

**PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA
PRODUÇÃO E NORMALIZAÇÃO DE RESÍDUO
DE CONSTRUÇÃO REICLADO E DE SUAS
APLICAÇÕES EM ARGAMASSAS E
CONCRETOS**

José Antonio Ribeiro de Lima

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Tecnologia do Ambiente Construído

ORIENTADOR: Prof. Dr. Laércio Ferreira e Silva

São Carlos
1999

A Deus, Vida ou como quer que O chamem

A minha família e a Luciana

A Sissa, grande criança

Ao professor Laércio Ferreira e Silva, pela orientação e apoio fornecidos durante a elaboração deste trabalho e nos encaminhamentos de sua continuidade.

Ao arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, pelo apoio e amizade em todos estes anos de trabalho.

A todos os colegas e profissionais que colaboraram com este trabalho.

O apoio da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvi
RESUMO	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Perdas de materiais na construção civil	1
1.2. Conseqüências da geração de resíduos de construção para as cidades brasileiras	8
1.3. Reciclagem de resíduos de construção no Brasil. Situação atual	11
1.4. Possibilidades de aplicação do resíduo de construção reciclado	13
1.5. Carências de informações relativas aos resíduos de construção reciclados e suas aplicações	14
1.6. Tema da pesquisa	15
1.7. Objetivos	15
2. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
2.1. Diretrizes de trabalho e aplicações do reciclado a serem consideradas	16
2.2. Considerações gerais sobre a estruturação do trabalho	17
2.3. Pressuposto de trabalho	19
2.4. Hipóteses e questões básicas de trabalho	19
2.5. Método de trabalho e materiais utilizados	21
2.6. Encaminhamento da coleta de informações	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1. Considerações gerais	23
3.2. Breve histórico da reciclagem de resíduos de construção	23
3.3. Reciclagem de resíduos de construção em outros países	24
3.3.1. Considerações gerais	24
3.3.2. Alemanha	26
3.3.3. Bélgica	26
3.3.4. Dinamarca	27
3.3.5. Estados unidos	27
3.3.6. Holanda	27

3.3.7. Japão	27
3.3.8. Rússia	27
3.3.9. Outros países	29
3.4. Centrais de reciclagem de resíduos de construção	29
3.4.1. Equipamentos de britagem	30
3.4.2. Propriedades dos agregados reciclados afetadas pelo perfil da central de reciclagem	31
3.4.3. Controle de impactos ambientais de centrais de reciclagem	33
3.5. Propriedades de agregados reciclados	35
3.5.1. Considerações gerais	35
3.5.2. Características do reciclado e de suas aplicações	35
3.5.3. Composição dos resíduos de construção	36
3.5.4. Absorção de água	40
3.5.5. Teor de argamassa aderida	45
3.5.6. Granulometria e conteúdo de finos	47
3.5.7. Massa específica e unitária	50
3.5.8. Contaminantes	53
3.5.9. Outras propriedades	55
3.6. Propriedades de concretos com agregados reciclados	57
3.6.1. Considerações gerais	57
3.6.2. Resistência à compressão	58
3.6.3. Retração por secagem	70
3.6.4. Módulo de elasticidade	70
3.6.5. Absorção de água, permeabilidade e carbonatação	71
3.6.6. Massa específica	74
3.6.7. Trabalhabilidade e consumo de cimento	75
3.6.8. Aplicação da parcela miúda do reciclado de concreto na produção de novos concretos	76
3.6.9. Conseqüências da absorção de água do reciclado para o controle tecnológico do concreto	78
3.6.10. Outras propriedades	82
3.7. Propriedades de argamassas com agregados reciclados	84
3.7.1. Considerações gerais	84
3.7.2. Resistência mecânica e módulo de elasticidade	85
3.7.3. Retenção de água, retração por secagem e absorção de água	91

3.7.4. Outras propriedades de argamassas com reciclado	94
3.7.5. Forma e textura do reciclado usado em argamassas	96
3.7.6. Atividade pozolânica de agregados reciclados	97
3.7.7. Usos atuais e indicados para argamassas com reciclado	99
3.7.8. Traços identificados para argamassas com reciclado	100
3.7.9. Influência da aplicação do reciclado nos custos de argamassas	101
3.7.10. Preparação de argamassas com reciclado	103
3.8. Pesquisa de textos normativos de agregado reciclado e outros materiais	104
3.8.1. Considerações gerais	104
3.8.2. Análise de textos relativos à obtenção e uso de agregado reciclado	104
3.8.3. Pesquisa em manuais de serviços de construção civil	121
3.8.4. Análise de normas técnicas da ABNT	122
3.9. Reciclagem de resíduos de construção. Terminologia	127
4. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS A AGREGADO RECICLADO	129
4.1. Informações gerais	129
4.2. Considerações sobre propriedades do agregado reciclado e suas conseqüências para as aplicações em argamassas e concretos	129
4.2.1. Granulometria	129
4.2.2. Composição	130
4.2.3. Absorção de água	130
4.2.4. Permeabilidade, carbonatação e corrosão de armaduras	131
4.2.5. Teor de contaminantes	131
4.2.6. Resistência à compressão	131
4.2.7. Módulo de elasticidade	132
4.2.8. Retração por secagem	132
4.2.9. Fluência	132
4.2.10. Massa específica	133
4.2.11. Abrasão Los Angeles	133
4.2.12. Resistência ao congelamento	133
4.2.13. Teor de partículas susceptíveis a reações álcali-agregado	133
4.2.14. Forma e textura	134

4.3. Considerações gerais sobre os usos possíveis para o agregado reciclado	135
4.3.1. Concreto estrutural armado	135
4.3.2. Concreto de baixo consumo, não armado	135
4.3.3. Argamassa de assentamento	136
4.3.4. Argamassa de revestimento	136
4.3.5. Fabricação de pré-moldados de concreto	136
4.3.6. Rip-rap	137
4.3.7. Pavimentação	137
4.3.8. Camadas drenantes	137
4.3.9. Cobertura de aterros	137
4.3.10. Gabião	137
4.4. Identificação dos tipos de resíduos de construção no Brasil	138
4.5. Proposição de classificação dos resíduos de construção	145
4.6. Considerações sobre operação de Centrais de Reciclagem e a produção de agregados reciclados adequados ao uso em argamassas e concretos	156
5. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS À APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM CONCRETOS	158
5.1. Informações gerais	158
5.2. Aplicação de agregado reciclado em concretos	158
5.3. Aplicação do agregado reciclado em concreto estrutural	159
5.4. Uso da parcela miúda do agregado reciclado em concretos	162
5.5. Controle tecnológico de concreto preparado com agregado reciclado	163
5.6. Proposição de especificação de agregado reciclado para uso em concreto	165
5.6.1. Proposição de texto básico para especificação de agregado reciclado de resíduos de construção para uso em concreto	165
5.6.3. Comentários sobre a proposta de especificação de reciclado para uso em concreto	175
6. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS À APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS	187
6.1. Informações gerais	187
6.2. Considerações sobre a aplicação do reciclado em argamassas	187
6.3. Usos possíveis para argamassas com agregado reciclado	189
6.4. Uso conjugado de agregado reciclado e areia convencional	190

7. CONCLUSÕES	192
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	194
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
9.1. Referências bibliográficas	195
9.2. Obras consultadas	200
ANEXO A – Relação de normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas analisadas para identificação da estrutura de normas técnicas com diversas finalidades	205
ANEXO B – Obtenção de resíduos de construção visando sua reciclagem. Texto para construtores e demolidores	207
ANEXO C- Texto para usuário de agregado reciclado (Proposta de conteúdo)	214
ANEXO D – Relatório de visita técnica a Belo Horizonte – unidades de reciclagem de resíduos de construção e aplicações do agregado reciclado	223

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação esquemática do encaminhamento do trabalho	20
FIGURA 2 - Curvas granulométricas de agregado reciclado britado em britador de impacto regulado conforme Tabela 29	48
FIGURA 3 - Curvas granulometrias de reciclados da central de processamento de Ribeirão Preto/SP (ZORDAN, 1997)	49
FIGURA 4 - Resultados de ensaios de resistência à compressão de argamassas com reciclado - MPa / 28 dias (HAMASSAKI et al., 1997)	87
FIGURA 5 - Retenção de água de argamassas com reciclado (HAMASSAKI et al., 1997)	91
FIGURA 6 - Resultados de ensaios de retração por secagem de argamassas com reciclados - 84 dias (HAMASSAKI et al., 1997)	93
FIGURA 7 - Representação de corpo de prova utilizado em ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento PINTO (1989b)	94
FIGURA 8 – Central de reciclagem Estoril (Oeste)	234
FIGURA 9 – Descarga do resíduo, umidificação e abertura da pilha para catação manual	234
FIGURA 10 – Rejeitos da catação manual	234
FIGURA 11 – Resíduo Classe A	235
FIGURA 12 - Resíduo Classe B	235
FIGURA 13 - Resíduo Classe B com forte presença de terra	235
FIGURA 14 - Resíduo B (com terra) reciclado	236
FIGURA 15 - Resíduo B (com terra) britado – note-se a presença de impurezas	236
FIGURA 16 – Resíduos de isoladores (da CEMIG) reciclados	236
FIGURA 17 – Núcleo de reciclagem	237
FIGURA 18 – Eletroímã (ao fundo) e metais ferrosos recolhidos	237
FIGURA 19 – Estação de reciclagem Pampulha – note-se o cuidado com o aspecto visual	238
FIGURA 20 – Catação manual de rejeitos (Pampulha)	238
FIGURA 21 – Rejeitos retirados do resíduo a ser reciclado (Pampulha)	238
FIGURA 22 – Fábrica de componentes de concreto com agregado reciclado (Pampulha)	239
FIGURA 23 – Parede da fábrica construída com blocos de concreto com reciclado	239
FIGURA 24 – Pátio de cura da fábrica em concreto com agregado reciclado	239
FIGURA 25 – Fabricação de meio-fio com reciclado (Pampulha)	240

FIGURA 26 – Meio-fio com agregado reciclado	240
FIGURA 27 – Meio-fio com reciclado aplicado em pavimentação (Pampulha)	240
FIGURA 28 – Pilha de blocos fabricados com agregado reciclado	241
FIGURA 29 – Pilha de briquetes fabricados com agregado reciclado	241
FIGURA 30 – Arquibancada executada com rip-rap e concreto (ambos com reciclado)	241
FIGURA 31 – Aquário executado em concreto com reciclado (Estoril)	242
FIGURA 32 – Pavimentação interna da Estação Pampulha (com sub-base em reciclado)	242
FIGURA 33 – Calçada executada com concreto com agregado reciclado (Rua Helianto)	242
FIGURA 34 – Rua com sub-base em reciclado (Rua Prof. Otaviano – executada em 1997)	243
FIGURA 35 – Rua com sub-base em reciclado (Rua Bogarin – executado em 1997)	243
FIGURA 36 – Rua com sub-base em reciclado (Rua Bogarin – executado em 1997)	243
FIGURA 37 – Pavimento com sub-base em reciclado (Av. Brigadeiro Eduardo Gomes)	244
FIGURA 38 – Corte em pavimento com sub-base em reciclado	244
FIGURA 39 – Aterro em que o reciclado é utilizado	245
FIGURA 40 – Via interna no aterro coberta com agregado reciclado	245
FIGURA 41 – Via interna no aterro coberta com agregado reciclado	245
FIGURA 42 – Estação de recepção Saramenha	246
FIGURA 43 – Usuário da Estação Saramenha descarregando os resíduos	246
FIGURA 44 – Caçamba com resíduo na Estação Saramenha	246

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Índices de perdas verificados na construção de um edifício (PINTO, 1989a)	2
TABELA 2 - Resultados de pesquisa de desperdício de materiais em três construções residenciais (PICCHI, 1993)	3
TABELA 3 - Informações sobre as obras estudadas para levantamento de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)	3
TABELA 4 - Resultados de pesquisa de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)	3
TABELA 5 - Comparação de resultados de pesquisas de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)	4
TABELA 6 - Estimativa de custo das perdas dos materiais avaliados, considerando os demais custos constantes (FRANCHI et al., 1993)	5
TABELA 7 - Perdas de materiais básicos detectadas na pesquisa e em outras fontes (SOUZA et al., 1998)	6
TABELA 8 - Perdas de materiais detectadas na pesquisa (SOUZA et al., 1998)	6
TABELA 9 - Perdas de cimento em alguns serviços, detectadas na pesquisa (SOUZA et al., 1998)	7
TABELA 10 - Perdas de materiais detectadas em outras fontes (SOUZA et al., 1998)	7
TABELA 11 - Participação dos resíduos de construção no total dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997a)	9
TABELA 12 - Composição típica dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997a)	9
TABELA 13 - Geração de resíduos de construção em alguns municípios brasileiros (t/hab.ano)	9
TABELA 14 - Custos de gerenciamento de resíduos de construção em alguns municípios	10
TABELA 15 - Recicladoras de resíduos, em 1992 (Ass. Européia de Demolição, apud DE PAUW & LAURITZEN, 1994)	26
TABELA 16 - Composição média dos resíduos de construção no município de São Carlos, em 1985 (PINTO, 1989)	37
TABELA 17 - Composição do reciclado produzido em Ribeirão Preto, em setembro e outubro de 1996 (ZORDAN, 1997)	38
TABELA 18 - Composição do agregado reciclado produzido na Central de Reciclagem de Ribeirão Preto (LATTERZA, 1997)	38
TABELA 19 - Composição de resíduos de construção de quatro edifícios em Guaratinguetá/SP, atualmente em fase de acabamento (ASSIS & OLIVEIRA, 1998)	38

TABELA 20 - Caracterização dos resíduos no aterro de inertes de Itatinga, de julho a setembro de 1996 (CASTRO, 1997)	40
TABELA 21 - Absorção de água em agregados convencionais e reciclados de concreto, (HANSEN & NARUD apud HANSEN, 1992)	41
TABELA 22 - Resultados de ensaios de absorção de água em agregados reciclados de concreto, (HASABA apud HANSEN, 1992)	41
TABELA 23 - Taxas de absorção de agregados reciclados com composições diferentes (ANDRADE et al., 1998)	42
TABELA 24 - Absorção de água de reciclado miúdo de diferentes composições (HAMASSAKI, 1997)	42
TABELA 25 - Absorção de água de agregados reciclados de diferentes composições (I&T, 1995)	43
TABELA 26 - Teor de argamassa aderida em agregados reciclados de concreto (HANSEN & NARUD apud HANSEN, 1992)	45
TABELA 27 - Teor de pasta de cimento hidratada aderida em agregados reciclados de concreto (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)	46
TABELA 28 - Argamassa aderida em agregado reciclado de concreto, na parcela 5-25 mm (HASABA apud HANSEN, 1992)	46
TABELA 29 - Teor de argamassa aderida a grãos de rocha, em reciclado de concreto graúdos(BARRA, 1996)	46
TABELA 30 - Informações sobre condições do britador de impacto de Belo Horizonte/MG, em pesquisa de melhor regulagem do equipamento para produção de reciclado	47
TABELA 31 - Granulometria dos resíduos de construção amostrados na cidade de São Paulo (CASTRO, 1996)	49
TABELA 32 - Massa específica de agregados (B.S.C.J., apud HANSEN, 1992)	51
TABELA 33 - Massa específica de agregados (HANSEN e NARUD, apud HANSEN, 1992)	51
TABELA 34 - Massa específica de agregados (B.S.C.J., apud HANSEN, 1992)	52
TABELA 35 - Massa unitária (kg/dm ³) de reciclado de alvenaria produzidos em Ribeirão Preto (ZORDAN,1997)	52
TABELA 36 - Massa específica (kg/m ³) de reciclado de concreto (BARRA, 1997)	52
TABELA 37 - Massa unitária (kg/dm ³) de reciclado de alvenaria produzidos em Ribeirão Preto (LATTERZA, 1997)	53
TABELA 38 - Limites da ACI para conteúdo de cloreto no concreto (HANSEN, 1992)	54
TABELA 39 - Perda de massa em ensaio de Abrasão Los Angeles (ANDRADE et al. 1998)	56
TABELA 40 - Perda de massa em ensaio de Abrasão Los Angeles (CAVALCANTE, apud ANDRADE et al. 1998)	56

TABELA 41 - Resultados de ensaios de Abrasão Los Angeles (%) de agregados graúdos (BARRA, 1996)	56
TABELA 42 - Resistência à compressão de concretos convencionais e com reciclado, aos 28 dias, em MPa. Valores aproximados (I&T, 1991)	59
TABELA 43 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias. Análise comparativa (%) - Resistências médias e máximas (ZORDAN, 1997)	60
TABELA 44 - Resistência à compressão do concreto (FONSECA et al., 1998)	60
TABELA 45 - Resistência à compressão do concreto (LATTERZA, 1997)	61
TABELA 46 - Resistência à compressão do concreto utilizado na segunda série de ensaios, aos 7 dias, em MPa (LATTERZA, 1997)	62
TABELA 47 - Agregados reciclados utilizados nos ensaios de concreto (ANDRADE et al., 1998)	62
TABELA 48 - Relação água/cimento para os concretos com reciclado de diferentes traços (ANDRADE et al., 1998)	62
TABELA 49 - Características de concretos ensaiados por BARRA (1996)	64
TABELA 50 - Propriedades dos concretos (BARRA (1996)	65
TABELA 51 - Propriedades dos concretos ensaiados por BARRA (1996)	66
TABELA 52 - Análise de consumo de cimento para uma dada resistência (BARRA, 1996)	67
TABELA 53 - Análise da resistência para um determinado consumo (BARRA, 1996)	67
TABELA 54 - Propriedades dos concretos ensaiados por BARRA (1996)	72
TABELA 55 - Valores dos coeficientes de permeabilidade kT obtidos ($10^{-16} m^2$) (ZORDAN, 1997)	73
TABELA 56 - Classificação da qualidade da superfície do concreto, (ZORDAN, 1997)	73
TABELA 57 - Massa específica de concretos (BARRA, 1996)	75
TABELA 58 - Tempo para saturação de agregado reciclado de concreto (MORLION et al., apud HANSEN, 1992)	81
TABELA 59 - Desgaste por abrasão de corpos de prova de concreto e comparação com abrasão característica de outros materiais - mm (I&T, 1991)	82
TABELA 60 - Desgaste observado no ensaio de resistência à abrasão Traço 1:5 -cim.:agregado (brita corrida) (ZORDAN, 1997)	83
TABELA 61 - Resistência à compressão (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	85
TABELA 62 - Resistência à compressão (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	86
TABELA 63 - Argamassas ensaiadas por HAMASSAKI et al. (1997)	86

TABELA 64 – Composição média dos resíduos utilizados por PINTO (1989b) – (% em massa)	87
TABELA 65 – Resistência à compressão de argamassas, aos 28 dias (MPa) (PINTO, 1989b)	87
TABELA 66 – Características de agregados utilizados em pesquisa do uso de resíduo de construção em argamassas (LEVY, 1997 ^a)	88
TABELA 67 – Traços em volume das misturas de LEVY (1997 ^a)	88
TABELA 68 – Consumo de cimento das argamassas de LEVY (1997 ^a)	89
TABELA 69 – Resistência à compr. (MPa) de argamassas (LEVY, 1997 ^a)	89
TABELA 70 – Resistência à tração (MPa) de argamassas (LEVY, 1997 ^a)	89
TABELA 71 – Módulo de elasticidade (aos 28 dias) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	90
TABELA 72 – Módulo de elasticidade (Gpa) de argamassas com reciclado (LEVY, 1997 ^a)	90
TABELA 73 – Retenção de água de argamassas (ANVI, s.d.)	92
TABELA 74 – Retenção de água de argamassas c/ reciclado (LEVY, 1997 ^a)	92
TABELA 75 – Absorção de água de argamassas aos 30 dias (% em massa) (PINTO, 1989b)	93
TABELA 76 – Resistência de aderência ao cisalhamento (kgf/cm ²) (PINTO, 1989b)	94
TABELA 77 – Resistência ao arrancamento (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	95
TABELA 78 – Permeabilidade de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	95
TABELA 79 – Permeabilidade de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)	95
TABELA 80 – Massa unitária de argamassas no estado fresco (LEVY, 1997 ^a)	96
TABELA 81 – Esfericidade e arredondamento de agregados utilizados para ensaios de argamassa (HAMASSAKI et al., 1997)	97
TABELA 82 – Resultados de ensaios de pozolanicidade (mg CaO/g) de agregados reciclados (HAMASSAKI et al., 1997)	98
TABELA 83 – Resultados de ensaios de pozolanicidade (mg CaO/g) e de outras propriedades de agregados reciclados (LEVY, 1997 ^a)	98
TABELA 84 – Traços utilizados na preparação de argamassas para diversos serviços de construção (ANVI, 1992)	100
TABELA 85 – Condições de aplicação do reciclado em argamassas (proporção em volume / cimento:cal:agregado) (I&T, 1995)	101
TABELA 86 – Comparativo de custos de argamassas (ANVI, 1992)	102
TABELA 87 – Espessuras de juntas e camadas de argamassas (I&T, 1995)	103
TABELA 88 - Exigência para reciclado graúdo p/ concreto (RILEM, 1994)	105

TABELA 89 - Fatores de avaliação das propriedades do concreto com reciclado (RILEM, 1994)	106
TABELA 90 - Requerimentos de qualidade para agregados reciclados (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)	108
TABELA 91 - Teores de impurezas admissíveis em agregados reciclados (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)	108
TABELA 92 - Tipos de concretos com reciclado e valores máximos de resistência à compressão (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)	108
TABELA 93 - Usos indicados para concretos com reciclado (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)	108
TABELA 94 - Relação entre parâmetros de concreto com reciclado e concreto convencional (CUR, 1986)	110
TABELA 95 - Granulometria requerida para agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)	111
TABELA 96 - Teores máximos admissíveis de cloretos solúveis em água, de agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)	112
TABELA 97 - Granulometria requerida para agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)	112
TABELA 98 - Teor máximo de cloretos de agregado reciclado de alvenaria (% em massa) (CUR apud HANSEN, 1992)	113
TABELA 99 - Condições para aplicação do reciclado em concreto para fabricação de pré-moldados (I&T, 1995c)	120
TABELA 100 - Tipos de reciclados produzidos em Ribeirão Preto/SP e Belo Horizonte/MG (I&T, 1995c)	120
TABELA 101 - Condições p/ aplicação do reciclado em concreto (I&T, 1995c)	120
TABELA 102 - Adequação de agregados reciclados (a partir de resíduos das classes propostas) a alguns usos potenciais	152
TABELA 103 – Viabilidade do processamento das classes de resíduos propostas x realidade atual da reciclagem no Brasil	153
TABELA 104 - Diretrizes de trabalho x processamento de classes de resíduos propostas	154
TABELA 105 - Usos indicados na Dissertação x agregados reciclados produzidos a partir das classes de resíduos propostas	155
TABELA 106 - Exigências para agregados reciclados para uso em concretos sem função estrutural ou impermeabilizante	171
TABELA 107 - Comentários sobre a aplicação dos concretos com reciclado de diferentes tipos nos serviços indicados	172
TABELA 108 - Condições gerais para aplicação de reciclado em concreto para fabricação de pré-moldados (I&T, 1995c)	220

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACI - American Concrete Institute
- CEMIG - Companhia de Energia de Minas Gerais
- CUR - Commissie voor Uitvoering van Research
- DERMURP - Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Ribeirão Preto
- EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- I&T - Informações e Técnicas em Construção Civil
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- RILEM - Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions
- SLU-BH - Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte
- SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital
- SWANA - The Solid Waste Association of North America (1993).
- URBEL - Urbanização de Belo Horizonte

RESUMO

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

A reciclagem de resíduos de construção, prática que apresenta vantagens ambientais e econômicas, vem recebendo grande impulso no Brasil, com a implantação de recicladoras em municípios médios e grandes. Empresários também se interessam pelo assunto, analisando a possibilidade de realizar recuperação de resíduos de construção, individualmente ou em parcerias com prefeituras. Institutos de pesquisas e universidades estudam o reciclado e seus usos, gerando textos técnicos importantes. O trabalho desenvolvido levanta informações sobre o resíduo reciclado no Brasil e no exterior, principalmente sobre suas características físico-químicas, importantes para avaliação de desempenho nas aplicações. As informações permitiram análise da viabilidade da reciclagem no Brasil, no estágio atual e em situações mais avançadas, possíveis de serem alcançadas no país. Como resultados, apresentam-se diretrizes para a produção, normalização e uso do agregado reciclado, em concretos e argamassas, levando-se em consideração a necessidade de se evitar riscos aos usuários, possibilitando assim um avanço progressivo da reciclagem no país. Um dos principais produtos é uma proposta de especificação para reciclado para uso em concretos, que busca a utilização do material em diversos serviços, com qualidade. Outras considerações e diretrizes apresentadas tratam de questões que interferem na qualidade dos serviços com reciclado. Apresentam-se também propostas de textos informativos aos produtores e usuários do reciclado, tratando de diversas etapas do processo por que passa o material, desde a captação dos rejeitos até a sua utilização. Espera-se que os resultados obtidos e as questões apontadas no trabalho auxiliem na produção, normalização e uso do reciclado e na discussão sobre os rumos que a reciclagem deve tomar no país. Considera-se a elaboração deste e de outros trabalhos relativos à reciclagem (juntamente com pesquisas sobre redução de perdas nas obras) importante para a formação de um cenário de uso racionalizado de recursos, com benefícios ao meio ambiente e à economia do país.

Palavras-chave: resíduo de construção; reciclagem; argamassas e concretos.

ABSTRACT

LIMA, J. A. R. (1999). *Proposition of guidelines to the production and standardisation of recycled aggregate and its applications in mortar and concrete*. São Carlos, 246p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The C&D debris recycling is a practice that protect the environment, and is growing in Brazil, with the creation of Recycling Plants in important cities of the country. Entrepreneurs are interested in the recycling, too, studying partnership with municipal managers to recycle C&D debris. Research institutes and universities are studying the recycled aggregate, with the generation of important papers about recycled aggregate and its applications. In this work was collected and studied information about recycled aggregate and its uses, to evaluate the viability of the recycling in Brazil. The results include guidelines to the production, standardisation and use of the material, mainly in concrete and mortar, aiming the safety and the quality. It is proposed a specification to the recycled aggregate to use in concrete and presented informative texts to the producers and users of the recycled aggregate, with information about production and use of the material. The author thinks that the results and the questions presented in the work would help in the advance of the C&D recycling in Brazil, and that this and other works will help in the reduction of material waste in the country.

Keywords: C&D waste recycling; recycling, mortar and concrete.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Perdas de materiais na construção civil

O setor da construção apresenta índices de desperdício significativos. FRANCHI et al. (1993) afirmam que o desenvolvimento tecnológico do setor é caracterizado pela utilização de processos tradicionais, e que a estrutura característica das empresas (pequenas e sem recursos para investimentos isolados em tecnologia e racionalização) dificulta mudanças nos procedimentos de construção utilizados. Ocorrem, em muitos casos, danificações de serviços já prontos na execução de serviços subsequentes. Estas interferências levam à baixa produtividade e a perdas de materiais (VARGAS¹ apud FRANCHI et al., 1993).

Como conseqüências pode-se citar a grande geração de resíduos, que ocasiona custos devidos a: remoção e transporte dos rejeitos; compras de materiais para compensar a perdas; consumo excedente de horas-homem etc.

Os desperdícios de materiais podem ser caracterizados pelos resíduos retirados das obras e pelos materiais a elas incorporados por defeitos de execução ou na correção de serviços (argamassas com espessura superior à necessária etc.) (PINTO, 1989a; FRANCHI et al., 1993, SOUZA et al., 1998).

PINTO (1989a) realizou pesquisa de desperdício de materiais em uma obra de aproximadamente 3.650 m², tendo chegado à conclusão de que 20 % (em massa) do material empregado foi desperdiçado. Segundo o autor, dos 20 % desperdiçados, aproximadamente a metade sai da obra na forma de entulho e a outra metade fica incorporada à construção. Para chegar às conclusões o pesquisador comparou a massa estimada da obra com a massa dos materiais adquiridos para a sua construção. Segundo o autor, este desperdício de materiais leva a aumento de custo da edificação de aproximadamente 6 %.

