

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gustavo da Fonseca Borges

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO:
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA
UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS**

Porto Alegre
outubro 2012

GUSTAVO DA FONSECA BORGES

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO:
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA
UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ângela Borges Masuero

Porto Alegre
outubro 2012

GUSTAVO DA FONSECA BORGES

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO:
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA
UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2012

Profa. Ângela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS)

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UCS)
MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro (UFPA)
MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, José e Odete, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Profa. Ângela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, pela atenção e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao pessoal do laboratório do NORIE, pela ajuda durante o desenvolvimento das atividades experimentais.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, pela ajuda e paciência para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a minha família, pela compreensão e auxílio durante este período.

Há muitas maneiras de avançar,
mas só uma maneira de ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

Este trabalho aborda a viabilidade técnico-econômica da substituição de agregados naturais por agregados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) em blocos de concreto para vedação. Levando-se em conta o momento atual de aquecimento do setor da construção civil e, concomitantemente, a alta geração de resíduos por empresas deste mesmo setor, indaga-se se é viável a utilização de agregados de RCD em aplicações de maior valor agregado. Desta forma, o trabalho preocupou-se em acompanhar todas as etapas deste processo, desde a coleta do RCD em um aterro na cidade de Porto Alegre até a verificação dos resultados dos ensaios dos blocos moldados, em função das exigências de resistência à compressão da NBR 6136/2007. Primeiramente foi coletada uma amostra de resíduo e feita sua caracterização, identificando o proporcionamento dos materiais constituintes. A partir daí, foram produzidos agregados de granulometria similar aos agregados naturais utilizados em blocos de concreto convencionais usualmente vendidos em mercado. Com isto, se fez a escolha dos traços dos blocos em função das curvas granulométricas e do teor de argamassa, fazendo isto de tal forma que o aspecto externo dos blocos se assemelhasse ao máximo a um bloco comumente utilizado em obras. Desta forma, foram moldados blocos de concreto com relação cimento agregado de 1:6 e 1:8 em massa com agregados naturais somente, blocos com teores de substituição de agregado miúdo nos teores de 25, 50 e 100% e blocos com 100% de substituição de agregado graúdo e miúdo a fim de comparar os resultados recolhidos dos testes de resistência à compressão, bem como os respectivos custos envolvidos em suas produções. Conclui-se ser viável tecnicamente a utilização de agregados reciclados em blocos para vedação, à exceção do traço 1:8 com substituição total de agregado graúdo e miúdo. Quanto à viabilidade econômica, obteve-se que, para a incorporação de agregado miúdo reciclado, os traços 1:6 nos teores de 25 e 50% e o traço 1:8 com teor de 50% foram mais econômicos que o concreto referência. Já quanto à substituição total de agregado graúdo e miúdo, conclui-se que o traço 1:6 com 100% de substituição é mais econômico que seu respectivo concreto referência.

Palavras-chave: Blocos de Concreto para Vedação. Agregados Reciclados. Viabilidade Técnico-Econômica de Blocos de Concreto com Agregados Reciclados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de pesquisa	12
Figura 2 – Resistência à compressão dos blocos em função do tipo de vibroprensa	29
Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibroprensa automática	33
Figura 4 – Vista geral do material já britado no aterro de inertes	39
Figura 5 – Britador utilizado na Central de Resíduos	39
Figura 6 – Aspecto visual do RCD	41
Figura 7 – Britador de mandíbulas utilizado	41
Figura 8 – Britador de rolos utilizado	42
Figura 9 – Aspecto do RCD após a primeira britagem no britador de mandíbulas	42
Figura 10 – RCD retido na peneira de malha #6,3 mm, após a primeira britagem	43
Figura 11 – Esquema explicativo das etapas de britagem e peneiramento do RCD	44
Figura 12 – Comparação entre o agregado graúdo natural e o reciclado	45
Figura 13 – Homogeneização do agregado miúdo	49
Figura 14 – Detalhe da vibroprensa utilizada	51
Figura 15 – Indicação do final do curso das hastes que mantém as extratoras ligadas ao contrapeso	55
Figura 16 – Teor de argamassa em 40%	57
Figura 17 – Teor de argamassa em 44%	57
Figura 18 – Teor de argamassa em 48%	57
Figura 19 – Teor de argamassa em 53%	57
Figura 20 – Acabamento de bloco usualmente comercializado	58
Figura 21 – Verificação do ponto de pelota	59
Figura 22 – Formação de nata de cimento ao redor do bloco	59
Figura 23 – Aspecto do bloco com teor de umidade em 4%	60
Figura 24 – Etapas da pré-molhagem do agregado reciclado	62
Figura 25 – Detalhe do capeamento dos blocos de concreto	65
Figura 26 – Efeito isolado da idade.....	69
Figura 27 – Efeito da interação entre a relação cimento/agregados e a idade.....	70
Figura 28 – Efeito isolado do teor de substituição.....	70
Figura 29 – Efeito isolado da relação cimento/agregados.....	71
Figura 30 – Comparação entre as relações custo/resistência.....	75
Figura 31 – Efeito isolado do teor de substituição.....	78
Figura 32 – Comparação entre as relações custo/resistência.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composições de resíduos de novas construções	17
Tabela 2 – Geração de resíduos de construção e demolição.....	18
Tabela 3 – Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com RCD	24
Tabela 4 – Dosagens selecionadas para a produção de blocos de concreto	37
Tabela 5 – Resultados das propriedades físicas e mecânicas para os blocos reciclados...	37
Tabela 6 – Composição da amostra coletada	40
Tabela 7 – Granulometria do agregado graúdo reciclado	45
Tabela 8 – Primeira granulometria obtida para o agregado miúdo reciclado	46
Tabela 9 – Granulometria obtida para a primeira porção do agregado miúdo	47
Tabela 10 – Granulometria do material passante pela peneira de malha #1,2 mm da segunda porção	47
Tabela 11 – Granulometria do material retido na peneira de malha #1,2 mm após britagem	48
Tabela 12 – Granulometria da mistura do material passante e do britado da segunda porção	48
Tabela 13 – Granulometria do agregado reciclado miúdo no seu estado final	50
Tabela 14 – Características do cimento utilizado	52
Tabela 15 – Granulometria do agregado miúdo natural	53
Tabela 16 – Granulometria do agregado graúdo natural	54
Tabela 17 – Relações aglomerante/agregado e quantidade de blocos respectivos	56
Tabela 18 – Traços, em massa, utilizados para o concreto referência	60
Tabela 19 – Traços, em massa, utilizado para o concreto reciclado 1:6	63
Tabela 20 – Traços, em massa, utilizado para o concreto reciclado 1:8	64
Tabela 21 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.....	66
Tabela 22 – Análise de variância de resistência à compressão.....	69
Tabela 23 – Preço dos materiais levantados.....	74
Tabela 24 – Custo de cada unidade produzida, resistência média e relação custo/resistência.....	74
Tabela 25 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.....	76
Tabela 26 – Análise de variância de resistência à compressão.....	76
Tabela 27 – Custo de cada unidade produzida, resistência média e relação custo/resistência.....	78

LISTA DE SIGLAS

APF – abertura posição fechada

ARI – alta resistência inicial

CP – corpo de prova

RCD – resíduos de construção e demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 DIRETRIZES DE PESQUISA	10
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	10
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	10
2.2.1 Objetivo Principal	10
2.2.2 Objetivos Secundários	10
2.3 HIPÓTESE	11
2.4 PREMISA	11
2.5 DELIMITAÇÕES	11
2.6 LIMITAÇÕES	11
2.7 DELINEAMENTO.....	11
3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	14
3.1 IMPACTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	14
3.2 DEFINIÇÃO	15
3.3 COMPOSIÇÃO	16
4 AGREGADOS RECICLADOS	19
4.1 DEFINIÇÃO	19
4.2 APLICAÇÃO	20
4.2.1 Concreto Convencional	21
4.2.2 Argamassa	22
4.2.3 Blocos de concreto	23
4.3 BRITAGEM DO RCD	25
5 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO	28
5.1 ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	30
5.1.1 Proporcionamento dos materiais constituintes	31
5.1.2 Mistura e moldagem	31
5.1.3 Cura	34
5.2 BLOCOS DE CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS	35
6 PROGRAMA EXPERIMENTAL	38
6.1 PRODUÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS.....	38
6.1.1 Coleta do RCD.....	38
6.1.2 Caracterização física do RCD.....	39
6.1.3 Britagem e peneiramento do RCD.....	41

6.2 PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	50
6.2.1 Equipamentos utilizados.....	50
6.2.2 Materiais utilizados.....	51
6.2.2.1 Cimento	51
6.2.2.2 Agregado miúdo natural	52
6.2.2.3 Agregado graúdo natural	53
6.2.2.4 Água	54
6.2.3 Processo de fabricação.....	54
6.2.4 Dosagem dos blocos de concreto referência.....	56
6.2.5 Dosagem dos blocos de concreto com agregados reciclados.....	61
6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	64
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
7.1 INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO MIÚDO COMO SUBSTITUIÇÃO.....	66
7.2 INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO GRAÚDO E MIÚDO COMO SUBSTITUIÇÃO	75
8 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Em virtude do desenvolvimento econômico do País e dos projetos do governo em relação à habitação popular, torna-se crescente a demanda por blocos de concreto para obras de edificação. Ao mesmo tempo, o aumento da atividade da construção civil gera um aumento na produção de entulho pelas obras. Desta forma, há um acúmulo de resíduos em aterros sanitários e, também, a disposição inadequada destes resíduos.

Sob esta análise, vê-se um nicho de mercado que alia a demanda por blocos de concreto e a abundância de resíduos. Assim, cria-se a possibilidade de produzir estes blocos empregando como agregados, aqueles provenientes de resíduos da construção civil. Há também outro aspecto relativo à sustentabilidade ambiental desta prática, que visa a não só abastecer a geração atual, mas também garantir estes recursos naturais para as gerações futuras. Desta forma, a reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) proporciona o fechamento do ciclo de vida dos materiais de construção.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é verificar se existe viabilidade técnico-econômica na produção de blocos de concreto de vedação, utilizando como matéria-prima os resíduos provenientes da construção civil. Este trabalho, primeiro, verificará se é possível produzir blocos de concreto para vedação utilizando agregados reciclados conforme as exigências da NBR 6136/2007 quanto à resistência à compressão. Após, os blocos que atenderem a esse pré-requisito, serão estudados quanto ao seu custo de produção comparativamente ao bloco produzido com agregados naturais. Também será feita a descrição do processo produtivo dos blocos de concreto.

As diretrizes de pesquisa estão elencadas no capítulo 2 do presente trabalho, em que são descritos a questão e os objetivos deste trabalho, bem como suas limitações e delimitações. A pesquisa bibliográfica concentra-se nos capítulos 3 a 5, ela traz os trabalhos e resultados de diversos autores que pesquisaram sobre temas como resíduos de construção e demolição, características e uso dos agregados reciclados, como também sobre o processo de produção de blocos de concreto com agregados naturais e com reciclados. Já no capítulo 6, apresenta-se o programa experimental deste trabalho, o detalhamento dos procedimentos de coleta e amostragem de RCD, o processo de obtenção dos agregados reciclados, os métodos de

dosagem e produção dos blocos de concreto, bem como a caracterização dos materiais utilizados. Também é feita a descrição do método e da realização do ensaio de resistência à compressão em blocos de concreto.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa proposta é: para os blocos de concreto para vedação que atendem aos requisitos de resistência à compressão da NBR 6136/2007, quais os teores de substituição de agregados reciclados utilizados para a produção de blocos de concreto apresentam um custo, em relação à resistência à compressão gerada, inferior aos blocos de concreto somente com agregados naturais?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e em secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é verificar quais teores de substituição de agregados reciclados utilizados para a produção de blocos de concreto apresentam um custo, em relação à resistência à compressão gerada, inferior aos blocos de concreto somente com agregados naturais.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) verificação da adequação dos blocos de concretos para vedação produzidos a partir de agregados reciclados frente às exigências da NBR 6136/2007 quanto à resistência à compressão;
- b) descrição do processo produtivo dos blocos com agregados reciclados e naturais, indicando os custos envolvidos na sua produção.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que blocos de concreto cujos agregados naturais sejam substituídos por agregados reciclados utilizando teores de substituição de 25 e 50% atendem os requisitos da NBR 6136/2007 e têm custo de produção inferior aos blocos de concreto somente com agregados naturais.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que os resíduos da construção civil podem ter destinações mais nobres, não ficando sujeito apenas a aplicações, como por exemplo, em bases para pavimentações, desta forma garantindo a boa prática ambiental e sua utilização em aplicações de maior valor agregado.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de blocos de concreto para vedação sendo que parte deles são fabricados com substituição de agregado natural por reciclado, empregando para a produção deste último o material coletado exclusivamente na Central de Resíduos da Construção Civil, na zona norte de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a consideração:

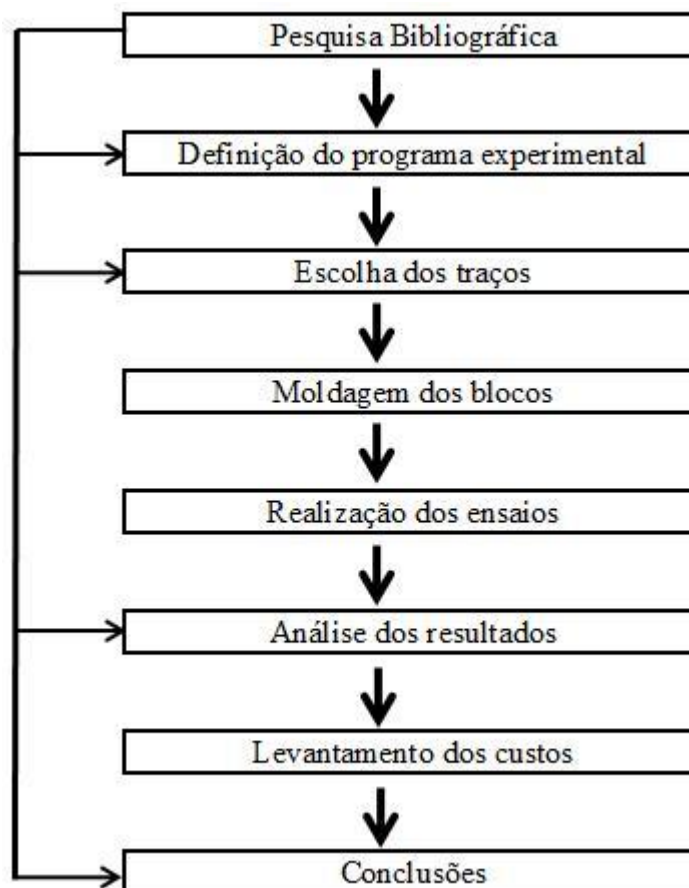
- a) da proporção entre resíduos provenientes de concreto, material cerâmico, argamassas e rochas será a que se encontra na amostra do entulho coletado;
- b) de que só serão ensaiados blocos com traços de substituição de agregados reciclados nas proporções de 25, 50 e 100% de agregado miúdo e 100% de agregado graúdo e miúdo;
- c) de que só será analisado o requisito de resistência à compressão.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição do programa experimental;
- c) escolha dos traços para a moldagem dos blocos de concreto;
- d) moldagem dos blocos de concreto;
- e) realização de ensaios;
- f) análise dos resultados;
- g) levantamento do custo de produção;
- h) conclusões.

Figura 1 – Etapas de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente foi realizada a pesquisa bibliográfica, obtendo-se informações sobre a caracterização e as propriedades dos resíduos provenientes de construção e de demolição. Também foi pesquisado o processo de fabricação dos blocos de concreto e o processo de britagem do entulho a fim de transformá-lo em agregado para a confecção destes blocos. A próxima etapa do trabalho foi escolher os traços para a moldagem dos blocos de concreto, dividindo nos seguintes grupos: utilizando 100, 50 e 25% de agregado miúdo reciclado, utilizando 100% de agregado graúdo e miúdo reciclado e um grupo de referência, que utilizará apenas agregados naturais.

Então, logo após a amostra de entulho ser devidamente britada, foi pesada a quantidade de cada material para a confecção dos blocos nos traços desejados. Em seguida, se moldou os blocos em uma vibroprensa. Após a produção dos blocos, eles passaram por um processo de cura natural até a realização dos ensaios. Então, finda esta etapa, procedeu-se à ruptura dos blocos nas idades de controle de sete e vinte e oito dias.

Uma vez encerrado este ensaio, foram analisados os resultados e comparados às exigências da NBR 6136/2007. Após isto, para os blocos que atenderam a referida Norma, foi feito o levantamento dos custos de cada grupo, considerando o valor de mercado dos agregados naturais, do cimento e de agregados reciclados fornecidos em usinas de reciclagem.

