilização do agregado miúdo reciclado em substituição ao agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação a serem utilizados em situações de menor solicitação de tráfego de veículos ou de trânsito de pedestres. Além disso, a análise estatística evidenciou que os valores encontrados para o teor de 25 % não diferem significativamente em relação ao teor 0 %, atestando que não foi verificado prejuízo significativo para a resistência à compressão dos blocos em decorrência da substituição executada.

A análise dos outros dois parâmetros estudados, resistência à abrasão e absorção de água, evidenciou que os valores do índice de desgaste por abrasão e a absorção de água aumentam quando há a presença de agregado miúdo reciclado nos blocos de concreto. Em outro enfoque, a análise estatística destes parâmetros mostrou que, quanto à absorção de água, não há prejuízo significativo até o teor de 25 %, sendo que, para a resistência à abrasão, todos os

teores influenciaram significativamente nos resultados alcançados, sendo o menor índice de desgaste entre os blocos com agregado miúdo reciclado aquele resultante do teor 25 %.

Assim, após a realização dos ensaios e a análise dos resultados, verificou-se que a substituição de agregado miúdo natural por reciclado no teor de 25 %, mesmo estando fora dos parâmetros indicados pela NBR 9780 (1987), tem viabilidade técnica para ser utilizada em blocos de concreto para pavimentação em situações de menor solicitação de tráfego de veículos ou de trânsito de pedestres. Também foi observado que os outros teores de substituição estudados (50, 75 e 100 %) não são viáveis tecnicamente, visto que os resultados alcançados foram insatisfatórios.

As conclusões e os resultados expostos ao longo desta dissertação têm como referência os materiais, técnicas e condições empregadas durante a realização do programa experimental. Assim, a utilização do agregado miúdo reciclado de RCD em blocos de concreto para pavimentação deve ser sempre precedida de análise dos materiais e equipamentos disponíveis.

8 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa realizada nesta dissertação teve o objetivo de analisar a viabilidade técnica do uso do RCD como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação mediante a avaliação de três parâmetros: resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água. Para a análise de outros aspectos referentes aos blocos de concreto e à utilização do agregado reciclado, outras variáveis podem e devem ser estudadas, tanto dos blocos quanto dos agregados. Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar:

- a) estudo da melhor faixa granulométrica para o agregado miúdo reciclado de RCD a ser utilizado em substituição ao agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação;
- b) estudo de uma metodologia para verificação da taxa de absorção do agregado miúdo reciclado de RCD;
- c) avaliação dos custos ambientais da extração de materiais minerais e da disposição de resíduos no meio ambiente;
- d) avaliação de teores intermediários entre 25 % e 50 % de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de RCD, de modo a identificar se existe um valor específico onde a queda de resistência à compressão passa a ser significativa;
- e) estudo da influência do agregado reciclado de RCD em substituição à brita zero em blocos de concreto para pavimentação;
- f) estudo da influência da substituição conjunta de agregados naturais graúdos e miúdos por agregados reciclados de RCD em blocos de concreto para pavimentação;
- g) estudo da influência do agregado reciclado de RCD em blocos de concreto para alvenaria estrutural e de vedação.

REFERÊNCIAS

ALAVEDRA, P.; DOMÍNGUEZ, J.; GONZALO, E. et al. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. **Informes de la Construcción**, v.49, nº 451, p.41-47, 1997.

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

ANGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil, 4, 2001 – materiais reciclados e suas aplicações. CT206 – IBRACON. São Paulo, 2001.

ANGULO, S.C. et al. Aperfeiçoamento da Reciclagem da Fração Mineral dos Resíduos de Construção e Demolição – Uso em Concretos. In: II SUFFIB - Seminário: o uso da fração fina da britagem. **Anais...** São Paulo, 2005.

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

_____ **NBR 9780 - Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação**. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 11578 - Cimento Portland composto– especificação**. Rio de Janeiro, 1991

_____ **NBR 12118 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria: determinação da absorção de água, teor de umidade e área líquida**. Rio de Janeiro, 1991

_____ **NBR 5737 - Cimento Portland Resistente a Sulfatos**. Rio de Janeiro, 1992.

_____ **NBR NM30 – Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM52 – Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM53 – Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 10004 - Resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 7211 - Agregado para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

BALLISTA, L.P. **Avaliação de algumas propriedades de concretos estruturais com agregados graúdos reciclados modificados com látex estireno-butadieno.** 152p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BARROS, M.,C. **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura.** 96 p. Dissertação (Mestrado)-COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

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

BEZERRA, M. C. L.; BURSZTYN, M. **Ciência e Tecnologia para Desenvolvimento Sustentável.** Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio CDS/UNB/Abipti: Brasília, 2000.