Os resultados da pesquisa são transcritos na Tabela 1, que apresenta os índices de desperdício utilizados nos cálculos de quantidades de materiais a serem comprados ("Usual") e os índices de desperdício verificados ("Real"). Os números da referem-se ao total desperdiçado (entulho e material incorporado à obra).

Pode-se observar que os índices de perdas apresentados são significativamente maiores que os esperados, exceto para concreto usinado, azulejos e cerâmica de piso. Este comportamento com relação a estes materiais pode ser devido às suas naturezas: em geral são materiais relativamente caros e

¹ VARGAS, N. (1981). Construção habitacional: um "artesanato de luxo". *Revista Brasileira de Tecnologia*, Brasília, n.º 12, jan/mar, p.27-32.

utilizados em serviços específicos (dois deles são aplicados em acabamentos). Os demais apresentam custos unitários relativamente baixos e são utilizados em diversos serviços, inclusive em reparos de falhas em paredes e de concretagem. Estas podem ser algumas razões para as discrepâncias verificadas.

PICCHI (1993) pesquisou as perdas em três construções residenciais no período de 1986 e 1987, quantificando os resíduos retirados das obras. Não foram levantados os desperdícios de materiais incorporados à construções. Os resultados de PICCHI (1993) para as perdas globais de materiais (Tabela 2) são da mesma ordem de grandeza dos de PINTO (1989a), embora um deles possa ser considerado significativamente superior (17 %).

FRANCHI et al. (1993) realizaram pesquisa do índice de perdas em setor específico da construção civil: o de empresas construtoras de pequeno porte. Analisaram informações de cinco empreendimentos em período aproximado de cinco meses, calculando-se o índice de perdas através da análise de medições dos serviços, dos consumos teóricos previstos e dos quantitativos de materiais adquiridos durante a execução. Estudaram-se edifícios construídos com estrutura convencional de concreto armado (ver Tabela 3).

Foi calculado o desperdício total dos materiais, estando inclusos nos resultados a parcela que sai da obra como entulho e a parcela que fica incorporada à obra (Tabela 4). Segundo os autores, os insumos estudados representam aproximadamente 20 % dos custos das obras.

TABELA 1 - Índices de perdas verificados na construção de um edifício (PINTO, 1989a)

Material	Desperdício (% em massa)	
	Real	Usual
Aço	26,19	20,00
Areia	39,02	15,00
Argamassa colante	86,68	10,00
Azulejos	9,55	10,00
Cal Hidratada	101,94	15,00
Cerâmica de piso	7,32	10,00
Cimento	33,11	15,00
Concreto usinado	1,34	5,00
Componentes de vedação	12,73	5,00
Madeiras em geral	47,75	15,00

TABELA 2 - Resultados de pesquisa de desperdício de materiais em três construções residenciais (PICCHI, 1993)

Obra	Área construída (m ²)	Duração da obra (meses)	Volume de entulho (m ³)	Massa do entulho (ton/m ²)	Perdas (% em massa)
A	7.619	17	605,50	0,095	11,20
B	7.982	15	707,70	0,107	12,60
C	13.581	16	1.645,00	0,145	17,10

1 – massa específica do entulho (adotada) = 1,2 t/m³
 2 – massa final do edifício (adotada) = 0,85 t/m³.
 3 – Perdas = massa de entulho / massa projetada do edifício

TABELA 3 - Informações sobre as obras estudadas para levantamento de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)

Obra	A	B	C	D	E
Tipo	Resid.	Comerc.	Resid.	Resid.	Resid.
Número de pavimentos	11	10	5	12	8
Área dos pavimentos aprox.(m ²)	253	328	294	393	298
Área total construída (m ²)	2.997	6.474	1.216	5.148	2.715

TABELA 4 - Resultados de pesquisa de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)

Material	Índice de perdas (% em massa)					
	A	B	C	D	E	Média
Aço	18,80	27,30	23,01	7,91	18,31	19,07
Areia	27,09	29,73	21,05	109,81	42,19	45,76
Argamassa	103,05	87,50	40,38	152,10	73,24	91,25
Cimento	76,60	45,20	34,31	151,86	112,70	84,13
Concreto pré-misturado	10,80	11,77	17,44	0,80	25,16	13,19
Tijolos furados	39,80	8,20	35,96	26,50	-	27,64
Tijolos maciços	45,25	15,23	20,02	27,28	-	26,94

Pode-se observar que muitos dos índices variaram intensamente conforme a obra analisada, e segundo os autores isto se deveu a diferenças em procedimentos de estocagem e manuseio, ao gerenciamento e a outras condições particulares de cada construção. Os autores compararam as médias de perdas dos materiais com outros números encontrados na bibliografia (Tabela 5).

Nas pesquisas de FRANCHI et al. o desperdício de concreto usinado foi significativo (aproximadamente 13 %, em média), apesar de ser um material relativamente caro, aplicado em serviços específicos e teoricamente bem

controlados da obra. Este valor contrasta com o encontrado por PINTO (1989), confirmando a disparidade possível de ser encontrada em estudos de perdas de materiais em obras. FRANCHI et al. (1993) concluíram que os índices de perdas variam conforme o material analisado e que para um mesmo tipo de insumo o índice de perdas pode variar de obra para obra.

TABELA 5 - Comparação de resultados de pesquisas de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)

Material	Índice de perdas (% em massa)			
	FRANCHI	PINTO (1989)	SKOYLES ²	USUAL
Aço	19,07	26,19	3,60	20,00
Areia	45,76	39,02	12,00	15,00
Argamassa	91,25	101,94	12,00	15,00
Cimento	84,13	33,11	12,00	15,00
Concreto pré-misturado	13,19	1,34	5,00	5,00
Tijolos furados	27,64	12,73	13,00	10,00
Tijolos maciços	26,94	12,73	13,00	10,00

Os autores realizaram cálculos dos impactos das perdas nos custos finais das obras (Tabela 6). As perdas econômicas com os desperdício identificadas nesta pesquisa encontram-se próximas ao valor calculado por PINTO (1989): 6 %.

Os índices de perdas levantados por FRANCHI et al. (1993) são bem superiores aos da bibliografia internacional, segundo os autores, que apontam como causas das diferenças: a falta de modulação dos projetos; a falta de integração entre projetos; a má administração de materiais; a questão da mão de obra e da prática construtiva; as alterações de projeto que ocorrem durante a obra.

Vários profissionais do setor da construção travam debates acerca dos índices de desperdício nas obras brasileiras, e muitas vezes carecem de informações sistematizadas para respaldar seus pontos de vista (SOUZA et al., 1998). Para obter informações mais aprofundadas sobre a questão foi realizada pesquisa, coordenada pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP (PCC-USP) e com participação de 15 Universidades³. Foram realizados

² SKOYLES, E. R. (1976). Materials wastage. A misuse of resources. *Building Research and Practice*, Jul/ago, p.232-243.

³ Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS; Univ. Estadual do Maranhão – UEMA; Univ. Federal da Bahia – UFBA; Univ. Federal do Ceará – UFC; Univ. Federal do Espírito Santo – UFES; Univ. Federal de Minas Gerais – UFMG; Univ. Federal da Paraíba – UFPB; Univ. Federal do Piauí – UFPI; Univ. Federal do Rio Grande do Norte – UFRN; Univ. Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Univ. Federal de Santa Maria – UFSM; Univ. Federal de São Carlos – UFSCar; Univ. Federal de Sergipe – UFS; Univ. de Fortaleza – UNIFOR; Univ. de Pernambuco – UPE.

estudos em 69 canteiros espalhados por 12 estados brasileiros. Atualmente estão em estudos mais de cem obras, e os resultados da pesquisa serão divulgados periodicamente.

TABELA 6 - Estimativa de custo das perdas dos materiais avaliados, considerando os demais custos constantes (FRANCHI et al., 1993)

Material	Custo das perdas de materiais (%)					
	Custo teórico (%)	A	B	C	D	E
Aço	4,31	5,12	5,49	5,30	4,65	5,10
Areia	0,94	1,19	1,22	1,13	1,97	1,34
Argamassa	0,69	1,40	0,69	0,97	1,24	1,20
Cimento	5,24	9,25	7,61	7,04	13,19	11,15
Concreto pré-misturado	5,38	5,96	6,01	6,32	5,42	6,73
Tijolos furados	2,25	3,15	3,15	3,06	2,85	4,66
Tijolos maciços	0,27	0,39	0,31	0,32	0,34	0,52
Demais materiais + MDO	80,92	80,92	80,92	80,92	80,92	80,92
Total	100	107,38	105,40	105,06	110,58	111,62
Custo da perda	-	7,38	5,40	5,06	10,58	11,62

1 – custo teórico = custo que o insumo representa no custo total da obra.
MDO = mão de obra

SOUZA et al. (1998) afirmam que o desperdício pode ocorrer em diferentes fases de uma obra:

- **Na concepção:** quando o projetista não utiliza bem os procedimentos de cálculo e informações sobre materiais, o que leva à indicação de condições inadequadas para os serviços (traços com altos consumos, por exemplo);
- **Na execução:** compreendendo as várias etapas por que o material passa na obra: recepção, estocagem, transporte, manuseio e aplicação;
- **Na utilização:** quando são necessários serviços de manutenção antes do prazo previsto, por má qualidade do serviço original.

As perdas levantadas na pesquisa descrita referem-se às que ocorrem na execução. Calcularam-se os consumos ideais para os serviços, levantaram-se as quantidades de materiais realmente utilizados e obtiveram-se os índices de perdas através da diferença entre os dois primeiros números.

A perda considerada no trabalho é aquela que é possível de ser evitada. Os números finais referem-se às perdas que saem da obra como entulho somadas às

que ficam incorporadas à obra. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 7 a 10. Segundo os autores, a mediana é o número mais adequado para que se analisem os resultados referentes a cada material.

Pode-se observar que os valores variam consideravelmente, indicando diferenças no desempenho de cada obra ou imprecisões no indicador. Nota-se que em alguns casos as perdas foram muito pequenas, indicando a existência de empresas com procedimentos operacionais bastante eficientes e racionalizados.

Segundo os autores as perdas de cimento (Tabela 9) deveram-se em grande parte a aumentos de espessuras e a aumento do consumo do aglomerante nos traços. Afirmam que as perdas na forma de entulho não foram a maior parcela do total, embora tivessem sido significativas.

TABELA 7 - Perdas de materiais básicos detectadas na pesquisa e em outras fontes (SOUZA et al., 1998)

Material	n	Perdas (% em massa)					
		Média	Mediana	Mín.	Máx.	PINTO (1989)	SOILBELMAM (1993)
Areia	28	76	44	7	311	39	44
Cal	12	97	36	6	638	-	-
Cimento	44	95	56	6	638	33	83
Pedra	6	75	38	9	294	-	-
Saibro	4	182	174	134	247	-	-

n = número de casos estudados

TABELA 8 - Perdas de materiais detectadas na pesquisa (SOUZA et al., 1998)

Material	n	Perdas (% em massa)			
		Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Aço	12	10	11	4	16
Blocos e tijolos	37	17	13	3	48
Concreto usinado	35	9	9	2	23
Condutores	3	25	27	14	35
Eletrodutos	3	15	15	13	18
Gesso	3	45	30	-14	120
Placas cerâmicas	18	16	14	2	50
Tubos de PVC	7	20	15	8	56

n = número de casos estudados

TABELA 9 - Perdas de cimento em alguns serviços, detectadas na pesquisa (SOUZA et al., 1998)

Material	n	Perdas (% em massa)			
		Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Emboço interno	11	104	102	8	234
Emboço externo	8	67	53	-11	164
Contrapiso	7	79	42	8	288

n = número de casos estudados

TABELA 10 - Perdas de materiais detectadas em outras fontes (SOUZA et al., 1998)

Material	Perdas (% em massa)			
	TCPO 10 ⁴ (1996)	SKOYLES ⁵ (1976)	PINTO (1989)	SOILBELMAN (1993)
Aço	15	5	26	19
Blocos e tijolos	3 a 10	8,5	13	52
Concreto usinado	2	5	1	13
Condutores	2	-	-	-
Gesso	-	-	-	-
Eletrodutos	0	-	-	-
Placas cerâmicas	5 a 10	3	-	-
Tubos de PVC	1	3	-	-

Analisando-se as informações relativas a perdas de materiais no setor da construção civil, pode-se observar que:

- Os índices de perdas nas obras variam consideravelmente conforme o material analisado e de obra para obra;
- Os desperdícios de materiais que compõem argamassas são bastante significativos, em alguns casos bem maiores que os de outros materiais. As perdas de componentes de alvenaria e concreto usinado também são significativas, embora bem menores que as anteriores;
- Pelos resultados de duas pesquisas, com número total de 4 obras analisadas, a massa total do entulho retirado das obras varia de 10 a 17 % da massa do edifício;
- Os valores do impacto das perdas nos custos das obras, segundo duas pesquisas, em que se analisaram 6 obras, situam-se entre 5 % e 11 %.

⁴ TCPO 10 – Tabelas de Composições de Preço para Orçamento (1996). 1ª. edição, São Paulo, Editora Pini.

⁵ SKOYLES, E. R. (1976). Site accounting for waste of materials. *Building Research Establishment*, Jul/ago. Os números referem-se às perdas na forma de entulho, e não devem ser comparadas diretamente com as outras apresentadas (entulho + incorporado)

1.2. Conseqüências da geração de resíduos de construção para as cidades brasileiras

O setor da construção brasileiro apresenta uma significativa taxa de desperdício de materiais, gerando grandes quantidades de resíduos, em obras novas ou demolições. Segundo PINTO (1997a) estes resíduos representam em torno de 2/3 (em massa) do total dos resíduos coletados em cidades médias e de grande portes no país, conforme indicam informações da Tabela 11.

Em alguns municípios são geradas quantidades significativas de resíduos de construção. PINTO (1997) afirma que em uma situação típica 2/3 dos resíduos são recolhidos por empresas privadas e 1/3 pelas administrações municipais. (Tabelas 12 e 13). A destinação dos resíduos de construção causa problemas ambientais e econômicos. Segundo levantamentos realizados nos municípios de Belo Horizonte/MG, São José dos Campos/SP, Ribeirão Preto/SP, São José do Rio Preto/SP, Jundiaí/SP e Santo André/SP (I&T 1990, 1993, 1995a, 1995b, 1997a, 1997b), a remoção e o aterramento dos resíduos tornam-se cada vez mais caros, com o aumento dos preços cobrados pelos coletores, pressionados pelo escasseamento dos locais de deposição e pelo aumento das distâncias a percorrer. Pela repetição dos fatos nos municípios citados, o autor desta Dissertação acredita que estes eventos ocorram, em menor ou maior grau, na maior parte das cidades brasileiras, principalmente nas de médio e grande portes.

Parte dos resíduos gerados são depositados irregularmente na malha urbana, causando problemas ambientais (obstrução de vias e cursos d'água, surgimento de zoonoses etc.). As administrações municipais consomem recursos materiais, humanos e financeiros com a abertura de novos locais de deposição e limpeza das áreas degradadas (CAMPINAS, 1996; CORBIOLI, 1996; PINTO 1997a; I&T 1990, 1993, 1995a, 1995b, 1997a, 1997b). Na Tabela 14 estão apresentadas informações sobre custo de gerenciamento dos resíduos em alguns municípios.

A reciclagem dos resíduos de construção é uma das maneiras de lidar com estes materiais, na tentativa de diminuir impactos ambientais, custos de destinação e aumentar a vida útil de aterros (CAVALCANTE et al., 1997; BATTISTI, 1997; I&T 1990, 1991, 1993, 1995c; JOHN, 1997a; LEVY, 1997a; PINTO, 1989b, 1997 e outros).

TABELA 11 - Participação dos resíduos de construção no total dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997a)

Município ou local	Fonte	(%) em massa
Suíça	FOEFL-1988	45 %
Europa Ocidental	Desmyter-1994	67 %
São José dos Campos/SP	I&T-1995	68 %
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	67 %
Belo Horizonte/MG	SLU-1996 ¹	51 %
Brasília/DF	SLU-1996	66 %
Campinas/SP	SSP-1996	64 %
Jundiaí/SP	I&T-1997 ²	64 %
São José do Rio Preto/SP	I&T-1997 ²	60 %
Santo André/SP	I&T-1997 ²	62 %

¹ - considerando apenas resíduos em aterros públicos.

² - informação obtida na I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil (São Paulo/SP)

TABELA 12 - Composição típica dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997a)

Tipos de resíduos	% em massa
Resíduos de construção recolhidos por empresas	45
Resíduos de construção recolhidos pela administração pública	22
Resíduos domiciliares recolhidos pela adm. pública ou empreiteiras	33

TABELA 13 - Geração de resíduos de construção em alguns municípios brasileiros (t/hab.ano) ¹

Município	Fonte	(t/hab.ano)
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	0,09
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	0,52
São José dos Campos/SP	I&T-1995	0,43
Jundiaí/SP	I&T-1997 ¹	0,63
São José do Rio Preto/SP	I&T-1997 ¹	0,60
Santo André/SP	I&T-1997 ¹	0,55

¹ - informação obtida na I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil (São Paulo/SP)

Segundo JOHN (1997a) a reciclagem leva à dispersão de materiais, ao contrário da simples deposição, que causa sua concentração. Esta também é a opinião do arquiteto Tarcísio de Paula Pinto⁶, que considera que usando-se o

⁶ Consultor especializado em gerenciamento de resíduos sólidos e reciclagem de resíduos de construção.

resíduo em novos serviços de construção, procede-se como se estivesse “pulverizando” os aterros. Entretanto, segundo opinião do autor desta Dissertação, quando se concentra o resíduo em aterros há maior possibilidade de controle do impacto ambiental, pois o material se encontra em um mesmo local. Para que se espalhe o resíduo em várias obras, é necessário que haja segurança quanto à qualidade do agregado reciclado e das aplicações, para evitar riscos ao meio ambiente e à segurança dos usuários.

TABELA 14 - Custos de gerenciamento de resíduos de construção em alguns municípios ¹

Município	Fonte	Custo
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	US\$ 7,92 /t
São José dos Campos/SP	I&T-1995	US\$ 10,66 /t
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	R\$ 5,37 /t
São José do Rio Preto/SP	I&T-1997 ¹	R\$ 11,78/t

1 – informações obtidas na I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil (São Paulo/SP)

Através da reciclagem pode-se obter material adequado à utilização em diversos serviços de construção. Pode-se obter também economia de recursos financeiros, pois em geral fica mais barato reciclar os resíduos do que gerenciar seu aterramento e sua remoção de locais irregulares. Segundo informações obtidas na empresa I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil e na Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (SLU-BH), o custo do agregado reciclado, em “bica corrida”, pode ser menor que R\$ 4,00 /t, bem inferior aos valores apresentados na Tabela 14 para gerenciamento dos resíduos⁷.

Estes é um dos fatores que encorajam muitas administrações municipais a buscar a implantação da reciclagem de resíduos de construção atualmente. Em outros países a reciclagem já é praticada a mais tempo, estando mais avançada. PINTO (1997a) apresenta relação de municípios envolvidos com a reciclagem de resíduos de construção: Belo Horizonte/MG; Londrina/PR; Muriaé/RJ; Piracicaba/SP; Ribeirão Preto/SP; São José dos Campos/SP; São Paulo/SP. Em entrevistas com o pesquisador realizadas no primeiro semestre de 1.999 obteve-se relação de outros municípios que desenvolvem estudos para a implantação da reciclagem dos resíduos de construção: Brasília/DF; Campo Grande/MS; Cuiabá/MT; Jundiaí/SP; Ribeirão Pires/SP; Santo André/SP; Salvador/BA; São Bernardo do Campo/SP; São José do Rio Preto/SP.

⁷ Custo para central de reciclagem sem peneiração, com capacidade de produção de 25 a 40 t/h.

PINTO (1997a) apresenta objetivos de políticas públicas de limpeza urbana de cidades onde a reciclagem de resíduos de construção foi implantada. Algumas ações das políticas são:

- Redução das deposições ilegais, melhoria da qualidade ambiental e aumento da vida útil de aterros
- Captação racional, reciclagem de resíduos, geração de produtos a baixo custo e melhoria das aplicações do reciclado;
- Construção de aparato jurídico-normativo (leis, decretos e normas) para sustentação das novas práticas.

Os resíduos de construção causam impactos negativos significativos em municípios brasileiros, e a prática de sua reciclagem avança rapidamente no país como uma das alternativas para lidar com os problemas que causam.

1.3. Reciclagem de resíduos de construção no Brasil. Situação atual

A reciclagem de resíduos de construção em escala significativa é prática recente no Brasil, iniciada na década de 80 com o uso de pequenos moinhos em construção de edifícios, por meio dos quais se reaproveitava resíduos de alvenaria para a produção de argamassas para aplicação em emboço, principalmente (ANVI, 1995; HAMASSAKI et al., 1997; I&T, 1995c; KAZMIERCZAK, 1998; LEVY 1997a; PINTO 1989b, 1994; ZORDAN 1997 e outros)

Na década de 90 iniciou-se a implantação de Recicladoras, por administrações de municípios da região Sul e Sudeste e vários municípios estudam a implantação, também (ver item anterior). Alguns empresários mostram-se interessados no estabelecimento de parcerias com prefeituras, para reciclagem de resíduos de construção e comercialização de agregados reciclados.

Nos municípios em que a reciclagem já foi implantada são geradas quantidades significativas de agregado reciclado, aplicadas em serviços simplificados como cobertura primária de vias, sub-bases de pavimentos asfálticos, drenagem e controle de erosão. Parte do material é aplicado na produção de concreto, argamassa e na fabricação de componentes para alvenaria, pavimentação e infraestrutura urbana (blocos, briquetes, meios-fios etc.).

Segundo o autor desta Dissertação, do quadro atual da reciclagem de resíduos de construção e de aplicação do agregado produzido pode-se destacar:

- Os reciclados são gerados principalmente por administrações públicas, que necessitam processar grandes quantidades de resíduos, para aumento da vida útil de aterros e para a viabilização econômica das Recicladoras;
- Há dificuldade de classificação dos resíduos nas Centrais, que são simplificadas e necessitam processar quantidades consideráveis de resíduos (p. ex.: 200 t/dia). Há dificuldade de separação nas fontes geradoras, pois esta preocupação não está incorporada pelos construtores;
- A composição dos resíduos processados é heterogênea e o resíduo de construção reciclado apresenta teores significativos de material cerâmico;
- Os usos atuais nos municípios que reciclam são simplificados, consumindo grandes quantidades de materiais. A aplicação em argamassas e concretos é relativamente pequena devido, em parte, à falta de conhecimentos dos profissionais sobre as possibilidades do material;
- Muitos dos usos indicados para o reciclado ainda não foram objeto de pesquisa científica suficiente, principalmente quanto à durabilidade;
- Muitos profissionais têm dúvidas sobre as regras para o uso do reciclado, e preconceito contra o material, pela ausência de especificações precisas e pela falta de conhecimento sobre as possibilidades de aplicação;
- As especificações do reciclado devem ser melhoradas com o avanço das pesquisas sobre o material. Deve-se buscar maior conhecimento sobre algumas propriedades (retração, durabilidade, estabilidade física e química) e sobre os traços adequados para cada aplicação (reciclado/agregado convencional/aglomerantes/outros materiais) para otimização dos consumos e minimização dos custos, sem perda de qualidade;
- Em geral, os usuários particulares do reciclado utilizam traços empíricos, conservadores, em que o teor do reciclado é limitado para evitar problemas como retração por secagem, alta absorção e outros;
- Não existe, ainda, uma estrutura fiscalizadora da qualidade do agregado reciclado e de suas aplicações nos municípios em que é produzido.

Apesar das questões acima, a reciclagem tende a avançar, pois o resíduo de construção é gerado em grande quantidade e demanda grandes áreas para sua destinação, as quais estão cada vez mais escassas em várias cidades do país.

Além disso, a reciclagem de resíduos de construção pode gerar economia de recursos financeiros, o que é mais um fator de incentivo à sua implementação.

O meio acadêmico acompanha o avanço da reciclagem, estando em andamento estudos analisando o agregado reciclado e suas aplicações (em concretos, argamassas e outras). PINTO (1997a) afirma que há estudos em desenvolvimento em: Brasília/DF; Campinas/SP; Fortaleza/CE; Florianópolis/SC; Salvador/BA; São Paulo/SP; São Carlos/SP. Além destes locais, desenvolvem-se pesquisas em: Cuiabá/SP; Porto Alegre/RS; Taubaté/SP.

Porém, com a implantação de recicladoras, produzindo grandes quantidades de reciclado, há o risco das aplicações avançarem com maior rapidez que as pesquisas. Desta forma podem ocorrer erros nas aplicações, causando prejuízos à imagem do material.

1.4. Possibilidades de aplicação do resíduo de construção reciclado

O agregado obtido a partir da reciclagem de resíduo de construção pode ser aplicado em serviços como pavimentação, argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, briquetes, meio-fio e outros), serviços de drenagem etc. (ANVI, 1995; BODI, 1997; CUR, 1984; HAMASSAKI et al., 1997; HANSEN, 1992; I&T, 1995c; LATTERZA, 1997; LEVY 1997a; MEHTA 1994; PINTO 1989b, 1994; RILEM, 1994; ZORDAN 1997 e outros).

Pode-se melhorar características de argamassas, com a aplicação do reciclado em substituição total ou parcial à areia natural, mas ainda falta determinar algumas características destas argamassas para uma aplicação racional e segura.

O uso em pavimentação é um dos mais praticados nos municípios que reciclam rejeitos de construção, obtendo-se ótimos resultados e consumindo-se quantidades significativas de resíduos. Outras aplicações simplificadas como cobertura de aterros, controle de erosão, camadas drenantes, rip-rap etc. podem ser realizadas com sucesso, conforme observado pelo autor deste trabalho em municípios onde a reciclagem está implantada. PINTO (1997a) indica usos para reciclados produzidos no Brasil: base para pavimentação; execução de habitações e outras edificações; execução de muros e calçadas; contenção de encostas; produção de artefatos (guias, sarjetas, tubos).

ANDRADE et al. (1998) estudando concretos com reciclados indicam como viáveis as seguintes aplicações para o material: briquetes para pavimentação; blocos de concreto para alvenaria estrutural; blocos de concreto para vedação.

HANSEN (1992) relaciona usos para o reciclado para os quais há maiores possibilidades de desenvolvimento de mercado: enchimentos em geral; drenagem; pavimentação (sub-base ou material de superfície); produção de novos concretos. Os materiais para enchimentos devem ser duros e ter curva granulométrica adequada, de maneira que se consolidem facilmente e mantenham a capacidade de drenagem. Devem ser quimicamente inertes e apresentar estabilidade volumétrica em presença de umidade. Agregados reciclados atendem bem a estas exigências. Entretanto, reciclados de alvenaria podem conter materiais expansivos ou madeira (que após a decomposição pode deixar vazios no enchimento).

Ensaio indicam que se pode usar reciclado de concreto na preparação de concreto asfáltico, embora o reciclado de alvenaria não apresente bons resultados, pelo seu alto consumo de betume e grande volume de vazios (HANSEN, 1992).

Informações mais aprofundadas sobre aplicações dos resíduos de construção reciclados podem ser encontradas nos itens 3.6, 3.7, 3.9, 5 e 6.