3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Este capítulo apresenta um panorama sobre a geração de resíduos de construção e demolição (RCD), citando, principalmente, a geração de resíduos de cidades brasileiras. Também é apresentado um estudo sobre a sua composição e sobre os diferentes conceitos e definições citados por autores e pela legislação vigente.

3.1 IMPACTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL

É cada vez maior o consumo de produtos industrializados pela sociedade moderna. Sendo a tarefa da indústria da construção civil a produção de espaços adequados à habitação humana e as suas inúmeras atividades, o grau de impacto ambiental está diretamente ligado a sua tarefa social (JADOVSKI, 2006, p. 19). Conforme John (2000, p. 15), a indústria da construção civil é um dos maiores macro-setores da economia e somando-se a isto o fato dela produzir os bens de maiores dimensões físicas, este setor torna-se o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia.

Em algumas cidades brasileiras a geração de RCD divide-se aproximadamente em 50% para atividades de canteiro de obras e o restante sendo atribuído às atividades de demolição e manutenção (PINTO, 1999, p. 37-38). Uma das razões para haver uma perda considerável de materiais na construção civil brasileira é a ainda predominantemente construção artesanal, imperando o princípio da baixa produtividade e o mau gerenciamento (PINTO¹, 1986 apud ANGULO, 2000, p. 12; ZORDAN, 1997, p. 9). Em contraposição, Brossink et al.² (1996 apud JOHN, 2000, p. 16) afirmam que países da Alemanha e Europa Oriental produzem cerca de 2/3 de resíduos provenientes de manutenção e de demolição, sendo o restante referentes às atividades de construção e nos Estados Unidos apenas 8% dos resíduos de construção são provenientes de atividades de construção. As diferenças de participação de cada fonte

¹ PINTO, T. de P. **Utilização de resíduos de construção**: estudo do uso em argamassas. 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, [1986]. → os demais dados não foram informados.

² BROSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H.; VAN KESSEL, R. A. Financial consequences of construction waste. In: [INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION], 1996, Beijing. **Proceedings...** Beijing: 1996. → os demais dados não foram informados.

demonstram a importância relativa em cada economia das atividades de demolição, construção e de manutenção, bem como a taxa de perda de materiais em cada uma destas atividades.

Carneiro et al.³ (2001 apud JADOVSKI, 2006, p. 22) apontam duas maneiras para reduzir-se a geração de resíduos de demolição: a modificação dos métodos tradicionais e a adoção da demolição seletiva. Desta forma observa-se que a reciclagem é uma boa alternativa a ser estudada no intuito de mitigar o impacto negativo da geração de RCD.

3.2 DEFINIÇÃO

Segundo o inciso primeiro do artigo segundo da Resolução do Conama n. 307, de 5 de julho de 2002 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002):

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: 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 etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Já para Biocycle⁴ (1990 apud ZORDAN, 1997, p. 7) define como resíduos de construção e demolição:

Resíduos de construção e demolição são resíduos sólidos não contaminados, provenientes da construção, reforma, reparos e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultantes da limpeza e escavação de solos. Como resíduos, incluem-se, mas não limitam-se, blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, encanamentos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos que não camuflam outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais que estiverem num dos itens acima.

Angulo (2000, p. 7) percebe que a definição acima considera materiais de natureza orgânica, fiação elétrica, encanamentos e também limpeza e escavação de solo. Também nota que a expressão **não contaminado** não parece pertinente, pois a contaminação é inerente ao resíduo

³ CARNEIRO, A. P. et al. Características do entulho e do agregado reciclado. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. [(Org.)]. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. p. 142-187.

⁴ Zordan (1997) cita a revista Biocycle como autor, mas trata-se de: [KALIN, Z]. Canada Targets C&D Debris. **Biocycle**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 35-36, Jan. 1991.

e pode estar presente, tratando-se neste caso de vegetação presente em aterros. Quanto ao termo entulho, por ser um termo bastante amplo, é preferível o uso de RCD, pois este traz a ideia da natureza dos resíduos provenientes, ou seja, de atividades de construção e demolição.

3.3 COMPOSIÇÃO

Pinto (1999, p. 15) destaca que não havia quaisquer indicadores de perdas na construção civil, bem como existia pouco conhecimento sobre a geração de RCD. Entretanto, de alguns anos atrás até os dias atuais, já é possível obter informações que permitam confirmar as perdas na construção e quantificar a geração de RCD, fato este que acabou por demonstrar que a maior parte dos resíduos sólidos urbanos são formados por resíduos de construção e demolição.

A composição do RCD depende muito de sua fonte geradora. Levy⁵ (1997 apud HOOD, 2006, p. 30) e Zordan⁶ (2000 apud HOOD, 2006, p. 30) afirmam que um dos motivos para esta heterogeneidade é o fato destes resíduos serem produzidos em um setor com uma grande quantidade de técnicas e metodologias de produção cujo controle de qualidade do processo produtivo é algo novo. Também apontam que o momento da coleta é relevante, pois muitas atividades diferentes são desenvolvidas dentro de um canteiro de obras, contribuindo assim para a heterogeneidade do material.

Pinto (1999, p. 21) observa que a maior parte dos resíduos analisados em obras brasileiras provém de construções, sendo predominantes, quando comparadas aos resíduos gerados em atividades de demolição. Já em países desenvolvidos, em que as atividades de renovação de edificações, obras de infraestrutura e espaços urbanos são mais intensos, os resíduos gerados por demolição são mais frequentes.

Jadovski (2006, p. 28) pontua a variabilidade do RCD tendo como parâmetros a região geradora e parâmetros temporais. Angulo (2000, p. 14) observa a variabilidade na composição dos resíduos em função de diferentes localidades, conforme a tabela 1.

⁵ LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregados para argamassas e concretos.** 1997. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

⁶ ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. Ficha Técnica. → Os demais dados não foram informados.

Tabela 1 – Composições de resíduos de novas construções

Materiais	Resíduos de construção, em massa (%)		
	Holanda ⁷	Japão ⁸	Brasil ⁹
Cerâmica	39	12	29
Madeira	17	19	Nd
Concreto	13	17	4
Tijolos e elementos sílico-calcáreos	14	1	Nd
Argamassas	8	Nd	64
Outros (plásticos, solos, papel, mat. orgânica)	9	51	3

(fonte: ANGULO, 2000, p. 14)

Pinto (1999, p. 86-87) afirma que o acelerado desenvolvimento da economia no século XX e por conseguinte a elevada geração de resíduos sólidos, acaba por tornar inevitável, tanto em países desenvolvidos como em amplas regiões de países em desenvolvimento, a adesão às políticas de valorização dos resíduos e sua reciclagem. Apesar da atividade construtiva sempre ser caracterizada como grande geradora de resíduos, ela também se caracteriza como potencial consumidora de resíduos, seja dos resíduos oriundos de sua própria atividade ou de outras atividades de transformação, como o caso de produtos betuminosos, que são produtos da atividade refinadora de petróleo. O mesmo autor também afirma que hoje os interesses de diversos países e regiões, em diversos continentes, estão ancorados na necessidade de solucionar o destino de expressivos volumes de RCD gerados em regiões urbanas cada vez mais adensadas. Oliveira et al.¹⁰ (2004 apud BUTTLER, 2007, p. 31) também fazem um

⁷ BROSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H.; VAN KESSEL, R. A. Financial consequences of construction waste. In: [INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION], 1996, Beijing. **Proceedings...** Beijing: 1996. → os demais dados não foram informados.

⁸ LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregados para argamassas e concretos.** 1997. 174 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia Civil]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

⁹ PINTO, T. de P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas.** 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, [1986]. → Os demais dados não foram informados.

¹⁰ OLIVEIRA, M. J.; ASSIS, C. S.; MATTOS, J. T. de. Recycled aggregate standardization in Brazil. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Proceedings...** [S.l.]: Elsevier Publications, 2004. → os demais dados não foram informados.

comparativo referente à geração de resíduos em algumas cidades brasileiras, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Geração de resíduos de construção e demolição

Cidades	População (x 10⁶)	Geração de resíduos (x 10³t/dia)	Resíduos/hab./dia (kg)
São Paulo	10,00	10,86	1,08
Porto Alegre	1,20	0,35	0,29
Salvador	2,20	1,70	0,77
Ribeirão Preto	0,46	1,04	2,26
São José do Rio Preto	0,32	0,69	2,14
Jundiaí	0,29	0,71	2,45
Santo André	0,63	1,01	1,60
Belo Horizonte	2,01	1,20	0,60
São José dos Campos	0,50	0,70	1,40
Taubaté	0,23	0,23	1,00
Ubatuba	0,06	0,05	0,82
Caçapava	0,07	0,05	0,77
Pindamonhangaba	0,12	0,07	0,55
Tremembé	0,03	0,01	0,27

(fonte: OLIVEIRA et al.¹¹, 2004 apud BUTTLER, 2007, p. 31)

¹¹ OLIVEIRA, M. J.; ASSIS, C. S.; MATTOS, J. T. de. Recycled aggregate standardization in Brazil. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Proceedings...** [S. l.]: Elsevier Publications, 2004. → os demais dados não foram informados.

4 AGREGADOS RECICLADOS

Este capítulo aborda as definições utilizadas na literatura sobre agregados reciclados e suas principais aplicações, citando brevemente algumas de suas características. Também é abordado a britagem do RCD, principalmente quanto ao uso do britador de mandíbulas, pois este foi usado na parte experimental do presente trabalho.

4.1 DEFINIÇÃO

Pietersen et al.¹² (1998 apud JADOVSKI, 2006, p. 31) define agregado reciclado como “[...] material granular, resultante de um processo industrial envolvendo o processamento de materiais inorgânicos, previamente e exclusivamente utilizados na construção e aplicados novamente na construção.”. Já Angulo (2000, p. 22) traz outra definição: “Definem-se agregados de RCD reciclados homogêneos os oriundos da reciclagem dos RCD, porém com a presença de uma única fase inorgânica não-metálica dominante.”.

O último dos autores citados acima também inclui em sua definição os agregados reciclados de cerâmica (contendo somente materiais cerâmicos) e agregados reciclados de concreto (contendo somente concreto). Além disso, considera que agregados provenientes da reciclagem de RCD que contenham argamassa, cerâmica, cerâmica polida, materiais betuminosos, concreto, rochas, madeira, metais, plásticos, amianto, solo e cal com predominância de fases inorgânicas não metálicas em sua composição, como agregados reciclados de RCD mistos.

¹² Jadovski (2006) indica (KOOPEN, 1998 apud PIETERSEN et al., 1998, p. 135), mas não inclui a referência de (KOPPEN, 1998).

PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. L. A.; HENDRIKS, C. F. Application of recycled aggregates in concrete: experiences from the Netherlands. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY, 1998, Ottawa. **Proceedings...** Canadá: CANMET/ACI, 1998. p. 131-146.

4.2 APLICAÇÃO

Segundo Hood (2006, p. 41) existe a possibilidade de se utilizar os agregados reciclados em substituição aos agregados naturais principalmente em três áreas:

- a) concreto convencional;
- b) argamassas;
- c) blocos de concreto.

Já Lima¹³ (1999 apud JADOVSKI, 2006, p. 31), dentre suas definições, classifica o uso dos agregados reciclados em:

- a) proteção de taludes (rip-rap) e pavimentação;
- b) concreto não armado, argamassa de assentamento, argamassa de revestimento, pré-moldados de concreto, camadas drenantes, coberturas de aterros e gabião, sendo estes aplicáveis com restrições.

Entretanto, Vasquez¹⁴ (1997 apud JADOVSKI, 2006, p. 40) observa que os agregados devem ser usados para fins mais nobres como concreto de alta resistência, concreto protendido. Conforme o mesmo autor, 80% do concreto utilizado na Europa está na faixa de resistência à compressão entre 25 e 30 MPa, o que é alcançável com a utilização de agregados reciclados. Além disso, Andrade et al.¹⁵ (1998 apud JADOVSKI, 2006, p. 31) citam peças de concreto para pavimentação, blocos de concreto para alvenaria estrutural e para vedação como também sendo aplicações para concreto com agregados reciclados. Serão descritas de forma mais detalhada as aplicações dos agregados reciclados nos itens a seguir.

¹³ LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 223 f. Dissertação (Mestrado em [Arquitetura e Urbanismo]) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

¹⁴ VÁZQUEZ, E. Utilización de residuos em la C.E.E.: aspectos políticos y ambientales: estado del arte y normalización. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL**, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC/USP, 1997. p. 64-66.

¹⁵ ANDRADE, R. C. et al. Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL**, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 1998. → os demais dados não foram informados.

4.2.1 Concreto convencional

Leite (2001, p. 233-234) conclui que o uso de agregados reciclados é perfeitamente viável para produção de concretos, entretanto quando a relação água/cimento é baixa, a combinação de duas frações de agregados reciclados apresenta redução de resistência mecânica. Entretanto, a mesma autora observa que, para concretos com alta relação água/cimento, o uso de duas frações de agregado reciclado é satisfatória, ainda que se deva ter cuidados quanto à trabalhabilidade do concreto. Conforme Hansen¹⁶ (1992 apud JADOVSKI, 2006, p. 41), ao se efetuar a substituição de 30% do agregado natural por, reciclado, foi observada alterações não significativas nas propriedades do novo concreto. Entretanto Bazuco¹⁷ (1999 apud JADOVSKI, 2006, p. 41) percebeu que, quando ocorria a substituição de 25% de agregado graúdo, havia diminuições de resistência à compressão na ordem de 20%.

Segundo Angulo (2000, p. 31-32), a pasta torna-se o ponto fraco do concreto, quando são utilizadas altas relações água/cimento. Então, quando a resistência da pasta fica superior à resistência dos agregados, a influência da resistência e da composição do agregado passa a ter efeito mais significativo, o que é notado após 300 kg de cimento/m³ de concreto.

Dentre as diversas pesquisas realizadas para o concreto com agregados reciclados, na maioria das vezes foram obtidas resistências não inferiores a 70% das resistências do concreto com agregados naturais. Foi observado também que em alguns casos o concreto com agregado reciclado obteve resistências à compressão maiores que o mesmo concreto com agregados naturais (PRADO, 2006, p. 27).

Já Leite (2001, p. 94) salienta a dificuldade em apontar qual comportamento é o mais correto em se tratando do uso de agregados reciclados em concreto. A autora atribui, como causa a este fato, à falta de um procedimento uniforme para as diversas pesquisas, tornando difícil a adoção de parâmetros orientadores do comportamento do material, ou que ajudem a validar os resultados já existentes.

¹⁶ HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: E & FN Spon, 1992.

¹⁷ BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia]) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

4.2.2 Argamassa

Quando analisadas as propriedades de resistência à compressão, à tração e de aderência, bem como as propriedades de módulo de elasticidade e dureza superficial, genericamente as argamassa produzidas com agregados reciclados obtiveram resultados satisfatórios (MIRANDA¹⁸, 2000 apud JADOVSKI, 2006, p. 47; SANTANA et al.¹⁹, 2001 apud JADOVSKI, 2006, p. 47). Entretanto, Hamassaki et al.²⁰ (1997 apud SOUSA, 2001, p. 31) mesmo concluindo favoráveis os resultados quanto ao uso de entulho na produção de argamassa, aponta como pontos críticos a heterogeneidade do entulho e a retração por secagem, sugerindo apenas o uso dessa argamassa para assentamento ou revestimento interno.

Miranda²¹ (2000 apud ANGULO, 2000, p. 33), após pesquisa de campo, observou que houve boa aceitação dos pedreiros quanto à plasticidade e à adesão inicial ao substrato e ao desempenamento. Também, ao se utilizar técnicas racionais de dosagem, é possível obter revestimentos de argamassas com agregados reciclados obtendo-se bons resultados quanto à aderência ao substrato e ao surgimento de fissuras.

Realizando um controle em relação ao consumo de água e ao acabamento superficial, pode-se afirmar que a substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado é viável tecnicamente, apresentando redução do custo de material (JADOSVSKI, 2006, p. 51). Também Miranda²² (2000 apud ANGULO, 2000, p. 33) chegou ao valor de até 40% do custo de um metro cúbico de argamassa de cimento, cal e areia no traço de 1:2:9, em volume úmido, quando toda areia é substituída por RCD reciclado.

¹⁸ MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

¹⁹ SANTANA, M. J. A.; SAMPAIO, T. S.; CARNEIRO, A. P. Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. [(Org.)]. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. p. 262-299.

²⁰ HAMASSAKI, L. T. et al. Uso do entulho como agregado para argamassa de alvenaria. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL**, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC/USP, 1997. p. 11-20.

²¹ MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

²² op. cit.

4.2.3 Blocos de concreto

A utilização de resíduos industriais em concretos não é um fato novo, contribuindo para a redução da extração e consumo de matérias-primas naturais e da disposição de resíduos de outras indústrias (ou do próprio setor) em aterros. Entretanto, quando comparados a estudos em concretos convencionais, os trabalhos específicos de resíduos em blocos de concreto ainda não são tão abordados quanto àqueles (PAGNUSSAT, 2004, p. 34).