BIAN, L. GIS for environmental modeling: an introduction. **Computers, environment and urban systems.** v. 28, p 171-173, 2004.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** Prentice Hall, São Paulo, 2002.

BRESSON, J. **La vibration dans les machines a blocs.** CERIB (Centre d'Etudes et de Recherche de l'Industrie du Béton Manufacturé). Publication Technique n. 58, 35p. 1981.

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

CERVO, A.L. BERVIAN, A. **Metodologia Científica.** 242p. 5 ed. Prentice Hall. São Paulo, 2002.

CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center). Trends Online: a compendium of data on global change - Atmospheric carbon dioxide record from Mauna Loa. 2004. Disponível em: <<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>>. Acessado em: 12 de setembro de 2005.

CHEN, H.; YEN, T.; CHEN, K. Use of building rubbles as recycled aggregates. **Cement and Concrete Research.** v. 33, n. 1, p. 125-132, 2003.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução nº 307.** 2002.

DAL MOLIN, D.C.C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica.** 286 p. Tese (Doutorado).

Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

DE PAUW, C. Recyclage des décombres d'une ville sinistrée. **CSTC Revue** n.4, p.12-28. dez., 1982.

DMLU (Departamento Municipal de Limpeza Urbana). Quantidade de resíduos coletados e/ou recebidos nas unidades de destino final do DMLU. 2006. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmlu/usu_doc/dados.pdf>. Acessado em: 10 de setembro de 2006.

DORSTHORST, B.J. H.; HENDRIKS, C.H.F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. 9p. In: Cib Symposium In Construction And Environment: Theory Into Practice, São Paulo, Brazil. **Proceedings...** [CD-ROM]. São Paulo, 2000.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Carbonation and chloride penetration in concrete made with fine recycled concrete aggregates. INCOS 2006 – II Simpósio Ibero-americano sobre concreto estrutural. **Anais...**Rio de Janeiro – RJ, 2006.

FERREIRA, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria: prática recomendada.** 16p. (Boletim técnico 107). 3.ed. ABCP, São Paulo, 1995.

GALIVAN, R.M.; BERNOLD, L.E. Source evaluation of solid waste in building construction. **Journal of Construction Engineering and Management.** p 536-552, dez., 1994.

JADOVSKI, I. **Análise de viabilidade econômica de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** 2005. 191 p. Trabalho de conclusão (mestrado profissional) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de engenharia, Curso de Mestrado profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, 2005.

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

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduos da Construção.** In: Seminário - Reciclagem de resíduos sólidos domésticos. São Paulo, 2000.

JOHN, V.M. et al. **Strategies for innovation in construction and demolition waste management in Brazil.** CIB World Building Congress 2004. Toronto/Canadá, 2004.

KAZMIERCZAK, C.S.; KULAKOWSKI, M.P.; BOITO, D.; GARCIA, A.C. Estudo comparativo da geração de resíduos de construção e demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo – RS. XI ENTAC (Encontro Nacional do Ambiente Construído). **Anais...** Florianópolis – SC , 2006.

KHATIB, J.M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 4, p 763-769, 2005.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, RILEM REPORT 6. 1992.

INSTITUTE DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (ITEC). **Guia d'alicació del Decret 201/1994, regulador dels endeeeci altres residus de la construcció**. Catalunya, 1995.

LAURITZEN, E.K. **The global challenge of recycled concrete**. p. 505-519. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*. London: Thomas Telford Pub., 1998.

LIDDLE, B.T. *Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry*. **CIB TG 16 Sustainable Construction**. Tampa, Florida. November, 6-9. 1994.

LEITE, M.B. et al. *Utilização de agregado reciclado de concreto para produção de argamassas*. VIII ENTAC (Encontro Nacional do Ambiente Construído). **Anais...** Salvador, Bahia, 2000.

LEVY, S.M; HELENE, P. *Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development*. **Cement and Concrete Research**. V 34, n.11, p.1975-1980, 2004.

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

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 246p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MANLY, B.F.J. **Randomization and Monte Carlo methods in biology**. London: Chapman e Hall. 399 p. 1991.

MIRANDA, L.F.R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. *Avaliação do efeito de entulhos reciclados nas propriedades das argamassas no estado endurecido, por procedimentos racionais de dosagem*. 2001. p. 225-236. In: *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4.*, Brasília, 2001. **Anais...** Brasília, ANTAC, 2001.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. 278p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

OLIVEIRA, A.L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 296 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, M.J.E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

PAGNUSSAT, D. **Utilização de Escória Granulada de Fundação em Blocos de Concreto para Pavimentação**. Dissertação (Mestrado). PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2004.