1.5. Carências de informações relativas aos resíduos de construção reciclados e suas aplicações

No cenário atual da reciclagem de resíduos de construção pode-se identificar a necessidade de especificações técnicas para a produção e aplicação do reciclado, para a garantia da qualidade dos produtos e para respaldar o aumento do consumo do material, fator fundamental para viabilizar economicamente as centrais de reciclagem. Sendo a reciclagem de resíduos de construção relativamente recente no Brasil e estando em fase de avanço, muito distante do processo de consolidação, é natural que existam lacunas de conhecimento sobre produção e aplicação do material produzido. Estas carências podem ser identificadas no meio produtor, entre os usuários e no meio acadêmico. Algumas das conseqüências disto, segundo o autor desta Dissertação, são:

- A quantidade de agregado reciclado utilizada é menor do que poderia ser, restringindo-se às aplicações mais simplificadas. As mais complexas, quando implementadas, consomem pequena quantidade do material;
- As aplicações simplificadas não requerem produtos com alto grau de pureza e rígido controle de qualidade. Assim, cria-se um círculo vicioso: as características do reciclado produzido não estimulam usos em argamassas ou concretos em escala significativa, e assim as recicladoras não se preocupam com a produção de agregados de qualidade adequada a estes usos (baixos teores de contaminantes, controle da granulometria etc.);

- A ausência de procedimentos consolidados para o uso do reciclado desestimula aplicações do material, pelo receio do surgimento de patologias.

Algumas carências consideradas importantes são:

- Sistema de classificação do agregado reciclado acompanhado de especificação de parâmetros a controlar, com valores-limites;
- Procedimentos de produção do agregado reciclado balizado por sistema de classificação e especificação do produto;
- Informações sistematizadas sobre o uso do reciclado em concretos, adaptado à realidade brasileira;
- Informações sistematizadas sobre a aplicação em argamassas. O uso do reciclado pode melhorar algumas propriedades de argamassas, mas sabe-se que pode prejudicar outras. Falta conhecer melhor as argamassas com reciclado e determinar os teores do material para os diversos tipos, de modo a obter os melhores resultados técnicos com o menor custo possível;
- Informações sobre artefatos de concreto com agregado reciclado, principalmente relativas a durabilidade e ao consumo de aglomerantes.

1.6. Tema da pesquisa

A pesquisa teve como tema a proposição de diretrizes e/ou elaboração de textos relativos a: produção de agregado reciclado e normalização do material; aplicação do reciclado em concretos, argamassas para assentamento de alvenaria sem função estrutural e para revestimentos.

1.7. Objetivos

O principal objetivo do trabalho foi a proposição de diretrizes e a elaboração de textos relativos à produção de agregado reciclado e às suas aplicações em argamassas e concretos. Os objetivos secundários foram: (1) o levantamento de informações, no Brasil e no exterior, sobre o reciclado e seus usos em argamassas e concretos (produção, propriedades, vantagens, restrições etc.); (2) Preparação de material informativo a ser utilizado por construtores e usuários do reciclado.

2. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

2.1. Diretrizes de trabalho e aplicações do reciclado a serem consideradas

Ao se iniciar o trabalho adotaram-se critérios para a definição das aplicações do agregado reciclado que seriam consideradas, dentre as várias possíveis. Levou-se em conta alguns aspectos da realidade atual da reciclagem no Brasil:

- Grande parte dos reciclados são gerados por empresas públicas. O resíduo é heterogêneo, com alto teor de material cerâmico. Há dificuldade de classificação dos resíduos nas recicladoras e nas fontes geradoras
 - Necessita-se processar grandes quantidades de resíduos (para aumento da vida útil de aterros e para a viabilização econômica da reciclagem).
 - Não existe estrutura fiscalizadora da qualidade do reciclado e de suas aplicações. Falta conhecimento para o uso do material em diversos serviços;
- Em função destes fatos foram definidas diretrizes para o desenvolvimento

do trabalho, apresentadas a seguir:

DIRETRIZES DE TRABALHO
<ul style="list-style-type: none">• Uso da maior quantidade de resíduo possível• Simplificação do processo de reciclagem• Minimização dos riscos para os usuários• Favorecimento do avanço progressivo da reciclagem no país

Para a escolha das aplicações a serem consideradas foram analisadas as informações sobre os usos possíveis do agregado reciclado. Analisou-se a adequação de cada um às diretrizes de trabalho. Definiu-se então, dentre as várias opções, aquelas que seriam os objetos de pesquisa principais:

1. Concreto de baixo consumo sem armadura, para execução de contrapisos, calçadas, enchimentos e pequenos reforços;
2. Argamassa de assentamento de componentes em alvenaria de vedação (tijolos maciços, tijolos cerâmicos furados, blocos de concreto);
3. Argamassas para emboço interno e externo, para parede e teto;
4. Fabricação de componentes pré-moldados de concreto, não estruturais, de pequeno e médio portes (tijolos e blocos de concreto, tubos etc.).

Como traço comum, as aplicações escolhidas podem consumir **quantidades significativas** de agregado, principalmente levando-se em conta a demanda por serviços de infra-estrutura. Evitou-se indicações de usos em componentes e elementos estruturais ou em serviços considerados complexos pelo

autor deste trabalho (assentamento de revestimentos cerâmicos, por exemplo). A implementação destas aplicações exige agregados produzidos com maiores cuidados com classificação, separação de impurezas e controle de qualidade, o que levaria à necessidade de mudanças nos processos de produção das recicladoras, com risco de diminuição da quantidade processada e de aumento de custos de produção. Os usos escolhidos permitem a aplicação de agregados produzidos por processos **relativamente simplificados**. Sua escolha considerou a necessidade da **minimização dos riscos** para os usuários, tanto de colapso de elementos estruturais como de surgimento de patologias importantes.

Os cuidados nas escolhas consideraram a necessidade de **avanço progressivo** da reciclagem: acidentes causados pela má aplicação podem prejudicar a imagem do material e o retardar o crescimento de seu uso país. Deve-se levar em conta, também, as carências de conhecimento sobre o agregado reciclado e suas aplicações.

No decorrer do trabalho a escolha das aplicações foi reanalisada e confirmada, principalmente após o término da revisão bibliográfica, em que se obtiveram informações mais sólidas sobre características do reciclado e de seus usos. As análises relativas à adequação de resíduos de várias classes propostas a usos possíveis e às diretrizes de trabalho também contribuíram para a confirmação das escolhas realizadas.

Outras aplicações adotadas nos municípios que reciclam resíduos não foram considerados neste trabalho, como pavimentação, em que grandes volumes de material são consumidos com qualidade e economia de recursos. Nessa área de estudos específica existe conhecimento suficiente para uma boa aplicação, e técnicos com competência, que podem contribuir para seu aperfeiçoamento.

2.2. Considerações gerais sobre a estruturação do trabalho

Definidos os usos a serem considerados no trabalho, passou-se à estruturação da pesquisa, determinando-se pressupostos e hipóteses de trabalho. Foi necessário buscar um correto entendimento do objeto de trabalho e dos objetivos, já que a quantidade de informações disponíveis é grande e o tema permite a geração de produtos muito diferenciados em natureza e complexidade.

Como ponto de partida considerou-se as motivações iniciais para a elaboração do trabalho, que surgiu numa situação de rápido avanço da reciclagem de resíduos de construção no país:

- São necessários procedimentos sistematizados para a produção de agregado reciclado e suas utilizações em serviços de construção;
- É necessário que se estudem as propriedades dos agregados reciclados e suas aplicações para a obtenção de qualidade e economia nos serviços, e para a ampliação do número de usos possíveis;

Para que as diretrizes e especificações relativas ao reciclado sejam úteis, devem promover a **qualidade do agregado reciclado e dos serviços** em que forem usadas (assim poderão respaldar as utilizações do material pelo setor público ou privado). Para atingir este objetivo é necessário que sejam:

- Coerentes com as características dos agregados reciclados produzidos no país ou possíveis de serem produzidos atualmente no país;
- Eficazes na garantia da qualidade dos serviços com que se propõem lidar, e de fácil entendimento e aplicação.

Na opinião do autor deste trabalho, diretrizes e normas que não levem em consideração estes requisitos podem acabar não sendo utilizadas pelos produtores e usuários do reciclado, por poderem tornar os processos de controle muito dispendiosos ou difíceis de serem implementados.

O desenvolvimento da reciclagem de resíduos de construção no país **deve ser paulatino**, levando em conta a realidade atual e a necessidade de avanço com segurança. Algumas ações são necessárias para que isto se dê:

- Sistematização dos procedimentos de produção e de aplicação do reciclado e divulgação das informações sobre reciclagem e uso de reciclado;
- Acompanhamento dos usos atuais para identificação de patologias, análise de durabilidade e correções nas especificações de produção e uso;
- Pesquisa científica das propriedades do reciclado e seus usos e melhoria contínua das especificações, incorporando as novas informações obtidas em pesquisas e acompanhamento dos usos passados
- Aumento do número de serviços recomendados para o reciclado, à medida em que as informações disponíveis assim o permitirem.

2.3. Pressuposto de trabalho

O principal pressuposto para a elaboração do trabalho é que **existem informações** sobre especificação e aplicações de resíduo de construção reciclado, no país e no exterior, em número e qualidade **suficientes** para permitir a proposição de diretrizes e a elaboração de textos normativos sobre o material (ainda que embrionários), coerentes com o **estágio atual** da reciclagem no Brasil.

Na opinião do autor, a revisão bibliográfica deste trabalho contém informações que justificam a adoção do pressuposto. Isto não significa que haja informações sobre todas as propriedades de agregados reciclados e seus usos. Na verdade não há, mas as aplicações do material estão acontecendo, com bons resultados em grande parte dos casos. De uma maneira geral pode-se afirmar que:

- Há conhecimento sobre algumas propriedades do agregado reciclado, suficientes para permitir sua utilização com segurança em alguns serviços;
- Os serviços citados acima são em geral simplificados e de baixa responsabilidade estrutural, para os quais as propriedades conhecidas são adequadas e para os quais as desvantagens do reciclado em relação ao agregado natural não prejudicam o desempenho;
- Mesmo para estes serviços com o reciclado, há necessidade de obtenção de conhecimento sobre propriedades, mas isto não impede que possam ser executados, com qualidade, com o conhecimento já existente.

Para muitas aplicações não há, ainda, informações suficientes para a garantia da qualidade, e suas implementações terão, na opinião do autor, que esperar até que o conhecimento sobre o reciclado esteja suficientemente avançado.

2.4. Hipóteses e questões básicas de trabalho

Partindo do pressuposto que existem informações disponíveis e suficientes para permitir a proposição de diretrizes e a elaboração de textos normativos sobre o reciclado e suas aplicações, estabeleceram-se as hipóteses de trabalho, que são:

- Existem características físico-químicas **comuns** aos diferentes tipos de agregados reciclados aplicáveis em argamassas e concretos, e a partir da identificação de algumas dessas características, e da fixação de valores e limites para cada uma delas, é possível garantir a qualidade nas aplicações.
- É possível **basear-se em normas de outros materiais** para a elaboração de textos normativos de resíduo de construção reciclado, adaptando-as às características específicas do material.

A partir daí, o desenvolvimento do trabalho se deu de forma a obter respostas para duas questões básicas:

- Qual a **natureza** das informações e/ou especificações a constar nas proposições de diretrizes e de normas técnicas, para que estas sejam eficientes na garantia da qualidade do material ou do serviço?
- Quais os **valores adotar para os parâmetros** a constar nos textos básicos de normas técnicas a elaborar?

Como encaminhamento da pesquisa para obtenção de respostas para estas questões buscou-se determinar, em relação ao agregado reciclado:

- As **principais características** físicas e químicas dos diferentes tipos de agregado reciclado;
- As características físico-químicas identificadas para cada tipo de resíduo de construção reciclado que **são comuns a todos** eles, ou pelo menos à parcela significativa;
- As características físicas e químicas do reciclado que são **determinantes para sua especificação e classificação**.

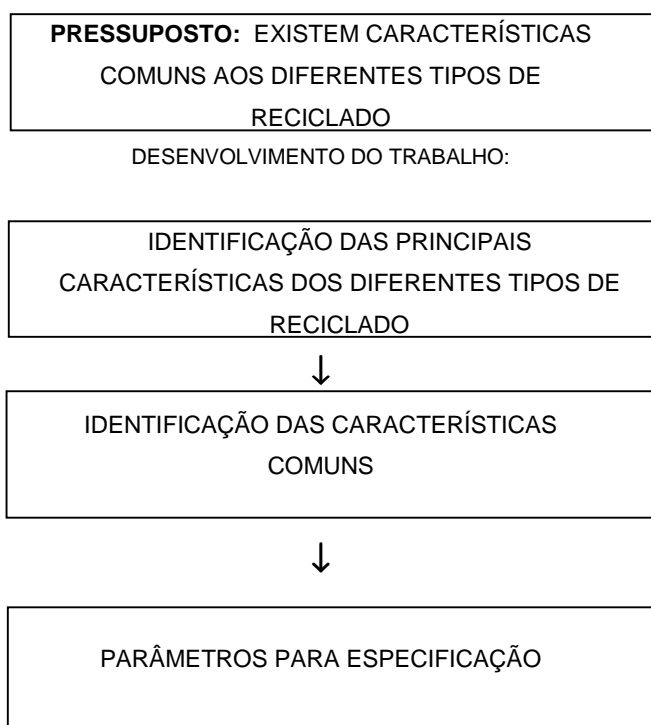


FIGURA 1 - Representação esquemática do encaminhamento do trabalho

2.5. Método de trabalho e materiais utilizados

Para atingir os objetivos realizaram-se as seguintes atividades:

- Pesquisa bibliográfica para a obtenção de **informações sobre o agregado reciclado e suas aplicações**, principalmente em argamassas e concretos, no Brasil e no exterior;
- Pesquisa bibliográfica para obtenção de informações sobre **características** exigíveis para **concretos e argamassas convencionais**;
- **Análise de normas técnicas** de materiais convencionais e de agregado reciclado e seus usos, para identificação da natureza das informações e das exigências contidas em cada uma delas;
- Análise das informações obtidas e **definição de diretrizes** para uso do agregado reciclado e para elaboração de textos básicos de normas para produção e uso de agregado reciclado, adaptados à realidade brasileira e ao nível de conhecimento atual sobre o reciclado no país;
- Elaboração de material informativo para usuários de agregado reciclado, tratando da reciclagem de resíduos e das aplicações do agregado reciclado.

Para a realização das atividades previstas foram utilizados principalmente material bibliográfico (dissertações e teses de pós-graduação, livros, anais de encontros, normas técnicas etc.). Realizaram-se contatos com profissionais que lidam com a reciclagem de resíduos de construção, para troca de informações.

2.6. Encaminhamento da coleta de informações

A coleta de informações realizou-se conforme descrito a seguir.

Na **pesquisa da bibliografia nacional e internacional sobre o reciclado** buscou-se principalmente:

- Identificar as **principais características** físicas e químicas dos diferentes tipos de resíduo de construção reciclado;
- Identificar as características **comuns** à maioria dos tipos de reciclado;
- Identificar as características **determinantes** para a especificação, classificação e aplicação do reciclado.

Na **pesquisa sobre argamassas e concretos convencionais** buscou-se principalmente:

- Identificar as principais **características a serem controladas** para obtenção de produto final de boa qualidade;
- Avaliar preliminarmente as possibilidades do agregado reciclado **atender às exigências mínimas de qualidade** requeridas para argamassas e concretos, em função de suas particularidades.

Na **pesquisa de normas da ABNT** buscou-se principalmente:

- Identificar textos normativos relativos a outros materiais e serviços de construção que pudessem servir de **parâmetro para a elaboração de textos normativos** relativos a resíduo reciclado (materiais e serviços);
- Identificar conteúdo de normas de materiais e serviços adotados como parâmetros, para identificação da possível **natureza das informações** a serem contidas nos diferentes tipos de normas sobre o reciclado e suas aplicações em argamassas e concretos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações gerais

Na revisão bibliográfica buscou-se informações ligadas ao assunto “Reciclagem de resíduos de construção” que contribuíssem para o desenvolvimento dos trabalhos. Foi necessário manter a atenção nos objetivos traçados e priorizar assuntos a pesquisar, dentre os muitos possíveis. Buscou-se principalmente informações relativas a: (1) Propriedades de agregados reciclados e de suas aplicações (em argamassas e concretos, principalmente); (2) Normalização de reciclados e de suas aplicações (em argamassas e concretos, principalmente).

3.2. Breve histórico da reciclagem de resíduos de construção

O reaproveitamento de resíduos para uso em construção é praticado desde o Império Romano e Grécia antiga. Há relatos de uso de restos de telhas, tijolos e utensílios de cerâmica como agregado graúdo em concretos rudimentares (SANTOS, 1975). Aplicava-se também estes rejeitos, moídos, como aglomerantes, com aproveitamento das propriedades pozolânicas dos materiais cerâmicos. No século passado, na Alemanha, utilizou-se restos de blocos de concreto para a produção de artefatos de concreto. Realizaram-se também, posteriormente, pesquisas pontuais de reutilização de resíduos de construção (DE PAW & LAURITZEN, 1994).

Entretanto, foram as grandes catástrofes deste século, como terremotos e guerras, que impulsionaram a prática da reciclagem em locais com grandes volumes de resíduos e grande carência e urgência de construção de edificações e infraestrutura. Segundo DE PAW & LAURITZEN (1994), durante a Segunda Guerra e até 1955, foram reciclados aproximadamente 115 milhões de m³ de resíduos de construção e demolição na Alemanha, os quais foram utilizados na construção de aproximadamente 175 mil unidades habitacionais.

Em 1980 ocorreu um terremoto de grandes proporções na cidade de Al Asnam, na Argélia, o que motivou uma pesquisa internacional para o reaproveitamento dos rejeitos na fabricação de blocos de concreto. Segundo as estimativas dos pesquisadores, poderiam ser fabricados aproximadamente 50 milhões de blocos de concreto para a construção de habitações, seguindo procedimentos normalizados. Curiosamente, não foram implantadas unidades de reciclagem em grande escala: entre outros motivos, a população se recusou a usar blocos fabricados com material de escombros que causaram a morte de seus parentes e conterrâneos (DE PAW & LAURITZEN, 1994).

Nas últimas décadas, principalmente por razões ambientais e econômicas, vários países vêm adotando a reciclagem, realizada por empresas particulares ou públicas, podendo ser citados: Holanda, Dinamarca, Estados Unidos, Japão, França, Itália, Espanha, Reino Unido, Rússia e mais recentemente o Brasil (ANVI, 1992; DE PAUW & LAURITZEN, 1994; HANSEN, 1992; LATTERZA, 1997; LEVY, 1997a; MEHTA, 1994; SWANA, 1993; ZORDAN, 1997). Durante o período de desenvolvimento da reciclagem de resíduos de construção realizaram-se pesquisas e proposições de normas para obtenção e classificação do agregado reciclado. Em alguns países existe conhecimento consolidado sobre o material, e normas avançadas para sua aplicação em vários serviços. As aplicações, no entanto, variam conforme o país, em função de características particulares como oferta de materiais de construção e resíduos, disponibilidade de locais para deposição, rigor das normas relativas a materiais a serem utilizados na construção etc.

3.3. Reciclagem de resíduos de construção em outros países

3.3.1. Considerações gerais

A reciclagem de resíduos de construção é praticada em outros países há tempos. A necessidade de reconstruir cidades destruídas durante guerras e devido a catástrofes naturais levou ao desenvolvimento de técnicas de reciclagem dos resíduos e aplicação na produção de artefatos e em serviços de construção na Europa, Estados Unidos e Japão (ANVI, 1992; DE PAUW & LAURITZEN, 1994; HANSEN, 1992; LEVY, 1997a; MEHTA, 1994; SWANA, 1993; ZORDAN, 1997).

Outros motivos contribuíram para a recuperação dos resíduos, principalmente nas últimas décadas: superexploração de jazidas de agregados; prejuízos ao meio ambiente com a extração de agregados e disposição dos resíduos; geração de mais entulho que a construção de estradas pode absorver; sobrecarga de aterros (CUR, 1986). Além disso, considera-se o aterramento uma forma de desperdício de recursos. Os motivos para a diminuição do aterramento de resíduos são: aumento dos custos de aterramento; pressões pela preservação ambiental (inclusive pressão comercial); crescimento do volume de resíduos; possibilidade de lixiviação de elementos danosos ao meio ambiente (PERA, 1997).

Segundo CUR (1986) os resíduos de construção e demolição correspondem a 80 % dos resíduos sólidos urbanos, na Holanda (do total dos resíduos de construção, os de concreto correspondem a 1/3 e os de alvenaria a 2/3).

A geração de resíduos de construção na Europa situa-se entre 0,7 a 1,0 t/hab.ano, e a quantidade destes resíduos é duas vezes maior que a de outros resíduos sólidos municipais. Aproximadamente 80% destes resíduos são provenientes de demolições. Na composição dos resíduos predominam concretos e argamassas, embora as porcentagens variem de região para região (PERA,1997).

RAMONICH (1997a) cita países em que a reciclagem já está implantada há mais de 15 anos: Holanda, Alemanha, Dinamarca, Bélgica. Cita também outros países em que a reciclagem iniciou-se recentemente: Grã-Bretanha, França, Itália. DE PAW & LAURITZEN (1994) apresentam informações sobre a quantidade de recicladoras em operação em países europeus, em 1992 (Tabela 15).

A realidade dos resíduos de construção e sua reciclagem na Europa, (item 3.8.) é semelhante à brasileira em muitos aspectos, entre eles: o agregado reciclado produzido apresenta baixa qualidade; faltam informações sobre o agregado reciclado; devido a características como composição, teor de contaminantes e à falta de conhecimento, boa parte do resíduo é aterrado ou aplicado em usos simplificados; as aplicações simplificadas do reciclado inibem o estabelecimento de normas mais rigorosas que permitam usos de maior qualidade.

Apesar disto, há países em que os agregados produzidos são adequados à aplicação em concreto estrutural, como Holanda (CUR, 1986; HANSEN, 1992). Onde mais se usa reciclado na Europa é em pavimentação, mas as aplicações em concretos são promissoras devido a alguns fatores (RAMONICH, 1997a): (1) Há uma compreensão de que deve-se reservar os agregados naturais para usos mais nobres, como concreto de alta resistência, concreto protendido etc. Assim, é melhor que os concretos de menor responsabilidade estrutural sejam elaborados com agregados reciclados; (2) 80% do concreto utilizado na Europa necessita de resistências à compressão entre 20 e 25 MPa, plenamente alcançáveis com o reciclado.

Algumas instituições de outros países que lidam com a reciclagem são: Estados Unidos: Associação de Resíduos Sólidos da América do Norte (SWANA); Comunidade Européia: Comitê CEN/TC-154 AHG – Recycled Aggregates; Holanda: Centro Holandês para Pesquisas e Códigos em Engenharia (CUR); Alemanha: Instituto Alemão para a Identificação e Garantia de Qualidade (RAL); Japão: Sociedade de Construtores do Japão (B.S.S.J.); Comitê Técnico 121 – DRG (Demolition and Reuse of Concrete) da União Internacional de Laboratórios de Ensaio e de Pesquisas sobre Materiais e Construções (RILEM).

TABELA 15 - Recicladoras de resíduos, em 1992 (Ass. Européia de Demolição, apud DE PAUW & LAURITZEN, 1994)

País	Recicladoras (un)
Bélgica	60
Dinamarca	20
França	50
Alemanha	220
Holanda	70
Itália	43
Grã-Bretanha	120

3.3.2. Alemanha

Na Alemanha não é permitido o uso do reciclado em novos concretos. O material é aplicado em pavimentação, existindo normas específicas para a garantia de sua qualidade. Segundo normas deste país, o reciclado não atinge resistência mecânica suficiente para uso em concretos e sua densidade é muito alta para que seja aplicado em concretos leves (HANSEN, 1992). Segundo o autor ocorrem solicitações individuais de aplicação do material em novos concreto, mas são em geral indeferidas. No período pós-guerra utilizou-se reciclado em grandes quantidades na produção de concretos para diversos usos. Produziu-se concretos de massa específica entre 1.600 e 2.100 kg/m³, resistências em torno de 30 MPa e módulo de elasticidade de 15 GPa. Segundo HANSEN (1992) as autoridades alemãs estão revendo a proibição do uso de reciclado em concretos.

3.3.3. Bélgica

Segundo LEVY (1997a) este foi um dos poucos países em que se verificaram problemas graves devido ao uso do reciclado. DE PAW et al.⁸ apud LEVY (1997a) afirma que duas pontes foram demolidas devido a problemas no concreto com reciclado. Pesquisadores estudam o assunto, para determinação das causas das patologias. Teme-se a ocorrência de reações álcali-agregado, devido aos constituintes do agregado ou do cimento. Órgãos de pesquisa do país estudam usos do concreto com reciclado, levando em conta principalmente a durabilidade.

⁸ DE PAW, C.; DESMYTER, J. DESSEL, J. Reuse of construction and demolition waste as aggregates in concrete and environmental aspects. In: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee- Escócia. *Anais*. Ravindra & Thomas, Grã-Bretanha, 1996, p. 131-140.

3.3.4 Dinamarca

HANSEN (1992) refere-se a normas dinamarquesas que permitem a aplicações de concretos com agregados reciclados em certos serviços com função estrutural. Os concretos seriam divididos por resistência mecânica, sendo criado um tipo até 20 MPa e outro até 40 MPa.

Utiliza-se reciclados de concreto e de alvenaria, para a produção dos dois tipos diferentes de concreto. Os concretos com reciclado de concreto devem apresentar massa específica na condição saturada superfície seca de 2.200 kg/m^3 e os com agregado reciclado de alvenaria, 1.800 kg/m^3 . Os dois tipos de reciclados devem atender às exigências nacionais relativas aos teores de contaminantes.

Experimentos realizados no país indicam que a curva tensão-deformação de concretos com agregados reciclados é parecida com a de concretos convencionais.

Os valores do módulo de elasticidade utilizado nos cálculos de concreto são definidos como: 50 % do módulo de elasticidade de concretos convencionais, para concretos com reciclado de alvenaria; 80 % do módulo de elasticidade de concretos convencionais, para concretos com reciclado de concreto.

3.3.5. Estados Unidos

Nos Estados Unidos utiliza-se agregados reciclados de concreto, principalmente em pavimentação. Segundo HANSEN (1992), o país caminha para a aceitação do resíduo de concreto reciclado como agregado padronizado em serviços de pavimentação, sem a necessidade de ensaios específicos.

Segundo THE SOLID WASTE ASSOCIATION OF NORTH AMERICA (SWANA, 1993), a indústria do resíduo sólido no país começa a investigar questões relativas à reciclagem e disposição de resíduos de construção e demolição (C&D), mas pouca atenção tem sido dada à criação de regulamentações federais sobre o assunto. Entretanto, os estados têm desenvolvido regulamentações próprias.

Segundo SWANA (1993) muitas empresas reciclam resíduos C&D, oferecendo-os ao mercado a preços baixos, e desta forma os custos de transporte passam a ser item significativo na decisão de se usar o material. Segundo a associação, haviam 113 recicladoras regulamentadas em 1993 no país, e muitas outras operando irregularmente. Alguns usos para o reciclado são: cobertura diária e final de aterros; vias de acesso temporárias de aterros; recuperação de solo; enchimentos, base ou sub-base em pavimentação; filtros em aterros; controle de erosão e estabilização de encostas; concreto asfáltico; serviços de drenagem.

3.3.6. Holanda

Neste país foram desenvolvidas normas para aplicação de reciclado em concretos simples, armado e protendido. Segundo opinião do autor desta dissertação, o uso que se faz do reciclado neste país revela grau de conhecimento avançado sobre suas propriedades e dos concretos preparados com o material. Segundo as especificações holandesas, concretos com teores de reciclado de concreto graúdo inferiores a 20 % (em massa) são tratados como concretos normais, e devem atender às exigências para este tipo de concreto (CUR, 1986). Mais informações sobre uso do reciclado neste país encontram-se no item 3.8.

3.3.7. Japão

No Japão estão sendo implementados esforços no sentido de regulamentar-se a utilização de agregados reciclados e de concretos preparados com o material. A BUILDING CONTRACTORS' SOCIETY OF JAPAN (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992⁹) preparou documento "Proposição de norma para uso de agregado reciclado e concreto com agregado reciclado". Segundo HANSEN (1992), muitas das especificações contidas nas normas não são muito diferentes das contidas em códigos utilizados em outros países para agregados convencionais, embora sejam apresentadas exigências específicas para o reciclado (ver item 3.8.).