Conforme Hood (2006, p. 45), o estudo para a utilização de agregados reciclados em blocos de concreto depende de seu uso, sendo os parâmetros avaliados em função das características necessárias às solicitações de serviço. Conforme o mesmo autor, se estes blocos forem usados para a função de pavimentação, os parâmetros a serem analisados serão a resistência à compressão, a taxa de absorção de água e a resistência à abrasão. Se forem utilizados para a função vedação os parâmetros a serem avaliados deverão ser a resistência à compressão e a absorção de água.

No caso de blocos de concreto para pavimentação, Poon et al.²³ (2002 apud HOOD, 2006, p. 46-47) evidenciam que 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 expressiva da resistência à compressão dos blocos e além disso, o quesito durabilidade foi satisfatório. Também Poon e Chan²⁴ (2006 apud HOOD, 2006, p. 47) observaram que agregados reciclados de tijolos cerâmicos e concreto utilizados no lugar dos agregados naturais resultaram em blocos para pavimentação em que houve a diminuição da resistência à compressão e o aumento da absorção de água.

De Pauw²⁵ (1982 apud ANGULO, 2000, p. 35) avaliou a substituição de agregados naturais por agregados reciclados de entulho para a produção de blocos de vedação, com traço padrão de 1:8, sempre mantendo uma certa quantidade de areia natural. A tabela 3 mostra o estudo de dosagem e a resistência à compressão média das séries.

²³ 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, July. 2002.

²⁴ 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, Oct. 2006.

²⁵ DE PAUW, C. Recyclage des Descombres d'Une Ville Sinistree. **CSTC Revue**, n. 4, p. 12-28, dez. 1982.

Tabela 3 – Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com RCD

Série	Dosagem em massa					Relação cimento/agregados	Resistência à compressão (MPa)
	Cimento P15-302 (kg)	Areia Natural (kg)	Agregados graúdos naturais (kg)	Material reciclado (kg)			
		grãos 0-2 mm	grãos 4-8 mm	grãos 0-25 mm	grãos 3-12 mm		
referência	50	100	300			1:8	3,70
1	50	150		250		1:8	2,20
2	50	100		200		1:6	3,30
3	50	200		200		1:8	2,90
4	50	150			300	1:9	4,10
5	50	150			250	1:8	7,00
6	50	200			200	1:8	2,10

Traços utilizados para a produção de 24 blocos (390 x 190 x190)mm

(fonte: adaptado de ANGULO, 2000, p. 35)

Pollet et al.²⁶ (1997 apud SOUSA, 2001, p. 34) também avaliaram a substituição de agregados naturais por agregados reciclados, utilizando diferentes faixas granulométricas e diferentes tempos de adensamento, sendo um maior tempo utilizado para simular a produção de componentes decorativos (uma vez que possibilita um melhor acabamento na superfície dos blocos). Na avaliação quanto à absorção de água, estes blocos se mostraram deficientes em relação aos blocos produzidos com agregados naturais. Todavia, o mesmo autor, mostra-se favorável à utilização de agregados reciclados na produção de blocos de concreto, salientando que alguns cuidados devem ser tomados principalmente quanto ao uso destes blocos em paredes externas ou em subsolos.

²⁶ POLLET, V. et al. Recycled aggregates: alternative resources for the construction industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: 1997. p. 635-642. → os demais dados não foram informados.

4.3 BRITAGEM DO RCD

Segundo Brito Filho ²⁷ (1999 apud JADOVSKI, 2006, p. 63), os equipamentos de reciclagem compõem-se de silos de recepção tipo calha vibratória, triturador, transportadores de correia, extrator de metais ferrosos e conjunto peneirador. Angulo (2000, p. 23) pontua que, no Brasil, as plantas de reciclagem de RCD possuem apenas sistemas de britagem e peneiramento, voltando-se para a parcela inorgânica e não-metálica desses resíduos, no entanto a reciclagem como um todo é bem mais complexa, necessitando de outros equipamentos.

Deve-se levar em conta a presença de materiais indesejáveis (materiais ferrosos, plásticos, madeiras), quando não se usam equipamentos de separação e classificação tais como (PENG et al.²⁸, 1997 apud ANGULO, 2000, p. 23-24; QUEBAUD; BUYLE-BODIN²⁹, 1999 apud ANGULO, 2000, p. 23-24):

- a) separador magnético, utilizado para remover materiais ferrosos pela força eletromagnética;
- b) tanques de depuração por flutuação, separando pela densidade madeiras e plásticos;
- c) classificador por ar, separando densidades diferentes por escoamentos de ar horizontal e vertical.

A partir da sequência ordenada de operações, chega-se ao produto final de uma instalação de britagem. Em função da quantidade e características do material a ser britado e do produto desejado, deverá ser feita a escolha adequada dos equipamentos. A seguir são citados e detalhados os equipamentos e registradas as observações feitas pelos fabricantes (FÁBRICA DE AÇO PAULISTA³⁰, 1985 apud JADOVSKI, 2006, p. 63):

- a) alimentação primária: a alimentação dos britadores primários pode ser manual ou mecânica, sendo, a manual, usada somente em instalações pequenas;

²⁷ BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulho. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico do Ibracon, 1999. p. 56-67.

²⁸ [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.

²⁹ QUEBAUD, M. R.; BUYLE-BODIN, F. A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1999. p. 14.

³⁰ FÁBRICA DE AÇO PAULISTA. **Manual de britagem**. 4. ed. São Paulo: 1985.

- b) britagem primária: o britador primário é escolhido em função da capacidade e tamanho da boca de entrada e das características do material, empregando-se britadores de mandíbulas, giratórios ou de impacto. Segundo Figueira et al.³¹ [(2004)], a britagem primária é realizada a seco, sendo que os britadores operam em circuito aberto sem o descarte da fração fina da alimentação;
- c) pilha intermediária: comumente chamada de pilha pulmão, tem como objetivo regularizar o fluxo de linha de rebitagem e evitar parada completa da instalação por eventuais falhas na britagem primária;
- d) classificação intermediária: as peneiras intermediárias são empregadas principalmente em instalações pequenas e médias, sendo que as grelhas vibratórias são recomendadas em instalações médias e grandes;
- e) rebitagem: é realizada em vários estágios em função da granulometria do produto desejado. Para a primeira fase de rebitagem os rebitadores devem possuir grande boca de alimentação, para que o britador primário possa trabalhar com maiores aberturas de saída, sendo os mais empregados os de mandíbulas, giratórios, hydrocones, rebitadores de cone, e em alguns casos os britadores de impacto. Para os estágios intermediários a abertura de entrada é menor, impondo-se alimentação com tamanho máximo limitado e utilizando-se os rebitadores de cone, hydrocones e, em alguns casos, os de mandíbulas, trabalhando em circuito fechado. Na rebitagem fina são empregados os rebitadores de cone, hydrofines, de rolos e os moinhos de martelos;
- f) peneiras classificadoras: os tipos mais empregados são as vibratórias inclinadas, vindo a seguir as vibratórias horizontais e por último as rotativas;
- g) correias transportadoras: são elementos de ligação e transporte;
- h) estocagem: pode ser utilizada a estocagem em silos, em pilhas ou mista. A estocagem em silos é empregada em pequenas instalações e a estocagem em pilhas é utilizada em médias e grandes instalações, permitindo estocar grande quantidade de material com pequeno investimento.

Os britadores de mandíbulas fraturam o material por esmagamento das partículas, eles são dotados de uma câmara de britagem, em que o material é mastigado por mandíbulas (LEVY³², 1997 apud JADOVSKI, 2006, p. 65-66). A quebra do material ocorre pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel contra outra fixa (FÁBRICA DE AÇO PAULISTA³³, 1985 apud JADOVSKI, 2006, p. 66).

³¹ FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Cominuição. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p. 113-194.

³² Jadovski (2006) indica (OFFERMANN, 1986 apud LEVY, 1997, p. 40), mas não inclui a referência de (OFFERMANN, 1986).

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregados para argamassas e concretos**. 1997. 174 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia Civil]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

³³ FÁBRICA DE AÇO PAULISTA. **Manual de britagem**. 4. ed. São Paulo: 1985.

Conforme Reggio³⁴ (2005 apud JADOSVKI, 2006, p. 66), materiais argilosos tais como telhas, tijolos e ladrilhos, por serem materiais de baixa dureza e boa britabilidade, fornecem uma operação simples e barata aos britadores de mandíbulas. Já Hansen³⁵ (1992 apud JADOVSKI, 2006, p. 67) afirma que os britadores de mandíbulas produzem apenas 20% de finos abaixo de 4,8 mm e a produção de areia é somente 9%, alterando-se a APF (abertura posição fechada) para 25 mm, a produção de areia aumenta para aproximadamente 14%.

Enquanto há disponibilidade de compra e venda de britadores de mandíbulas usados no mercado nacional, o mesmo não ocorre com os britadores de impacto. Até usinas com capacidade de até 40 t/h, o uso de britadores de mandíbulas é o mais indicado, porque possuem uma boca de entrada maior do que os britadores de impacto de mesma capacidade (JADOVSKI³⁶, 2006, p. 68).

³⁴ Jadovski obtém esta informação através do Sr. Alfredo Reggio, do departamento de aplicação e vendas da empresa METSO, em abril de 2005.
REGGIO, A. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <jadovski@bol.com.br> em abr. 2005.

³⁵ HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: E & FN Spon, 1992.

³⁶ Informações verbais concedidas ao autor pelo Sr. Artur Granato, Diretor da empresa NORTEC, em abril de 2004. Jadovski também faz novamente referência à empresa METSO, da qual obtém informação por e-mail através do Sr. Alfredo Reggio.
REGGIO, A. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <jadovski@bol.com.br> em abr. 2005.

5 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO

Frasson Júnior³⁷ (2000 apud PAGNUSSAT, 2004, p. 53) comenta diferenciação entre concretos plásticos dos concretos secos (com menor quantidade de água na mistura). Conforme o mesmo autor, os concretos plásticos são os utilizados em obras de concreto armado, concretos fluidos (autoadensáveis) e o graute, utilizados em obras de alvenaria estrutural. Os concretos secos seriam os utilizados em concreto projetado, concreto para blocos, tubos e pavimentos e o concreto compacto à rolo. Tango³⁸ (1994 apud PAGNUSSAT, 2004, p. 53) evidencia que a diferença entre estes concretos está no fato de que em concretos plásticos, a pasta de cimento ocupa praticamente todos os espaços deixados pelos agregados, ao passo que nos concretos secos, principalmente os utilizados para blocos, existe presença de ar em quantidade significativa na mistura.

Para Frasson Júnior³⁹ (2000 apud BUTTLER, 2007, p. 62), para o alcance da resistência desejada para concretos secos, a qualidade do processo produtivo e do maquinário é fundamental, sendo a vibroprensa a responsável direta pela qualidade final das unidades produzidas. A figura 2 mostra a relação entre a resistência à compressão do bloco e o traço em massa de cimento/agregados, em função do tipo de equipamento utilizado (prensa manual, pneumática, hidráulica ou mecânica).

Buttler (2007, p. 63) comenta que normalmente são utilizados para a fabricação de blocos o cimento Portland de alta resistência inicial, agregado miúdo (areia natural/artificial e/ou pó-de-pedra), agregado graúdo (pedrisco) e aditivo plastificante, sendo que a utilização de cimento ARI (alta resistência inicial) é recomendada, pois acelera a desmoldagem do material. Visto que o agregado não pode possuir grãos com diâmetro superior à metade da

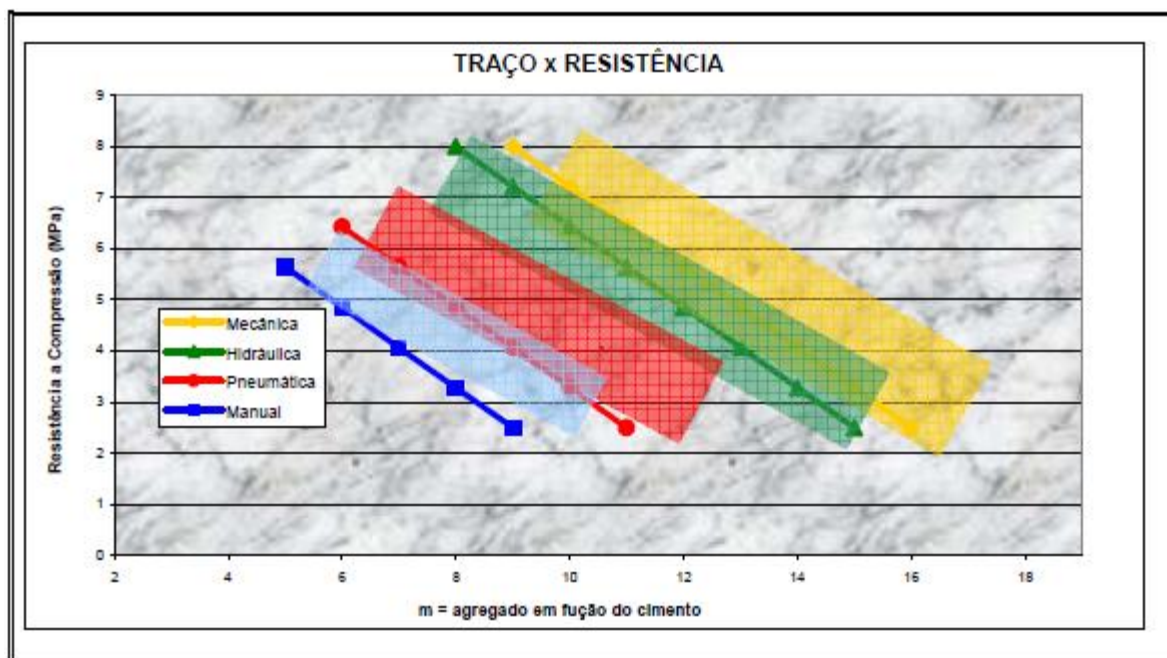
³⁷ FRASSON JÚNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle no processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. [146 f]. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

³⁸ TANGO, C. E. S. Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: 1994. [p. 21-30]. → os demais dados não foram informados.

³⁹ FRASSON JÚNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle no processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. [146 f]. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

menor espessura do bloco, é limitada em zero a zona de graduação para agregados graúdos na produção de blocos.

Figura 2 – Resistência à compressão dos blocos em função do tipo de vibroprensa



(fonte: ALBUQUERQUE, 2005, p. 24)

Já Prado (2006, p. 28) cita algumas diferenças entre o concreto seco e o concreto plástico:

- a) a lei de Abrams, que estabelece que a resistência à compressão é proporcional à relação a/c , não é válida para os concretos secos;
- b) a lei de Lyse, que estabelece que a quantidade de água a ser empregada em um concreto com um determinado grupo de materiais para obter certa trabalhabilidade independe do traço de concreto, mas sim do fator água/materiais secos, também não é válida para concretos secos;
- c) a resistência à compressão é influenciada pela vibração e prensagem no momento da vibração;
- d) os fatores determinantes para a absorção de água são os materiais componentes e a prensagem na fabricação e não o fator água/cimento;
- e) a quantidade não é dosada em função da quantidade de cimento e sim por umidade, em relação a todos os materiais constituintes.

Conforme Albuquerque (2005, p. 35), o emprego de agregados de RCD na produção de concreto depende fundamentalmente da qualidade dos agregados, no entanto o RCD, geralmente, é descartado sem uma prévia separação e encontra-se misturado ao lixo orgânico

e a outros tipos de materiais indesejados (substâncias tóxicas ou deletérias), dificultando sua caracterização e utilização. Poon et al.⁴⁰ (2002 apud BUTTLER, 2006, p. 63) afirmam que, comumente na produção de blocos de concreto, a quantidade de água utilizada na mistura e o consumo de cimento são relativamente baixos, a incorporação de agregados reciclados não acarreta um aumento significativo da retração por secagem e fluência das unidades. A seguir, se faz a descrição das etapas envolvidas no processo de produção de blocos de concreto, desde a seleção dos materiais até a etapa final de cura. Posteriormente, aborda-se sobre pesquisas, ensaios e resultados já obtidos por pesquisadores que estudaram sobre o uso de agregados reciclados na produção de blocos de concreto.

5.1 ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

A fabricação de blocos de concreto de boa qualidade e resistência adequada é necessária para a sua consolidação no mercado (RODRIGUES⁴¹, 1995 apud PAGNUSSAT, 2004, p. 53). Pagnussat (2004, p. 54) afirma que ainda não há uma metodologia consagrada para a produção de blocos de concreto, sendo que muitas das técnicas existentes estão baseadas em práticas recomendadas pelos fabricantes de vibroprensas ou produtores de blocos. Nos itens a seguir, é feita a descrição das etapas do processo de produção dos blocos de concreto desde o proporcionamento de materiais até a etapa final de cura.