PEDROZO, P.H., LEITE, M.B., DAL MOLIN, D.C.C., **Technical Viability Study of the use of Construction and Demolition Waste to Concrete Production**. In: Construction e Environment, São Paulo, 2000.

PENG, C.; SCORPIO, D.E.; KIBERT, C.J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. **Construction Management and Economics**, n.15, p.49-58, 1997.

PILLAR, V.D. **Multiv, software for multivariate exploratory analysis and randomization testing**. Departamento de Ecologia/Ufrgs. 34 p. Porto Alegre, 2001.

PILLAR, V.D.; ORLOCI, L. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of releve groups. **Journal of Vegetation Science**, 7: 585-592. 1996.

PINTO, T.P. **Utilização de resíduos de construção**. Estudo do uso em argamassas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

_____. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POLLET, V. et al. Recycled aggregates: alternative resources for the construction industry. In: International Conference Buildings and the Environment. p.635-642. **Proceedings**. Paris, 1997.

POON, C.S.; CHAN, D. Paving Blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. **Construction and Building Materials**. v. 20, n. 8, p 569-577, 2006.

POON, C.S.; KOU, S.C.; LAM, L.. Use of recycled aggregates in moulded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials**. v. 16, n.5, p. 281-289, 2002.

PULITANO, F. M. **Estudo sobre a recuperação de área de mineração de areia: o caso da região de analândia**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RANGEL, A.S. et al. A exploração de areia na RMS. In: **Padrão de concorrência e competitividade da indústria de materiais de construção**. P.89-102. Singular, São Paulo, 1997.

RODRIGUES, P.P.F. **Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação**. 2 ed. São Paulo, ABCP, 1995.

SANTANA, M.J.A.; SAMPAIO, T.S.; CARNEIRO, A.P.; Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento. In: **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador, EDUFBA, p. 262-299, 2001.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 184 p., 2004.

SANTOS, M.C.N. **Os impactos provocados pela exploração mineral de emprego imediato na construção civil na área do Tarumã - município de Manaus**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2001.

SENTHAMARAI, R.M.; DEVADAS, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 9-10, p 910-913, 2005.

SOUSA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 124p. Dissertação de Mestrado, Publicação E.D.M 009A/2001, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2001.

TAM, W.Y.; GAO, X.F.; TAM, C.M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**. V. 35, n. 6, p 1195-1203, 2005.

TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. , v.1. 1 ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, 1984.

_____ Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais. In: International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. p.21-31. **Proceedings**. Florianópolis, 1994.

TOPÇU, I. B.; GUNÇAN, N. F. Using waste concrete as aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 7, p. 1385-1390, 1995.

TOPÇU, I.B.; SENDEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n.8, p. 1307-1312, 2004.

VIEIRA, G.L. **Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Concretos Obtidos com Agregados Reciclados Provenientes da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. In: Sinduscon Premium 2003. Porto Alegre, 2003.

VOTORANTIM. **Laudo técnico de cimento – junho 2006**. Esteio, 2006.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F.; WIRQUIN, E. Assesment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. 10 p. **Cement & Concrete Composites**. 2002.

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

Entulho da indústria da construção civil. Fichas Técnicas. 2000. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso em: 22 de agosto de 2005.

ANEXOS

ANEXO 1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Resistência à compressão (Mpa)				
Traço	3	7	14	28
0%	23,14	26,05	32,10	33,55
	25,97	28,67	38,64	26,50
	13,99	28,09	31,23	33,11
	19,52	26,00	24,30	35,34
	22,54	20,59	23,80	26,25
	18,63	27,38	28,36	40,46
Média	20,63	26,13	29,74	32,53
Desvio padrão	4,19	2,92	5,55	5,44
C.V.	20,31	11,17	18,65	16,72

Resistência à compressão (Mpa)				
Traço	3	7	14	28
25%	18,45	26,35	28,01	32,43
	20,28	20,29	21,91	23,00
	13,75	14,02	25,81	28,80
	14,35	15,37	22,92	23,36
	16,55	19,27	18,08	22,64
	19,52	23,36	24,24	29,77
Média	17,15	19,78	23,50	26,67
Desvio padrão	2,71	4,67	3,42	4,20
C.V.	15,82	23,61	14,56	15,74

Resistência à compressão (Mpa)				
Traço	3	7	14	28
50%	11,68	12,29	10,56	10,94
	9,45	11,57	10,28	9,02
	8,06	10,00	9,75	14,68
	8,10	8,27	12,94	12,51
	7,59	8,46	10,59	10,66
	9,21	7,92	13,41	13,24
Média	9,02	9,75	11,26	11,84
Desvio padrão	1,49	1,85	1,52	2,03
C.V.	16,53	18,93	13,54	17,15