3.3.8. Rússia

O agregado reciclado pode ser aplicado em construções na Rússia (HANSEN, 1992). O Instituto de Pesquisa em Concreto e Concreto Armado Russo publicou recomendação para a reciclagem de concretos, que permite o uso de reciclado de concreto em: base em macadame para pisos e fundações de construções e estruturas e para pavimentos asfálticos de vários tipos; produção de concreto simples e armado de 5 a 15 MPa; produção de concreto simples e armado até 20 MPa, desde que o reciclado seja misturado a agregado convencional.

É vetado o uso de concreto com agregado reciclado em concreto protendido, devido à alta fluência e retração e ao baixo módulo de elasticidade.

Não se utiliza a fração miúda do reciclado em concreto, sendo indicadas outras aplicações como filler em concreto asfáltico.

⁹ B.C.S.J. - BUILDING CONTRACTORS' SOCIETY OF JAPAN (1977). Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste* (versão em inglês publicada em junho de 1981)

3.3.9. Outros países

HANSEN (1992) afirma que as normas no Reino Unido permitem o uso de agregados reciclados em pavimentação e em construções. Admite-se o uso de reciclado de concreto ou de alvenaria em concretos com baixa requisição estrutural.

Na França existem recicladoras de resíduos de construção, processando principalmente resíduos de concreto. Órgãos de pesquisa franceses estudam as propriedades de concretos com agregados reciclados (HANSEN, 1992).

3.4. Centrais de reciclagem de resíduos de construção

De modo geral, os equipamentos utilizados na reciclagem de resíduos de construção são provenientes do setor de mineração, que são adaptados ou simplesmente utilizados na reciclagem. Uma exceção são os moinhos de rolo de pequeno porte utilizados para a preparação de argamassas a partir de resíduos de alvenaria, utilizados em construção de edifícios. Pelo pequeno porte, permitem boa mobilidade e a prática da reciclagem em diversos locais, em uma mesma empresa.

O procedimento básico da reciclagem consiste em britar o resíduo, obtendo agregado nas dimensões desejadas (HANSEN, 1992). Pode-se britar apenas uma vez o resíduo ou realizar mais de uma britagem, para diminuição das dimensões das partículas e para maior controle da granulometria do reciclado.

Pode-se implantar recicladoras de diversos portes e complexidades, dependendo da oferta de resíduos e demanda por agregado reciclado e das características desejadas para o produto (a maioria das centrais instaladas no Brasil são simplificadas, compreendendo alimentador, britador, transportador de correia e eletroímã). As principais características dos reciclados que são afetadas pelos procedimentos e equipamentos utilizados são: classificação e composição; teor de impurezas; granulometria; forma e resistência dos grãos.

Não há um tipo de britador que dê os melhores resultados em todos os aspectos. Deve-se ajustar os processos de captação e reciclagem dos resíduos para que se obtenham os melhores resultados técnicos e econômicos (CUR, 1986).

3.4.1. Equipamentos de britagem

a) Britadores de impacto

Neste equipamento o resíduo é britado em uma câmara de impacto, pelo choque com martelos maciços fixados a um rotor e pelo choque com placas de impacto fixas. Há britadores de impacto com portes variados, que atendem a várias necessidades, podendo ser utilizados em britagem primária ou secundária. É um dos equipamentos mais usados em recicladoras, pelas vantagens que apresenta:

- Robustez, processando peças de concreto armado ou vigas de madeira;
- Alta redução das dimensões das peças britadas, com geração de boa porcentagem de finos, muitas vezes dispensando a rebitagem do material;
- Geração de grãos de forma cúbica, com boas características mecânicas, o que se explica pela ruptura por impacto, que faz com que as partículas se partam nas linhas naturais de ruptura, gerando grãos mais íntegros;
- Baixa emissão de ruído.

Apresenta a desvantagem do alto custo de manutenção, com trocas periódicas de martelos e placas de impacto. HANSEN (1992) afirma que é o equipamento mais adequado à produção de reciclado para uso em pavimentação.

b) Britadores de mandíbulas

Também muito utilizados na reciclagem, rompem as partículas por compressão (esmagamento). São geralmente utilizados como britadores primários, pois não reduzem muito as dimensões dos grãos, gerando alta porcentagem de graúdos. Em geral o material processado é rebitado (por moinhos de martelos, britadores de mandíbulas de menor porte etc.). Apresentam como desvantagem:

- Geração de alta porcentagem de graúdos, não sendo usado como único equipamento de britagem ou em recicladoras em que o material não é rebitado;
- Geração de grãos lamelares, com tendência à baixa qualidade, por apresentarem linhas de fratura muito pronunciadas, que podem gerar pontos fracos nas aplicações, como por exemplo em vigas e pilares;
- Dificuldade de britagem de peças armadas e praticamente impossibilidade de britagem de peças de madeira de grandes dimensões, casos em que geralmente ocorrem quebras do eixo do britador;
- Alta emissão de ruído.

Como vantagem apresentam baixo custo de manutenção. É ideal para britagem de rocha, em pedreiras. HANSEN (1992) afirma que com este equipamento obtém-se as melhores curvas granulométrica de agregado reciclado para uso em concreto, quando o resíduo processado é de concreto estrutural.

c) Moinhos de martelos

Equipamento usado como britador secundário, pois apresenta boca de entrada de materiais relativamente pequena e produz alta porcentagem de miúdos. Em geral é usado em conjunto com britadores de mandíbulas. O sistema de ruptura dos grãos é semelhante ao do britador de impacto, em que os grãos são rompidos por impacto de martelos e de placas de impacto fixas. Em geral apresentam grelha na boca de saída, que impede que grãos graúdos saiam da câmara de impacto. Esta grelha pode ser retirada para produção de material mais graúdo.

3.4.2. Propriedades dos agregados reciclados afetadas pelo perfil da central de reciclagem

a) Classificação e composição

Em recicladoras mais simplificadas pode haver tendência à simplificação do processo de separação dos resíduos recebidos, o que dificulta a obtenção de agregados reciclados de diversos tipos. As centrais implantadas no país separam em geral resíduos pelo teor de impurezas. No entanto, há a possibilidade de separar-se conforme o tipo predominante de componente do resíduo (concreto, resíduos de alvenaria, etc.). Neste trabalho é apresentada proposta de classificação de resíduos de construção, para reciclagem ou reaproveitamento.

A adoção de procedimentos em que os resíduos sejam separados leva a aumento da complexidade da central, com definição de locais para armazenamento dos diversos tipos de resíduos e de agregados reciclados, possível aumento da equipe e da área instalada etc., e se justifica nos casos em que haja demanda por diversos tipos de reciclado produzido.

Quando se processa resíduos de diferentes tipos, podem ocorrer variações na composição. Para minimizar este problema, nas centrais públicas brasileiras são tomadas algumas providências para a homogeneização:

- As partidas de resíduos de diferentes tipos de resíduos recebidas são misturadas no momento da entrega;
- Ao alimentar o núcleo de reciclagem, a pá-carregadeira alterna os resíduos de tipos diferentes;

- Na formação da pilha de agregado reciclado, os diferentes tipos de materiais sofrem mais uma mistura;
- No momento da expedição a pá-carregadeira retira das pilhas ou leiras materiais de diversas camadas, contribuindo para maior homogeneização.

Estes procedimentos são viáveis levando em conta a quantidade processada (150 a 200 t/dia), mas no caso de diminuição do volume produzido, do recebimento de resíduos de tipo predominante ou do desinteresse da gerência da recicladora, podem ocorrer grandes variações na composição, prejudicando aplicações mais complexas como argamassas e concretos.

b) Teor de impurezas

A presença de materiais indesejáveis no reciclado pode ser combatida por métodos de diferentes complexidades, levando à obtenção de reciclados adequados a usos diferenciados. Uma das formas mais simples de retirada de contaminantes é a remoção manual destes materiais antes e/ou depois da britagem, e a retirada dos metais ferrosos por eletroímã. Este processo é o utilizado nas recicladoras brasileiras. Pode-se utilizar outros processos (a úmido, a seco ou térmico) (HANSEN, 1992; SCHULZ & HENDRICKS, 1992).

Uma das opções para a separação de impurezas consiste em eliminar-se partículas com dimensões abaixo de determinado limite, por exemplo, 8 ou 10 mm (CUR, 1986; HANSEN, 1992; SCHULZ & HENDRICKS, 1992). Com isto pode-se reduzir o teor de partículas friáveis, matéria orgânica, outras impurezas finas, conteúdo de finos etc. Como o teor de contaminantes é maior nas frações miúdas dos resíduos, obtém-se produto final de melhor qualidade.

O uso de peneiras planas pode ajudar na separação de materiais leves como madeira e papel. Pode-se separar partículas leves por classificação com jatos de ar (verticais ou horizontais) ou por processos úmidos utilizando jatos de água e imersão dos resíduos. Outra possibilidade é a sinterização dos finos, que combinada com processo a seco permite a recuperação de 100 % dos resíduos, embora possa aumentar os custos de produção (SCHULZ & HENDRICKS, 1992).

As técnicas de separação de impurezas podem levar à necessidade de criar soluções para emissões de pó e para a geração de rejeitos, cuja destinação final pode aumentar os custos de produção das centrais.

c) Granulometria

Conforme o equipamento de britagem e o número de vezes que o resíduo é britado, pode-se obter variações na granulometria do reciclado. Algumas centrais realizam apenas uma britagem, obtendo material com curva granulométrica contendo materiais muito finos até partículas de dimensões superiores a 50 mm.

Alguns britadores não reduzem muito as dimensões dos materiais processados. É o caso dos britadores de mandíbulas, que reduzem pouco as dimensões dos resíduos, que depois são reprocessados por moinhos de martelo ou de cone. Britadores de impacto, reduzem as dimensões dos resíduos de modo que se possa obter agregados miúdos e graúdos em quantidades consideráveis.

SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que para que se obtenha agregado reciclado de granulometria adequada para uso em concretos é necessário que o resíduo de construção seja britado mais de uma vez, mas que por razões econômicas é desejável que se brite o material apenas uma vez.

d) Forma e resistência dos grãos

Conforme pode ser observado nos itens referentes a britadores, há diferenças nas formas dos grãos e na resistência dos grãos de agregados reciclados produzidos com britadores de impacto ou de mandíbulas. As diferenças referem-se à forma dos grãos (presenças de partículas cúbicas ou lamelares) e à integridade das partículas (presença de linhas de fratura).

3.4.3. Controle de impactos ambientais de centrais de reciclagem

É desejável que as centrais de reciclagem sejam instaladas próximo aos centros urbanos, de preferência em seu interior, pelas vantagens que isto traz: proximidade dos centros geradores de resíduos; proximidade dos locais de uso dos agregados reciclados; diminuição dos custos com transporte.

Isto traz como benefícios a diminuição dos custos de produção dos reciclados e atração dos coletores de resíduos, incentivando a atuação correta deste agentes. Porém, a implantação em áreas urbanas pode trazer problemas (geração de ruídos e de material particulado) causando resistência por parte da população local. Em função disto podem ser necessárias adaptações nos equipamentos para minimização dos impactos ambientais.

Segundo situações presenciadas pelo autor desta Dissertação, pode-se adotar medidas para contenção ou minimização da emissão de pó e ruídos. Nas recicladoras públicas de Belo Horizonte/MG, Ribeirão Preto/SP e São José dos Campos/SP foram adotadas as seguintes medidas:

- Plantação de cerca viva no entorno da recicladora, para auxílio na contenção de pó e ruído e para melhoria da imagem da unidade, fator importante para a aceitação por parte da população;
- Cobrimento do piso da recicladora com agregado reciclado. O material, quando aplicado sobre o solo e compactado, contribui para a redução da emissão de pó com o tráfego de veículos (caminhões e pá-carregadeira);
- Revestimento dos britadores com manta anti-acústica e revestimento dos locais de impactos de materiais (tremonhas e calhas de captação de materiais) com mantas de borracha, para diminuir a emissão de ruídos;
- Instalação de aspersores nos locais de recebimento de resíduos e de armazenamento de agregado reciclado, para diminuição da emissão de pó;
- Instalação de aspersores no equipamento de reciclagem, nos locais de entrada e saída de materiais;
- Redução das alturas de descarga dos materiais, em todos os pontos de transferência.

Com estas medidas pode-se obter redução significativa do impacto ambiental da central de reciclagem, como foi verificado nos municípios citados acima. Em Belo Horizonte foi realizado programa de monitoramento da emissão de ruído e de pó na primeira central instalada, chegando a resultados satisfatórios que comprovaram a eficácia das medidas adotadas. Na implantação das centrais de reciclagem em Ribeirão Preto e São José dos Campos os relatórios de monitoramento de Belo Horizonte foram utilizados junto aos órgãos de regulamentação ambiental para eliminar-se a necessidade de Estudos de Impacto Ambiental e para a obtenção das licenças de funcionamento.

3.5. Propriedades de agregados reciclados

3.5.1. Considerações gerais

Os agregados reciclados apresentam grande variação em suas propriedades, dependendo da composição do resíduo processado, dos equipamentos usados, do teor de impurezas, da granulometria etc. Apresentam propriedades específicas, diferentes das propriedades dos agregados convencionais, que determinam algumas diferenças nas condições de aplicação e nas características de argamassas e concretos em que forem usados.

As principais diferenças com relação aos agregados convencionais são:

- Maior absorção de água dos grãos;
- Heterogeneidade na composição;
- Menor resistência mecânica dos grãos.

Ao se analisar os agregados reciclados é necessário considerar as particularidades dos resíduos usados na sua produção. Na revisão bibliográfica buscou-se principalmente informações sobre características do reciclado que são importantes para a qualidade e durabilidade dos serviços em que for aplicado.

3.5.2. Características do reciclado e de suas aplicações

Um dos principais objetivos da pesquisa bibliográfica foi a identificação de características do agregado reciclado que pudessem ser usadas como parâmetros de inspeção e aceitação do material e de compósitos com ele elaborados (concretos e argamassas). Para isto foram consultados textos relativos ao agregado reciclado e a argamassas e concretos (ANVI, 1995; BARRA, 1996; HAMASSAKI et al., 1997; HANSEN, 1992; I&T, 1990; LATTERZA, 1997; LEVY, 1997a; MEHTA, 1994; PINTO, 1989b; SMT, 1996; ZORDAN, 1997; entre outros).

A relação a seguir apresenta características gerais dos agregados reciclados. Ao elaborar-se textos relativos à obtenção e uso do material estas propriedades devem ser consideradas, analisando-se a conveniência e a viabilidade técnica de sua inclusão nas diretrizes a serem propostas e nas especificações a serem sugeridas.

Propriedades do agregado reciclado (de concreto ou argamassa)

- Definição e campo de aplicação;
- Composição e classificação;
- Granulometria e conteúdo de finos;
- Massa específica seca e saturada superfície seca;

- Absorção de água;
- Teor de argamassa aderida;
- Forma e textura;
- Resistência à abrasão e ao esmagamento;
- Conteúdo de impurezas (gesso; componentes não minerais como madeira, papel, betume, borracha, metal etc.; matéria orgânica; cloretos; sulfatos; argila; materiais pulverulentos; partículas leves; outros).

3.5.3. Composição dos resíduos de construção

Neste item são apresentadas informações sobre a composição de resíduos de construção gerados em municípios e na construção de alguns edifícios. Os números e observações ao final referem-se à composição de resíduos gerados em quantidades significativas. Para situações específicas o cenário pode ser completamente diferente do apresentado, com predominância de outros materiais nos resíduos, além de argamassas e restos de alvenaria. No item 4.4. há mais informações sobre tipos particulares de resíduos de construção.

Resíduos de construção são em geral formados por vários materiais, que apresentam propriedades diferenciadas, como resistência mecânica, absorção de água etc. As propriedades dos componentes dos resíduos determinam as propriedades do reciclado. SCHULZ & HENDRICKS (1992) apresentam situação da Alemanha, em que a composição dos resíduos de construção varia conforme a região, em função dos tipos de materiais de construção utilizados. No Brasil isto também ocorre, já que os tipos predominantes de materiais e componentes utilizados pelo setor da construção também variam conforme a região.

PINTO (1989b) caracterizou os resíduos de construção gerados em São Carlos/SP, através da coleta de trinta e três amostras nos depósitos espalhados pelo município, em 1985 (Tabela 16). Pelos resultados pode-se observar que os materiais mais presentes no resíduo de construção são as argamassas e os componentes cerâmicos, com presença significativamente maior das primeiras.

A mesma informação é apresentada por PINTO & AGOPYAN (1994) e por I&T (1995) como válida para os resíduos de construção no Brasil. Porém, resultados de outros estudos são um pouco diferentes, e embora argamassas e materiais cerâmicos sejam os materiais mais presentes em grande parte das pesquisas, suas porcentagens variam significativamente.

TABELA 16 - Composição média dos resíduos de construção no município de São Carlos, em 1985 (PINTO, 1989).

Material	Média (% em massa)
Argamassa	64,0
Produtos cerâmicos	29,1
Concreto	4,2
Pedras	1,4
Ladrilhos de concreto	0,4
Cimento amianto	0,4
Papel e matéria orgânica	0,2
Solo	0,1
Blocos de concreto	0,1
Madeira	0,1
Vidro	0,0
Metais e plásticos	0,0
Total	100,0

ZORDAN (1997) estudou a composição de reciclado produzido na recicladora pública de Ribeirão Preto, coletando amostras em 1996, com intervalos aproximados de uma semana entre as coletas. Os resultados (Tabela 17), demonstram grande variação na composição. LATTERZA (1997) também determinou a composição de reciclado produzido nesta recicladora (Tabela 18).

Pode-se observar pelos resultados de ZORDAN (1997) e LATTERZA (1997) que a composição do resíduo, para o mesmo município e mesma recicladora, varia com o tempo. Entretanto, as porcentagens dos diferentes materiais, na média, situam-se em faixas identificáveis, com valores para concreto, pedra britada e materiais cerâmicos muito próximos, e bem maiores para argamassas.

ASSIS & OLIVEIRA (1998) apresentam a composição de resíduos de quatro edifícios em Guaratinguetá/SP, em fase de acabamento (Tabela 19). Não foi informado quanto faltava para o acabamento completo das obras, o que prejudica a análise, pois podem estar sendo geradas quantidades significativas de resíduos de argamassa, não compiladas. Não é especificado o resíduo incluído na Categoria IV (Outros). Pode-se observar que as porcentagens de argamassas e cerâmicos são muito parecidas com os resultados de ZORDAN (1997) e LATTERZA (1997) (da ordem de 40% e 20 %, respectivamente).

TABELA 17 - Composição do reciclado produzido em Ribeirão Preto, em setembro e outubro de 1996 (ZORDAN, 1997).

Material presente	Porcentagem dos materiais presentes (% em massa)				
	Amostras				
	A	B	C	D	Média
Argamassa	36,8	35,7	37,9	39,4	37,4
Concreto	19,8	21,6	21,5	21,7	21,1
Cerâmica	14,6	25,9	23,8	18,9	20,8
Pedras	27,4	13,4	12,4	17,6	17,7
Cerâmica polida	1,2	2,6	4,0	1,9	2,5
Outros	0,2	0,8	0,4	0,5	0,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100

TABELA 18 - Composição do agregado reciclado produzido na Central de Reciclagem de Ribeirão Preto (LATTERZA, 1997).

Material presente	Porcentagem de cada material (% em massa)
Argamassa	46,2
Cerâmicos	19,2
Brita	19,1
Concreto	14,6
Torrões	0,9
Total	100

TABELA 19 - Composição de resíduos de construção de quatro edifícios em Guaratinguetá/SP, atualmente em fase de acabamento (ASSIS & OLIVEIRA, 1998)

Resíduos	Média (% em massa)
III - Argamassas	41
IV - Outros	30
II - Tijolos cerâmicos	22
I - Concreto	7
Total	100

CASTRO et al. (1997) estudaram a composição dos resíduos de construção no Aterro de Itatinga, em São Paulo/SP. Foram realizadas nove amostragens, entre julho e setembro de 1996, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 20. Desconsiderando-se os resíduos do Grupo 3 tem-se a participação dos demais resíduos específicos. Pode-se observar que os resíduos mais presentes são, também neste caso, materiais inertes (argamassas, concreto e cerâmicos).

Analisando-se as informações relativas às composições dos resíduos de construção apresentadas neste item, pode-se observar que:

- Os resíduos de construção são compostos predominantemente por materiais minerais inertes como cerâmica, areia, pedra e aglomerantes, com presença de outros materiais que podem ser considerados impurezas (plástico, papel, madeira etc.). Em alguns casos a participação dos materiais considerados impurezas é significativa;
- As argamassas e materiais cerâmicos são dois dos materiais mais presentes, em todos os levantamentos. Outros, como concreto e pedras, apresentam participação variável;
- A participação das argamassas varia consideravelmente conforme o levantamento, situando-se entre 37 % e 64 %. Em todas as pesquisas, no entanto, a presença deste material é significativamente maior que a dos demais tipos de resíduos;
- A composição média dos resíduos de construção varia conforme a região e o período de análise, não sendo possível a fixação de valores definitivos para a porcentagem dos diversos componentes. Mesmo para um mesmo local de amostragem pode-se ter grandes variações na participação de alguns materiais. Isto pode dificultar até mesmo a determinação de faixas para as porcentagens dos diferentes tipos de resíduos.

TABELA 20 - Caracterização dos resíduos no aterro de inertes de Itatinga, de julho a setembro de 1996 (CASTRO, 1997).

Grupo	Especificação	Média (% em massa)
1	Ferro	0,3
2	Concreto e argamassa	11,4
3	Mistura de solo e areia e pedra	82,5
4	Material de acabamento	1,0
5	Tijolo, telha e manilha	2,6
6	Espuma, couro, borracha, trapo	0,2
7	Papelão e plástico	0,3
8	Poda de Jardim	0,2
9	Madeira	0,9
10	Pneu (quantificado por un/dia)	0,0
11	Asfalto	0,3
12	Concreto armado	0,3
	Total	100,0
Modificação da Tabela acima, eliminando-se o Grupo 3.		
2	Concreto e argamassa	65,5
5	Tijolo, telha e manilha	14,7
4	Material de acabamento	5,8
9	Madeira	4,9
7	Papelão e plástico	1,9
11	Asfalto	1,7
1	Ferro	1,6
12	Concreto armado	1,5
8	Poda de Jardim	1,3
6	Espuma, couro, borracha, trapo	1,2
10	Pneu (quantificado por un/dia)	0,0

3.5.4. Absorção de água

Uma das características em que o reciclado mais difere dos agregados convencionais é na absorção de água. Por ser composto por materiais porosos como argamassas, componentes de alvenaria, entre outros, o reciclado apresenta taxas de absorção significativas (mesmo os reciclados de concretos estruturais).

HANSEN & NARUD apud HANSEN (1992)¹⁰ apresentam resultados de ensaios de absorção em reciclados de concreto e agregados convencionais (Tabela 21). HASABA apud HANSEN (1992)¹¹ apresentam resultados de ensaios de absorção de água, para agregados reciclados de concreto (Tabela 22). Segundo os autores dos dois ensaios, a absorção independeu da qualidade do concreto.

Estes resultados e outros contidos em HANSEN (1992) apresentam taxas de absorção significativas em agregados reciclados de concreto. Pode-se notar, em todos os ensaios, que as taxas para reciclados miúdos são maiores que as dos graúdos, devido à maior teor de argamassa aderida aos grãos (ver item 3.5.5.).

TABELA 21 - Absorção de água em agregados convencionais e reciclados de concreto, (HANSEN & NARUD apud HANSEN, 1992).

Agregados convencionais	
Dimensões das partículas (mm)	Absorção de água (%)
4-8	3,7
16-32	0,8
Agregados reciclados de concreto	
Dimensões das partículas (mm)	Absorção de água (%)
4-8	8,7
16-32	3,7

TABELA 22 - Resultados de ensaios de absorção de água em agregados reciclados de concreto, (HASABA apud HANSEN, 1992).

Agregados reciclados de concreto	
Dimensões das partículas (mm)	Absorção de água (%)
< 5	11
5-25	7

A absorção do reciclado é maior quanto maior for a porosidade dos componentes do resíduo. Assim, agregados obtidos da reciclagem de alvenaria apresentam taxas de absorção maiores que os obtidos da reciclagem de concreto.

¹⁰ HANSEN, T. C.; NARUD, H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International – Design and construction*, 5, n.º 1, pp. 79-83.

¹¹ HASABA, S.; KAWAMURA, M.; TORIIK, K. et al. (1981). Drying shrinkage and durability of concrete made of recycled concrete aggregates. Tradução do Japan Concrete Institute, 3, pp. 55-60 (informações adicionais obtidas de relatórios em japonês).

ANDRADE et al. (1998) realizaram ensaios com agregados reciclados, determinando, entre outras propriedades, a absorção. Foram ensaiados reciclados com composições diferentes: 1) à base de cimento e materiais cerâmicos; 2) à base de cimento (concreto e argamassas; 3) à base de materiais cerâmicos (azulejo). Somente a porção graúda (> 4,8 mm) foi ensaiada. A absorção foi determinada após 24 horas de saturação, embora a absorção máxima tenha ocorrido em menos de 15 minutos. Os resultados estão apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 - Taxas de absorção de agregados reciclados com composições diferentes (ANDRADE et al., 1998).

Resíduos	Absorção em 24 h (%)
Concreto e cerâmicos	11,1
À base de cimento	12,7
Cerâmicos	4,8

FONSECA et al. (1998) estudaram a aplicação de resíduos da indústria de componentes cerâmicos estruturais (blocos) na preparação de concreto, tendo chegado a taxas de absorção, para este material, da ordem de 15 %. HAMASSAKI et al. (1997), estudando a aplicação de resíduos de construção na produção de argamassas, determinaram as taxas de absorção de alguns rejeitos (Tabela 24).

TABELA 24 - Absorção de água de reciclado miúdo de diferentes composições (HAMASSAKI, 1997).

Material	Absorção de água (%)
Areia	0,7
Reciclado composto por blocos cerâmicos	9,6
Reciclado composto por tijolo	17,4
Reciclado composto por blocos de concreto	5,6

SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que para tijolos britados a taxa pode variar de 22 % a 25 %. Mostram resultados de ensaios com agregados reciclados de alvenaria em que a saturação completa ocorreu após 30 minutos de imersão. Apresentam relação linear entre a massa das partículas e a taxa de absorção: quanto maior a massa, menor a absorção. Afirmam, também, que há uma relação linear entre a massa das partículas e a dos agregados como um todo, e que a absorção de água pode ser determinada com base na massa dos agregados reciclados. Apontam para a necessidade de realizarem-se ensaios para confirmar a relação, antes de colocá-la em prática.

A alta absorção dos reciclados é levada em conta, também, na Diretriz 121 – DRG de RILEM, que trata do uso da parcela graúda do material em concretos. As taxas de absorção máximas admitidas são 10 % e 20 %, para agregados reciclados de concreto e de alvenaria, respectivamente.

Segundo HANSEN (1992) a proposição de Norma Japonesa “Agregado reciclado e concreto de agregado reciclado” limita o uso de reciclados de concreto, graúdo, na produção de novos concretos, àqueles com absorção menor que 7 %. Para os agregados miúdos o limite fixado é de 13 %.

Devido à maior absorção dos reciclados, vários autores recomendam seu uso na condição saturada, para evitar que o agregado retire água da pasta, necessária para a hidratação e ganho de resistência (HANSEN, 1992; SCHULZ & HENDRICKS, 1992; ANDRADE, 1998; FONSECA, 1998; I&T, 1995; CUR, 1984). Alguns pesquisadores, no entanto, estudam a influência do grau de saturação nas propriedades de concretos com agregados reciclados (BARRA, 1997).

I&T (1995) apresenta resultados de ensaios de determinação de absorção e do tempo de saturação de reciclados de diferentes composições: A) compostos predominantemente de argamassa e concreto; B) compostos predominantemente de materiais cerâmicos e argamassa. Os resíduos foram triturados em britador de mandíbula e peneirados em malhas $\frac{1}{2}$ ” e $\frac{1}{4}$ ” antes dos ensaios. Todas as amostras apresentaram saturação máxima antes de 15 minutos. Em função disto foram realizados outros ensaios para determinação da evolução da absorção no tempo. Foram ensaiadas amostras de diferentes composições, que no entanto se encaixam nas duas classificações apresentadas acima (A e B), e ao final pôde-se determinar faixa de absorção para cada uma delas (Tabela 25). Após imersão de 5 minutos as amostras atingiram pelo menos 95 % da absorção máxima (exceto uma, que atingiu 89 % da absorção máxima). Os resultados dos ensaios levam à conclusão que este tempo de saturação é suficiente para a pré-umidificação dos agregados, na preparação de concretos.