5.1.1 Proporcionamento dos materiais constituintes

Segundo Rodrigues⁴² (1995 apud HOOD, 2006, p. 55), nesta etapa é executada a medida da quantidade de cada material que compõe o traço, sendo este procedimento medido em massa ou volume. Ele ressalta que é preferível que os materiais sejam proporcionados em massa, a fim de que sejam obtidos blocos com características pouco variáveis, devido ao fenômeno de inchamento das areias, que variam de volume conforme a umidade.

Em muitos casos em usinas, a relação água/cimento não é considerada, dosando a água em função da experiência dos operários. Desta forma, ocasionando uma grande variação nas

⁴⁰ 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, July. 2002.

⁴¹ RODRIGUES, P. P. F. *Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação*: prática recomendada. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1995.

⁴² op. cit.

características dos blocos, principalmente devido às variações no grau de compactação durante a moldagem (MEDEIROS⁴³, 1993 apud HOOD, 2006, p. 55).

Tango⁴⁴ (1984 apud HOOD, 2006, p. 55) também afirma que as variações de volume devido à umidade dos agregados, à variação na quantidade de cimento e às decisões empíricas que ocorrem na dosagem da água de amassamento, estão entre as principais causas de variabilidade dos blocos. Desta forma, permitem uma maior confiabilidade nas características estabelecidas como satisfatórias para os blocos, a determinação do traço em massa, a adição da correta quantidade de água e a execução conforme o proposto.

5.1.2 Mistura e moldagem

Segundo Sousa (2001, p. 9), os equipamentos utilizados para a produção dos blocos de concreto são as vibroprensas, sendo assim denominados devido a seu mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem ser a vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes e a segunda sendo responsável pelo adensamento e o controle da altura dos blocos (acabamento).

Rodrigues⁴⁵ (1995 apud HOOD, 2006, p. 56) descreve uma ordem preferencial para a colocação dos materiais na misturadora:

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

⁴³ MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**: produção de componentes e parâmetros de projeto de projeto. 1993. 278 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia Civil]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, [1993].

⁴⁴ TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto**: dosagem, produção e controle de qualidade. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984.

⁴⁵ RODRIGUES, P. P. F. **Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação**: prática recomendada. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1995.

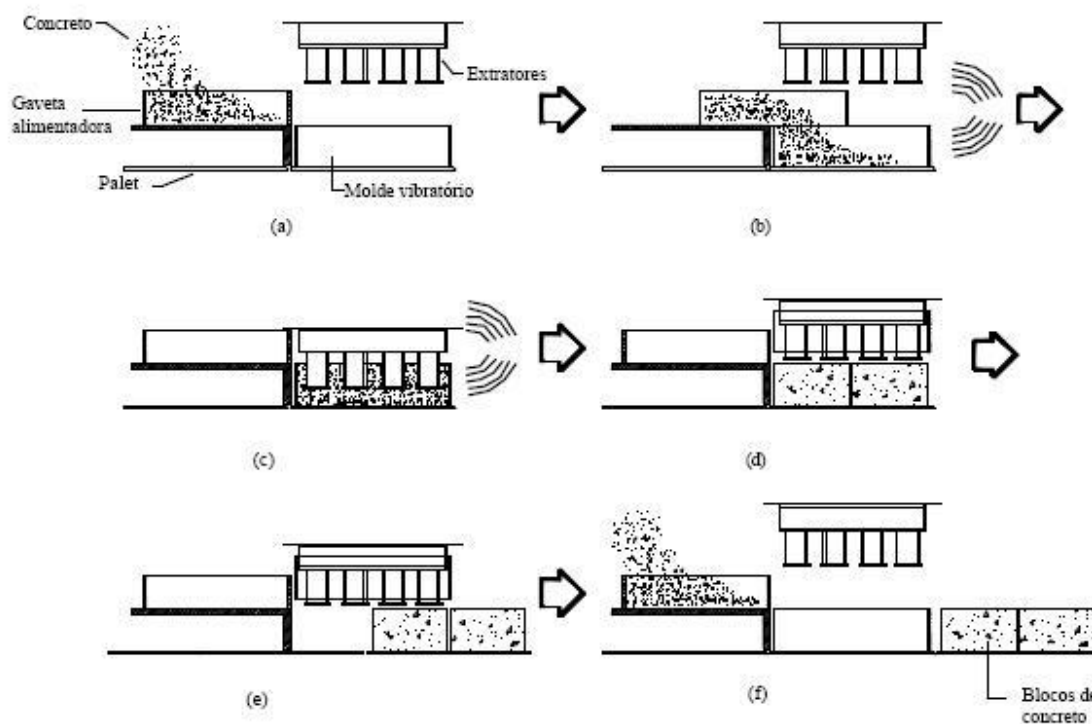
Devem-se respeitar os tempos de alimentação e vibração do equipamento a fim de que se possa garantir que os blocos de concreto obtenham o grau de compactação previsto atendendo às características de projeto. Excetuando-se as vibroprensas manuais de pequeno porte, a maioria das máquinas possui sistemas de alimentação totalmente automatizados. Assim, estes sistemas controlam desde o preenchimento da mistura nos moldes até o tempo requerido para adensar e liberar os blocos (SOUSA, 2001, p. 14). A figura 3 mostra as etapas de funcionamento de uma vibroprensa.

Medeiros⁴⁶ (1993 apud SOUSA, 2001, p. 14-15) cita a sequência de funcionamento das vibroprensas, durante a moldagem dos blocos:

- a) preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada a moldagem dos blocos;
- b) preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados. Esta fase é acompanhada por vibração do molde;
- c) compactação dos blocos através dos extratores. Esta fase também é 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 o palet onde foram moldados;
- e) o palet com os blocos recém-moldados avançam para a frente da máquina, enquanto um novo palet vazio 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.

⁴⁶ MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**: produção de componentes e parâmetros de projeto de projeto. 1993. 278 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia Civil]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, [1993].

Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibroprensa automática



(fonte: MEDEIROS⁴⁷, 1993 apud SOUSA, 2001, p. 15)

Medeiros⁴⁸ (1993 apud SOUSA, 2001, p. 14-15) cita a sequência de funcionamento das vibroprensas, durante a moldagem dos blocos:

- preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada a moldagem dos blocos;
- preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados. Esta fase é acompanhada por vibração do molde;
- compactação dos blocos através dos extratores. Esta fase também é acompanhada de nova vibração do molde finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida;
- 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 o palet onde foram moldados;

⁴⁷ Sousa (2001) indica (SOUSA et al., 1990 apud MEDEIROS, 1993), mas não inclui a referência de (SOUSA, 1990).

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

⁴⁸ op. cit.

- e) o palet com os blocos recém-moldados avançam para a frente da máquina, enquanto um novo palet vazio 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.

5.1.3 Cura

O processo de cura engloba um conjunto de operações visando a proporcionar, durante um certo período de tempo, as condições necessárias de umidade, temperatura e pressão. A escolha de um processo adequado de cura pode reduzir o consumo de cimento, e num menor tempo de cura, resultando num menor tempo de permanência dos blocos na fábrica (TANGO⁴⁹, 1984 apud SOUSA, 2001, p. 16).

São três os tipos de cura normalmente utilizados na produção de blocos de concreto, Sousa (2001, p. 16) cita e explica cada um deles:

A cura através de autoclaves utiliza temperatura entre 150 e 205 °C e pressão de aproximadamente 1 MPa. Este método é pouco utilizado devido aos altos custos de implantação e consumo que representa (MEDEIROS⁵⁰, 1993).

A cura natural 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, para evitar a evaporação excessiva de água (MEDEIROS⁵¹, 1993 apud SOUSA, 2001, p. 16; TANGO⁵², 1984 apud SOUSA, 2001, p. 16).

A cura a vapor é o sistema de cura mais empregado na indústria de blocos de concreto. 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 (MEDEIROS⁵³, 1994 apud SOUSA, 2001, p. 17).

⁴⁹ TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto**: dosagem, produção e controle de qualidade. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984.

⁵⁰ MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**: produção de componentes e parâmetros de projeto de projeto. 1993. 278 f. Dissertação (Mestrado [em Engenharia Civil]) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, [1993].

⁵¹ op. cit.

⁵² TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto**: dosagem, produção e controle de qualidade. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984.

⁵³ MEDEIROS, J. S. Blocos de concreto para alvenaria estrutural: avaliação de parâmetros básicos de produção. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings**... Florianópolis: 1994. p. 21-31. → os demais dados não foram informados.

5.2 BLOCOS DE CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS

Apesar de haver sintonia com a nova legislação ambiental e códigos normativos, o uso de materiais reciclados exige diversos cuidados, principalmente em relação à composição do próprio agregado reciclado, que pode apresentar contaminantes e substâncias deletérias. Soma-se a isso, o fato de que a elevada percentagem de agregados reciclados na mistura pode acarretar um aumento significativo da absorção de água, diminuição da coesão e aumento da retração por secagem das unidades (BUTTLER, 2007, p. 77).

Pollet et al.⁵⁴ (1997 apud BUTTLER, 2007, p. 78) produziram blocos vazados de concreto (19 cm x 19 cm x 39 cm), em duas diferentes fábricas, utilizando, separadamente, agregados reciclados de concreto e agregados reciclados de alvenaria cerâmica, diferenciando-se entre si apenas pela energia de vibração utilizada na produção dos blocos. Conforme os autores, nenhuma das dosagens apresentou valores de absorção inferiores a 8% para os blocos produzidos com uma menor energia de vibração. Entretanto, eles afirmam ser possível a fabricação destes blocos, desde que sejam tomadas precauções no uso destas unidades em paredes externas ou subsolos.

Pimienta et al.⁵⁵ (1998 apud BUTTLER, 2007, p. 78) produziram blocos vazados de concreto (20 cm x 20 cm x 50 cm) com agregados graúdos de RCD. Reduções de até 50% na resistência à compressão e um aumento de até 2,5 vezes na retração por secagem foram observadas ao se utilizar a fração miúda e graúda de agregado reciclado.

De maneira geral, os pesquisadores afirmam que a utilização dos agregados graúdos reciclados na produção de blocos de concreto é uma alternativa viável. No entanto, para que isto ocorra deve haver um aumento no consumo de cimento, a fim de que as propriedades das unidades com agregados reciclados possam ser equiparadas às com agregados naturais (BUTTLER, 2007, p. 79).

⁵⁴ POLLET, V. et al. Recycled aggregates: alternative resources for the construction industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: 1997. p. 635-642. → os demais dados não foram informados.

⁵⁵ PIMIENTA, P.; DELMOTTE, P.; TRAN, T.; COLOMBARD-PROUT, M. Recycled aggregate used for making building blocks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: SUSTAINABLE CONSTRUCTION: USE OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE, 1998, London. **Proceedings...** [S.l.]: Thomas Telford, 1998, p. 297-307.

Fonseca⁵⁶ (2002 apud BUTTLER, 2007, p. 80) avaliou as propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto com função estrutural, os quais foram produzidos utilizando-se a fração miúda natural (< 2,4 mm) e a fração graúda provenientes de RCD de usina de reciclagem de Ribeirão Preto–SP. Também foi avaliada a natureza da composição do RCD, resultando nos seguintes resultados: argamassa (40,6%), concreto (12,5%), cerâmica polida (3,5%), cerâmica (22,2%), brita (20,3%) e outros (0,8%).

O pesquisador produziu corpos de prova (10 x 20) cm, avaliando a resistência à compressão de inúmeras composições com agregados de RCD. Após procedeu com a fabricação de blocos piloto de concreto, que foram avaliados quanto às propriedades de resistência à compressão, aparência superficial e absorção de água. Com base nos resultados o pesquisador selecionou a dosagem para a produção de blocos de concreto, apresentada na tabela 4.

As principais conclusões do pesquisador foram as seguintes (FONSECA⁵⁷, 2002 apud BUTTLER, 2007, p. 81):

- a) os agregados reciclados apresentaram elevada absorção de água oriunda da argamassa aderida ao agregado e a presença de material cerâmico;
- b) os blocos produzidos com agregados reciclados apresentaram uma resistência característica aos 28 dias (f_{bk}) igual a 8,5 MPa, para um consumo de cimento de 210 kg/m³. Segundo o pesquisador, o processo de cura adotado (cura úmida) foi fundamental para impedir a elevada perda de água, garantindo dessa maneira, a hidratação das partículas de cimento nas primeiras idades, fato esse que ocasionou uma resistência aos 7 dias muito próxima da de 28 dias;
- c) os valores de absorção situaram-se em torno de 8,5%, portanto abaixo do valor de 10% prescrito pela NBR 12118⁵⁸.

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas desses blocos de concreto com agregados reciclados de RCD são apresentados na tabela 5.

⁵⁶ FONSECA, F. B. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. 2002. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

⁵⁷ op. cit.

⁵⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria: determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1992.

Tabela 4 – Dosagens selecionadas para a produção de blocos de concreto

Cimento	Consumo teórico de materiais (kg/m ³)				Água	Relação Agregado: cimento	Teor de umidade (%)
	Agregados						
	Naturais	Reciclados					
< 1,20	1,2 - 2,4	2,4 - 4,8	4,8 - 9,5				
210	137	776	374	457	179	1:8,31	9,16
	52,40%		47,60%				

(fonte: adaptado de FONSECA⁵⁹, 2002 apud BUTTLER, 2007, p. 81)

Tabela 5 – Resultados das propriedades físicas e mecânicas para os blocos reciclados

Unidades	Idade	f _{bm} (MPa)	f _{bk} (MPa)	Absorção (%)	Peso Específico (g/cm ³)
39 x 14 x 19	7	9,87	7	8,1	1,99
	28	11,22	8,5		
19 x 14 x 19	7	10,43	8,5	8,9	1,97
	28	14,87	9,5		

(fonte: adaptado de FONSECA⁶⁰, 2002 apud BUTTLER, 2007, p. 81)

⁵⁹ FONSECA, F. B. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. 2002. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

⁶⁰ op. cit.

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo aborda todo o processo produtivo dos blocos de concreto ensaiados neste trabalho. É detalhado desde a coleta do RCD até os procedimentos executados durante o ensaio de resistência à compressão, passando pelo preparo dos agregados reciclados, os métodos de dosagem e fabricação dos blocos de concreto. No item 6.2.2, materiais utilizados, não são mostrados os agregados reciclados, pois, por serem o cerne do estudo deste trabalho, mereceram atenção especial e foram analisados separadamente no item 6.1.

6.1 PRODUÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS

Nos próximos itens são detalhadas as etapas que foram desenvolvidas para a obtenção dos agregados reciclados. São abordadas a coleta, a caracterização física do RCD e finalmente a britagem e o peneiramento do resíduo coletado.

6.1.1 Coleta do RCD

O material utilizado para a obtenção dos agregados reciclados foi coletado na Central de Resíduos da Construção Civil – Zona Norte, Porto Alegre. Neste aterro, existe um britador, o qual brita os resíduos provenientes da região metropolitana em frações de granulometria superior inclusive a um rachão, ou seja, com alguns fragmentos superiores a 150 mm. Então, deste material já britado, foi coletada uma amostra, com o auxílio de uma retroescavadeira, conforme mostra a figura 4. A figura 5 mostra o britador móvel presente no referido aterro.

Figura 4 – Vista geral do material já britado no aterro de inertes



(fonte: foto do autor)

Figura 5 – Britador utilizado na Central de Resíduos



(fonte: foto do autor)

6.1.2 Caracterização física do RCD

Após a chegada do material ao laboratório do Norie (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação) foram separados manualmente do RCD coletado, materiais como plásticos, pedaços de madeira, de vergalhões e de papel. Após a limpeza do material, foi feita sua caracterização, visando a determinar a percentagem de cada tipo de material constituinte do resíduo. Para a caracterização e determinação da composição da amostra coletada, foram utilizados os critérios presentes no trabalho de Hood (2006), conforme descritos a seguir.

- a) rocha: fragmentos de rochas naturais, que não apresentem aglomerantes e/ou argamassas aderidas;

- b) concreto: fragmentos de concreto, que apresentem cimento, agregado graúdo e miúdo em sua composição;
- c) cerâmica: fragmentos de tijolos, telhas, revestimentos cerâmicos tais como pisos e azulejos;
- d) argamassas: fragmentos de argamassas, constituídas somente de agregado miúdo e aglomerantes.

Em virtude de, em alguns casos, não ser possível a separação de dois materiais distintos, como por exemplo, material cerâmico e argamassa, considerou-se para efeitos de classificação o material em maior proporção em cada fragmento de dois ou mais materiais distintos unidos entre si. Desta forma, ao se considerar uma amostra de aproximadamente 100 kg de RCD, chegou-se às proporções em massa indicadas na tabela 6. A figura 6 mostra o aspecto do resíduo ao chegar no laboratório do NORIE, situação em que se encontrava após a primeira britagem realizada no aterro.