Resistência à compressão (Mpa)				
Traço	3	7	14	28
75%	5,44	8,83	11,63	11,57
	6,32	12,26	8,30	12,89
	7,17	7,00	10,69	12,32
	6,49	7,26	12,17	8,49
	7,81	9,02	8,87	8,87
	6,04	8,17	9,75	12,83
Média	6,54	8,76	10,23	11,16
Desvio padrão	0,84	1,90	1,53	1,98
C.V.	12,84	21,68	14,98	17,78

Resistência à compressão (Mpa)				
Traço	3	7	14	28
100%	3,27	3,21	7,01	12,10
	5,22	3,98	6,29	11,22
	5,35	5,41	9,49	10,37
	3,80	4,67	6,07	10,78
	4,97	6,24	6,30	8,91
	5,60	5,69	7,80	6,29
Média	4,70	4,87	7,16	9,95
Desvio padrão	0,94	1,14	1,31	2,08
C.V.	20,01	23,34	18,28	20,91

Anexo 1: resultados dos ensaio de resistência à compressão (MPa)

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
1	15,68
	16,40
	19,68
	12,87
	13,91
	17,88
Média	16,07
Desvio padrão	2,51
C.V.	15,61

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
2	9,25
	8,47
	9,51
	9,40
	8,88
	8,50
Média	9,00
Desvio padrão	0,45
C.V.	5,04

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
3	45,55
	38,70
	44,50
	43,80
	38,78
	41,02
Média	42,06
Desvio padrão	2,98
C.V.	7,08

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
4	25,70
	25,35
	35,10
	31,60
	38,64
	21,70
Média	29,68
Desvio padrão	6,51
C.V.	21,92

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
5	17,68
	30,20
	21,45
	36,25
	25,75
	19,86
Média	25,20
Desvio padrão	7,02
C.V.	27,86

Resistência à compressão (Mpa)	
Traço	14
6	40,27
	37,40
	38,86
	38,50
	39,70
	35,85
Média	38,43
Desvio padrão	1,61
C.V.	4,18

Anexo 1: resultados dos ensaio de resistência à compressão (Mpa) - Dosagem

ANEXO 2 – Massa dos blocos

Teor (%)	Idade (dias)			
	3	7	14	28
0	3,25	3,54	3,59	3,71
	3,36	3,77	3,64	3,65
	3,34	3,8	3,67	3,57
	3,28	3,63	3,72	3,94
	3,42	3,63	3,74	3,64
	3,35	3,66	3,71	3,69
Média	3,33	3,67	3,68	3,70
Desvio padrão	0,06	0,10	0,06	0,13

Teor (%)	Idade (dias)			
	3	7	14	28
25	3,36	3,57	3,67	3,68
	3,42	3,55	3,77	3,78
	3,18	3,64	3,64	3,74
	3,41	3,45	3,55	3,77
	3,43	3,67	3,57	3,72
	3,25	3,53	3,76	3,52
Média	3,34	3,57	3,66	3,70
Desvio padrão	0,10	0,08	0,09	0,10

Teor (%)	Idade (dias)			
	3	7	14	28
50	3,02	3,19	3,27	3,24
	3,08	3,12	3,25	3,25
	3,07	3,14	3,25	3,29
	3,08	3,1	3,26	3,32
	3,09	3,13	3,23	3,3
	2,98	3,15	3,24	3,33
Média	3,05	3,14	3,25	3,29
Desvio padrão	0,04	0,03	0,01	0,04

Teor (%)	Idade (dias)			
	3	7	14	28
75	2,79	3,18	3,27	3,33
	2,83	3,12	3,21	3,34
	2,78	3,12	3,24	3,25
	2,79	3,1	3,25	3,37
	2,98	3,09	3,18	3,29
	2,87	3,11	3,26	3,31
Média	2,84	3,12	3,24	3,32
Desvio padrão	0,08	0,03	0,03	0,04

Teor (%)	Idade (dias)			
	3	7	14	28
100	3,46	3,42	3,45	3,47
	3,46	3,44	3,38	3,69
	3,4	3,42	3,74	3,56
	3,81	3,78	3,39	3,65
	3,47	3,5	3,68	3,54
	3,53	3,72	3,73	3,57
Média	3,52	3,55	3,56	3,58
Desvio padrão	0,15	0,16	0,17	0,08

Anexo 2: massa (kg) de cada bloco e idade de rompimento

ANEXO 3 – Resultados da Análise Estatística

Resistência à compressão

MULTIV versao 2.1.1

Fri Sep 15 17:05:10 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog3d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 30 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

23.14

25.97

13.99

19.52

22.54

18.63

18.45

20.28

13.75

14.35

16.55

19.52

11.68

9.447

8.064

8.096

7.593

9.212

5.439

6.319

7.168

6.492

7.813

6.036

3.27

5.219

5.35

3.8

4.967

5.596

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Fri Sep 15 17:07:12 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog3d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma
 Transformacao vetorial: (0)nenhuma
 Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais
 Sessao esta armazenada em arquivo.