TABELA 25 - Absorção de água de agregados reciclados de diferentes composições (I&T, 1990).

Reciclado com predominância de	Absorção de água (%)
Argamassas, concretos e blocos de concreto	3 a 8
Argamassas e materiais cerâmicos	6 a 11
Argamassas e tijolos cerâmicos maciços	12 a 18

Observações após análise das informações relativas à absorção de água de agregados reciclados:

- O agregado reciclado apresenta absorção de água maior que o agregado convencional. Isto pode prejudicar a durabilidade e dificultar a produção de argamassas e concreto, caso esta característica não seja levada em conta;
- Devido à possibilidade do reciclado absorver água necessária para a hidratação do cimento, em argamassas e concretos, alguns autores recomendam que o material seja umidificado antes do uso, para permitir cura satisfatória;
- O tempo necessário para pré-umidificação do reciclado é relativamente curto, da ordem de 5 minutos, dependendo da sua composição. Até este tempo, ensaios demonstram que o agregado pode atingir pelo menos 95 % da absorção máxima;
- Agregados reciclados de concreto apresentam taxas de absorção menores que os agregados reciclados de alvenaria, pela menor porosidade dos resíduos utilizados em sua produção;
- A absorção de reciclados de concreto depende das características do concreto original (porosidade, teor de pasta etc.) e da granulometria. Quanto maior o teor de finos, maior tende a ser a absorção de água, pela maior quantidade de argamassa aderida. Os valores variam, mas pode-se observar que a absorção máxima, para o agregado como um todo, situa-se próxima aos 10 %, como confirmam algumas especificações para este tipo de agregado reciclado;
- A absorção de agregados reciclados de alvenaria é maior que a de agregados reciclados de concreto, devido à maior porosidade dos resíduos que o compõem. Podendo apresentar mais variações na composição que o reciclado de concreto, é de se esperar que as taxas de absorção variem mais intensamente de uma amostra para outra, neste caso;
- Alguns dos componentes de agregados reciclados de alvenaria podem apresentar taxas de absorção superiores a 15 %, como é o caso de componentes cerâmicos para alvenaria de vedação.

3.5.5. Teor de argamassa aderida

O teor de argamassa aderida é importante na análise da conveniência da aplicação da parcela miúda do reciclado de concreto em concretos, principalmente em serviços em que se exijam altas resistências mecânicas e durabilidade. Apresentando menor densidade, maior porosidade e menor resistência mecânica que o agregado convencional, a argamassa aderida pode prejudicar a qualidade do novo concreto. Para reciclados de alvenaria esta característica não é importante, já que as argamassas representam grande parcela do material.

HANSEN & NARUD apud HANSEN (1992)¹² apresentam resultados de ensaios de determinação do teor de argamassa aderida em agregados reciclados de concreto (Tabela 26). Pode-se observar que as parcelas miúdas do material apresentam maior teor que as graúdas. Esta é uma das razões pelas quais alguns autores não recomendam que se use reciclado miúdo na produção de concretos.

B.S.C.J. apud HANSEN (1992)¹³ apresenta resultados de ensaios de determinação de pasta de cimento hidratada aderida ao agregado reciclado de concreto miúdo (Tabela 27). Alguns resultados apresentados por HASABA apud HANSEN (1992)¹⁴ demonstram que o teor de argamassa aderida em agregados reciclados aumenta com a resistência do concreto processado (Tabela 28).

BARRA (1996) em pesquisa sobre aplicação de reciclado em concretos, determinou os teores de argamassa aderida dos reciclados de concreto, apresentados na Tabela 29. Também neste caso as parcelas mais miúdas apresentaram maiores teores que as mais graúdas.

TABELA 26 - Teor de argamassa aderida em agregados reciclados de concreto (HANSEN & NARUD apud HANSEN, 1992).

Dimensões das partículas (mm)	Argamassa aderida (% em volume)
4-8	60
8-16	40
16-32	25 a 35

¹² HANSEN, T. C.; NARUD, H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International – Design and construction*, 5, n.º 1, pp. 79-83.

¹³ B.C.S.J. - BUILDING CONTRACTORS SOCIETY OF JAPAN. Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste (1978). Study on recycled aggregate and recycled aggregate concrete,. Summary in *Concrete Journal*, Japan, 16, n.º 7, pp. 18-31 (em Japonês).

¹⁴ HASABA, S.; KAWAMURA, M.; TORIIK, K. et al. (1981). Drying shrinkage and durability of concrete made of recycled concrete aggregates. Translation of the Japan Concrete Institute, 3, pp. 55-60 (additional information obtained from background report in Japanese).

TABELA 27 - Teor de pasta de cimento hidratada aderida em agregados reciclados de concreto (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992).

Dimensões das partículas (mm)	Pasta de cimento aderida (% em massa)
0-0,3	45-65
20-30	20

TABELA 28 - Argamassa aderida em agregado reciclado de concreto, na parcela 5-25 mm (HASABA apud HANSEN, 1992).

Resistência do concreto original (MPa)	Argamassa aderida (% em volume)
24	35,5
41	36,7
51	38,4

TABELA 29 - Teor de argamassa aderida a grãos de rocha, em reciclado de concreto graúdos(BARRA, 1996)

Dimensões dos grãos do agregado	Teor de argamassa aderida (%)
6 a 12 mm	59,2
12 a 20 mm	51,7

Observações após análise das informações relativas à argamassa aderida às partículas do agregado original:

- A argamassa aderida pode prejudicar a qualidade do novo concreto, pela menor resistência mecânica, maior absorção e menor densidade;
- As parcelas miúdas do reciclado apresentam maior teor que as graúdas;
- Segundo alguns estudos, o teor de argamassa aderida em agregados reciclados aumenta com a resistência do concreto processado;
- Segundo opinião do autor deste trabalho, as desvantagens que a argamassa aderida pode trazer para o concreto com agregado reciclado podem vir a ser fator determinante na fixação de procedimentos operacionais em Centrais de Reciclagem que produzam agregado reciclado para uso em concreto armado.

3.5.6. Granulometria e conteúdo de finos

A distribuição granulométrica é importante na determinação de características de argamassas e concretos, influenciando na trabalhabilidade, na resistência mecânica, no consumo de aglomerantes, na absorção de água, na permeabilidade etc. A granulometria dos reciclados varia conforme o tipo de resíduo processado, os equipamentos utilizados, a granulometria do resíduo antes de ser processado e outros fatores. Assim, a curva granulométrica é característica específica de cada tipo particular de resíduo reciclado.

Para uso em concretos e argamassas pode-se realizar o peneiramento do material, buscando obter curvas similares às de areia e pedra convencionais. Entretanto, este procedimento pode levar a aumento de custo da reciclagem, a dificuldades técnicas e a desperdício de parcelas do reciclado. Deve-se considerar que a reciclagem pode ser desenvolvida de maneiras e escalas diferentes (recuperação de resíduos de alvenaria para produção de argamassa em obras particulares; recuperação de resíduos de concreto por construtoras e concreteiras de pequeno, médio e grande portes; reciclagem de resíduos diferenciados por centrais de reciclagem públicas ou particulares, de vários portes).

Nas Recicladoras em municípios brasileiros em que se utilizam britadores de impacto são geradas grande porcentagens de miúdos (até 60% em massa), devido ao tipo de resíduo, do britador utilizado e devido ao fato de não haver pré-classificação antes da britagem, para a retirada da parcela miúda do resíduo. Entretanto, mesmo retirando-se esta parcela, o geração de miúdos é significativa.

Pode-se obter curvas granulométricas diferenciadas do agregado reciclado, variando-se as regulagens internas dos britadores conforme a classe de reciclado a ser produzida e sua finalidade. A Figura 2 apresenta informações sobre as possibilidades de granulometria do mesmo resíduo, reciclado em um mesmo equipamento, quando se varia as regulagens internas do britador. Apesar da existência de curvas diferenciadas, pode-se identificar algumas que apresentam boa semelhança entre si, principalmente nas frações mais finas.

TABELA 30 – Regulagens do britador de impacto de Belo Horizonte/MG*

Amostra	A	B	C	D	E	F	G	H
Regulagem da placa superior (mm)	50	50	75	75	100	100	100	62,5
Regulagem da placa inferior (mm)	25	50	25	50	25	50	75	25

* - informações obtidas na empresa I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil

Segundo HANSEN (1992) britadores de mandíbulas com abertura 33 mm produzem material com 20 % de finos abaixo de 5 mm. Comparando esta informação com as da Figura 2 pode-se verificar as diferenças possíveis conforme se varia os equipamentos de britagem e o resíduo processado.

Agregados reciclados de concreto podem apresentar curvas muito parecidas com as de agregados naturais e não significativamente influenciadas pela resistência do concreto original HANSEN (1992). Com relação a agregados de alvenaria, SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que mesmo as centrais de reciclagem modernas encontram dificuldades para obter produtos que atendam às exigências de granulometria de agregados naturais.

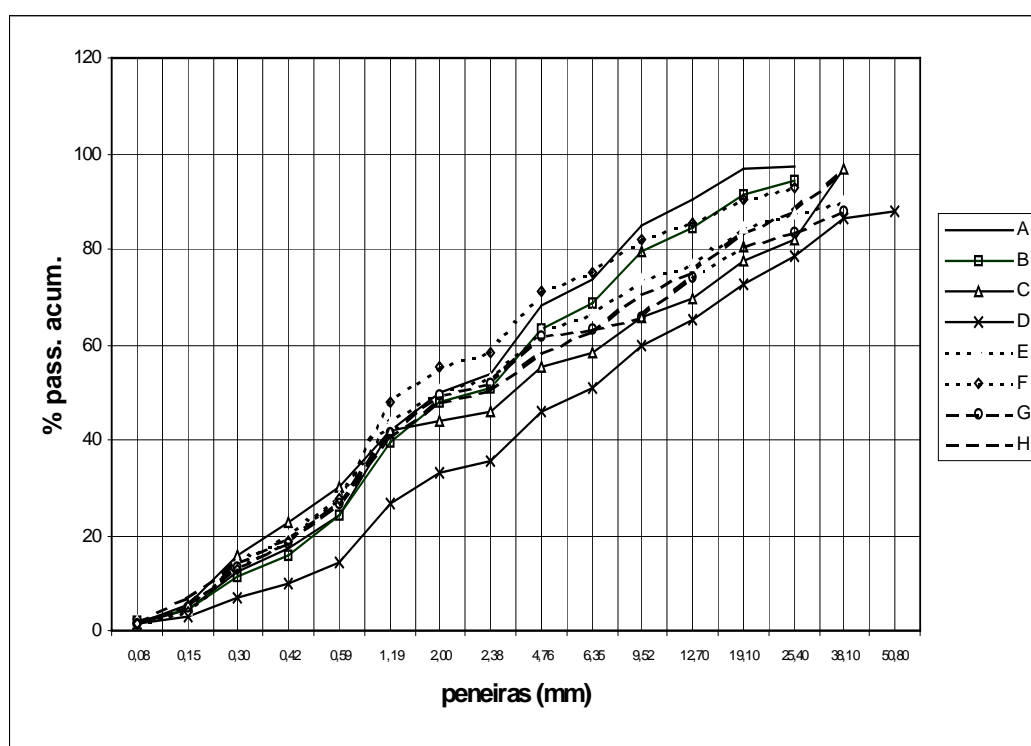


FIGURA 2 - Curvas granulométricas de agregado reciclado britado em britador de impacto regulado conforme Tabela 29¹⁵

Um fator negativo para o reciclado é que os resíduos de construção podem apresentar parcela significativa de material fino, que somada à produzidos na britagem leva à geração de grande parcela de miúdos no reciclado. CASTRO (1996) analisando resíduos de construção gerados na cidade de São Paulo, determinou a granulometria dos resíduos coletados em sua pesquisa (Tabela 31).

¹⁵ Informações obtidas na empresa I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil

Pode-se verificar que a maior parcela dos resíduos amostrados por CASTRO (1996) é composta por grão menores que 5 mm, e que a porcentagem de não passantes em # 15 mm é pequena.

TABELA 31 - Granulometria dos resíduos de construção amostrados na cidade de São Paulo (CASTRO, 1996)

Granulometria	Participação (%)
Maior que 15 mm	6,13
Entre 15 mm e 10 mm	3,37
Entre 10 mm 25 mm	9,08
Menor que 5 mm	81,43
Total	100,00

Na centrais de reciclagem de Belo Horizonte também se verifica a ocorrência de grande porcentagem de miúdos no resíduo a reciclar, segundo informações dos profissionais que gerenciam a reciclagem.

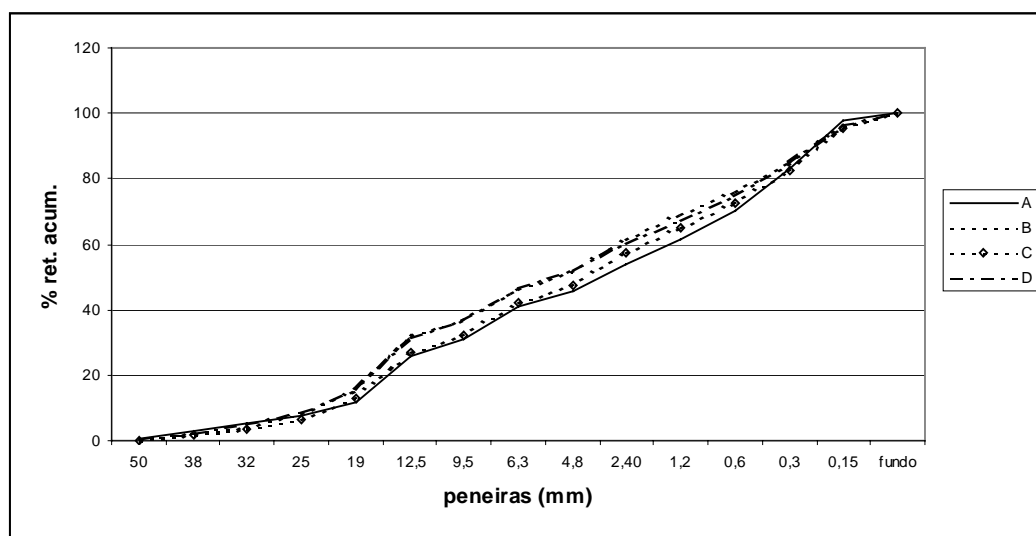


FIGURA 3 - Curvas granulométricas de reciclados da central de processamento de Ribeirão Preto/SP (ZORDAN, 1997)

LATTERZA (1997) ensaiou reciclado produzido em central pública em Ribeirão Preto/SP, verificando que do total do reciclado amostrado, 48 % a 59 % é passante em # 4,8 mm, e do retido em # 4,8 mm, 71 a 94 % apresenta dimensão máxima de 19 mm. Isto pode ser devido ao fato do resíduo reciclado ser de alvenaria, e ao uso de britador de impacto, que diminui consideravelmente as dimensões das peças britadas. ZORDAN (1997) também estudou a granulometria

do reciclado de Ribeirão Preto/SP¹⁶, obtendo as informações da Figura 3 (os resíduos a que se referem as informações têm suas composições apresentadas na Tabela 17). Pode-se observar claramente que resíduos com composições diferentes apresentaram curvas muito parecidas.

No item 3.8.2. são apresentadas informações sobre exigências quanto a granulometria do reciclado das normas holandesas.

Com relação à questão da granulometria de reciclado pode-se observar:

- A granulometria pode variar intensamente conforme o resíduo (tipo e granulometria), o britador e suas regulagens internas;
- O reciclado de alvenaria pode conter altos teores de miúdos, o que pode dificultar o controle da granulometria e gerar a necessidade de se identificar usos específicos para a parcela miúda não utilizada;
- Uma das possibilidades para se ajustar a granulometria do reciclado é a adoção dos limites utilizados para agregados convencionais. Neste caso, usando-se somente o reciclado ou sua mistura com agregados convencionais, em argamassas e concretos, pode-se obter certa segurança com relação à trabalhabilidade, consumo de cimento e outros fatores;
- Optando-se por trabalhar com o reciclado sem ajustes profundos na granulometria, com condições particulares de preparação e aplicação dos compósitos, seriam necessários estudos sobre as características específicas do material e as conseqüências destas características para o desempenho;
- A adoção de granulometrias particulares para o reciclado pode se justificar nos casos em que reciclado específico for produzido em escala significativa, e houver segurança que as condições de produção se manterão relativamente uniformizadas por bom período de tempo, como no caso de recicladoras públicas.

3.5.7. Massa específica e unitária

Os agregados reciclados apresentam, em sua maioria, massas específicas e unitárias menores que os agregados naturais. Mesmo reciclados de concreto estrutural seguem esta tendência. Isto se explica em parte pelo fato dos resíduos de construção serem compostos de materiais porosos. Isto se reflete nas massas específicas de argamassas e concretos elaborados com o material, que também são menores que as de argamassas e concretos convencionais.

¹⁶ A configuração dos equipamentos de Ribeirão Preto/SP é praticamente a mesma da de Belo Horizonte/MG

Reciclados de concreto apresentam massa específica maior que os de alvenaria e a parcela graúda de reciclados de concreto apresenta menor diferença com relação ao agregado convencional que a parcela miúda, devido ao menor teor de argamassa aderida.

HANSEN (1992) apresenta massas específicas de agregados, de algumas pesquisas (Tabelas 32 a 34). Pelos números das Tabelas, pode-se observar que a massa específica dos reciclados é em média 10 % menor que a de agregado convencionais (ambos no estado seco).

TABELA 32 - Massa específica de agregados (B.S.C.J.¹⁷, apud HANSEN, 1992)

Convencional (seco)	
Tipo	Massa específica (kg/m ³)
Graúdo	2.120 a 2.430
Miúdos	1.970 a 2.140
Reciclado (saturado superfície seca)	
Tipo	Massa específica (kg/m ³)
Graúdo	2.290 a 2.510
Miúdo	2.190 a 2.320

TABELA 33 - Massa específica de agregados (HANSEN e NARUD¹⁸, apud HANSEN, 1992)

Convencional		
Dimensões das partículas (mm)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
4-8	2.500	3,7
16-32	2.610	0.8
Reciclados de concreto (saturado superfície seca)		
Dimensões das partículas (mm)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
4-8	2.340	8,5 e 8,7
16-32	2.490	3,7 e 3,8

¹⁷ B.C.S.J. - BUILDING CONTRACTORS SOCIETY OF JAPAN. Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste (1978). Study on recycled aggregate and recycled aggregate concrete., Summary in Concrete Journal, Japan, 16, n.º 7, pp. 18-31 (em Japonês).

¹⁸ HANSEN, T. C.; NARUD, H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International – Design and construction*, 5, n.º 1, pp. 79-83.

TABELA 34 - Massa específica de agregados (B.S.C.J., apud HANSEN, 1992)

Convencional		
Dimensões das partículas (mm)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
< 5	2.590	?
5-25	2.700	?
Reciclados de concreto (saturado superfície seca)		
Dimensões das partículas (mm)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
< 5	2.310	10,9
5-25	2.430	6,76 e 7,02

HANSEN (1992) apresenta informação de massa unitária de reciclado, de 1.350 kg/m³, contra 1.440 kg/m³ de agregado convencional. ZORDAN (1997) estudando reciclado de alvenaria produzido em Ribeirão Preto, cuja composição é apresentada na Tabela 17, encontrou massas unitárias apresentadas na Tabela 35. Os resultados referem-se a "brita corrida" passante em # 50 mm.

TABELA 35 - Massa unitária (kg/dm³) de reciclado de alvenaria produzidos em Ribeirão Preto (ZORDAN,1997)

Amostra	Graúdo	Integral
A	1,09	1,40
B	1,00	1,36
C	1,12	1,38
D	1,16	1,40
Média	1,09	1,39

BARRA (1997) realizou ensaios de determinação de massa específica de reciclado de concreto, chegando aos resultados apresentados na Tabela 36. A redução da massa variou de 16 % a 30 %, dependendo do tipo de reciclado.

TABELA 36 - Massa específica (kg/m³) de reciclado de concreto (BARRA, 1997)

	Agregado convencional		Agregados reciclados			
			de concreto		de ladrilhos	
	12 a 20 mm	6 a 12 mm	12 a 20 mm	6 a 12 mm	12 a 20 mm	6 a 12 mm
Massa espec. seca	2.680	2.660	2.270	2.238	1.870	1.866
Relação com convencional	100	-	85	-	70	-
Relação com convencional	-	100	-	84	-	70

Pesquisadores da I&T (1991) estudando reciclado de alvenaria gerados em Santo André chegaram a massa unitária da ordem de 1.600 kg/m^3 , em média, para "brita corrida". LATTERZA (1997) determinou algumas características físicas de reciclado produzido em Ribeirão Preto, com composições indicada na Tabela 18. Os resultados estão apresentados na Tabela 37.

De uma maneira geral, pode-se afirmar com relação à massa do reciclado:

- A massa do reciclado é menor que a de agregados convencionais, mesmo a de reciclado de concreto de alta resistência;
- A diferença entre a massa de reciclados e agregados convencionais aumenta com o aumento da porosidade do resíduo reciclado;
- A massa de reciclados depende da granulometria.

TABELA 37 - Massa unitária (kg/dm^3) de reciclado de alvenaria produzidos em Ribeirão Preto (LATTERZA, 1997)

	Graúdo	
	Natural	Reciclado
Massa unitária no estado solto	1,44	1,10
Massa unitária no estado compactado	1,56	1,27
Massa específica	2,88	2,45

3.5.8. Contaminantes

Neste item são apresentadas informações sobre contaminantes em agregado reciclado. O item 3.8., referente a normalização sobre reciclado contém outras informações sobre o assunto. Pode-se considerar contaminantes no reciclado praticamente todos os materiais minerais não inertes ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas: cloretos, sulfatos, matéria orgânica, produtos industrializados leves (papel, plástico, tecido, borracha etc.), vidro, betume, vegetação, terra, gesso, madeira e outros. Logicamente, os materiais considerados impurezas e seus teores admissíveis variam com o uso pretendido do reciclado. Em alguns casos, mesmo materiais minerais inertes podem ser considerados contaminantes (p. ex.: resíduos de blocos cerâmicos em reciclados de concreto para uso em concreto). Para alguns contaminantes (como solo, madeira, asfalto, matéria orgânica e outros) algumas normas estrangeiras estabelecem como teores admissíveis aqueles que levam a prejuízos, à resistência à compressão ou à pega, superiores a 15 %. Em algumas normas há também referência à partículas que sofreram reações álcali-agregado, a materiais que

podem gerar expansão no concreto (óxidos de magnésio ou de cálcio) ou que podem levar a diferenças na cor do concreto (ferro e vanádio).

Como boa parte dos contaminantes apresenta massa específica bem inferior à dos resíduos minerais inertes, uma das formas de controlar seus teores é limitando a presença de materiais abaixo de determinada massa, conforme é feito na Diretriz 121-DRG e na proposta de norma japonesa (item 3.8.). No caso do contaminante apresentar massa semelhante ou superior à do reciclado, sua eliminação requer outros métodos (p. ex.: vidro e metais).

Um dos materiais mais prejudiciais no reciclado é o gesso, que pode levar à ocorrência de expansão no concreto ou argamassa devidas a sulfatos. Em praticamente todas as normas de reciclado estabelecem-se limites rigorosos ao conteúdo de sulfatos.

A presença de cloretos no reciclado pode levar à corrosão de armaduras e algumas normas limitam os teores significativamente. No entanto, HANSEN (1992) afirma que o conteúdo de cloreto abaixo do qual não há risco de corrosão ainda causa controvérsia. Apresenta recomendações da ACI para limites de íons cloretos, conforme a condição de exposição (Tabela 38).

TABELA 38 - Limites da ACI para conteúdo de cloreto no concreto (HANSEN, 1992).

Material	Teor máximo de cloreto % em massa do cimento)
Concreto protendido	0,06
Concreto armado convencional em ambiente úmido exposto a cloretos	0,10
Concreto armado convencional em ambiente úmido não exposto a cloretos	0,15
Concreto seco em construções acima do solo	Sem limites

O teor de vidro deve ser limitado, pois este material pode levar a reações álcali-sílica quando em contato com o cimento na presença de umidade. O betume também é prejudicial, podendo levar à redução da resistência à compressão do concreto. Substâncias orgânicas podem levar à instabilidade do concreto e introduzir quantidades de ar indesejáveis no concreto (HANSEN, 1992).

SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que os limites de constituintes leves sujeitos à remoção por lavagem do reciclado de alvenaria não devem ser tão rígidos para concretos de baixa resistência e concretos leves como devem ser para

concretos normais. Embora devam ser limitados em 3 % da massa conforme algumas normas, teores maiores podem ser admitidos se houver provas de que não prejudicam a qualidade do concreto. Segundo os autores, os conteúdos de impurezas são maiores na fração miúda do reciclado, podendo ser conveniente a eliminação da fração do reciclado abaixo de 4 mm. Citam estudos em que o teor de materiais removíveis por lavagem em reciclado de alvenaria com dimensões de 0 a 4 mm chegou a 13,4 % em massa.

Com relação aos contaminantes do agregado reciclado, de concreto ou de alvenaria, pode-se afirmar que: sendo proveniente de resíduos, o reciclado pode conter teores significativos de materiais que podem ser considerados impurezas. Entretanto, quais materiais são impurezas e quais os teores admissíveis destes materiais depende, até certo ponto, do uso pretendido para o agregado reciclado.

3.5.9. Outras propriedades

No ensaio de **abrasão** Los Angeles pode-se obter informações sobre a resistência mecânica dos agregados, principalmente a fragmentação e atrito. Os resultados do ensaio são indicadores da qualidade dos materiais. A Designação ASTM 33: “Norma de especificação para agregados para concreto” limita a perda de massa por Abrasão Los Angeles em 50 % para agregados para uso em concreto. Alguns resultados de ensaios levam à conclusão que o reciclado de concreto pode atender à esta exigência, exceto os obtidos de concretos de baixa qualidade (Hansen e Narud¹⁹ – 22,1 % para agregado de 16 a 32 mm e 41,4 % para agregado de 4 a 8 mm; B.C.S.J. – 25,1 % a 35,1 % para agregados graúdos de 15 diferentes concretos, britados de modos diferentes; Yoshikane²⁰ – 20,1 % a 28,7 % para agregado reciclado de 5 a 13 mm obtido a partir de concreto de 40 a 15 MPa (HANSEN, 1992).

ANDRADE et al. (1998) apresenta resultados de ensaios de abrasão Los Angeles em reciclados de diferentes composições (Tabela 39). Realizaram-se ensaios com outra partida de resíduos, tendo chegado aos resultados apresentados na Tabela 40. Segundo os autores, as diferenças de resultados de ensaios em resíduos de diferentes partidas, mas do mesmo grupo, mostram a heterogeneidade dos resíduos de construção, sobre a qual se discute no item 3.5.3.

¹⁹ E.R.L. (1979). Demolition waste – an examination of the arisings, end-uses, and disposal of demolition wastes in Europe and the potential for further recovery of material from these wastes. *Report prepared for the Commission of the European Communities, DG-12. Environmental Resources Limited, London.* The Construction Press, Lancaster, London.

²⁰ YOSHIKANE, T. Present status of recycling waste cement concrete in Japan. Private Communication Research Laboratory, Taiyu Kensetdu Co. Ltd., Japan.