Tabela 6 – Composição da amostra coletada

Material	Proporção (%)
Concreto	32
Rocha	30
Cerâmica	22
Argamassa	16

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 6 – Aspecto visual do RCD



(fonte: foto do autor)

6.1.3 Britagem e peneiramento do RCD

A fim de tornar os agregados provenientes de RCD similares aos agregados naturais utilizados na produção de blocos de concreto já consagrados na construção civil, fez-se o uso de dois tipos de britadores presentes em laboratório, conforme mostram as figuras 7 e 8. Primeiramente utilizou-se um britador de mandíbulas com o intuito de, ao mesmo tempo, produzir o agregado graúdo e também reduzir o tamanho dos fragmentos a uma medida compatível para serem britados em um britador de rolos, o qual foi responsável pela obtenção da maior parte do agregado miúdo.

Figura 7 – Britador de mandíbulas utilizado



(fonte: foto do autor)

Figura 8 – Britador de rolos utilizado



(fonte: foto do autor)

Após a primeira passagem pelo britador de mandíbulas, o material obtido foi peneirado em uma peneira de malha #6,3 mm, sendo que o material retido foi novamente britado no britador de mandíbulas e o material passante foi separado para um posterior peneiramento a fim de separar a fração graúda da miúda. Após esta segunda britagem no britador de mandíbulas, o material foi novamente peneirado na peneira de malha #6,3 mm, separando-se o material passante para posterior separação e o material retido para uma nova britagem, desta vez em um britador de rolos. As figuras 9 e 10 mostram etapas deste processo.

Figura 9 – Aspecto do RCD após a primeira britagem no britador de mandíbulas



(fonte: foto do autor)

Figura 10 – RCD retido na peneira de malha #6,3 mm, após a primeira britagem

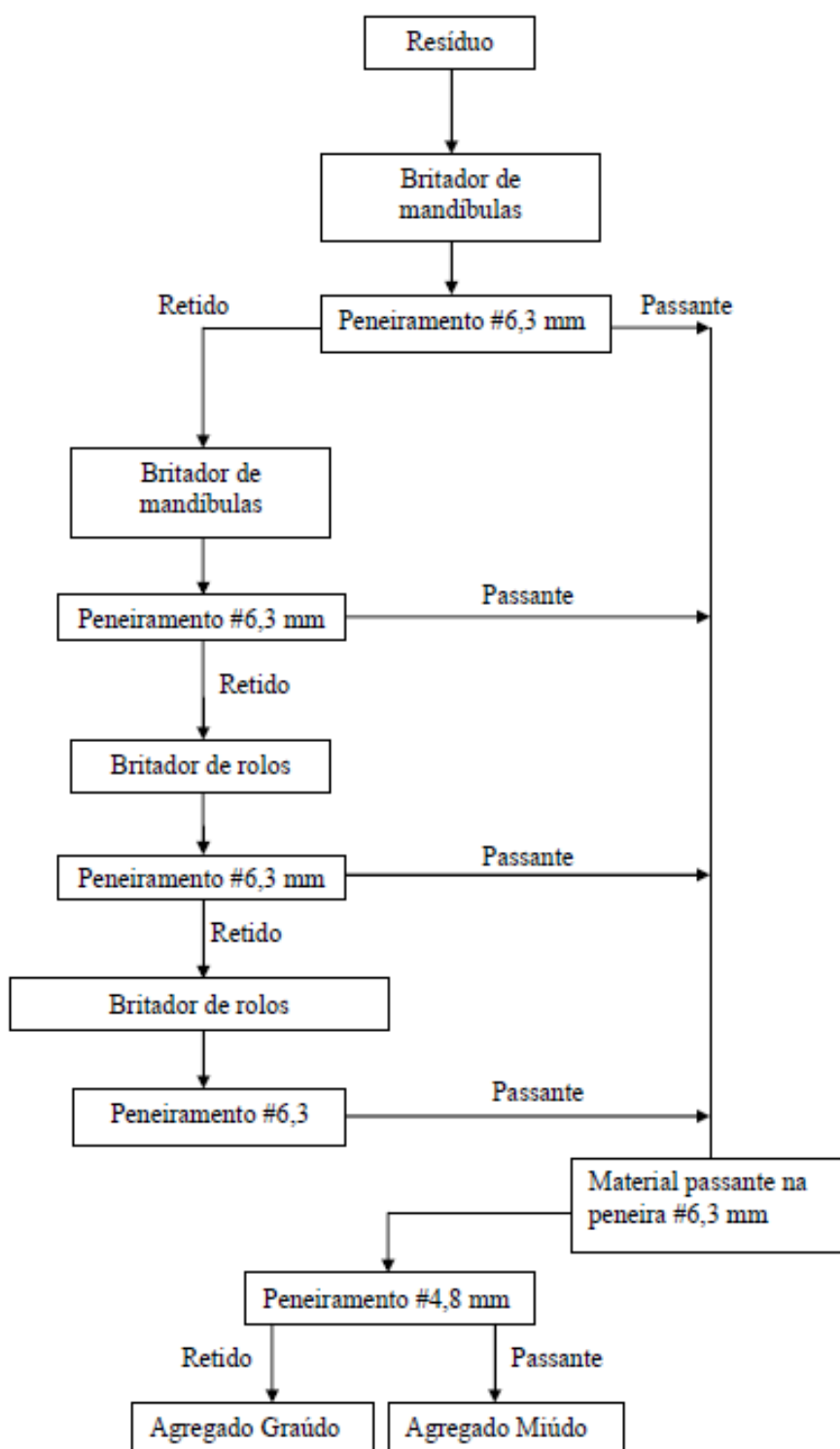


(fonte: foto do autor)

Na sequência da etapa anterior, o material retido na peneira de malha #6,3 mm foi britado em um britador de rolos, sendo que o produto desta britagem foi novamente peneirado na peneira de #6,3 mm e, como no processo anterior, o material passante foi juntado ao material reservado dos peneiramentos anteriores. Então, repetiu-se este processo mais uma vez, totalizando assim duas passagens pelo britador de rolos até praticamente extinguir-se a fração que ficava retida na peneira de malha #6,3 mm. Na segunda passagem pelo britador de rolos, a distância entre os rolos do equipamento foi diminuída, mas ainda não ao ponto de estar praticamente fechada.

Após a última britagem, realizou-se o último peneiramento e o material passante na peneira de malha #6,3 mm foi juntado ao material de granulometria semelhante reservado anteriormente. Então a partir deste material, realizou-se a separação da fração graúda e da fração miúda. Neste ponto foi utilizada uma peneira de malha #4,8 mm, considerando como agregado miúdo todo o material passante por esta peneira e graúdo o retido nesta. Assim, obteve-se uma granulometria para o agregado graúdo usualmente utilizado em blocos de concreto, ou seja, um agregado praticamente uniforme que seja passante na malha #6,3 mm e ao mesmo tempo fique retido na malha #4,8 mm. A figura 11 mostra um esquema explicativo das etapas descritas do processamento do RCD. A tabela 7 mostra a granulometria obtida para este material. A figura 12 mostra a comparação entre um agregado natural graúdo e um reciclado.

Figura 11 – Esquema explicativo das etapas de britagem e peneiramento do RCD



(fonte: figura do autor)

Tabela 7 – Granulometria do agregado graúdo reciclado

Abertura	% Retida	% Acumulada
9,5 mm	0	0
6,3 mm	8	8
4,8 mm	80	88
2,4 mm	11	99
1,2 mm	0,5	99,5
0,6 mm	0,5	100
0,3 mm	0	100
0,15 mm	0	100
< 0,15 mm	0	100

Módulo de Finura = 5,95

Dimensão Máxima Característica = 9,5 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 12 – Comparação entre o agregado graúdo natural, à esquerda, e o reciclado, à direita



(fonte: foto do autor)

Entretanto ao se fazer os ensaios de granulometria do agregado miúdo obteve-se um módulo de finura muito alto: de aproximadamente 3,61. A tabela 8 mostra a distribuição granulométrica deste agregado obtido.

Tabela 8 – Primeira granulometria obtida para o agregado miúdo reciclado

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	1	1
2,4 mm	42	43
1,2 mm	18	61
0,6 mm	15	76
0,3 mm	10	86
0,15 mm	8	94
< 0,15 mm	6	100

Módulo de Finura = 3,61

Dimensão Máxima Característica = 4,8 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

Em função dos resultados acima, percebe-se que grande parte do material retido acumulado fica retido na peneira de malha #1,2 mm, logo para diminuir o módulo de finura do material optou-se por britar o material que ficasse retido na peneira de malha #1,2 mm. Com o receio de que o módulo de finura diminuísse excessivamente ao passar novamente todo o material pelo britador, na sua abertura mínima, fez-se uma pequena experiência a fim de prever o comportamento da nova distribuição granulométrica do agregado. Assim, coletou-se uma amostra de aproximadamente 10 kg do agregado miúdo de módulo de finura 3,61, dividindo-a em duas porções de 5 kg para a realização de um teste no britador de rolos.

A primeira porção foi levada até o britador de rolos e simplesmente britada, de tal forma que a distância entre os rolos do equipamento fosse praticamente nula na sua parte mais externa, visto que a parte do centro já apresentava desgaste e isto implicava uma maior distância entre os rolos na zona central do equipamento. Em função deste fato, tomou-se o cuidado de despejar o material de maneira uniforme ao longo dos rolos. Após ser britada esta primeira porção, obteve-se a distribuição granulométrica apresentada na tabela 9.

A segunda porção de 5 kg foi peneirada na peneira de malha #1,2 mm. O material passante foi reservado e o material retido foi levado ao britador. Após serem tomados os mesmos cuidados da britagem da primeira porção, este material foi misturado novamente ao material passante

que foi separado anteriormente. A partir disto se analisou a distribuição granulométrica de cada uma destas etapas, conforme mostram as tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 9 – Granulometria obtida para a primeira porção do agregado miúdo

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	5	5
1,2 mm	25	30
0,6 mm	30	60
0,3 mm	20	80
0,15 mm	11	91
< 0,15 mm	9	100
Módulo de Finura = 2,66		
Dimensão Máxima Característica = 2,4 mm		

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 10 – Granulometria do material passante pela peneira de malha #1,2 mm da segunda porção

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	0	0
1,2 mm	2	2
0,6 mm	36	38
0,3 mm	36	74
0,15 mm	16	90
< 0,15 mm	10	100
Módulo de Finura = 2,04		
Dimensão Máxima Característica = 1,2 mm		

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 11 – Granulometria do material retido na peneira de malha #1,2 mm após britagem

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	9	9
1,2 mm	42	51
0,6 mm	27	78
0,3 mm	11	89
0,15 mm	6	95
< 0,15 mm	5	100
Módulo de Finura = 3,22		
Dimensão Máxima Característica = 4,8 mm		

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 12 – Granulometria da mistura do material passante e do britado da segunda porção

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	5	5
1,2 mm	20	25
0,6 mm	34	59
0,3 mm	20	79
0,15 mm	12	90
< 0,15 mm	10	100
Módulo de Finura = 2,58		
Dimensão Máxima Característica = 2,4 mm		

(fonte: elaborado pelo autor)

Desta forma, conclui-se que pouca diferença faz a junção do material britado que foi retido na peneira de malha #1,2 mm com o material passante da mesma peneira do que simplesmente passar direto o agregado de módulo de finura 3,61 pelo britador. Observa-se nas tabelas 9 e

12, uma mudança do módulo de finura de 2,66 para 2,58. Também as distribuições granulométricas não apresentaram mudanças consideráveis. Em virtude disto, resolveu-se utilizar o segundo método, por resultar em um módulo de finura um pouco inferior, como também, por mera questão operacional do laboratório, que tornou este método mais conveniente.

Então, após britar todo o material retido na peneira de malha #1,2 mm, misturou-se todo o material passante na peneira de malha #1,2 mm em uma betoneira de eixo vertical, a fim de homogeneizar a mistura, conforme mostra a figura 13.

Figura 13 – Homogeneização do agregado miúdo



(fonte: foto do autor)

Logo após a homogeneização, foi novamente feito o ensaio granulométrico. Os resultados constam na tabela 13. Com estes resultados, encerrou-se a produção de agregado miúdo reciclado, sendo este o agregado que foi usado na produção dos blocos de concreto. Percebe-se que o módulo de finura se aproxima muito do módulo da areia média natural utilizada (2,14, conforme o item 6.2.2.2), bem como que o agregado de RCD apresenta uma melhor distribuição granulométrica.

Tabela 13 – Granulometria do agregado reciclado miúdo no seu estado final

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	4	4
1,2 mm	22	26
0,6 mm	27	53
0,3 mm	19	72
0,15 mm	13	85
< 0,15 mm	15	100

Módulo de Finura = 2,40

Dimensão Máxima Característica = 2,4 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Nos itens a seguir são tratados os métodos, equipamentos e materiais empregados para a fabricação dos blocos de concreto estudados no presente trabalho. São detalhados também a dosagem do concreto referência e do concreto com agregados reciclados.

6.2.1 Equipamentos utilizados

A produção dos blocos de concreto foi feita em uma vibroprensa manual modelo PMB-10 localizada no laboratório do Norie, conforme figura 14. Esta máquina é usada tanto para produção de blocos de pavimentação quanto para blocos de alvenaria, fornecendo neste último caso três blocos 14x19x39 por operação. Possui alimentação e acionamento manual, sendo seu processo de vibração na direção horizontal executado por um motor elétrico trifásico de 3 HP, o qual por intermédio de polias e correias, interliga os dois eixos vibradores excêntricos que efetuam o adensamento do concreto. A compactação do concreto é feita simplesmente pela ação da gravidade através de um peso que fica sobre as extratoras, que quando se alinham sobre o molde, despencam compactando o concreto que se encontra dentro do molde. Para o amassamento do concreto foi utilizado uma betoneira de eixo vertical, localizada também no laboratório do Norie.

Figura 14 – Detalhe da vibroprensa utilizada



(fonte: foto do autor)

6.2.2 Materiais utilizados

A seguir estão especificados os materiais utilizados na fase experimental do presente trabalho, excetuados os agregados de RCD, que já foram descritos ao longo do item 6.1.

6.2.2.1 Cimento

Utilizou-se cimento CP-V-ARI, por ser o mais puro entre os encontrados no mercado e também porque este é o cimento mais interessante para a fabricação de elementos pré-moldados de concreto, visto que estes exigem resistências mais elevadas já nas idades iniciais. As características físicas e químicas do cimento utilizado estão mostradas na tabela 14.

Tabela 14 – Características do cimento utilizado

Item	Unidade	Resultado
Início de pega	minutos	140
Fim de pega	minutos	187
Massa específica	g/cm ³	3,11
Área específica (Blaine)	cm ² /g	4401
Resíduo na peneira #200	%	0,10
Resíduo na peneira #325	%	1,02
Resíduo insolúvel	%	0,38
Perda ao fogo	%	2,56
Água de consistência normal	%	30,2
Óxido de magnésio	%	1,49
Trióxido de enxofre	%	3,02
Anidrido Carbônico	%	1,02

(fonte: dados do fabricante)

6.2.2.2 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo utilizado foi uma areia média quartzosa oriunda do Rio Jacuí, disponível nos fornecedores de agregados na época da moldagem dos blocos. Inicialmente foi prevista a hipótese de utilização de areia fina, para uma eventual correção no acabamento das faces dos blocos. Mas logo foi descartada sua utilização, em virtude do bom acabamento do bloco somente com areia média, fato que se comprova pelo baixo módulo de finura da areia. A tabela 15 mostra a distribuição granulométrica da areia utilizada.

Tabela 15 – Granulometria do agregado miúdo natural

Abertura	% Retida	% Acumulada
4,8 mm	0	0
2,4 mm	4	4
1,2 mm	6	10
0,6 mm	21	31
0,3 mm	40	71
0,15 mm	27	98
< 0,15 mm	2	100

Módulo de Finura = 2,14

Dimensão Máxima Característica = 2,4 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.2.3 Agregado graúdo natural

O agregado graúdo utilizado na confecção dos blocos é originário de rocha calcária calcítica da região de Rio Branco do Sul no estado do Paraná, conforme mostra a figura 12 anteriormente apresentada. Não houve nenhum motivo especial para tal escolha, apenas a facilidade de transporte e manuseio para o laboratório, em decorrência do agregado vir embalado em sacos de 40 kg. Este agregado é conhecido no mercado por granilha e possui uma granulometria praticamente uniforme, sendo que a maior fração passa na peneira de malha #6,3 mm e fica retida na malha #4,8 mm, conforme mostra a tabela 16. Logo as dimensões do agregado graúdo atendem às exigências da NBR 6136/2006, que prescreve que a dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve ultrapassar a metade da menor espessura do bloco (a espessura do bloco utilizado neste trabalho é de 20 mm).