 TESTE DE ALEATORIZACAO

Fri Sep 15 17:08:18 2006
 Tempo decorrido: 0.094 seconds
 Status da analise:
 Arquivo de dados: **rog3d.txt**
 Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis
 Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades
 Transformacao escalar: (0)nenhuma
 Transformacao vetorial: (0)nenhuma
 Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais
 Sessao esta armazenada em arquivo.
 Numero de iteracoes: 1000
 Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1163443186
 Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos
 Particao das unidades amostrais em grupos:
 Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
 28 29 30
 Fator % material reciclável:
 Grupos: 0 0 0 0 0 0 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 75 75 75 75 75 75 100 100
 100 100 100 100
 Ordem dos grupos em contrastes: 0% 25% 50% 75% 100%

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL≥Qb)

%material:		
Entre grupos	1153.3	0.001
Contrastes:		
1 -1 0 0 0	36.366	0.403
1 0 -1 0 0	404.82	0.003
1 0 0 -1 0	595.34	0.001
1 0 0 0 -1	761.42	0.001
0 1 -1 0 0	198.52	0.03
0 1 0 -1 0	337.43	0.003
0 1 0 0 -1	464.98	0.001
0 0 1 -1 0	18.315	0.476
0 0 1 0 -1	55.858	0.27
0 0 0 1 -1	10.203	0.645
Dentro de grupos	143.7	

Total	1297	
Vetores medios em cada grupo:		
Fator %material:		
Grupo 0 (n=6):	20.632	

Grupo 25 (n=6): 17.15
Grupo 50 (n=6): 9.0153
Grupo 75 (n=6): 6.5445
Grupo 100 (n=6): 4.7003

Fri Sep 15 17:10:12 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog7d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 30 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

26.05

28.67

28.09

26

20.59

27.38

26.35

20.29

14.02

15.37

19.27

23.36

12.29

11.57

9.998

8.268

8.457

7.923

8.834

12.26

6.995

7.262

9.023

8.174

3.207

3.977

5.407

4.669

6.241

5.69

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Fri Sep 15 17:13:15 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog7d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

TESTE DE ALEATORIZACAO

Fri Sep 15 17:14:50 2006

Tempo decorrido: 0.094 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog7d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 1000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1163444003

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
28 29 30

Fator % material reciclável:

Grupos: 0 0 0 0 0 0 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 75 75 75 75 75 75 100 100
100 100 100 100

Ordem dos grupos em contrastes: 0% 25% 50% 75% 100%

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL≥Qb)
-------------------	----------------------	--------------

%matrec:

Entre grupos	1856.3	0.001
--------------	--------	-------

Contrastes:

1 -1 0 0 0	121.09	0.198
1 0 -1 0 0	804.81	0.003
1 0 0 -1 0	905.36	0.001
1 0 0 0 -1	1356.6	0.001
0 1 -1 0 0	301.54	0.026
0 1 0 -1 0	364.23	0.014
0 1 0 0 -1	667.06	0.003

0 0 1 -1 0	2.9581	0.826
0 0 1 0 -1	71.614	0.335
0 0 0 1 -1	45.462	0.43
Dentro de grupos	193.2	

Total 2049.5

Vetores medios em cada grupo:

Fator %matrec:

Grupo 0 (n=6):	26.13
Grupo 25 (n=6):	19.777
Grupo 50 (n=6):	9.751
Grupo 75 (n=6):	8.758
Grupo 100 (n=6):	4.8652

Fri Sep 15 17:18:54 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog14d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 30 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

32.1
38.64
31.23
24.3
23.8
28.36
28.01
21.91
25.81
22.92
18.08
24.24
10.56
10.28
9.746
12.94
10.59
13.41
11.63
8.3
10.69
12.17
8.866
9.746

7.011
6.288
9.495
6.068
6.304
7.797

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Fri Sep 15 17:22:42 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog14d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

TESTE DE ALEATORIZACAO

Fri Sep 15 17:24:02 2006

Tempo decorrido: 0.078 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog14d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 1000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1163443281

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
28 29 30

Fator % material reciclável:

Grupos: 0 0 0 0 0 0 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 75 75 75 75 75 75 100 100
100 100 100 100

Ordem dos grupos em contrastes: 0% 25% 50% 75% 100%

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL≥Qb)
-------------------	----------------------	--------------

%:

Entre grupos	2268.7	0.001
--------------	--------	-------

Contrastes:

1 -1 0 0 0	116.94	0.277
1 0 -1 0 0	1025	0.001

1 0 0 -1 0	1141.3	0.001
1 0 0 0 -1	1529.3	0.001
0 1 -1 0 0	449.5	0.016
0 1 0 -1 0	527.59	0.015
0 1 0 0 -1	800.45	0.001
0 0 1 -1 0	3.1253	0.861
0 0 1 0 -1	50.278	0.452
0 0 0 1 -1	28.333	0.589
Dentro de grupos	244.2	

Total 2512.9

Vetores medios em cada grupo:

Fator %:

Grupo 0 (n=6):	29.738
Grupo 25 (n=6):	23.495
Grupo 50 (n=6):	11.254
Grupo 75 (n=6):	10.234
Grupo 100 (n=6):	7.1605

Fri Sep 15 17:25:16 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog28d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 30 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

33.55
26.5
33.11
35.34
26.25
40.46
32.43
23
28.8
23.36
22.64
29.77
10.94
9.023
14.68
12.51
10.66
13.24
11.57

12.89
12.32
8.489
8.866
12.83
12.1
11.22
10.37
10.78
8.913
6.288

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Fri Sep 15 17:28:18 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog28d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

TESTE DE ALEATORIZACAO

Fri Sep 15 17:30:01 2006

Tempo decorrido: 0.094 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: **rog28d.txt**

Dimensoes: 30 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 1000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1163443370

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
28 29 30

Fator % material reciclável:

Grupos: 0 0 0 0 0 0 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 75 75 75 75 75 75 100 100
100 100 100 100

Ordem dos grupos em contrastes: 0% 25% 50% 75% 100%

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL≥Qb)
-------------------	----------------------	--------------

Entre grupos	2610.2	0.001
Contrastes:		
1 -1 0 0 0	103.31	0.336
1 0 -1 0 0	1284.6	0.001
1 0 0 -1 0	1370.6	0.001
1 0 0 0 -1	1530.9	0.001
0 1 -1 0 0	659.3	0.012
0 1 0 -1 0	721.29	0.006
0 1 0 0 -1	838.83	0.005
0 0 1 -1 0	1.3926	0.901
0 0 1 0 -1	10.796	0.747
0 0 0 1 -1	4.4335	0.815
Dentro de grupos	297.84	

Total	2908	

Vetores medios em cada grupo:

Fator %:

Grupo 0 (n=6):	32.535
Grupo 25 (n=6):	26.667
Grupo 50 (n=6):	11.842
Grupo 75 (n=6):	11.161
Grupo 100 (n=6):	9.9452

Resistência à abrasão

Thu Sep 28 14:54:09 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: abrasao.txt

Dimensoes: 50 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 50 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

7.14

7.04

7.37

7.25

6.82

5.88

5.36

5.23

4.76

4.83

9.68

9.81

10.65

10.61

9.95

10.68

11.27

11.45

11.08

11.07

13.9

14.11

14.53

14.43

14.24

11.78

12.22

10.44

10.97

11.35

11.7

10.45

12.75

12.09

12.4

16.9

16.8
17.96
17.8
17.69
14.23
14.42
13.64
14.81
14.37
9.83
10.47
9.93
8.42
9.68

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Thu Sep 28 14:54:29 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: abrasao.txt

Dimensoes: 50 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

TESTE DE ALEATORIZACAO

Thu Sep 28 14:57:11 2006

Tempo decorrido: 0.14 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: abrasao.txt

Dimensoes: 50 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 1000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1159455392

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38

39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

Grupos: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 50
 50 50 50 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
 Ordem dos grupos em contrastes: 0 25 50 75 100

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL>=Qb)

Teor:		
Entre grupos	407.31	0.001
Contrastes:		
1 -1 0 0 0	99.324	0.004
1 0 -1 0 0	219.72	0.001
1 0 0 -1 0	360.06	0.001
1 0 0 0 -1	168.9	0.001
0 1 -1 0 0	23.588	0.152
0 1 0 -1 0	81.164	0.015
0 1 0 0 -1	9.1801	0.381
0 0 1 -1 0	17.242	0.222
0 0 1 0 -1	3.3375	0.599
0 0 0 1 -1	35.751	0.078
Dentro de grupos	174.63	

Total	581.94	

Vetores medios em cada grupo:
 Fator Teor:
 Grupo 0 (n=10): 6.168
 Grupo 25 (n=10): 10.625
 Grupo 50 (n=10): 12.797
 Grupo 75 (n=10): 14.654
 Grupo 100 (n=10): 11.98

Absorção de água

MULTIV versao 2.1.1

Wed Sep 27 14:33:35 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: absorcao.txt

Dimensoes: 15 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Sessao NAO esta armazenada em arquivo.