TABELA 39 - Perda de massa em ensaio de Abrasão Los Angeles (ANDRADE et al. 1998)

Grupo	Resíduos	Perda por abrasão (%)
AGR-1	Concreto e cerâmicos	67,1
AGR-2	À base de cimento	64,3
AGR-3	Cerâmicos	22,8

TABELA 40 - Perda de massa em ensaio de Abrasão Los Angeles (CAVALCANTE, apud ANDRADE et al. 1998)

Grupo	Resíduos	Perda por abrasão (%)
AGR-1	Concreto e cerâmicos	49,0
AGR-2	À base de cimento	44,0
AGR-3	Cerâmicos	18,0

BARRA (1996), em suas pesquisas sobre aplicação de reciclados em concretos, realizou ensaios de Abrasão Los Angeles, tendo chegado aos resultados apresentados na Tabela 41. Os agregados de dimensões de grãos maiores apresentaram maiores perdas por abrasão.

TABELA 41 - Resultados de ensaios de Abrasão Los Angeles (%) de agregados graúdos (BARRA, 1996)

Material	6 a 12 mm	12 a 20 mm
Agregado convencional	20,4	24,7
Reciclado de concreto	29,5	31,0
Reciclado de tijolos cerâmicos	23,9	26,9

Dependendo do tipo de resíduo de construção processado e dos equipamentos utilizados, o reciclado pode apresentar **forma** mais lamelar e textura mais áspera que os agregados convencionais. Isto se reflete na qualidade de argamassas e concretos preparados com o material. Devido à forma e textura do reciclado, pode ser necessário maior teor de aglomerantes e de água, para que o compósito seja trabalhável. Isto pode aumentar os custos de produção ou prejudicar a qualidade, pelo aumento da relação a/c.

Em concretos, as partículas lamelares alinhadas de modo semelhante podem criar superfícies de fratura, enfraquecendo os elementos construtivos (I&T, 1991). Britadores de impacto geram partículas mais íntegras e de forma mais cúbica que britadores de mandíbulas, que tendem a produzir partículas lamelares e com linhas de fratura pronunciadas.

3.6. Propriedades de concretos com agregados reciclados

3.6.1. Considerações gerais

Para que se aplique o reciclado em concretos é necessário que o material atenda a algumas especificações básicas. HANSEN (1992) afirma que embora as especificações variem de país para país, pode-se identificar exigências gerais a que qualquer agregado deve atender: (1) deve ser suficientemente resistente para o uso no tipo de concreto em que for usado;(2) deve ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade; (3) não deve reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras; (4) não deve conter impurezas reativas; (5) deve ter forma de partículas e granulometria adequadas à produção de concreto com boa trabalhabilidade.

Concretos com reciclado apresentam, em geral, características diferentes dos concretos convencionais, e o grau de diferença depende do tipo e qualidade do reciclado. Algumas características do concreto modificadas pelo uso de reciclado são: resistência mecânica; absorção de água, porosidade e permeabilidade; retração por secagem; módulo de elasticidade; fluência; massa específica.

As características dos concretos com reciclado variam mais que as de concretos convencionais, pois além das variações ligadas à relação a/c e ao consumo de aglomerantes, há ainda as mudanças determinadas por variações na composição e outras características físico-químicas dos resíduos reciclados. Apesar disto pode-se obter concretos com reciclado adequados a diversos serviços de construção, inclusive alguns de responsabilidade estrutural, desde que se tomem cuidados com a produção do agregado e do novo concreto (escolha do resíduo, classificação e separação de contaminantes, controle de qualidade, adoção de procedimentos corretos de aplicação, análise das condições de exposição e outros cuidados). Na revisão bibliográfica buscou-se principalmente informações sobre características dos concretos com reciclado ligadas à qualidade e durabilidade dos serviços em que forem aplicados. Apresenta-se a seguir relação geral destas características:

Propriedades do concreto com reciclado - Concreto fresco

- Relação a/c efetiva, água requerida e trabalhabilidade;
- Compactação;
- Taxa de desenvolvimento da resistência;
- Conteúdo de cimento;
- Massa específica.

Propriedades do concreto com reciclado - Concreto endurecido

- Resistência à compressão;
- Retração e estabilidade volumétrica;
- Resistência à flexão;
- Módulo de elasticidade;
- Massa específica;
- Fadiga;
- Fluência;
- Resistência a soluções agressivas;
- Resistência ao fogo;
- Durabilidade:
 - Porosidade, permeabilidade e absorção de água;
 - Resistência ao congelamento;
 - Carbonatação e corrosão da armadura;
 - Reação álcali-agregado.

Nem todas as propriedades listadas acima estão desenvolvidas no texto a seguir, por serem consideradas muito específicas ou porque não se obteve informações que justificassem sua inclusão no trabalho.

3.6.2. Resistência à compressão

Concretos com reciclado apresentam em geral resistências à compressão menores ou iguais às dos concretos convencionais, para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistências à compressão maiores que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento.

Pelas diferenças no comportamento em função do tipo de resíduo utilizado e a faixa de resistência do concreto, é necessário que se analisem os diferentes tipos de concretos com resíduos separadamente.

a) Concretos com agregados reciclados de alvenaria

Resíduos reciclados de alvenaria são em geral menos resistentes e mais porosos que os de concreto, e por isto levam a maiores perdas de resistência do novo concreto. SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que para se obter a mesma resistência do concreto convencional, o consumo de cimento do concreto com reciclado de alvenaria deve ser 20 % maior. Se for utilizada a parcela miúda do

reciclado, o acréscimo no consumo pode ser ainda maior. Não é informado o quanto o consumo deve variar em função da faixa de resistência. Segundo os autores, depois da II Grande Guerra, produziu-se concretos com reciclado de alvenaria que atingiam resistências à compressão entre 12 e 16 MPa.

Em pesquisa de viabilidade técnica da reciclagem (I&T, 1991) chegou-se a resistências à compressão de concretos com reciclado de alvenaria variando entre 13 e 22 MPa, para consumos de 210 a 290 kg/m³ (Tabela 42). Na pesquisa foram analisados dois tipos de agregados: composto predominantemente de argamassas e concretos (Resíduo 1); Composto predominantemente de materiais cerâmicos (Resíduo 2). O primeiro tipo apresentou resistência à compressão maior que o concreto convencional para consumo de 210 kg/m³, e para os demais traços os valores foram iguais ou menores, enquanto que no segundo as resistências foram maiores que as do concreto convencional. À medida em que o consumo aumenta, diminui a diferença das resistências, sendo de se esperar que para traços mais ricos o concreto convencional seja mais resistente que o com reciclado.

TABELA 42- Resistência à compressão de concretos convencionais e com reciclado, aos 28 dias, em MPa. Valores aproximados (I&T, 1991)

Consumo de cimento (kg/m ³)	Agregado convencional	Resíduo 1	Resíduo 2
210	11	13	14
230	14	16	15
250	18	18	15
270	19	21	18
290	20	22	20

ZORDAN (1997) também concluiu que a resistência à compressão do concreto com reciclado aproxima-se da do convencional à medida que o consumo diminui. Utilizando reciclado com as composições apresentadas na Tabela 17, realizou ensaios em concretos convencionais e com reciclado. Utilizou reciclado da recicladora pública de Ribeirão Preto, tendo sido utilizadas as frações graúda e miúda. Os traços estudados foram 1:3, 1:4 e 1:7 (cimento:agregado, em massa).

Para o traço 1:3 as resistências médias variaram de 21,1 a 31,7 MPa, contra 49,8 MPa do concreto de referência (convencional). Para o traço 1:5, as resistências variaram de 16,5 a 20,6 MPa, contra 29,9 MPa do concreto de referência. Para o traço 1:7 os valores foram 13,2 a 15,2 MPa, contra 15,3 MPa.

TABELA 43 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias. Análise comparativa (%) - Resistências médias e máximas (ZORDAN, 1997)

Resistências médias						
Traço	Reciclado					Referência
	A	B	C	D	Média	
1:3	61	47	42	47	49	100
1:5	69	61	55	62	62	100
1:7	100	93	87	90	93	100
Resistências máximas						
Traço	Reciclado					Referência
	A	B	C	D	Média	
1:3	64	48	43	48	51	100
1:5	72	61	56	68	64	100
1:7	102	93	89	98	95	100

ANDRADE et al. (1998) realizaram ensaios de resistência à compressão de concreto, com reciclados com composições diferentes: 1) à base de cimento e materiais cerâmicos; 2) à base de cimento (concreto e argamassas); 3) à base de materiais cerâmicos (azulejo). Somente a porção graúda (> 4,8 mm) do reciclados foi utilizada. As resistências variaram de 12,2 MPa (traço 1:6,5 com reciclado 1) até 36,1 MPa (traço 1:3,5 com reciclado 3). Todos os concretos com reciclado apresentaram resistências à compressão menores que o concreto convencional.

FONSECA et al. (1998) apresentam resultados de ensaios de resistência de concretos com reciclado composto predominantemente de resíduos de cerâmica vermelha estrutural. Foi utilizada a fração graúda do reciclado. O agregado miúdo foi composto de areia com substituição de 1/3 do seu volume por reciclado miúdo. Os concretos com reciclado e com agregados convencionais foram moldados com igual traço em volume. Os resultados estão apresentados na Tabela 44.

TABELA 44 - Resistência à compressão do concreto (FONSECA et al., 1998)

Concreto	Idade (dias)	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
Reciclado	7	17,1 (76%)	1,26
Convencional		22,5 (100%)	1,16
Reciclado	28	20,8 (83%)	1,83
Convencional		25,2 (100%)	1,46

LATTERZA (1997) ensaiou concretos normais e com reciclado, utilizando reciclado graúdo, da recicladora pública de Ribeirão Preto. Foi analisada a substituição de agregado de dimensões de 4,8 mm a 19,0 mm por 50 % e 100 % de reciclado. O concreto de referência foi moldado com agregado graúdo de dimensão máxima 9,5 mm e consumo 335 kg/m³. Os concretos com reciclado foram preparados substituindo-se o graúdo convencional por 50 % e 100 % de graúdo reciclado.

TABELA 45 - Resistência à compressão do concreto (LATTERZA, 1997)

Série	Tipo de agregado	a/c	Abatimento (mm)	Resistência (MPa)	
				7 dias	28 dias
1	Natural	0,68	18	15,2 (1,00)	22,3 (1,00)
2	50% nat. e 50% recicl.	0,68	10	19,2 (1,26)	29,0 (1,30)
3	100% recicl.	0,74	0	18,2 (1,20)	27,0 (1,21)

As resistências dos concretos com reciclado resultaram maiores que a do convencional. Analisando as relações a/c e o abatimento pode-se propor algumas hipóteses para estes resultados. Sendo o reciclado mais absorvente que o agregado convencional, é de se esperar que a relação a/c do concreto com o material fosse maior, para obter-se abatimentos semelhantes entre os dois tipos de concreto. Em um dos ensaios o abatimento foi nulo, o que pode ter ocorrido pela retirada de água da pasta, por absorção. As informações levam a crer que as condições dos concretos ensaiados foram muito diferentes, e que a relação a/c do concreto com reciclado foi bastante inferior à do convencional. levando a compósitos com menor relação a/c da pasta, maior compacidade e maior resistência mecânica.

Em ensaios posteriores as resistências dos concretos com reciclado foram menores, mas também neste caso houve diferenças significativas nos abatimentos. A ausência de uniformidade nos resultados pode ser devida à não umidificação do reciclado antes da preparação do concreto. O pesquisador misturou os materiais a seco antes da adição de água. Problema semelhante ocorreu nas etapas iniciais de pesquisa realizada por I&T (I&T, 1991) e depois que se passou a pré-umidificar o reciclado o conseguiu-se uniformidade nos resultados.

TABELA 46 - Resistência à compressão do concreto utilizado na segunda série de ensaios, aos 7 dias, em MPa (LATTERZA, 1997)

Série	Tipo de agregado	a/c	Abatimento (mm)	Resistência à compressão 7 dias (MPa)
1	Natural	0,64	7	21 (1,00)
2	50% nat. e 50% recicl.	0,68	12	20 (0,95)
3	100% recicl.	0,68	29	16 (0,76)

ANDRADE et al. (1998) realizaram ensaios com concretos convencionais e com reciclado, preparados com resíduos de composições diferenciadas (Tabela 47). Os reciclados foram produzidos em britador de mandíbulas de pequeno porte, obtendo-se granulometria satisfatória, na opinião dos autores.

Utilizaram-se os seguintes traços em volume: 1:3,5; 1:5; 1:6,5. Os autores consideram que não há sentido em utilizar-se a relação água/cimento da argamassa de concretos com reciclado, já que parte da água permanece no interior dos grãos do agregado, e não se pode medir a quantidade exata de água disponível para a hidratação do cimento. Utilizaram agregado saturado através da imersão durante 15 minutos em água. Propõem que não se considere o fator a/c nos cálculos de concreto com reciclado, mas apenas o abatimento e o traço.

TABELA 47 - Agregados reciclados utilizados nos ensaios de concreto (ANDRADE et al., 1998)

Grupo	Tipo de resíduo
AGR-1	Concreto e cerâmicos
AGR-2	À base de cimento
AGR-3	Cerâmicos (azulejos)

TABELA 48 - Relação água/cimento para os concretos com reciclado de diferentes traços (ANDRADE et al., 1998)

Grupo	Água/mat. secos em massa (%)	Água/mat. secos em volume (%)	Relação água/cimento *		
			1:3,5	1:5	1:6,5
AGR-1	10,3	26,2	0,46	0,62	0,77
AGR-3	11,3	27,8	0,51	0,68	0,85
AGR-3	11,9	30,5	0,54	0,71	0,85
BRITA	10,7	27,9	0,48	0,64	0,80

(*) – considerando a quantidade total de água (presente no agregado + água adicionada)

Os concretos que apresentaram as menores resistências à compressão foram os do grupo AGR-1. Todos os concretos com reciclado apresentaram resistências menores que o concreto convencional. Analisando a resistência à compressão e os custos de reciclagem e de preparação dos concretos com reciclado, os autores concluíram que concretos do Grupo AGR-1 e AGR-2 são viáveis economicamente na faixa de resistência de 13 e 17 MPa, respectivamente.

Considerando-se os resultados de pesquisas sobre a aplicação do reciclado de alvenaria em concretos, pode-se observar que:

- As resistências à compressão de concretos com o reciclado, para um mesmo consumo, podem variar consideravelmente conforme a composição do resíduo e as condições de preparação do concreto;
- As diferenças entre as resistências à compressão de concreto convencional e com reciclado diminuem com a diminuição do consumo de cimento, podendo vir a ser inexistentes, para baixos consumos;
- Apesar das variações, a resistência à compressão de concretos com reciclado situa-se em uma faixa notável nas pesquisas. Para consumos acima de 200 kg/m^3 pode-se obter concretos com resistência à compressão acima de 10 MPa. Pelos resultados de pesquisas realizadas no Brasil, pode-se alcançar facilmente 20 MPa com consumos de até 300 kg/m^3 ;
- Pode-se alcançar resistências de 25-30 MPa com reciclado de alvenaria, embora possa não ser recomendável o uso de concreto desta resistência em larga escala, pela heterogeneidade do resíduo de construção e por faltar conhecimentos sobre o material, para as condições brasileiras;
- Para altos consumos, quanto maior a presença de cerâmicos no reciclado, menor a resistência do concreto, já que os grãos apresentam menor resistência que resíduos de concreto e alguns resíduos de argamassa. Para baixos consumos esta perda de resistência não é tão significativa;
- As perdas de resistência do concretos com reciclado em relação ao convencional mostraram-se diferentes nas pesquisas nacionais, variando de inexistentes até 50 %;
- Levando em conta a resistência à compressão, o reciclado de alvenaria pode ser aplicado em concreto, alcançando-se com isto resistências próximas às dos concretos convencionais, para traços pobres e médios.

b) Concretos com agregados reciclados de concreto

Concretos com reciclado de concreto apresentam diferenças com relação aos concretos com reciclado de alvenaria: melhor qualidade (maior resistência mecânica, menor absorção de água etc.), devido à melhor qualidade dos grãos; maior uniformidade nas propriedades físico-químicas, já que o agregado é composto por um menor número de materiais (argamassa de cimento e areia, pedra britada e adições para concreto).

BARRA (1996) realizou ensaios com reciclados de concreto e com mistura de reciclado de concreto com resíduo de alvenaria (tijolos). Foi utilizada a parcela graúda do reciclado, com dimensões de 6 a 12 mm e de 12 a 20 mm. A melhor proporção entre estes tipos, determinada em ensaios, foi 40%-60%, respectivamente, e foi utilizada na preparação dos concretos para ensaios. Para manter as condições de comparação, foi utilizada a mesma proporção em volume para o concreto reciclado e para o convencional. Como as massa específicas são diferentes, houveram ajustes na proporção em massa. A quantidade de água foi ajustada para se manter a consistência. Nas Tabelas 49 e 50 são apresentadas informações sobre características dos concretos ensaiados.

TABELA 49 - Características de concretos ensaiados por BARRA (1996)

Concreto	Agregado graúdo	Denominação	Porcentagem de tijolos no agregado graúdo total
<i>Convencional</i>			
Hr	Rocha	Rico	0%
Hn	Rocha	Normal	0%
Hp	Rocha	Pobre	0%

Reciclado			
Rr	Concreto	Rico	0%
Rr *	Concreto	Rico	0%
Rn	Concreto	Normal	0%
Rn *	Concreto	Normal	0%
Rn **	Concreto	Normal	0%
Rp	Concreto	Pobre	0%
Rp *	Concreto	Pobre	0%
Rr10	Concreto + tijolo	Rico	10%
Rr40	Concreto + tijolo	Rico	40%
Rn10	Concreto + tijolo	Normal	10%
Rn20	Concreto + tijolo	Normal	20%
Rn40	Concreto + tijolo	Normal	40%
Rp10	Concreto + tijolo	Pobre	10%
Rp40	Concreto + tijolo	Pobre	40%

Concreto pobre (p) : $C < 300 \text{ kg/m}^3$ / normal(n) : $300 \text{ kg/m}^3 < C < 400 \text{ kg/m}^3$ / rico (r): $C > 400 \text{ kg/m}^3$
 (*) seqüência de misturação: pasta + graúdo + miúdo
 (**) seqüência de misturação: argamassa + graúdo

TABELA 50 - Propriedades dos concretos (BARRA (1996))

Concreto	A/C	C (kg/m^3)	Abatimento (mm)
Convencional			
Hr	0,41	439	50
Hn	0,53	321	50
Hp	0,66	257	50
Reciclado			
Rr	0,42	457	50
Rr *	-	-	50
Rn	0,54	344	50
Rn *	-	-	50
Rn **	-	-	55
Rp	0,67	274	50
Rp *	-	-	50
Rr10	0,41	460	35
Rr40	0,36	471	0
Rn10	0,55	346	40
Rn20	0,52	346	25
Rn40	0,48	350	5
Rp10	0,64	277	35
Rp40	0,55	283	10

Pode-se observar que nos concretos com cerâmicos o abatimento foi sensivelmente menor, devido à maior absorção dos agregados. BARRA (1996) avalia que os benefícios da redução da relação a/c são compensados por prejuízos devido à presença dos cerâmicos, que levam a heterogeneidade nos agregados.

TABELA 51 - Propriedades dos concretos ensaiados por BARRA (1996)

Concreto	f_c7 (MPa)	f_c28 (MPa)
Convencional		
Hr	55,8	67,6
Hn	47,7	55,7
Hp	37,0	44,4
Reciclado		
Rr	52,1	58,2
Rr *	54,9	59,9
Rn	44,9	50,2
Rn *	40,2	47,0
Rn **	42,3	48,6
Rp	32,0	40,3
Rp *	36,3	41,4
Rr10	51,3	58,7
Rr40	52,0	62,6
Rn10	37,4	46,5
Rn20	44,9	50,4
Rn40	48,0	54,3
Rp10	34,4	40,1
Rp40	-	44,7

Concretos com reciclado de concreto apresentaram menores resistências à compressão que concretos convencionais, em todos os casos. A adição de cerâmicos ao concreto com reciclado não prejudicou a resistência à compressão.

A partir de diagramas de dosagem elaborados por BARRA (1996), foram estimados os consumos de cimento para que concretos convencionais e reciclados alcancem determinadas resistências (Tabela 52). Pode-se observar que é necessário acréscimo de cimento nos concretos com reciclado para que alcancem as mesmas resistências que os convencionais. A quantidade acrescentada aumenta com o aumento da resistência desejada para o concreto (pelos números da tabela, o acréscimo é de 7,3 % para 45 MPa e 17,3 % para 57,5 MPa).

Foi analisada também a perda de resistência de concretos com mesmo consumo de cimento (Tabela 53). Os resultados mostram queda de 8% na resistência à compressão de concretos com reciclado com consumo de 300 kg/m³, e de 10 % em concretos com reciclado com consumo de 425 kg/m³.

TABELA 52 - Análise de consumo de cimento para uma dada resistência (BARRA, 1996)

Caso	fc ₂₈ (MPa)	A/C	m	C (kg/m ³)
Concreto convencional				
I	45	0,66	7,0	278
II	57,5	0,51	5,0	375
Concreto reciclado				
I	45	0,595	5,8	298
II	57,5	0,43	3,6	440

TABELA 53 - Análise da resistência para um determinado consumo (BARRA, 1996)

Caso	C (kg/m ³)	A/C	m	fc ₂₈ (MPa)
Concreto convencional				
III	300	0,61	6,50	49
IV	425	0,45	4,33	63
Concreto reciclado				
III	300	0,60	5,75	45
IV	425	0,44	3,81	57

BARRA (1996) afirma, com base em seus resultados, que as dispersões nos resultados de resistência à compressão de concretos convencionais e com reciclado são muito parecidas, e que aumentam com o aumento da resistência.

Conclui que pode-se obter concretos com reciclado com boa resistência (da mesma ordem de grandeza de concretos convencionais), bastando para isso aumentar o consumo de cimento. Para baixos consumo, o acréscimo necessário no consumo de cimento é pequeno. Conclui também que a adição de cerâmicos até determinados teores não afeta negativamente a resistência à compressão de concretos com reciclado.

Segundo BARRA (1996) existem muitos estudos comparando resistência de concretos convencionais e de concretos com reciclado, que apresentam resultados não uniformes e não coincidentes, devido a diferenças nos ensaios. Encontra-se

desde queda de 40 % até aumento de 8,5% nas resistências, quando se usa o reciclado. Para uma comparação satisfatória seria necessário saber quais os parâmetros se mantêm constantes e exatamente quais materiais se compara. Não se pode considerar resultados de concretos com reciclados como válidos para todos os casos, sendo sempre válidos para uma situação bem específica.

No Relatório RILEM n.º 6 (HANSEN, 1992) estão apresentadas algumas informações sobre o uso de reciclado de concreto na produção de novos concretos (Deve-se considerar, ao analisar as informações do Relatório, que em muitos dos ensaios utilizou-se concretos com resistências consideráveis, de até 60 MPa):

- Concretos com reciclado graúdo e areia natural apresentam resistências à compressão maiores que os com agregados reciclados, apenas. A queda pode ser de até 20 %, mas em geral é inferior a este valor. Apresentam-se perdas de resistência à compressão de várias pesquisas: 14 a 32 %; 10 % (segundo várias pesquisas); 8 a 24%; 5%; 0 a 10%, 14%;
- Usando-se as frações graúda e miúda do reciclado, as perdas na resistência à compressão podem ser ainda maiores (30 % em média). Apresentam-se informações relativas à perda de resistência de várias pesquisas: 32 %; 40 %; 20 %; 20 a 40 %; 15 %. Somente em uma pesquisa se identificou ganho de resistência com o uso de reciclado miúdo;
- Alguns autores afirmam que se pode diminuir a perda de resistência causada pelo reciclado miúdo substituindo-o em parte por areia natural ou cinzas volantes. Ensaio com reciclado graúdo e agregado miúdo composto de 50 % de areia natural e 50 % de reciclado miúdo chegou a resistência à compressão entre 10 e 20 % menor, comparada com concreto com reciclado graúdo e areia natural. Quando se usou exclusivamente reciclado a perda de resistência foi de 20 a 40 %;
- Pelo que se pôde concluir de resultados de ensaios, a parcela mais fina da areia (< 2 mm) é a que causa maiores perdas de resistência. Quando se substitui as parcelas mais graúdas da areia convencional por reciclado, as perdas são menores;
- Em ensaios de laboratório a variação nas resistências de concretos com reciclados não diferiram muito das verificadas para concretos convencionais. Entretanto, HANSEN (1992), afirma ser muito provável que em situações práticas isto não se repita, pela dificuldade de se controlar da água livre quando se usa agregados com alta absorção. Mesmo com saturação prévia

do agregado é de se esperar que ocorram variações. Quando o reciclado é obtido de concretos originais com grandes variações de qualidade, é de se esperar que as variações nos valores de resistências à compressão sejam significativas (12 a 25 %, segundo ensaios).

c) Considerações gerais sobre resistência à compressão de concretos com reciclado

Concretos com reciclado apresentam resistência igual ou menor às de concretos convencionais. Em apenas alguns casos específicos a resistência pode ser maior. A perda de resistência de concretos com reciclado de concreto pode chegar a 30 %, enquanto que para concretos com reciclado de alvenaria pode chegar a 50 %, dependendo da composição e do consumo de cimento.

A perda de resistência com relação ao concreto convencional diminui com a diminuição do consumo de cimento. Isto ocorre porque em traços mais pobres o ponto fraco da matriz do concreto passa a ser a argamassa e não o agregado, como ocorre nos traços mais ricos. De uma maneira geral, quanto maior a resistência dos grãos do reciclado, maior a resistência do concreto.

Para resistência média e altas, é necessário que se aumente o consumo de cimento para que o concreto com reciclado atinja as mesmas resistências que o convencional. Neste caso é necessário que analisem os impactos econômicos do aumento do consumo do aglomerante.

Com o agregado reciclado, é possível obter-se concretos com alta resistência à compressão, mas para isto é necessário que se utilizem resíduos de concreto estrutural de boa qualidade (alta resistência e baixa relação a/c) e que se controle rigorosamente o processo de reciclagem e a qualidade do agregado obtido.

Em situações práticas de uso do reciclado uma das maiores dificuldades é a manutenção de composição e qualidade uniformes. Segundo a opinião do autor desta dissertação, pode ser inevitável a indicação do uso de concretos com reciclado apenas em serviços simplificados e de baixa responsabilidade estrutural, até que se obtenha reciclado com qualidade satisfatória.

3.6.3. Retração por secagem

Segundo Relatório RILEM n.º 6 (HANSEN, 1992; SCHULZ & HENDRICKS 1992), a retração de concretos com reciclado é maior que a de concretos convencionais. Em concretos com reciclado de concreto a retração é maior em função da argamassa aderida. Como o reciclado miúdo apresenta maior teor de argamassa aderida, a retração aumenta com a aplicação desta parcela.

HANSEN (1992) apresenta resultados de ensaios de concretos com reciclados de concreto que demonstram que a retração é maior neste caso que no concreto convencional. Em concretos com reciclado graúdo o aumento variou de 20 a 50 %, conforme o ensaio. Quando se usou reciclado graúdo e miúdo, a retração aumentou entre 70 a 80 %. Segundo resultados de pesquisas, a retração aumenta com o aumento da resistência do concreto com reciclado (HANSEN, 1992).

No caso de concretos com reciclado de alvenaria, a retração, após um ano, não aumenta tanto com relação à do concreto convencional, segundo resultados apresentados por SCHULZ & HENDRICKS (1992). Segundo os autores, era de se esperar que a retração de concretos com reciclado de alvenaria fosse maior, devido ao fato dos grãos do agregado oferecerem menor resistência aos esforços de retração da pasta de cimento, pelo seu menor módulo de elasticidade. Os autores especulam que o período de um ano é insuficiente para a medição da retração por secagem, a qual não ocorre em baixas idades pela presença de água no interior dos grãos do reciclado. Isto gerou erros de avaliação no período pós-guerra, em que se julgou que a retração de concretos com reciclado era menor que a de concretos convencionais. Na verdade, a retração final de concretos com reciclado de alvenaria é cerca de 40 % maior que a de concretos convencionais.