Tabela 16 – Granulometria do agregado graúdo natural

Abertura	% Retida	% Acumulada
9,5 mm	0	0
6,3 mm	4	4
4,8 mm	78	82
2,4 mm	17	99
1,2 mm	0,5	99,5
0,6 mm	0,5	100
0,3 mm	0	100
0,15 mm	0	100
< 0,15 mm	0	100

Módulo de Finura = 5,85

Dimensão Máxima Característica = 6,3 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.2.4 Água

Foi utilizada água de abastecimento local proveniente do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre.

6.2.3 Processo de fabricação

Ao se verificar o volume necessário de concreto por unidade de bloco, de aproximadamente 5 L, e se observar os respectivos traços escolhidos, iniciou-se a pesagem dos materiais. Cabe ressaltar que a concretagem foi dividida em duas etapas em virtude da limitação da capacidade da betoneira de processar uma grande quantidade de concreto. Assim, dividiu-se a concretagem em duas betonadas de 36 kg. Na primeira betonada, foram confeccionados três blocos e na segunda outros três, sendo um grupo rompido aos sete dias e outro aos 28 dias.

Após a pesagem das respectivas quantidades de areia, brita, cimento e água, iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira. Inicialmente foi colocada a brita e parte da quantidade da água necessária. Logo após, o cimento, a areia e a quantidade de água restante para se atingir

o teor de umidade determinado para cada traço em massa. Tal procedimento foi utilizado no intuito de lavar a brita, retirando os finos aderidos a sua superfície, bem como para facilitar o envolvimento de uma camada de pasta de cimento ao redor do agregado graúdo.

Após o amassamento do concreto e da verificação de sua consistência, através do teste do ponto de pelota, iniciou-se a moldagem dos blocos na vibroprensa. Por mera conveniência de execução e a fim de diminuir o desperdício de concreto, foi retirada a caçamba carregadora que veio acoplada à vibroprensa, desta maneira, os moldes foram alimentados com o concreto, simplesmente, com o uso de uma concha e uma colher de pedreiro. Assim, preencheu-se o molde dos três blocos e em seguida foi ligado o motor elétrico que acionava os vibradores do molde. Com este primeiro adensamento, o volume de concreto se reduziu até aproximadamente à metade da altura do molde. Então, continuou-se a lançar o concreto até que a altura final do concreto já adensado ultrapassasse a altura do molde. Por fim, realizou-se o processo de prensagem, liberando o mecanismo que faz a extratora despencar sobre o concreto e, ao mesmo tempo, mantendo ligado o sistema de adensamento até que o curso das hastes que ligam a extratora ao contrapeso chegasse ao fim, conforme a figura 15.

Figura 15 – Indicação do final do curso das hastes que mantém as extratoras ligadas ao contrapeso



(fonte: foto do autor)

Há de se notar também os problemas envolvidos durante a moldagem devidos às limitações da máquina. Em algumas moldagens ocorreu desprendimento de concreto dos cantos

superiores do bloco logo após a moldagem. Esta ocorrência foi diminuída, mas não totalmente eliminada, com a maior utilização de concreto nos moldes antes da prensagem.

Outro problema foi a dificuldade de se realizar o movimento ascensional do molde. Algumas vezes o molde emperrava de tal forma que sua subida só se tornava possível com uma rápida vibração no momento do início da desforma dos blocos. Este fato acabava por danificar a parte inferior dos blocos recém moldados, exigindo muitas vezes a repetição da moldagem.

Após a moldagem, os blocos foram transportados e colocados sobre bancadas dentro do laboratório. A cura dos blocos de concreto foi feita de forma natural, apenas protegidos do efeito do sol e do vento. A fim de se evitar a perda excessiva de água do bloco para o ambiente, borrifou-se água sobre os mesmos durante as horas iniciais após a concretagem.

6.2.4 Dosagem dos blocos de concreto referência

Conforme citado no capítulo 5, o resultado final dos blocos de concreto depende da qualidade da máquina utilizada. Em razão da não observância de trabalho anterior cujo programa experimental versasse sobre a produção de blocos de concreto de vedação em equipamento de mesmo modelo do utilizado neste trabalho, partiu-se da hipótese de que a máquina produziria blocos com baixa resistência mecânica. Desta forma, optou-se por executar traços de concreto com baixa relação aglomerante/agregados. Assim, as relações 1:6, 1:8 e 1:10 em massa foram escolhidas para o concreto referência. A tabela 17 mostra os traços e quantidade de blocos de concreto produzidos.

Tabela 17 – Relações aglomerante/agregado e quantidade de blocos respectivos

Cimento/agregados	% substituição	Quantidade de blocos produzidos
1:6	0	6
1:8	0	6
1:10	0	6

(fonte: elaborado pelo autor)

Definidas as relações aglomerante/agregados, prosseguiu-se na determinação do teor de argamassa dos blocos. Pagnussat (2004) já havia obtido um teor de argamassa de 81% na

fabricação de blocos de concreto para pavimentação no mesmo equipamento utilizado neste trabalho. Com posse desta informação, partiu-se de um teor de argamassa menor, a fim de ver o efeito do incremento do teor de argamassa, então arbitrou-se como 65% o teor de argamassa inicial, incrementando-se valores de 4% a cada nova tentativa. Entretanto, logo na primeira tentativa, com 65% de teor de argamassa, já se obteve um excelente acabamento. Este fato deu o indicativo de que havia um excesso de argamassa na mistura, o que se percebeu também pela dificuldade na moldagem e no surgimento de fissuras nos cantos dos blocos ainda no estado fresco.

Então, arbitrou-se um novo teor de argamassa em 40%. Com este novo teor, o bloco recém moldado, apresentou um péssimo acabamento, indicando a falta de argamassa conforme mostra a figura 16. A partir disto, novamente se incrementou o teor de argamassa até se atingir um acabamento similar ao dos blocos de concreto usualmente comercializados. As figuras 16 a 20 ilustram este procedimento para os blocos de concreto referência.

Figura 16 – Teor de argamassa em 40%



(fonte: foto do autor)

Figura 17 – Teor de argamassa em 44%



(fonte: foto do autor)

Figura 18 – Teor de argamassa em 48%



(fonte: foto do autor)

Figura 19 – Teor de argamassa em 53%



(fonte: foto do autor)

Figura 20 – Acabamento de bloco usualmente comercializado



(fonte: foto do autor)

A partir da análise visual do acabamento dos blocos, fixou-se como 53% o teor de argamassa para a produção dos blocos. Uma vez definido este ponto, houve que se definir o teor de umidade do concreto. Pagnussat (2004) afirma que a faixa de variação do teor de umidade para blocos se situa entre 6% e 8%. Também afirma que uma maior adição de água pode proporcionar uma melhor compactação, implicando uma maior resistência mecânica, bem como, que outro ponto importante a se avaliar é trabalhabilidade do concreto fresco.

Baseado nestas informações, tentou-se adicionar uma quantidade de água que fosse possível a moldagem sem a formação de nata de cimento ao redor do bloco e ao mesmo tempo tentando acrescentar o máximo possível de água a fim de permitir uma melhor compactação do concreto. Desta forma, um teste empírico que foi realizado foi a verificação do ponto de pelota, que consiste em moldar uma “bola de concreto” com as mãos, de forma que fique coesa e ao mesmo tempo não as suje (indício de excesso de água). A figura 21 mostra o ponto de pelota obtido para um concreto com 4% de teor de umidade.

Em posse destes detalhes e com o teor de argamassa já fixado em 53%, produziu-se um bloco com teor de umidade em 6%. Ao se verificar o ponto de pelota, já se percebeu que o concreto estava excessivamente úmido. Mesmo assim, foi moldado na vibroprensa e, na sua desforma, foi observada a presença de nata de cimento acumulada ao redor do bloco, conforme mostra a figura 22.

Também há de se destacar a dificuldade de moldagem do bloco com o teor de umidade excessivo. Ao se girar a alavanca que faz o molde vibratório subir, para fazer a desforma dos

blocos, o concreto acaba ficando aderido nas paredes do molde de tal forma que os blocos acabam subindo junto com o molde. Assim, ao se retornar o molde para a posição inicial, os blocos acabavam se desintegrando, o que levava a perda do bloco e conseqüentemente a realização de uma nova moldagem.

Figura 21 – Verificação do ponto de pelota



(fonte: foto do autor)

Figura 22 – Formação de nata de cimento ao redor do bloco



(fonte: foto do autor)

Em decorrência disto, fez-se um novo bloco com teor de umidade de 5%. Logo após o amassamento do concreto, verificou-se o ponto de pelota da mistura, que estava aceitável. Entretanto, ao se fazer uma nova moldagem na vibroprensa, observou-se os mesmos problemas decorridos para o concreto de 6% de teor de umidade. Ainda que a presença de

nata estivesse em quantidade inferior ao concreto de 6%, foi observado os mesmos problemas de moldagem.

Um novo concreto foi produzido com teor de umidade de 4%. Ao se realizar a verificação do ponto de pelota, notou-se um concreto com adequada consistência. Neste teor de umidade, a desforma dos blocos ocorreu sem maiores problemas e também não houve formação de nata ao redor do bloco de concreto. Desta forma, fixou-se em 4% o valor de umidade para a produção dos blocos de concreto referência. A figura 23 mostra o aspecto do concreto fresco com teor de umidade 4%.

Figura 23 – Aspecto do bloco com teor de umidade em 4%



(fonte: foto do autor)

Assim, foram definidos três traços para o concreto referência. Todos com 53% de teor de argamassa e 4% de teor de umidade, apenas variando a relação aglomerante/agregados, que foi respectivamente 1:6, 1:8 e 1:10. A tabela 18 mostra o detalhamento dos traços utilizados.

Tabela 18 – Traços, em massa, utilizados para o concreto referência

	Traço 1:6	Traço 1:8	Traço 1:10
Cimento	1	1	1
Areia média	2,71	3,77	4,83
Brita	3,29	4,23	5,17
Teor de argamassa	53%	53%	53%

Teor de umidade	4%	4%	4%
Relação a/c	0,28	0,36	0,44

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.5 Dosagem dos blocos de concreto com agregados reciclados

Com os resultados do ensaio de resistência à compressão obtidos para os blocos de concreto referência, definiram-se os traços para os blocos com agregados reciclados. Ao se obter resistências entre 2 e 3 Mpa para os traços de concreto referência, que já estão muito próximos ao limite exigido pela NBR 6136/2007 (limite inferior da resistência do bloco de vedação é de 2Mpa), optou-se por definir a relação cimento/agregados dos blocos reciclados em 1:6 e 1:8 apenas.

Em posse disto, realizou-se um teste a fim de verificar se a inserção do agregado reciclado acarretaria mudança no acabamento dos blocos. Então, foi feito um bloco substituindo 100% do agregado miúdo e mantendo-se em 53% o teor de argamassa. Após a moldagem se verificou que o aspecto visual do bloco era praticamente igual ao bloco com somente agregados naturais. Desta forma, fixou-se o teor de argamassa em 53% para os blocos com agregados reciclados. Já ao se fazer a substituição de 100% de agregado miúdo e graúdo, obteve-se um bloco com uma superfície um pouco mais áspera, porém completamente aceitável ao se comparado com o acabamento dos blocos usualmente vendidos no mercado. Em realidade, somente foi possível distinguir, pelo aspecto visual, se um bloco era reciclado ou não, ao se rompê-lo, situação em que, ao se observar as fissuras, notava-se o material cerâmico exposto. Até mesmo a coloração dos blocos reciclados eram iguais aos blocos com agregados naturais.

Antes de determinar o melhor teor de umidade para os blocos reciclados, teve que se levar em conta o efeito da absorção de água pelo agregado reciclado. Há de se observar que, na fabricação de blocos de concreto com agregados reciclados, foram utilizados os mesmos procedimentos para os blocos convencionais, contudo na sua aplicação tomou-se a precaução de se observar o efeito da absorção de água do agregado de RCD.

Desta forma, procedeu-se à pré-molhagem do agregado. Para isto, utilizou-se os dados obtidos nos ensaios do trabalho de Leite (2001), no qual constam as curvas de absorção de água do

agregado reciclado em função do tempo. A partir destes dados, utilizou-se como absorção média para o agregado reciclado miúdo o valor de 8,6% e para o agregado graúdo o valor de 4,95%. Também, baseando-se no mesmo trabalho, foi determinado o intervalo de tempo de 10 minutos entre a sua pré-molhagem e o carregamento do agregado na betoneira. A justificativa para tal intervalo é que este é um tempo de espera razoável, e, baseado nas curvas obtidas pelo autor citado, após esta espera, o agregado já terá atingido 50% da sua capacidade de absorção, valor considerado adequado para não haver diminuição excessiva da relação água/cimento do concreto. Desta forma, o valor de água adicionado ao agregado de RCD será o produto entre sua massa, a taxa de absorção média e quantidade absorvida em função do tempo. Assim, ao término da mistura da água com o agregado, umedeceu-se um pano e cobriu-o a fim de evitar a perda de água ao ambiente. A figura 24 demonstra as etapas deste processo.

Figura 24 – Etapas da pré-molhagem do agregado reciclado



(fonte: foto do autor)

Feitas estas considerações, assim que se colocou o agregado de RCD na betoneira junto aos outros materiais, adicionou-se água até se chegar aos 4% do teor de umidade, excluindo-se deste percentual a água que já se encontrava absorvida pelo agregado. Desta forma, ao se chegar aos 4% de umidade, fez-se a avaliação da consistência do concreto através do teste do ponto de pelota.

Tentou-se manter este teor para os demais blocos, no entanto isto não foi possível, pois, à medida que se aumentava o teor de substituição, o concreto exigia mais água para manter a consistência ideal de moldagem. Desta maneira, após ser adicionada a quantidade de água referente aos 4% de umidade na primeira betonada de cada traço, continuou-se a adicioná-la lentamente até se obter a consistência desejada. Em posse do percentual obtido, repetiu-se o mesmo valor para a segunda betonada do mesmo traço. Importante notar que a substituição de agregado natural por agregado reciclado foi feita em massa. Assim, por exemplo, uma substituição por 25% de agregado miúdo reciclado significa que um quarto da massa total de

agregado miúdo será composta por agregado de RCD e os três quartos restantes serão de agregado natural. As tabelas 19 e 20 mostram os traços finais obtidos para os blocos reciclados.

Tabela 19 – Traços, em massa, utilizados para o concreto reciclado 1:6

	Substituição de 25% de agregado miúdo	Substituição de 50% de agregado miúdo	Substituição de 100% de agregado miúdo	Substituição de 100% de agregado miúdo e graúdo
Cimento	1	1	1	1
Areia média	2,03	1,36	0	0
Brita	3,29	3,29	3,29	0
Agregado miúdo reciclado	0,68	1,36	2,71	2,71
Agregado graúdo reciclado	0	0	0	3,29
Teor de argamassa	53%	53%	53%	53%
Teor de umidade	4%	4,5%	4,89%	5,78%
Teor de água utilizado na pré-molhagem, em relação à massa de agregado reciclado miúdo	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%
Teor de água utilizado na pré-molhagem, em relação à massa de agregado reciclado graúdo	-	-	-	2,48%
Relação a/c	0,28	0,32	0,34	0,40

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 20 – Traços, em massa, utilizados para o concreto reciclado 1:8

	Substituição de 25% de agregado miúdo	Substituição de 50% de agregado miúdo	Substituição de 100% de agregado miúdo	Substituição de 100% de agregado miúdo e graúdo
Cimento	1	1	1	1
Areia média	2,83	1,89	0	0
Brita	4,23	4,23	4,23	0
Agregado miúdo reciclado	0,94	1,89	3,77	3,77
Agregado graúdo reciclado	0	0	0	4,23
Teor de argamassa	53%	53%	53%	53%
Teor de umidade	4%	4,5%	4,89%	5,78%
Teor de água utilizado na pré-molhagem, em relação à massa agregado reciclado miúdo	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%
Teor de água utilizado na pré-molhagem, em relação à massa agregado reciclado graúdo	-	-	-	2,48%
Relação a/c	0,36	0,41	0,44	0,52

(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os blocos de concreto foram ensaiados à compressão conforme preconiza a norma 12118/2010. Definiram-se as idades de controle para este ensaio em sete e vinte e oito dias, excetuados os blocos de concreto fabricados com teor de substituição de 100% para agregados miúdos e graúdos, os quais, devido às perdas de agregado miúdo reciclado ocorridas durante as tentativas moldagem e conseqüente falta de material, foram ensaiados somente aos vinte e oito dias. Desta forma, a comparação da resistência à compressão entre os blocos com 100%

de substituição de agregados miúdos e graúdos e os blocos de concreto referência restringiram-se à idade de 28 dias.

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi uma prensa hidráulica de capacidade de 4 a 200 toneladas presente no laboratório do LEME/UFRGS. Foi utilizada uma velocidade de carregamento de 50 kPa/s até a ruptura dos blocos.