Matriz de dados originais:

(Linhas= 15 unidades amostrais, colunas= 1 variaveis)

6.71

6.76

6.71

7.42

7.4

7.36

10.69

9.46

10.27

11.24

13.3

12.2

10.54

8.94

11.34

MEDIDAS DE SEMELHANCA

Wed Sep 27 14:34:53 2006

Status da analise:

Arquivo de dados: absorcao.txt

Dimensoes: 15 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Matriz de semelhanca:

0

0.05 0

0 0.05 0

0.71 0.66 0.71 0

0.69 0.64 0.69 0.02 0

0.65	0.6	0.65	0.06	0.04	0						
3.98	3.93	3.98	3.27	3.29	3.33	0					
2.75	2.7	2.75	2.04	2.06	2.1	1.23	0				
3.56	3.51	3.56	2.85	2.87	2.91	0.42	0.81	0			
4.53	4.48	4.53	3.82	3.84	3.88	0.55	1.78	0.97	0		
6.59	6.54	6.59	5.88	5.9	5.94	2.61	3.84	3.03	2.06	0	
5.49	5.44	5.49	4.78	4.8	4.84	1.51	2.74	1.93	0.96	1.1	0
3.83	3.78	3.83	3.12	3.14	3.18	0.15	1.08	0.27	0.7	2.76	1.66
0											
2.23	2.18	2.23	1.52	1.54	1.58	1.75	0.52	1.33	2.3	4.36	3.26
1.6	0										
4.63	4.58	4.63	3.92	3.94	3.98	0.65	1.88	1.07	0.1	1.96	0.86
0.8	2.4	0									

TESTE DE ALEATORIZACAO

Wed Sep 27 14:43:37 2006

Tempo decorrido: 0.047 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: absorcao.txt

Dimensoes: 15 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 1000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1159367867

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Fator teor:

Grupos: 0 0 0 25 25 25 50 50 50 75 75 75 100 100 100

Ordem dos grupos em contrastes: 0 25 50 75 100

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-------------------	----------------------	---------------

teor:

Entre grupos	61.733	0.001
--------------	--------	-------

Contrastes:

1 -1 0 0 0	0.66667	0.732
1 0 -1 0 0	17.476	0.059
1 0 0 -1 0	45.706	0.001
1 0 0 0 -1	18.868	0.048
0 1 -1 0 0	11.316	0.153
0 1 0 -1 0	35.332	0.001
0 1 0 0 -1	12.442	0.116

0 0 1 -1 0	6.6571	0.255
0 0 1 0 -1	0.026667	0.956
0 0 0 1 -1	5.8411	0.305
Dentro de grupos	5.8971	

Total	67.63	
-------	-------	--

Vetores medios em cada grupo:

Fator teor:

Grupo 0 (n=3):	6.7267
Grupo 25 (n=3):	7.3933
Grupo 50 (n=3):	10.14
Grupo 75 (n=3):	12.247
Grupo 100 (n=3):	10.273

TESTE DE ALEATORIZACAO

Wed Sep 27 14:43:53 2006

Tempo decorrido: 0.281 seconds

Status da analise:

Arquivo de dados: absorcao.txt

Dimensoes: 15 unidades amostrais, 1 variaveis

Tipo de dados: (1) quantitativos, mesmas unidades

Transformacao escalar: (0)nenhuma

Transformacao vetorial: (0)nenhuma

Medida de semelhanca: (3)distancia euclidiana, (1)entre unidades amostrais

Sessao esta armazenada em arquivo.

Numero de iteracoes: 10000

Inicializador da geracao de numeros aleatorios: 1159368226

Criterio considerado: (1)soma de quadrados das distancias entre grupos

Particao das unidades amostrais em grupos:

Unidades amostrais: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Fator teor:

Grupos: 0 0 0 25 25 25 50 50 50 75 75 75 100 100 100

Ordem dos grupos em contrastes: 0 25 50 75 100

Fonte de variacao	Soma de quadrados(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-------------------	----------------------	---------------

teor:

Entre grupos	61.733	0.0001
--------------	--------	--------

Contrastes:

1 -1 0 0 0	0.66667	0.7226
1 0 -1 0 0	17.476	0.0591
1 0 0 -1 0	45.706	0.0002
1 0 0 0 -1	18.868	0.0468
0 1 -1 0 0	11.316	0.1305
0 1 0 -1 0	35.332	0.0019

0 1 0 0 -1	12.442	0.1082
0 0 1 -1 0	6.6571	0.2568
0 0 1 0 -1	0.026667	0.9428
0 0 0 1 -1	5.8411	0.2823
Dentro de grupos	5.8971	