3.6.4. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade de concretos com reciclados é em geral menor que o de concretos convencionais, mesmo que se utilize reciclado de concreto. Isto pode ser explicado pela presença de argamassa aderida no reciclado, que apresenta menor módulo de elasticidade e baixa o módulo do concreto. Por isso, a aplicação da parcela miúda do reciclado é prejudicial, pelo seu maior teor de argamassa aderida (HANSEN, 1992).

O módulo de elasticidade de concretos com reciclado de concreto pode ser menor que o do concreto convencional de 15 % a 40 %, segundo resultados de várias pesquisas. Quando se substitui o reciclado miúdo por areia convencional, a redução nos valores são menores (HANSEN, 1992).

O módulo de elasticidade de concretos com reciclado de alvenaria pode apresentar valores correspondentes a 43 % a 50 % do módulo de concreto convencional SCHULZ & HENDRICKS (1992). Considerando a diferença de resistência mecânica entre o reciclado de alvenaria e o de concreto, é esperado que o concreto preparado com o primeiro apresente módulo de elasticidade menor que o segundo.

Na Tabela 89 (Fatores de avaliação das propriedades do concreto com agregado reciclado -RILEM, 1994) são apresentados números que fixam a perda no módulo de elasticidade de concreto com reciclado de alvenaria em 35 % e com reciclado de concreto em 20 %.

A diferença entre módulo de elasticidade de concretos convencionais e concretos com reciclado aumenta com o aumento da resistência mecânica do concreto, como pode ser observado pela Tabela 93, que apresenta relação entre parâmetros de concreto com reciclado e concreto com agregado convencional (CUR, 1986).

3.6.5. Absorção de água, permeabilidade e carbonatação

Sendo o agregado reciclado mais absorvente que o convencional, concretos com o material apresentam absorção maior que o concreto convencional. Utilizando reciclado de concreto, a absorção tende a ser menor que quando se usa reciclado de alvenaria, embora ainda maior que a de concretos convencionais.

I&T (1991) estudou, entre outras propriedades, a absorção de água de concretos com reciclados de alvenaria, de dois tipos: composto predominantemente de argamassas e concretos (Resíduo 1); Composto predominantemente de materiais cerâmicos (Resíduo 2). As absorções de concretos convencionais com consumos entre 200 e 400 kg/m³ situaram-se entre 5,8 % e 8,1 %, enquanto que as de concretos com resíduo 1 e resíduo 2 apresentaram valores médios próximos a 11 % e 13 %, respectivamente.

BARRA (1996) determinou a absorção de água de concretos com reciclado de concreto, graúdo (Tabelas 49 e 50), tendo chegado aos resultados apresentados na Tabela 54. Os concretos com reciclado apresentaram maiores taxas de absorção que os convencionais, situando-se entre 8 % e 9 % (a diferença entre os valores da Tabela 54 e os encontrados por I&T devem-se principalmente ao fato de BARRA ter usado reciclado de concreto). Concretos com adição de cerâmicos apresentaram, em alguns casos, taxas menores que os concreto com reciclado de concreto. Apesar do alto teor de material cerâmico, pode-se observar que os casos

em que a absorção foi menor o abatimento foi muito pequeno (Tabela 49), e portanto uma das explicações para a menor absorção de água do concreto pode ser a baixa porosidade da argamassa. Entretanto, mesmo para o concreto convencional a absorção foi menor em BARRA (1996) que em I&T (1991), indicando diferenças nas condições de preparação dos concretos.

TABELA 54 - Propriedades dos concretos ensaiados por BARRA (1996)

Concreto	Absorção (%)
Convencional	
Hr	5,8
Hn	5,0
Hp	4,9
Reciclado	
Rr	9,1
Rr *	8,8
Rn	8,6
Rn *	8,9
Rn **	8,8
Rp	9,1
Rp *	9,0
Rr10b	-
Rr40b	7,5
Rn10a	7,9
Rn20a	8,1
Rn40a	8,3
Rp10b	-
Rp40	8,4

Segundo HANSEN (1992) a permeabilidade está indiretamente ligada à absorção e a deterioração de concretos depende, em parte, da permeabilidade, pois a penetração de água é uma das condições para que alguns mecanismos de deterioração sejam efetivados. O autor cita estudos que mostram que a permeabilidade de concretos com reciclado de concreto é 2 a 5 vezes maior que a de concretos convencionais. Quando se compara concretos com baixa relação água/cimento, a diferença entre concreto com reciclado e com agregado convencional é maior, sendo a alta absorção do reciclado um fator negativo.

ZORDAN (1997) determinou a permeabilidade de concretos com reciclado de alvenaria produzido na central de reciclagem de Ribeirão Preto/SP (composição na Tabela 17), tendo chegado aos resultados da Tabela 55.

TABELA 55 - Valores dos coeficientes de permeabilidade kT obtidos (10^{-16} m^2) (ZORDAN, 1997)

Corpos de prova	A	B	C	D	R
1	0,148	0,290	0,022	0,014	0,174
2	0,125	1,105	0,067	0,243	0,066
Média	0,137	0,698	0,045	0,129	0,120

Conforme se pode observar, a permeabilidade do concreto convencional apresentou-se na mesma ordem de grandeza das dos concretos com reciclado, e em alguns casos maior. O autor apresenta classificação de concretos conforme a permeabilidade (Tabela 56), pela qual pode-se observar que a permeabilidade do concreto com reciclado de alvenaria ensaiado pode ser classificado como "médio".

TABELA 56 - Classificação da qualidade da superfície do concreto, (ZORDAN, 1997)

Índice	Classificação	Permeabilidade ao ar "kT" (10^{-16} m^2)
0	muito pobre	>10
1	pobre	2,5 a 10
2	médio	0,5 a 2,5
3	bom	0,1 a 0,5
4	muito bom	0,025 a 0,1
5	excelente	< 0,025

fonte: Holdercim - Centro Tecnológico

HANSEN (1992) apresenta resultados de estudos que indicam que a carbonatação de concreto com reciclado cujo concreto original tenha sofrido carbonatação é 65 % maior que a carbonatação de concretos convencionais. Estudos japoneses indicam que a corrosão das armaduras em concretos com reciclado de concreto ocorre mais rapidamente que em concretos convencionais. Isto pode ser modificado com o uso de menores relações a/c. O tempo de início de corrosão de barras de aço é praticamente igual para concretos com reciclado e convencional, mas se for utilizado entulho de alvenaria o tempo é um pouco menor.

Uma vez que a corrosão se inicie, a taxa de corrosão independe do tipo de agregado. Os fatores mais importantes são relação a/c, consumo de cimento e espessura do cobrimento.

SCHULZ & HENDRICKS (1992), entretanto apresentam informações sobre concretos com reciclado de alvenaria que indicam que se pode controlar a carbonatação do material se forem adotadas medidas como produção de matriz de cimento densa, para compensar a maior porosidade de reciclado.

Afirmam que a carbonatação depende da resistência à difusão ou da permeabilidade do concreto e do teor de matéria que pode se combinar com o CO₂ (p. ex.: cimento). Assim, afirma que a profundidade de carbonatação do concreto com reciclado não é muito diferente da do concreto convencional quando se adotam medidas para compensar a maior porosidade do reciclado (uso de maior teor de cimento ou de pasta de cimento mais densa).

BARRA (1996), estudou a carbonatação dos agregados reciclados de concreto. Utilizou solução de 1% de fenolftaleína em etanol, assim como ensaios de difração de raios X. Em ensaios com fenolftaleína em etanol, após 2 meses, constatou-se que o grau de carbonatação dos grãos do agregado graúdo era uniforme, com resultado geral de 10 % de carbonatação no total da amostra. Ensaios de difração de raios X também demonstraram que a carbonatação, após 2 meses, não passou da superfície.

3.6.6. Massa específica

A massa específica de concretos com reciclado é, em geral, menor que a de concreto convencional, devido à diferença de massa dos agregados reciclados. I&T (1991) apresenta massas específicas de concretos com reciclado de alvenaria variando de 2.000 a 2.170 kg/m³, contra 2.250 kg/m³ do concreto convencional, representando redução nos valores, no estado seco, de até 11 %. SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que a massa específica de concretos com agregados reciclados de alvenaria pode se situar entre 1.600 e 2.100 kg/m³.

Quando se compara a massa específica no estado "saturado superfície seca" a diferença tende a diminuir, já que o concreto com reciclado é mais absorvente que o convencional. BARRA (1996) apresenta informações a este respeito (Tabela 57, maiores informações sobre os concretos podem ser obtidas na Tabela 49). As diferenças entre massas específicas no estado seco situam-se entre 9 % e 11 %, enquanto que no estado "saturado superfície seca" baixam para 5 % a 9 %.

HANSEN (1992) afirma que massas específicas de concretos com reciclado são 5 % a 10 % menores que as de concretos convencionais.

TABELA 57 - Massa específica de concretos (BARRA, 1996)

Concreto	sss	seco _c	Absorção (%)
Convencional			
Hr	2.468	2.319	5,8
Hn	2.466	2.355	5,0
Hp	2.467	2.354	4,9
Reciclado			
Rr	2.324	2.131	9,1
Rr *	2.343	2.147	8,8
Rn	2.332	2.148	8,6
Rn *	2.342	2.136	8,9
Rn **	2.344	2.142	8,8
Rp	2.329	2.129	9,1
Rp *	2.328	2.135	9,0
Rr10b	2.313	-	-
Rr40b	2.268	2.113	7,5
Rn10a	2.304	2.152	7,9
Rn20a	2.295	2.100	8,1
Rn40a	2.270	2.109	8,3
Rp10b	2.311	-	-
Rp40	2.233	2.099	8,4

Sss - saturado superfície seca

3.6.7. Trabalhabilidade e consumo de cimento

Um fator negativo ligado à relação a/c em concretos com reciclado é o fato de ser necessário, em alguns casos, maior quantidade de água livre para se atingir a mesma trabalhabilidade. Isto ocorre porque o reciclado de concreto apresenta grãos mais ásperos e concretos elaborados com o material requerem mais água para alcançar o mesmo abatimento que o concreto convencional HANSEN (1992).

Para concretos com reciclado graúdo e areia natural é necessário mais 5 % de água. Logo, é também requerido 5 % a mais de cimento para que o concreto obtenha pelo menos a mesma resistência do concreto convencional (como o

reciclado é menos resistente que o convencional, pode ser necessário até mais cimento para alcançar-se a mesma resistência).

Quando se usa reciclado graúdo e miúdo é necessário que se aplique mais 15 % de cimento no concreto. Entretanto, em situações práticas é necessário ainda mais cimento, já que os miúdos reduzem a resistência do concreto em pelo menos 10 % e no pior caso em 50 %. Concretos com reciclado graúdo e miúdo tendem a ser menos trabalháveis e não são adequados para aplicação com alguns equipamentos. Isto pode ser corrigido pela adição de areia natural (HANSEN,1992).

Entretanto, para reciclados de concreto ou alvenaria, a influência do agregado na trabalhabilidade dependerá da granulometria. Utilizando-se a parcela graúda, é de se esperar uma piora nesta propriedade (que talvez deva ser compensada pelo acréscimo de cimento), pela maior aspereza do reciclado. Quando se aplica a parcela miúda pode-se obter melhorias na trabalhabilidade, pelo alto teor de finos do material, embora se prejudiquem outras características do concreto.

Pode-se afirmar que é possível obter-se concretos com a mesma trabalhabilidade que a dos concretos convencionais mesmo que isto signifique acréscimo na quantidade de água ou aumento no consumo de cimento, em alguns casos.

3.6.8. Aplicação da parcela miúda do reciclado de concreto na produção de novos concretos

Na aplicação do reciclado na produção de novos concretos pode-se utilizar o material das seguintes maneiras: uso de reciclado graúdo e miúdo; uso de reciclado graúdo e areia convencional; uso de reciclado miúdo e pedra convencional.

O uso da parcela miúda do reciclado pode prejudicar a qualidade do novo concreto. No caso da aplicação de reciclado de concreto, buscando obtenção de material de boa qualidade para serviços de responsabilidade estrutural, muitos pesquisadores recomendam que se use apenas a parcela graúda. Nas aplicações de reciclado de alvenaria, a parcela miúda também pode afetar a qualidade (resistência mecânica, absorção etc.). Porém, em geral concretos com este material são menos resistentes, mais absorventes e devem ser aplicados em serviços de menor responsabilidade. Assim, as conseqüências adversas do uso da parcela miúda tornam-se menos significativas que no caso do reciclado de concreto.

SCHULZ & HENDRICKS (1992) afirmam que a substituição total ou parcial dos finos do reciclado pode ser benéfica, por melhorar a resistência mecânica e as condições de produção do novo concreto. A parcela menor que 3 mm requer grandes quantidades de água para manter a trabalhabilidade e prejudica a reprodução das condições do concreto fresco, além de apresentar teores significativos de sulfatos e outras impurezas. Apesar das desvantagens, os autores recomendam que a parcela miúda seja utilizada, por razões econômicas.

Em algumas pesquisas realizadas no Brasil ou por pesquisadores brasileiros, estudando a aplicação do reciclado em concretos, foi utilizada apenas a parcela graúda do material (LATTERZA, 1998; ANDRADE, 1998; BARRA, 1997). Em outras pesquisas foi também utilizada a parcela miúda, total ou parcialmente (FONSECA, 1998; PINTO, 1992; ZORDAN, 1997).

No Relatório RILEM n.º 6 (HANSEN, 1992) apresentam-se motivos para que não use a fração miúda do reciclado de concreto na produção de novos concretos:

- Esta parcela apresenta absorção de água significativamente maior que a graúda, prejudicando a qualidade do concreto: maior porosidade, menor resistência à compressão, aumento da profundidade de carbonatação etc.;
- Os finos do reciclado tendem a ser mais angulosos, prejudicando a trabalhabilidade e exigindo maior quantidade de água livre;
- A fração miúda apresenta maior teor de argamassa aderida, menos resistente e mais absorvente que o agregado natural;
- Não é possível, por qualquer método, determinar satisfatoriamente a adsorção, o teor de água livre ou a massa específica na condição saturada superfície seca de reciclados finos, devido às altas absorção e coesão do material, e assim é muito difícil controlar a qualidade do novo concreto;
- O reciclado miúdo diminui a resistência do concreto ao congelamento e à compressão. A parcela que mais reduz a resistência à compressão é a aquela abaixo de 2 mm. Por isso e por outros fatores recomenda-se que não seja usada na produção de concretos, especialmente os estruturais.

3.6.9. Conseqüências da absorção de água do reciclado para o controle tecnológico do concreto

A relação água/cimento é fundamental para o controle tecnológico de concretos convencionais. Busca-se a utilização da menor quantidade possível de água que leve a boa trabalhabilidade e a boas condições de hidratação do cimento. Quanto menor a quantidade de água na pasta, maior a dificuldade de se trabalhar com o concreto, mas também é menor a quantidade de poros da matriz de cimento endurecida, o que contribui para maior resistência mecânica.

Uma das principais características do reciclado é sua significativa absorção, que pode dificultar o controle tecnológico do concreto e prejudicar sua qualidade. Ao se preparar concretos com o material, deve-se levar em conta a possibilidade do agregado retirar água da pasta, por absorção, influenciando negativamente na hidratação do cimento. Em função disto boa parte dos usuários de reciclado em concreto pré-umidificam o material antes de aplicá-lo.

Para a determinação da relação a/c em concretos com reciclado é necessário descontar da quantidade de água total a parcela que se encontra absorvida pelo reciclado. Para isso é necessário conhecer com precisão a taxa de absorção do reciclado e sua umidade no momento da mistura. Há, no entanto, problemas com este procedimento: a heterogeneidade na composição do reciclado dificulta a obtenção de material com as mesmas características por longos períodos de tempo, mesmo produzindo-se grandes quantidades do material e tomando-se cuidados com a homogeneização.

De uma maneira geral, há duas possibilidades de se trabalhar com o material, buscando a manutenção da qualidade:

- Determinar a taxa de absorção do reciclado a ser utilizado, e sua umidade no momento da preparação do concreto, para que se possa calcular a quantidade de água que o agregado ainda absorverá e a quantidade que sobrá para reagir com o cimento. O controle tecnológico, neste caso, se baseará na relação a/c e no ensaio de abatimento;
- Utilizar o reciclado na condição saturada, e adicionar água até que o material alcance a consistência necessária. Neste caso o controle tecnológico se baseará no ensaio de abatimento (Slump).

BARRA (1997) apresenta considerações sobre a influência da absorção para a matriz de cimento, que ajudam a analisar a utilização do agregado na condição saturada:

- Ao se utilizar o reciclado pré-umidificado, se a água presente no interior dos grãos do reciclado sair depois da pega, isto pode ser benéfico, pois esta água pode ficar disponível para a hidratação do cimento. Porém, se sair antes, isto pode ser prejudicial, já que esta água pode modificar a relação a/c da pasta próxima à superfície do grão, aumentando sua porosidade e diminuindo a resistência à compressão;
- A água livre que se encontra no interior do grão favorece a dissolução e a difusão de íons. Pode haver movimentação de íons para o interior do grão, assim como diluição da pasta ao redor do grão;
- Quando se considera a interação grão do reciclado e argamassa, a relação pode ser diferente. A argamassa tem maior dificuldade de entrar nos poros do grão que a pasta, e apesar da saída de água poder aumentar sua porosidade, pode também favorecer a entrada na argamassa nos poros, por estar mais fluida.

Na opinião do autor desta dissertação o problema, quando se avalia estas considerações, é saber qual dos efeitos prevalecem, principalmente em situações práticas de aplicação do reciclado.

No caso do uso de agregado não saturado pode haver efeitos contrários, dependendo das características da pasta ou argamassa, e do grau de saturação do agregado:

- A retirada de água da pasta ou argamassa pode ser tal que melhora a relação a/c, aumentando a aderência pasta-grão e melhorando as propriedades do concreto;
- A absorção de água é tão grande que não deixa água disponível para a pasta ou argamassa hidratar-se satisfatoriamente.

Ainda segundo a opinião do autor desta dissertação, esta discussão parece útil em situações em que for necessário controle rigoroso do concreto, como no caso de aplicação do reciclado de concreto, de alta qualidade, na preparação de concretos estruturais ou especiais. Nas aplicações em concretos de baixa e média resistência para serviços simplificados, pode ser mais útil e coerente a aplicação do reciclado totalmente saturado, realizando-se o controle tecnológico através da consistência (ensaio de abatimento) e de ensaios de resistência mecânica (à compressão). Apesar de não se determinar, neste caso, a relação a/c da pasta de cimento, os resultados finais podem dar segurança nas aplicações (I&T, 1991).

Apesar das dificuldades de determinar-se a relação cimento/água livre, este indicador pode ser útil em casos em que o reciclado é uniforme e bem conhecido. HANSEN (1992) afirma que resultados de pesquisas mostram que há relações diretas entre a relação cimento/água livre e propriedades mecânicas de concretos preparados com reciclado de concreto.

Alguns autores recomendam que o agregado seja misturado com água até a completa saturação e depois se espere meia hora para que o cimento seja adicionado, controlando-se a qualidade do concreto pelo abatimento (SCHULZ & HENDRICKS, 1992). Na opinião do autor deste trabalho, a saturação do reciclado antes de ser levado à betoneira pode trazer problemas, pois é muito difícil garantir-se a saturação uniforme de toda a pilha, e há a possibilidade de se modificar a granulometria, por carreamento das partículas finas. A saturação na betoneira elimina o problema, mas há a possibilidade de que o tempo seja insuficiente para que o material se sature.

A I&T (1991 e 1995) recomenda tempo de saturação, para reciclado de alvenaria, de 2 minutos, e misturação por mais 3 minutos, totalizando 5 minutos o tempo de contato com a água antes do ensaio de abatimento. Pelos resultados de ensaio de absorção realizados pela empresa, este tempo é suficiente para que o reciclado atinja grau de umidificação satisfatório (95 %, nos piores casos).

MORLION et al. apud HANSEN (1992)²¹ apresentam resultados de ensaios de determinação de tempos de saturação de reciclado de concreto (Tabela 58).

ZORDAN (1997), em seus ensaios, não determinou a relação a/c da pasta, baseando o controle tecnológico do concreto no ensaio de abatimento. Concretos com reciclado e de referência foram preparados com a mesma consistência.

SCHULZ & HENDRICKS (1992) apresentam informações sobre a questão da absorção de água e controle tecnológico do concreto com reciclado de alvenaria: no período pós-guerra, em que se reciclou grandes quantidades de resíduos, esta questão trouxe dificuldades para os técnicos envolvidos com o uso do material. Utilizou-se, na época, o conceito de água livre, significando a quantidade de água que sobra para a pasta de cimento, depois que o reciclado absorve a água necessária para a sua saturação. A heterogeneidade do reciclado e as diferenças no comportamento quanto à absorção, dificultaram a aplicação deste conceito.

²¹ MORLION, D.; VENSTERMANS, J. VYNCKE, J. (1988). Demolition of the Zandvleit lock as aggregates for concrete. In: Second International RILEM Symposium of demolition and reuse of concrete and masonry. Proceedings. Ref. 135, pp. 709-718.

Quando se deseja conhecer a relação a/c efetiva, a absorção do reciclado deve ser determinada na condição “saturada com superfície seca”, já que se a superfície estiver molhada a água na película de cobertura vai estar disponível para interferir com a pasta de cimento. No entanto, a determinação da absorção nesta condição em reciclado miúdo não é simples, pois não é fácil determinar com precisão quando este agregado está nesta condição.

Com relação à questão da relação a/c e suas conseqüências para o controle tecnológico do concreto, pode-se fazer algumas observações preliminares:

- É relativamente difícil a determinação da relação a/c da pasta de cimento de concretos com reciclado, porque parte da água está absorvida pelo reciclado;
- Para calcular a quantidade de água disponível para a pasta de cimento é necessário determinar com precisão a absorção do reciclado e sua umidade inicial. Isto nem sempre é fácil, devido à heterogeneidade do material;
- Nos casos em que a taxa de absorção é bem conhecida, entretanto, pode ser desejável conhecer-se a relação a/c do novo concreto, já que há relação direta entre esta propriedade e a resistência mecânica do concreto;
- Nos casos do reciclado de alvenaria, em que há grande variação na composição, pode ser mais viável desconsiderar a relação a/c da pasta e realizar o controle tecnológico através do consumo de cimento e do abatimento do concreto. Isto pode ser válido também para concretos com reciclado de concreto com variações na composição ou falta de informações sobre suas características;
- Segundo alguns autores, o reciclado deve ser pré-saturado antes da preparação do concreto, para evitar que retire água da pasta, necessária para a hidratação do cimento. Uma das opções é levar o material ao misturador e adicionar água necessária para sua saturação, deixando os materiais em contato por pelo menos 5 minutos.

TABELA 58- Tempo para saturação de agregado reciclado de concreto (MORLION et al., apud HANSEN, 1992)

Dimensões das partículas (mm)	Tempo para saturação (min)	Absorção de água (%)
4-28	15	5
2-4	10	10
0-2	5	17

3.6.10. Outras propriedades

A utilização do reciclados em concretos determina outras propriedades do novo concreto, algumas diferentes das propriedades dos concretos convencionais.

Alguns pesquisadores realizaram ensaios de **abrasão** em peças de concreto com reciclado, para comparação com concretos convencionais e outros materiais. I&T (1991) estudando a viabilidade de aplicação de concreto com reciclado em briquetes de pavimentação, realizou ensaios de perda por abrasão, obtendo os resultados apresentados na Tabela 59. Pode-se observar que a perda por abrasão dos concretos ensaiados apresenta valores próximos às perdas por abrasão de outros materiais utilizados no revestimento de pisos, o que motivou a recomendação, por I&T (1991), do uso do reciclado na fabricação de briquetes.

TABELA 59 - Desgaste por abrasão de corpos de prova de concreto e comparação com abrasão característica de outros materiais - mm (I&T, 1991)

Material	Desgaste (mm)
Concreto convencional (consumo 300 kg/m ³)	2,1
Concreto com reciclado 1 (consumo 300 kg/m ³)	2,6
Concreto com reciclado 2 (consumo 300 kg/m ³)	3,5
Ladrilho hidráulico	3,2
Granilite	2,8
Granito	0,8

ZORDAN (1997) realizou ensaio de perda por abrasão de concretos convencionais e com reciclado (Tabela 60). Os reciclados utilizados têm as composições apresentadas na Tabela 17. Pode-se observar que os concretos com reciclado apresentaram perdas por abrasão menores que o concreto convencional.

A **fluência**, de concreto com reciclado de concreto é maior que a de concretos convencionais, devido à argamassa aderida no agregado (HANSEN, 1992). O mesmo ocorre com concretos com reciclado de alvenaria (SCHULZ & HENDRICKS, 1992). CUR (1986) apresenta informações que indicam que a fluência de concretos com reciclado é maior que a de concretos convencionais, sendo maior para concretos de resistências menores.

**TABELA 60 - Desgaste observado no ensaio de resistência à abrasão
Traço 1:5 -cim.:agregado (brita corrida) (ZORDAN, 1997).**

Amostra	Corpo de prova	Aos 500 m (mm)	Médio (mm)	Aos 1.000 m (mm)	Médio (mm)
A	1	0,98	1,08	1,53	1,79
	2	1,17		2,04	
B	1	1,04	1,00	1,52	1,55
	2	0,95		1,58	
C	1	1,00	0,81	1,48	1,39
	2	0,62		1,30	
D	1	0,88	0,83	1,54	1,42
	2	0,78		1,30	
R	1	1,21	1,18	2,04	1,96
	2	1,15		1,87	

3.7. Propriedades de argamassas com agregados reciclados

3.7.1. Considerações gerais

Argamassas com reciclado apresentam características que permitem sua aplicação em serviços de assentamentos e revestimentos. No Brasil, vêm sendo usadas na construção desde a década de 80, com bons resultados. ANVI (s.d.) informa que argamassas com adição de resíduo de construção são utilizadas na Itália e na Argentina há mais de 80 anos. Indica como benefícios: geração de boa quantidade de finos, aumentando a plasticidade e a coesão; liberação de cal e cimento com potencial reativo; pozolanicidade de materiais cerâmicos.

A resistência mecânica de argamassas com reciclado é maior que a de argamassas convencionais, na maioria das vezes. Com seu uso, obtém-se boa aderência aos substratos, boa consistência e coesão. Em função destas características, seu uso é promissor, podendo-se obter compósitos de boa qualidade com redução do consumo de aglomerantes. Em alguns casos, porém, têm ocorrido patologias, possivelmente associadas ao reciclado.

Apesar das vantagens, faltam informações sobre estas argamassas para que seu uso se amplie. É sabido que o uso do reciclado em argamassas pode causar retração por secagem, conforme o tipo de resíduo utilizado e o traço aplicado. Usuários de argamassas com reciclado utilizam traço com teor considerável de areia convencional, para evitar problemas, e com isso podem não estar aproveitando bem todas as possibilidades do resíduo.

Devido às dúvidas quanto à durabilidade das argamassas com reciclado, pela sua alta absorção e outras características (granulometria, teor de contaminantes etc.), alguns autores recomendam que sejam aplicadas em serviços simplificados.

Na revisão bibliográfica buscou-se principalmente informações sobre características dos argamassas com reciclado ligadas à qualidade e durabilidade dos serviços em que forem aplicadas. Apresenta-se a seguir relação geral destas características:

Propriedades de argamassas com reciclado - no estado fresco

- Trabalhabilidade (consistência; plasticidade; coesão; aderência).

Propriedades de argamassas com reciclado - no estado endurecido

- Resistência à compressão;
- Resistência à abrasão;
- Resistência à tração;

- Aderência;
- Absorção de água, porosidade e estanqueidade;
- Retração;
- Estabilidade volumétrica;
- Durabilidade

Nem todas as propriedades listadas acima estão desenvolvidas no texto a seguir, por serem consideradas muito específicas ou porque não se obteve informações que justificassem sua inclusão no trabalho.