O capeamento dos blocos foi feito com cimento e areia fina, sendo a face superior do bloco capeada quarenta e oito horas antes do ensaio e a face inferior vinte e quatro horas antes do ensaio. Este procedimento foi adotado em função da face inferior, que fica em contato com a chapa de compensado durante a moldagem, ficar perfeitamente plana após a cura do concreto, facilitando o nivelamento do bloco com o nível enquanto a face superior do bloco, que apresenta irregularidades, estar em contato com a argamassa. No dia seguinte, quando a argamassa já se enrijeceu e a face inferior for ser capeada, a face superior já está completamente regular, diminuindo-se as chances de alteração dos resultados do ensaio de resistência à compressão em virtude de um mau nivelamento das faces dos blocos. A figura 25 mostra esta etapa. Feito o capeamento os blocos, eles foram posicionados na prensa entre duas placas de aço de tal forma que o centro de gravidade do bloco coincidissem com o eixo de carga da prensa.

Figura 25 – Detalhe do capeamento dos blocos de concreto



(fonte: foto do autor)

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados é dividida em duas partes, a primeira aborda sobre a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado e a segunda parte aborda sobre a substituição total de agregados naturais por agregado graúdo e miúdo reciclado.

7.1 INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO MIÚDO COMO SUBSTITUIÇÃO

Foi incorporado agregado miúdo reciclado nas proporções de 25, 50 e 100% para os traços de 1:6 e 1:8 de relação cimento/agregados. Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão dos blocos referência e dos blocos com substituição de agregado miúdo estão relacionados na tabela 21. Cabe observar que o resultado do ensaio é em relação à área bruta do bloco, ou seja, não há descontos de área de seus vazios, conforme dispõe a norma 12118/2010.

Tabela 21 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Relação aglomerante/agregado	Percentagem de substituição de agregado miúdo(%)	Posição na prensa	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
1:6	0	1	7	3,18
1:6	0	2	7	3,23
1:6	0	3	7	3,34
1:6	25	1	7	1,99
1:6	25	2	7	1,99
1:6	25	3	7	1,95
1:6	50	1	7	2,07
1:6	50	2	7	2,80
1:6	50	3	7	2,64

1:6	100	1	7	2,02
-----	-----	---	---	------

continua

continuação

Relação aglomerante/agregado	Percentagem de substituição de agregado miúdo(%)	Posição na prensa	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
1:6	100	2	7	1,32
1:6	100	3	7	1,53
1:6	0	1	28	2,25
1:6	0	2	28	3,16
1:6	0	3	28	3,71
1:6	25	1	28	3,50
1:6	25	2	28	3,92
1:6	25	3	28	3,24
1:6	50	1	28	3,91
1:6	50	2	28	3,12
1:6	50	3	28	3,95
1:6	100	1	28	2,09
1:6	100	2	28	2,46
1:6	100	3	28	2,76
1:8	0	1	7	1,60
1:8	0	2	7	2,66
1:8	0	3	7	2,65
1:8	25	1	7	3,48
1:8	25	2	7	3,56
1:8	25	3	7	3,96
1:8	50	1	7	3,11
1:8	50	2	7	3,05
1:8	50	3	7	3,30

1:8	100	1	7	1,82
-----	-----	---	---	------

continua

continuação

Relação aglomerante/agregado	Percentagem de substituição de agregado miúdo(%)	Posição na prensa	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
1:8	100	2	7	2,27
1:8	100	3	7	3,21
1:8	0	1	28	3,40
1:8	0	2	28	3,52
1:8	0	3	28	3,19
1:8	25	1	28	2,66
1:8	25	2	28	3,03
1:8	25	3	28	2,62
1:8	50	1	28	3,73
1:8	50	2	28	2,97
1:8	50	3	28	4,13
1:8	100	1	28	2,58
1:8	100	2	28	3,19
1:8	100	3	28	2,68

(fonte: elaborado pelo autor)

Com os resultados do ensaio de resistência à compressão, foram realizadas as análises estatísticas através da ANOVA (análise de variância), com o auxílio do programa computacional STATISTICA. Assim foi identificada a existência ou não de significância nas variáveis, bem como entre suas interações. A tabela 22 mostra estas análises.

Assim, percebe-se que os efeitos isolados da relação cimento/agregados, da idade e do teor de substituição mostram-se estatisticamente significativos para o nível de significância arbitrado, bem como a interação entre a relação cimento/agregados com a idade. A figura 26 mostra o

efeito isolado da idade na resistência dos blocos, percebe-se o aumento de resistência conforme o avanço no tempo, o que já era esperado, devido ao maior número de reações de hidratação do cimento ao longo do tempo.

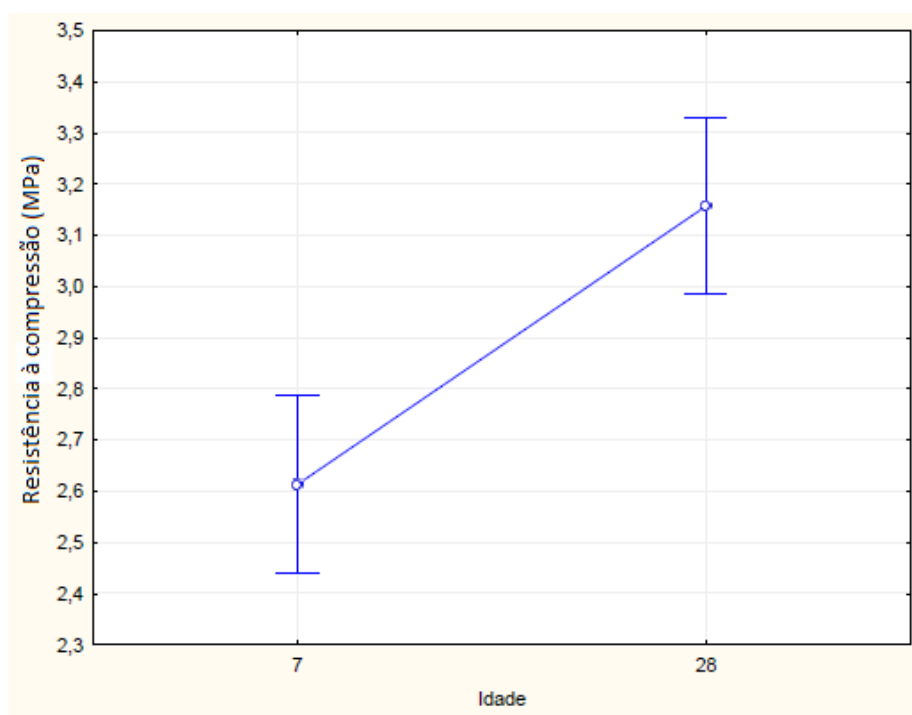
Tabela 22 – Análise de variância de resistência à compressão

	Interação	GDL	MQ	F(cal)	p	Efeito
1	Relação cimento/agregados	1	0,8112	4,690	0,03789	SIGNIFICATIVO
2	Idade	1	3,5425	20,483	0,000078	SIGNIFICATIVO
3	Teor de substituição	3	1,8142	10,490	0,000058	SIGNIFICATIVO
4	Interação (1) – (2)	1	1,0150	5,869	0,021248	SIGNIFICATIVO
5	Interação (1) – (3)	3	0,4742	2,742	0,059346	NÃO SIGNIFICATIVO
6	Interação (2) – (3)	3	0,1269	0,734	0,539442	NÃO SIGNIFICATIVO

GDL = grau de liberdade, MQ = média quadrática, F(cal) = calor calculado de F.
Se valor de $p < 0,05$: efeito significativo (para um nível de significância de 95%)

(fonte: elaborado pelo autor)

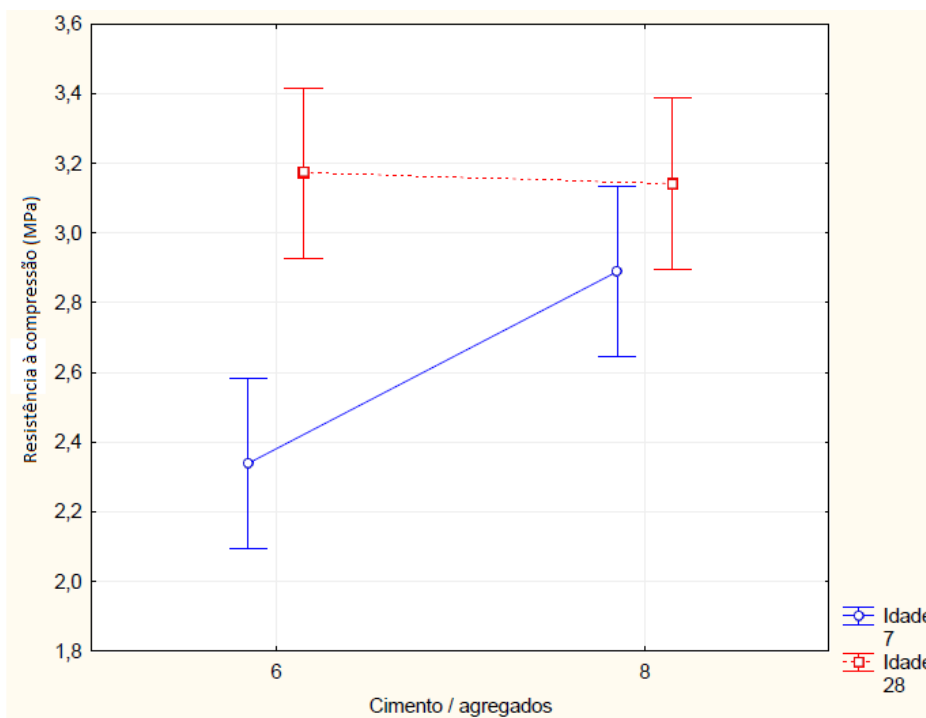
Figura 26 – Efeito isolado da influência da idade na resistência à compressão



(fonte: foto do autor)

A figura 27 ilustra a interação entre a relação cimento/agregados e a idade, mostrando que nas primeiras idades houve um maior aumento de resistência do traço 1:8 do que o 1:6, sendo isto menos considerável aos 28 dias.

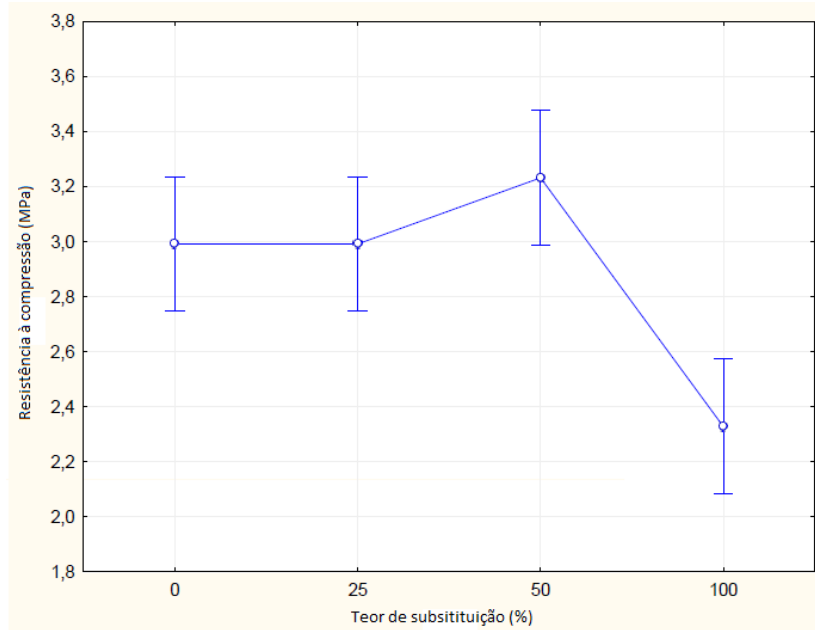
Figura 27 – Efeito da interação entre a relação cimento/agregados e a idade



(fonte: foto do autor)

Na figura 28, mostra-se o efeito isolado do teor de substituição de agregado reciclado miúdo na resistência à compressão, percebe-se nenhuma diferença do teor de 0 para 25%, tendo um ligeiro aumento de resistência aos 50% e logo uma brusca diminuição para o teor de 100%.

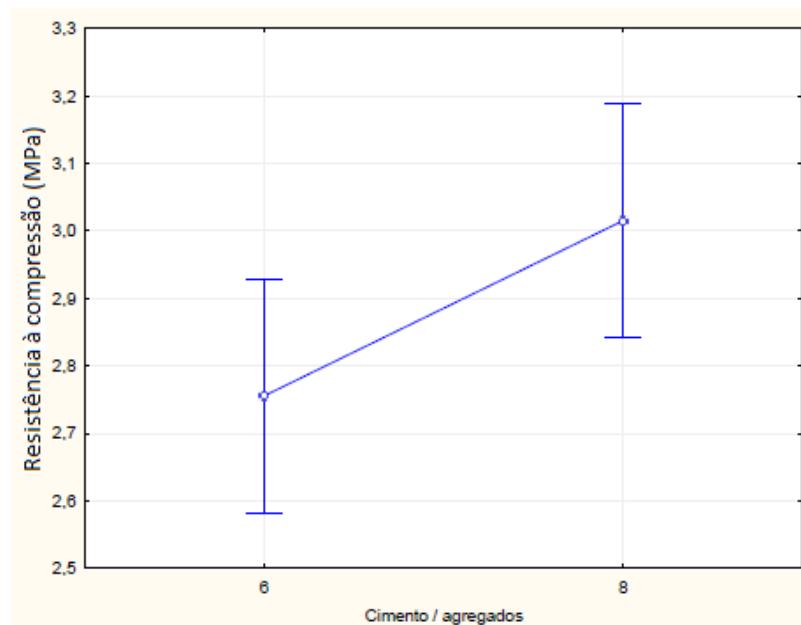
Figura 28 – Efeito isolado do teor de substituição



(fonte: foto do autor)

A figura 29 mostra o efeito isolado da relação cimento/agregados. Neste ponto nota-se uma particularidade, a diminuição desta relação ocasionou um aumento de resistência na maioria dos blocos ensaiados, fenômeno que pode ser explicado pela melhor compactação do concreto, quando utilizou-se uma relação cimento agregados de 1:8.

Figura 29 – Efeito isolado da relação cimento/agregados



(fonte: foto do autor)

Coincidentemente ou não, Hood (2006) obteve um resultado semelhante ao moldar blocos de concreto para pavimentação na mesma máquina utilizada no presente trabalho. Ao executar os traços de seu concreto referência, ocorreu que, estando fixado os mesmos materiais para um determinado traço, quando variou a relação água/cimento de 0,34 para 0,38, ocorreu um aumento considerável nas resistências dos blocos de respectivamente 16,07 para 25,20 MPa.

Outro fator influente é a composição granulométrica da mistura obtida, que acarreta uma maior compactidade na mistura e um conseqüente aumento de resistência mecânica. Também conforme mostrou a tabela 3 no item 4.2.3, foram obtidos melhores resultados para relações cimento/agregados maiores, neste caso o traço 1:9 gerou melhores resultados que o traço 1:6 e alguns traços 1:8, bem como alguns traços 1:8 também obtiveram melhores resistências à compressão que o traço 1:6. Nota-se que para isto, ocorreram diferentes combinações entre os agregados naturais e reciclados, mostrando, desta forma, que a relação cimento/agregados não é o fator decisivo na resistência final do bloco, sendo mais importante a compactidade da mistura e o empacotamento entre as partículas.

Considerando o efeito isolado do teor de substituição, o aumento de resistência do teor de 25 para o de 50% pode ser explicado pela melhor compactação da mistura nestas faixas, haja vista a maior quantidade de água adicionada, enquanto que na faixa de 100%, provavelmente, o efeito do aumento da relação água/cimento e da maior quantidade de agregado reciclado acabaram influenciando mais do que o benefício gerado pela maior quantidade de água para compactação, acarretando, assim, uma maior redução de resistência. Há de se notar também que teores não tão elevados de substituição podem acabar apresentando resultados similares aos obtidos com materiais convencionais. Somando-se ao fato anterior a variabilidade presente nos resultados, pode-se considerar que o ligeiro aumento de resistência pode estar relacionado à variação ocorrido nos resultados. Estes resultados vão ao encontro dos obtidos no trabalho de Sousa (2001), que também obteve um ligeiro incremento de resistência à compressão ao substituir agregados naturais por reciclados para os teores de substituição de 30 e 50%.

Também percebe-se que uma das particularidades deste trabalho foi o baixo teor de umidade obtido para a consistência ideal de moldagem. Foi encontrado um teor de 4,00 a 5,78% para os blocos, ao passo que outros autores obtiveram teores de umidade na faixa de aproximadamente 7 a 12%, tais como: Buttler (2007), de 7 a 8%, Hood (2006), de 6,7 a

11,4% e Pagnussat (2004), de 7,2%. Isto comprova que o teor de umidade ideal depende das características granulométricas, da taxa de absorção e das composições entre si dos materiais utilizados.