Total 67.63

Vetores medios em cada grupo:

Fator teor:

Grupo 0 (n=3): 6.7267

Grupo 25 (n=3): 7.3933

Grupo 50 (n=3): 10.14

Grupo 75 (n=3): 12.247

Grupo 100 (n=3): 10.273

ANEXO 4 – Resultados dos ensaios de resistência à abrasão

ENSAIO EM PEÇAS DE PAVIMENTAÇÃO

Cliente: ROGÉRIO DA SILVA HOOD.
Rua Cel. Corte Real, 955/302
90060.30 - PORTO ALEGRE - RS

Material ensaiado: cinco peças de concreto para pavimentação com 80 mm de espessura nominal, do tipo "UNISTEIN", entregues à CIENTEC pelo Cliente, já identificadas.

Solicitação do Cliente: determinação do índice de desgaste por abrasão.

Data de entrega dos materiais: 06 de setembro de 2006.

Período de realização do ensaio: 06 a 27 de setembro de 2006.

Método: "CIENTEC de Desgaste por Abrasão": de cada peça entregue foram obtidos, através de corte em serra circular diamantada, dois corpos-de-prova destinados ao ensaio que simula um percurso de 500 m percorridos pelo corpo-de-prova submetido a uma pressão constante de 0,06 MPa sobre pó abrasivo carborundo. O resultado é expresso em termos do índice de desgaste, que corresponde à média das diferenças entre as alturas iniciais e finais de cinco pontos do corpo-de-prova.

RESULTADOS:

Peça	Data de Fabricação	Data do ensaio	Idade (dias)	C.P. (nº)	Índice de desgaste(mm)	
					Individual	Média
0%	14/08/06	11/09/06	28	A	7,12	6,16
				B	5,21	
25%	24/08/06	21/09/06		A	10,14	10,62
				B	11,11	
50%				A	14,24	12,80
				B	11,35	
75%	30/08/06	27/09/06		A	11,88	14,66
				B	17,43	
100%	14/08/06	11/09/06		A	14,29	11,98
				B	9,66	

Porto Alegre, 02 de outubro de 2006.



Eng. Civil Fernando A. Piazza Recena, M.Sc.
Gerente do Dep. de Mat. de Construção Civil



Eng. Civil Dra. Fernanda Macedo Pereira
Responsável Técnico - CREA-RS nº 78176
Coordenadora do Lab. de Mat. de Constr. Civil

ANEXO 5 – Resultados dos ensaios de absorção dos blocos

Blocos	Peso inicial (g)	28 hs estufa	30 hs estufa	24 hs submerso	26 hs submerso	28 hs submerso	30 hs submerso	Absorção	Absorção média
0%	3594,2	3485,6	3485,7	3716,2	3718,5	3719,5	3719,6	6,71%	6,73%
0%	3645,3	3539,4	3539,3	3774,2	3776,1	3778,4	3778,6	6,76%	
0%	3775,2	3665,2	3665,1	3907,2	3909,2	3911	3911,1	6,71%	
								Desvio padrão	0,03%
								C.V.	0,43%
25%	3450,2	3315,1	3315,1	3558,2	3560,2	3561	3561	7,42%	7,39%
25%	3645,2	3787,9	3786,8	4064,6	4065,2	4067,1	4067	7,40%	
25%	3532,6	3394,5	3393,4	3642,5	3642,3	3643,1	3643,2	7,36%	
								Desvio padrão	0,03%
								C.V.	0,39%
50%	2989,2	2868,1	2868	3168,5	3173,5	3174,6	3174,5	10,69%	10,14%
50%	3235,4	3102,6	3102,1	3393,4	3393,5	3395,8	3395,6	9,46%	
50%	3250,4	3105,7	3105,4	3419,7	3424,2	3424,2	3424,4	10,27%	
								Desvio padrão	0,62%
								C.V.	6,15%
75%	3245,6	3101,1	3100,1	3444,8	3446,2	3448,7	3448,6	11,24%	12,25%
75%	3256,4	3111,2	3112,3	3520,7	3521,3	3526,1	3526,2	13,30%	
75%	3184,5	3042,3	3043,2	3412,6	3413,2	3414,5	3414,4	12,20%	
								Desvio padrão	1,03%
								C.V.	8,41%
100%	3479,5	3311,2	3311,1	3657,8	3657,4	3660	3660,2	10,54%	10,27%
100%	3698,7	3531,4	3531,4	3845	3846	3847	3847	8,94%	
100%	3402,2	3214,7	3214,7	3573	3574	3579	3579,2	11,34%	
								Desvio padrão	1,22%
								C.V.	11,91%

Anexo 5 - Resultados dos ensaios de absorção dos blocos