Desta forma, observa-se que, no tocante à substituição de agregado miúdo, os melhores resultados foram obtidos para os blocos com teor de substituição de 50% em uma relação cimento/agregados de 1:8, superando inclusive a resistência dos blocos produzidos somente com agregados naturais. De forma geral, considerando os resultados individuais e excetuando alguns blocos, praticamente todos obtiveram uma resistência superior a 2,0 MPa, o que prova ser viável a incorporação de agregado miúdo reciclado em blocos de concreto para vedação.

A análise de custos restringiu-se apenas à análise de consumo dos materiais utilizados para cada traço, não levando em conta os custos envolvidos com energia e manutenção para o funcionamento dos equipamentos, bem como os processos adicionais pelos quais os agregados reciclados tiveram que passar. Em virtude de não se ter conhecimento de nenhuma usina de reciclagem no Rio Grande do Sul, para que se pudesse obter os preços dos agregados reciclados, procuraram-se usinas de reciclagem em outros estados, dando-se preferência àquelas que se situam próximas às capitais, a fim de que, para o levantamento de preços dos agregados naturais e do cimento, se pudesse usar as tabelas de insumos fornecidas pela Caixa Econômica Federal através do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Assim, ao se levantar os preços dos materiais em uma mesma localidade, mantém-se uma relação de grandeza entre o preço do agregado natural e do reciclado, fator que é fundamental para uma correta comparação de custos.

Então, dentre as localidades pesquisadas, encontrou-se uma usina de reciclagem localizada na cidade de Almirante Tamandaré, Paraná, distante aproximadamente 15 km de Curitiba. Assim, foram considerados para os preços dos agregados reciclados, os preços da areia e de pedrisco fornecidos por esta usina de reciclagem. Já os preços para os agregados naturais e para o cimento foram obtidos através da tabela fornecida pela Caixa Econômica Federal para o mês de setembro de 2012 para a cidade de Curitiba. Cabe salientar que ambos os preços dos agregados, tanto reciclados como naturais, foram considerados sem a taxa de frete e que o tipo de cimento considerado foi o Portland comum CP – I, visto que na tabela do SINAPI não constava o cimento CP – V ARI e preferiu-se não buscar este valor em outra fonte, a fim de não alterar o efeito comparativo entre insumos.

Também é importante notar que esta análise de custos é meramente comparativa, visto que a granulometria e composição dos insumos levantados são diferentes dos utilizados neste trabalho, logo, se fossem utilizados aqueles materiais para a execução dos traços abordados neste trabalho, resultariam em resultados diferentes e por conseguinte relações custo/resistência diferentes. Desta forma, considera-se para fins práticos que o preço dos materiais utilizados neste trabalho são iguais aos levantados na cidade de Curitiba. A tabela 23 mostra os valores utilizados e o preço de custo para cada unidade de bloco.

Em posse dos preços dos insumos, calculou-se o custo por peça para cada traço considerado. Foi feita também uma análise do custo desembolsado para cada unidade de resistência gerada, dividindo-se o custo de cada bloco pela resistência média gerada pelo seu traço, assim, chegou-se à tabela 24.

Tabela 23 – Preço dos materiais levantados

Insumo	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)
Areia reciclada	m ³	1	24,50
Pedrisco reciclado	m ³	1	22,05
Areia média natural	m ³	1	57,50
Pedrisco natural	m ³	1	48,36
Cimento	kg	1	0,44

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 24 – Custo de cada unidade produzida, resistência média e relação custo/resistência

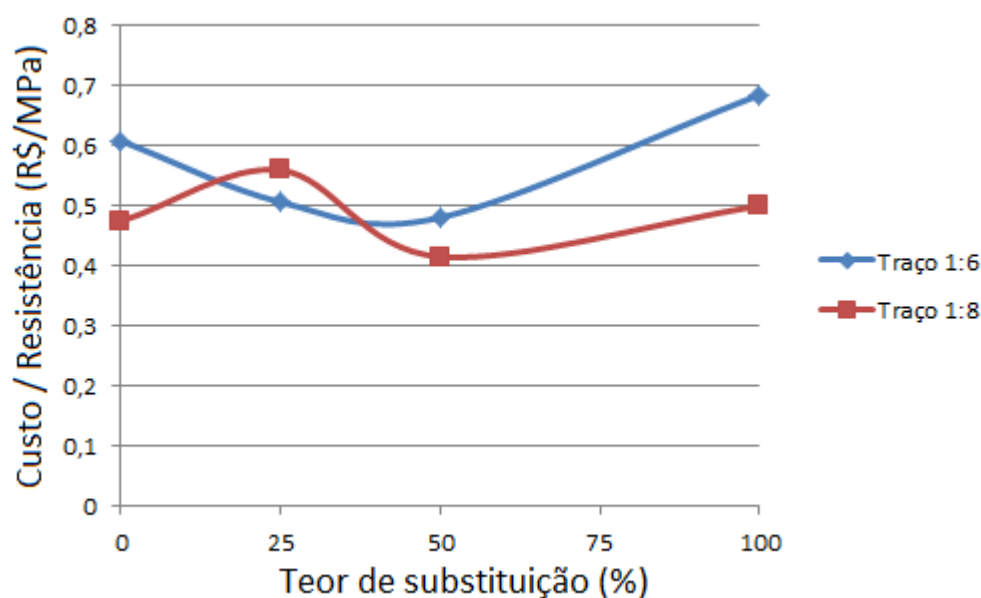
Relação cimento/agregado	Teor de substituição (%)	Custo (R\$)	Resistência média (MPa)	Relação custo/ resistência gerada (R\$/MPa)
1:6	0	1,85	3,04	0,61
1:6	25	1,80	3,55	0,51
1:6	50	1,76	3,66	0,48
1:6	100	1,67	2,44	0,69
1:8	0	1,60	3,37	0,47

1:8	25	1,55	2,77	0,56
1:8	50	1,50	3,61	0,42
1:8	100	1,41	2,82	0,50

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 30 mostra a relação entre o teor de substituição e a relação custo/resistência. Nota-se que o teor 50% resultou como o mais econômico, sendo que a combinação mais econômica foi a relação/cimento agregado 1:8 com teor de substituição de 50%. Também pode-se perceber que a substituição por 100% de agregado reciclado resultou no maior custo relativo, superando inclusive o do concreto referência para cada respectiva relação cimento/agregado.

Figura 30 – Comparação entre as relações custo/resistência



(fonte: foto do autor)

7.2 INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO GRAÚDO E MIÚDO COMO SUBSTITUIÇÃO

Foi incorporado agregado miúdo e graúdo reciclado nas proporções de 100% para os traços de 1:6 e 1:8 de relação cimento/agregados. Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão estão relacionados na tabela 25. Foi utilizada a mesma metodologia de análise do item 7.1.

Com estes resultados, foram realizadas as análises estatísticas através da ANOVA (análise de variância). Assim foi identificado a existência ou não de significância nas variáveis, bem como entre suas interações, conforme mostra a tabela 26.

Tabela 25 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Relação aglomerante/agregado	Percentagem de substituição de agregado miúdo e graúdo(%)	Posição na prensa	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
1:6	0	1	28	2,25
1:6	0	2	28	3,16
1:6	0	3	28	3,71
1:8	0	1	28	3,40
1:8	0	2	28	3,52
1:8	0	3	28	3,19
1:6	100	1	28	2,79
1:6	100	2	28	2,30
1:6	100	3	28	2,28
1:8	100	1	28	1,60
1:8	100	2	28	2,11

1:8	100	3	28	2,11
-----	-----	---	----	------

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 26 – Análise de variância de resistência à compressão

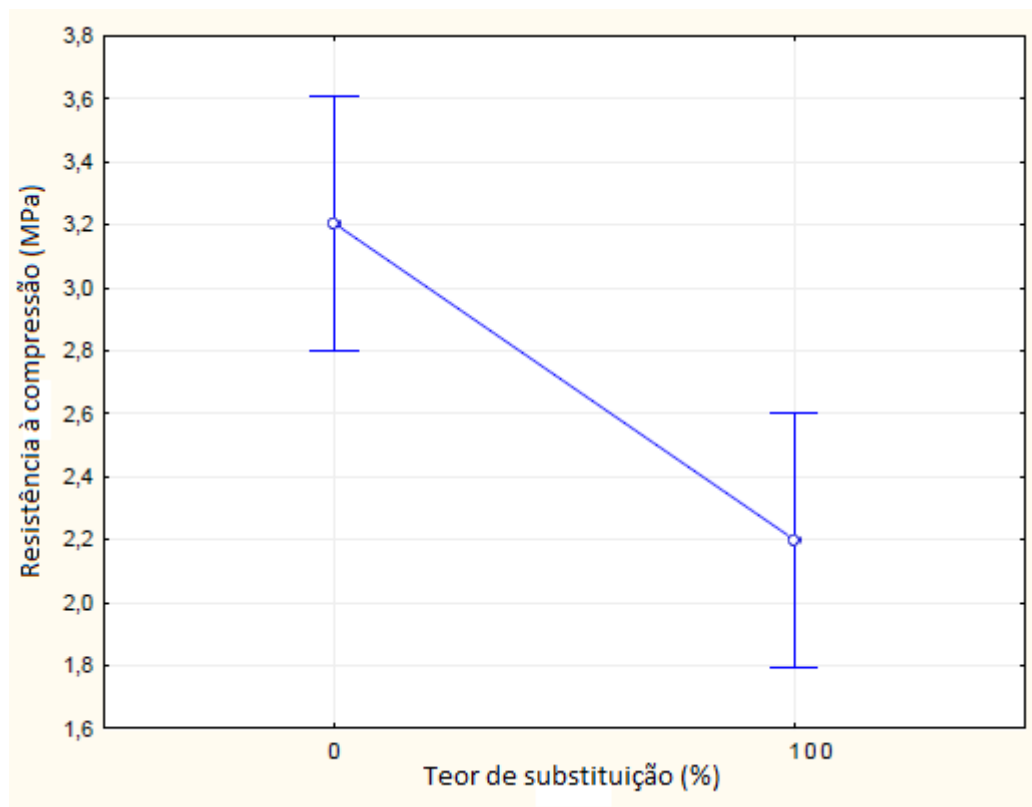
	Interação	GDL	MQ	F(cal)	p	Efeito
1	Relação cimento/agregados	1	0,02613	0,1409	0,717115	NÃO SIGNIFICATIVO
2	Teor de substituição	1	3,04013	16,3948	0,003689	SIGNIFICATIVO
3	Interação (1) – (2)	1	0,53763	2,8993	0,127024	NÃO SIGNIFICATIVO

GDL = grau de liberdade, MQ = média quadrática, F(cal) = calor calculado de F.
 Se valor de $p < 0,05$: efeito significativo (para um nível de significância de 95%)

(fonte: elaborado pelo autor)

Em função dos resultados da análise de variância, observa-se a significância do teor de substituição de 0 para 100%. Ainda que os blocos 100% reciclados apresentem uma redução de aproximadamente 30% na resistência à compressão quando comparados ao concreto referência, a maioria deles obteve resistências individuais superiores às preconizadas em norma, ou seja, superiores a 2 MPa. A figura 31 mostra o efeito isolado do teor de substituição.

Figura 31 – Efeito isolado do teor de substituição



(fonte: foto do autor)

Levando-se em conta as mesmas considerações quanto à metodologia do levantamento de preços e as hipóteses consideradas no item 7.1, calcularam-se os custos relativos para os blocos de concreto com substituição total de agregado graúdo e miúdo. A tabela 27 mostra a comparação entre custos. A figura 32 ilustra estes resultados.

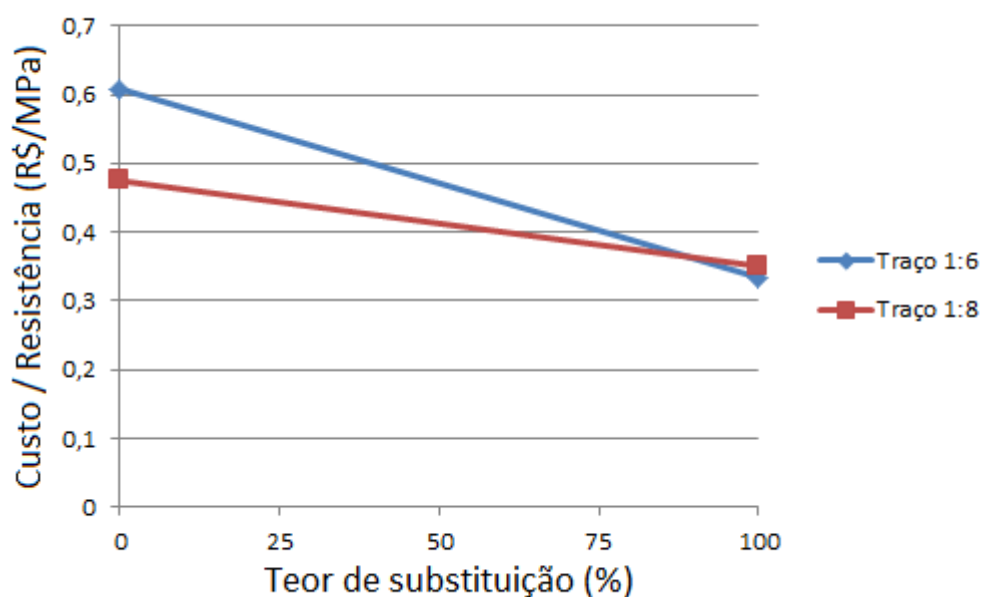
Tabela 27 – Custo de cada unidade produzida, resistência média e relação custo/resistência

Relação cimento/agregado	Teor de substituição (%)	Custo (R\$)	Resistência média (MPa)	Relação custo/resistência gerada (R\$/MPa)
1:6	0	1,85	3,04	0,61

1:6	100	0,82	2,46	0,33
1:8	0	1,60	3,37	0,47
1:8	100	0,68	1,94	0,35

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 32 – Comparação entre as relações custo/resistência



(fonte: foto do autor)

Dos resultados obtidos, percebe-se que para o traço 1:6 com 100% de substituição, ao se comparar o custo relativo, chega a ser aproximadamente 50% mais econômico que o bloco de concreto referência de mesma relação cimento/agregados. Já para o traço 1:8, o traço com teor de substituição de 100% obtém uma resistência média de 1,94 MPa, portanto inferior aos 2 MPa exigidos por norma, logo sua comparação de custo tem apenas caráter ilustrativo, visto que não poderia ser comercializado.

8 CONCLUSÕES

Conclui-se que, para as condições apresentadas neste trabalho, foi viável a utilização de agregados reciclados em blocos de concreto para vedação seja como substituição de agregado miúdo, seja como substituição total de agregado graúdo e miúdo. Abordando primeiramente os resultados obtidos para a substituição de agregado miúdo, todos valores individuais de resistência à compressão foram superiores à 2 MPa, sendo as maiores resistências atingidas ao se substituir 50% de agregado miúdo, especialmente para a relação cimento/agregados de 1:8, na qual se obteve a maior resistência entre todos os blocos. Verificou-se também como a combinação de diversos parâmetros acabam influenciando a resistência do bloco, tais como o teor de umidade, a relação cimento/agregados, a composição granulométrica e o tipo de materiais empregados. Neste ponto, observou-se que uma relação cimento/agregado mais rica não implica necessariamente uma maior resistência.

Já ao se analisar a substituição total de agregado graúdo e miúdo, conclui-se ser viável tecnicamente apenas a relação cimento/agregados de 1:6, ainda que ela tenha apresentado uma redução de resistência mecânica de aproximadamente 20%. Mesmo assim, o traço 1:8 com teor de substituição de 100% teve uma média de resistência de 1,94 MPa, que se aproxima muito dos 2,0 MPa exigidos. É muito provável que se este traço tivesse sido moldado em uma máquina com capacidade de compactação maior, atingiria o mínimo de resistência à compressão exigido.

Quanto à comparação de custos, obteve-se o melhor resultado para o bloco com substituição total de agregado graúdo e miúdo. Entre os blocos com substituição de apenas agregado miúdo, obteve-se o melhor resultado para o bloco com traço 1:8 e 50% de teor de substituição.

Verificou-se também que os teores de substituição de 25 e 50% no traço 1:6 foram mais econômicos que o referencial de mesmo traço, não se verificando o mesmo para o bloco com 100% de substituição de agregado miúdo, que foi mais caro quando comparado ao referencial. Já para a relação 1:8 de cimento/agregados, observou-se que apenas o teor de substituição de 50% foi mais econômico que o bloco somente com agregados naturais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo para o uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria.** 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** 2007. 499 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 307**, de 5 julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 14 out. 2012.
- HOOD, R. da S.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.** 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** 2005. 178 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de construção e demolição.** 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação.** 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PRADO, D. M. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto.** 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

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

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