3.7.2. Resistência mecânica e módulo de elasticidade

Argamassas com reciclado apresentam resistências à compressão maiores que argamassas convencionais, na maioria dos casos. Alguns pesquisadores atribuem isto à atividade pozolânica dos materiais cerâmicos finamente moídos, que também funcionam como filler, diminuindo os espaços vazios da matriz e aumentando sua resistência mecânica. A influência dos materiais cerâmicos na resistência de argamassas é verificada em grande parte das pesquisas identificadas. I&T (1995) indica também como possível causa a presença de grãos de aglomerantes não inertizados, que moídos tornam-se passíveis de reação.

ANVI (s.d.) apresenta resultados de pesquisa em que se estudou o efeito da adição do resíduo na resistência à compressão de argamassas. Não é informada a composição do resíduo usado (se de componentes cerâmicos ou de concreto). A relação cimento:agregado foi igual nos dois tipos de argamassa (1:8, em volume), sendo que a preparado com reciclado não recebeu cal hidratada, mas apenas cimento (Tabela 61). ANVI (s.d.) apresenta resultados de outro ensaio com argamassas com reciclado (Tabela 62). Neste caso a argamassa com reciclado não apresentou resistência maior que convencional.

TABELA 61 - Resistência à compressão (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	Idade	
	7 dias	28 dias
Com entulho (1:2,7:5,3 -cim:entulho:areia) *	4,0	7,9
Convencional com cal (1:1,6:8 -cim:cal:areia) *	1,2	2,7

* traços em volume

HAMASSAKI et al. (1997) ensaiaram argamassas com reciclado de diversas composições (Tabela 63). Aos 7 dias praticamente todas as argamassas com reciclado alcançaram resistências à compressão próximas à da argamassa convencional e aos 28 dias as resistências foram superiores. As resistências de argamassas aumentaram com o aumento o teor de resíduos (Figura 4).

PINTO (1989b) estudou argamassas com reciclado, comparando-as com argamassas convencionais. A composição dos resíduos utilizados está apresentada na Tabela 64 e os resultados de ensaios de resistência à compressão na Tabela 65. Nota-se que as argamassas com reciclado apresentaram maiores resistências à compressão em todos os casos e que argamassas com cerâmicos são mais resistentes que as demais.

TABELA 62 - Resistência à compressão (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	28 dias	Média
Com entulho (1:1,86:4,13:8,26 -cim:cal:ent.:areia) *	2,3-1,8-2,0-1,8-2,0-2,1	2,0
Convencional (1:1,86:12,40 (cim:cal:areia) *	2,4-2,3-2,8-2,4-2,6-2,9	2,6

* traços em massa

TABELA 63 - Argamassas ensaiadas por HAMASSAKI et al. (1997)

Material	Tipo de argamassa						
	I *	II	III	IV	V	VI	VII
Cimento	1	1	1	1	1	1	1
Cal (série 1)	0	0	0	0	0	0	0
Cal (série 2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cal (série 3)	1	1	1	1	1	1	1
Areia natural	6	4	4	4	4	2	-
Bloco cerâmico	-	2	-	-	0,25	0,5	0,75
Tijolo	-	-	2	-	0,25	0,5	0,75
Bloco de concreto	-	-	-	2	1,5	3	4,5

* - I = Argamassa de referência (com agregado convencional)
Corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm (NBR 7215)
Consistência 250 +/- 10 mm (NBR 7215) - Cimento CP II E

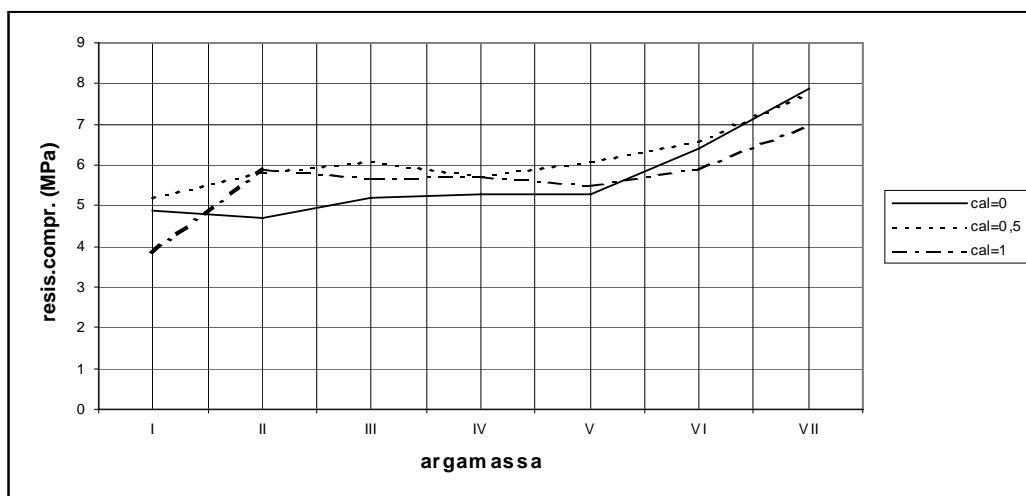


FIGURA 4 - Resultados de ensaios de resistência à compressão de argamassas com reciclado - MPa / 28 dias (HAMASSAKI et al., 1997)

TABELA 64 - Composição média dos resíduos utilizados por PINTO (1989b) - (% em massa)

Material	Resíduo 1	Resíduo 2
Argamassa	64,0	41,4
Produtos cerâmicos	29,1	47,7
Material rígido	6,1	9,4
Componentes escassos	0,8	1,5
Total	100,0	100,0

Materiais rígidos: concreto, blocos, ladrilhos, pedras
 Componentes escassos: madeira, vidro, cimento amianto, solo, metais e plásticos, papel e matéria orgânica

TABELA 65 - Resistência à compressão de argamassas, aso 28 dias (MPa) (PINTO, 1989b)

Traço	Areia convenc.	Resíduo 1	Resíduo 2
1:1:6	5,75	5,71	5,75
1:2:12	0,92	2,42	2,96
1:2:18	0,28	1,63	2,57
1:2:24	0,21	1,65	1,93

Traço: cimento:cal:agregado
 Corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm
 Consistência 230 +/- 10 mm

LEVY (1997a) pesquisou propriedades de argamassas com reciclado de diversas composições (blocos cerâmicos de 2º linha e tijolos maciços, argamassa endurecida e areia lavada). Os resíduos foram coletados em construções no Município de São Paulo (suas características estão apresentadas na Tabela 66). Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração estão apresentados nas Tabelas 69 e 70.

Pelos resultados pode-se observar que argamassas com maiores conteúdos de cerâmicos apresentam maiores resistências à compressão. De acordo com o autor isto pode ser explicado pela atividade pozolânica da parcela cerâmica do resíduo e pelo alto conteúdo de finos, que funcionam como filler na mistura.

TABELA 66 - Características de agregados utilizados em pesquisa do uso de resíduo de construção em argamassas (LEVY, 1997a)

Características	Areia	Cerâmica vermelha moída	Argamassa moída
Distribuição granulométrica			
	4,8	2	2
	2,4	4	4
	1,2	10	10
	0,6	35	25
	0,3	79	43
	0,15	97	66
	Fundo	100	100
Dimensão máx. característica (mm)	2,4	2,4	4,8
Materiais pulverulentos (%)	-	30,4	15,4
Impurezas orgânicas (ppm)	<300ppm	<300ppm	<300ppm
Massa específica (kg/m ³)	2.590	2.510	2.520
Massa unitária solta (kg/m ³)	1.417	1.145	1.377

TABELA 67 - Traços em volume das misturas de LEVY (1997a)

Identificação da mistura	Materiais cerâmicos	Argamassas endurecidas
M _C (início da obra)	100 %	0 %
M _{Ca} (meio da obra)	66 %	34 %
M _{cA} (meio da obra)	34 %	66 %
M _A (final da obra)	0 %	100 %

TABELA 68 - Consumo de cimento das argamassas de LEVY (1997a)

Traços	1:3:8				1:1 ½:6			
	MC	MCa	McA	MA	MCa	MC	McA	MA
Consumo (kg/m ³)	109,0	107,5	106,2	103,1	157,9	157,1	152,0	156,3

TABELA 69 - Resistência à compr. (MPa) de argamassas (LEVY, 1997a)

1:3:8			
Adições	14 dias	28 dias	91 dias
C	2,3	3,3	4,3
Ca	2,2	3,1	3,8
cA	1,9	2,8	4,1
A	0,9	1,2	1,6
1:1,5:6			
Adições	14 dias	28 dias	91 dias
C	5,5	6,8	8,6
Ca	4,4	5,3	7,2
cA	3,2	3,9	5,0
A	1,9	2,7	3,7

TABELA 70 - Resistência à tração (MPa) de argamassas (LEVY, 1997a)

1:3:8			
Adições	14 dias	28 dias	91 dias
C	0,08	0,09	0,15
Ca	0,05	0,09	0,13
cA	0,07	1,10	0,17
A	0,05	0,07	0,08
1:1,5:6			
Adições	14 dias	28 dias	91 dias
C	0,20	0,24	0,29
Ca	0,15	0,20	0,32
cA	0,12	0,15	0,22
A	0,08	0,10	0,16

Considerando-se os resultados de pesquisas sobre a aplicação de reciclado em argamassas, pode-se observar que argamassas com reciclado apresentam resistências à compressão maiores que argamassas convencionais, na maioria dos casos. Autores atribuem este comportamento à pozolanicidade e efeito filler dos finos do reciclado e à presença de grãos de aglomerantes não inertizados. Argamassas com reciclado de materiais cerâmicos apresentam maiores resistências que argamassas convencionais ou com reciclado à base de argamassas ou concretos.

Em algumas pesquisas foram determinados os módulos de elasticidade de argamassas com reciclado, entre elas uma realizada por ANVI (s.d.) (Tabela 71). Conforme pode ser observado, os módulos de argamassas com reciclado são maiores que os das argamassas convencionais, neste estudo. As diferenças foram significativas (os módulos de elasticidade de argamassas com reciclado são 50 % a 70 % maiores que os de argamassas convencionais).

TABELA 71 - Módulo de elasticidade (aos 28 dias) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	Módulo de elasticidade (kgf/cm ²)
Com entulho (1:5,1:6,1 -cim:entulho:areia) *	117.600 / 122.200
Convencional com cal (1:1,7:6 -cim:cal:areia) *	68.140 / 81510

* traços em volume

LEVY (1997a) estudou as diferenças entre módulos de argamassas preparadas com diferentes tipos de resíduos, chegando aos resultados apresentados na Tabela 72. Pelos resultados pode-se notar que as argamassas contendo exclusivamente resíduos cerâmicos apresentaram módulos maiores que as contendo mistura de cerâmicos e argamassas ou as contendo exclusivamente argamassas. O mesmo comportamento foi verificado nos ensaios de resistência à compressão.

TABELA 72 - Módulo de elasticidade (GPa) de argamassas com reciclado (LEVY, 1997a)

Adições	1:3:8	
	28 dias	91 dias
C	1,2	1,9
Ca	1,1	1,3
A	1,0	1,5

1:1,5:6		
C	2,3	3,4
Ca	2,5	2,6
A	1,4	2,1

3.7.3. Retenção de água, retração por secagem e absorção de água

A **retenção de água** de argamassas com reciclado vem sendo estudada por pesquisadores, com conclusões conflitantes. ANVI (s.d.) determinou esta propriedade em argamassas com reciclado (Tabela 73). HAMASSAKI et al. (1997) ensaiaram argamassas com reciclado de diversas composições (Tabela 63), determinando a retenção de água, entre outras propriedades (Figura 5). A argamassa com maior retenção de água foi a III, com tijolos cerâmicos. LEVY (1997a) também determinou a retenção de água de argamassas com reciclado. As argamassas ensaiadas estão apresentadas nas Tabelas 67 e 68 e os resultados de ensaios na Tabela 74.

Comparando suas pesquisas com as de HAMASSAKI et al. (1997) LEVY (1997a) notou diferenças nos resultados de retenção de água. Especula que isto possivelmente pode ser devido às diferenças na granulometria. LEVY (1997a) afirma que a retenção de água de argamassas com reciclado é prejudicada em cerca de 15 %, o que não se verifica nos resultados de HAMASSAKI et al. (1997).

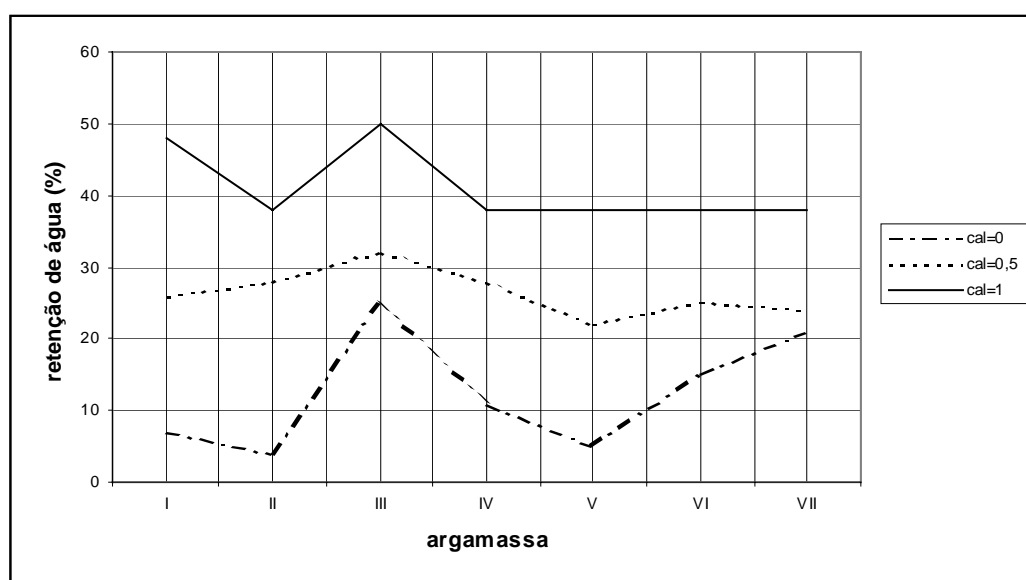


FIGURA 5 - Retenção de água de argamassas com reciclado (HAMASSAKI et al., 1997)

TABELA 73 - Retenção de água de argamassas (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	Retenção de água (%)
Com entulho (1:5,1:6,1 -cim:entulho:areia) *	56,3
Convencional com cal (1:1,7:6 -cim:cal:areia) *	50,6

* traços em volume

TABELA 74 - Retenção de água de argamassas c/ reciclado (LEVY, 1997a)

1:3:8 (em volume)	
Mistura	%
M _C	46
M _{Ca}	48
M _{cA}	42
M _a	41
1: 1 ½:6 (em volume)	
Mistura	%
M _C	40
M _{Ca}	55
M _{cA}	40
M _a	38

O autor desta dissertação considera que este assunto deve ser melhor pesquisado, com a realização de ensaios em maior número de argamassas, com reciclado de composições variadas e utilizando traços diferenciados.

HAMASSAKI et al. (1997) ensaiaram argamassas com agregados reciclados de diversas composições (Tabela 63), realizando ensaios de **retração por secagem** (Figura 6).

Pelos resultados pode-se observar que as argamassas que apresentaram maiores retrações por secagem foram aquelas com maior teor de resíduos (VII) e aquelas contendo tijolos cerâmicos maciços. No caso de argamassas contendo tijolos cerâmicos maciços a retração relativamente grande era de se esperar, já que este tipo de resíduo apresenta absorção significativa, assim como o conjunto dos resíduos das argamassas VII.

A retração observada em alguns casos é bem superior à das argamassas convencionais. Note-se que nas argamassas com mistura de areia natural e resíduo os valores são muitas vezes próximos aos da argamassa convencional confirmando, pelos resultados desta pesquisa, os benefícios de se aplicar argamassas com mistura de areia convencional e resíduo, como realizado na prática.

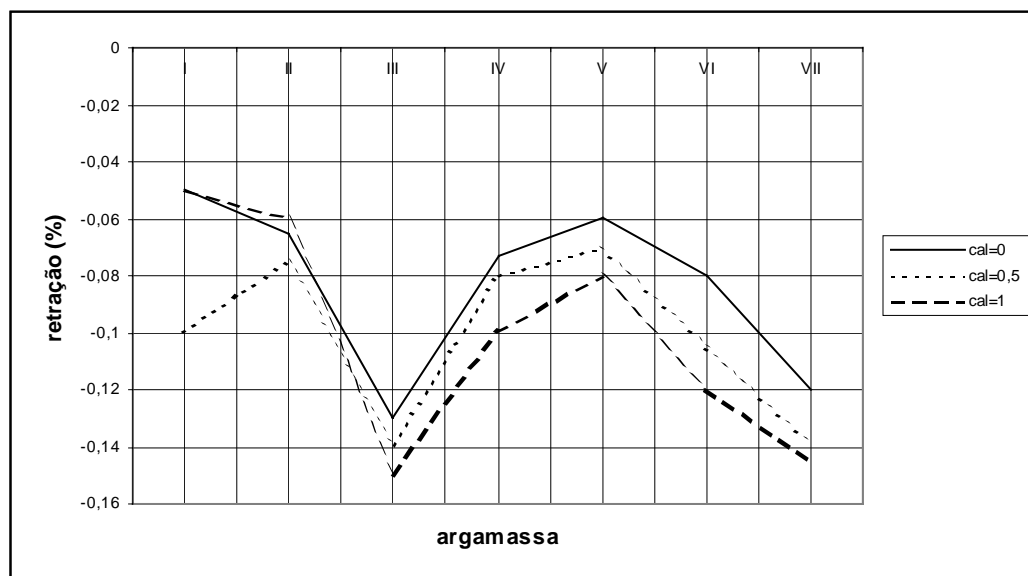


FIGURA 6 - Resultados de ensaios de retração por secagem de argamassas com reciclados - 84 dias (HAMASSAKI et al., 1997)

O autor desta Dissertação esperava resultados de retração das argamassas IV (com blocos de concreto), próximos aos da argamassas convencional, porque o resíduo é composto de areia, cal e cimento, sem a presença de materiais cerâmicos. Isto não se verificou nos ensaios.

PINTO (1989b), em suas pesquisas, determinou também a **absorção de água** de argamassas com reciclado, chegando à conclusão, como era de se esperar, que argamassas com resíduos apresentam maior absorção que as convencionais, e que com o aumento do teor de materiais cerâmicos nos resíduos utilizados, aumenta também a absorção de água das argamassas (Tabela 75)

TABELA 75 - Absorção de água de argamassas aos 30 dias (% em massa) (PINTO, 1989b)

Traço	Areia convencional	Resíduo 1	Resíduo 2
1:2:18	12,95	22,90	25,02

Média de 5 corpos de prova por tipo de argamassa / Traço: cimento:cal:agregado.

3.7.4. Outras propriedades de argamassas com reciclado

PINTO (1989b) pesquisou a **resistência de aderência** de argamassas convencional e com resíduo reciclado, utilizando traço em volume 1:2:24 (cimento:cal:agregado), com consistência 230 +/- 5 mm. Os resíduos utilizados estão apresentados na Tabela 64. Para a obtenção da resistência de aderência mediu-se a resistência de aderência ao cisalhamento, utilizando corpos de prova constituídos de três tijolos maciços unidos por argamassas, assentados defasadamente, para permitir a ação da força de cisalhamento (Figura 7). Os resultados do ensaios estão apresentados na Tabela 76.

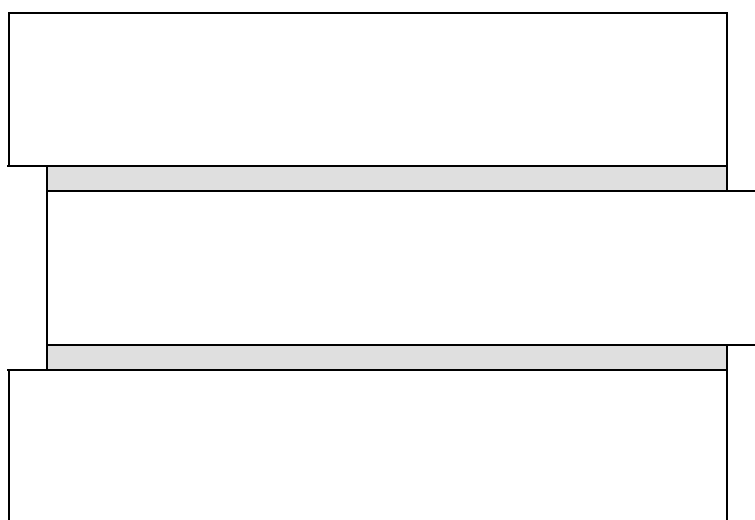


FIGURA 7 - Representação de corpo de prova utilizado em ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento PINTO (1989b)

TABELA 76 - Resistência de aderência ao cisalhamento (kgf/cm²) (PINTO, 1989b)

Traço	Areia convenc.	Resíduo 1	Resíduo 2
1:2:24	0,59	0,51	0,39

Média de 5 corpos de prova por tipo de argamassa / Traço: cimento:cal:agregado.

O autor indica como hipótese para os valores relativamente baixos o traço pobre em aglomerantes. Alerta para o fato do ensaio não ser normalizado e para a grande disparidade de resultados, com grandes desvios com relação à média obtida. Conclui que os resultados oferecem indicação do comportamento das diferentes argamassas, em vez de medidas de aderência das argamassas estudadas. De qualquer forma, pode-se observar que a argamassa convencional apresentou maior resistência de aderência que as com resíduos, e que a

argamassa com material cerâmico foi a que apresentou a menor resistência entre as três estudadas.

ANVI (s.d.) apresenta resultados de ensaios de **resistência ao arrancamento** em que as argamassas com reciclado comportam-se melhor que as argamassas convencionais (Tabela 77). Não é informada a composição do resíduo usado (se de componentes cerâmicos ou de concreto).

TABELA 77 - Resistência ao arrancamento (MPa) de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	28 dias	97 dias
Com entulho (1:5,1:6,1 -cim:ent.:areia) *	1,16 e 1,11	-
Convencional (1:1,66:6 - cim:cal:areia) *	-	1,07 e 1,05

* traços em volume

ANVI (s.d.) determinou a **permeabilidade** de argamassas com reciclado em duas pesquisas. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 78 e 79. As argamassas com reciclado ensaiadas apresentaram taxa de penetração de água inferiores às argamassas convencionais, apesar da suposta maior absorção dos agregados reciclados. Isto pode ser devido ao alto teor de finos do reciclado, composto possivelmente por materiais cerâmicos moídos.

TABELA 78 - Permeabilidade de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	Penetração (ml/min) (48 h)
Com entulho (1:5,1:6,1 -cim:entulho:areia) *	0,001
Convencional com cal (1:1,7:6 -cim:cal:areia) *	0,375

* traços em volume

TABELA 79 - Permeabilidade de argamassas com areia convencional e com resíduo reciclado (ANVI, s.d.)

Tipo de argamassa	mm.PENET.
Com entulho (1:2,7:5,3 -cim:entulho:areia) *	36,2
Convencional com cal (1:1,6:8 -cim:cal:areia) *	54,6

* traços em volume

LEVY (1997a), em suas pesquisas, ensaiou argamassas com reciclado, realizando ensaios de **profundidade de carbonatação** (as argamassas ensaiadas estão apresentadas na Tabela 67). O autor informa que não existe normalização específica para profundidade e velocidade de carbonatação. Foram realizados

ensaios em que se deixou os corpos de prova expostos às condições atmosféricas do laboratório. Para as argamassas com traço 1:3:8 a profundidade de carbonatação foi de 2 a 4 mm aos 7 dias e de 8 a 11 mm aos 28 dias. Para o traço 1:1,5:6 a profundidade de carbonatação foi de aproximadamente 2 mm aos 7 dias e de aproximadamente 5 mm aos 28 dias. Uma das conclusões do autor é que o teor elevado de cerâmicos em algumas argamassas não influencia na carbonatação. Afirma que, aparentemente, esta parece ser uma das únicas propriedades não prejudicadas pela presença destes materiais no reciclado usado na preparação das argamassas.

LEVY (1997a) em suas pesquisas de argamassas com reciclado determinou as **massas unitárias no estado fresco**, apresentadas na Tabela 80. As demais características das argamassas estão apresentadas na Tabela 67. O fato de argamassas com cerâmicos apresentarem maiores massas unitárias pode ser devido à maior absorção de água do reciclado e pelo seu maior teor de finos.

TABELA 80 - Massa unitária de argamassas no estado fresco (LEVY, 1997a)

1:3:8	
Adições	Massa unitária (kg/m ³)
C	1.903
Ca	1.880
cA	1.867
A	1.852
1:1,5:6	
Adições	Massa unitária (kg/m ³)
C	1.939
Ca	1.930
cA	1.911
A	1.876

3.7.5. Forma e textura do reciclado usado em argamassas

HAMASSAKI et al.. (1997) analisaram agregado reciclado quanto a forma, avaliando esfericidade e arredondamento dos grãos do material. Os resultados foram comparados com escala variando de 0,3 a 0,9 para esfericidade e de 0,1 a 0,9 para arredondamento. Note-se que em alguns casos os valores obtidos para areia convencional são muito próximos aos obtidos por alguns resíduos. Os resultados são apresentados na Tabela 81.

Os autores concluíram que o agregado reciclado apresenta maior rugosidade que os agregados convencionais, sendo os resíduos cerâmicos levemente ásperos e os de blocos de concreto altamente ásperos. Isto pode, segundo impressão do autor desta Dissertação, causar diferenças na trabalhabilidade e no teor de aglomerantes, conforme o traço utilizado para argamassas com resíduos.

TABELA 81 - Esfericidade e arredondamento de agregados utilizados para ensaios de argamassa (HAMASSAKI et al., 1997)

Agregado	esfericidade	Arredondamento
Areia	0,9/0,7	0,7/0,5
Reciclado		
Compostos por blocos cerâmicos	0,5/0,3	0,5/0,3
Compostos por tijolos cerâmicos	0,7/0,5	0,7/0,5
Compostos por blocos de concreto	0,9/0,7	0,7/0,5

3.7.6. Atividade pozolânica de agregados reciclados

Argamassas com reciclado com altos teores de cerâmicos apresentam resistência à compressão superiores a argamassas com areia convencional e com reciclado sem presença de cerâmicos. Isto pode ser devido à atividade pozolânica dos materiais cerâmicos, principalmente daqueles provenientes de componentes de baixa qualidade, produzidos com temperatura de queima reduzida, e que por isso apresentam pozolanicidade, pela estrutura cristalina instável.

HAMASSAKI et al. (1997) pesquisaram a atividade pozolânica de resíduos cerâmicos. Para isto adotaram critérios normalmente utilizados para avaliação da atividade pozolânica de materiais (consumo de óxido de cálcio). Foi utilizado ensaio de Chapelli modificado, que consiste na colocação de um grama do material e um grama de CaO em dispersão em água em temperatura próxima da fervura, sob agitação, por dezesseis horas. O resultado é expresso em quantidade de CaO consumida: o material que consumir mais que 330 mg de CaO é considerado pozolânico. Os resultados estão apresentados na Tabela 82.

Os ensaios não confirmaram a pozolanicidade dos resíduos. Entretanto, embora as amostras não tenham consumido CaO em quantidade suficiente para caracterizar atividade pozolânica (segundo os critérios do ensaio), fica claro que os resíduos cerâmicos consomem mais CaO que os de outros tipos de resíduos.

Os autores concluem que apesar dos resultados de pozolanicidade não terem mostrados atividade pozolânica como definida teoricamente, isto não elimina

a possibilidade de contar com este efeito, mesmo que reduzido, principalmente em produtos cerâmicos. Afirmam que este não é o único critério para se avaliar propriedades pozolânicas e que o ganho de resistência das argamassas com reciclado pode ser devido ao efeito filler. Afirmam que deve-se estudar melhor a granulometria e o teor de finos do reciclado.

TABELA 82 - Resultados de ensaios de pozolanicidade (mg CaO/g) de agregados reciclados (HAMASSAKI et al., 1997)

Composição do reciclado	mg CaO/g
Blocos cerâmicos	137,1
Tijolos cerâmicos	255,8
Blocos de concreto	53,6

LEVY (1997a) também estudou a pozolanicidade do reciclado, chegando a resultados diferentes de HAMASSAKI et al. (1997), como pode ser observado na Tabela 83. O autor utilizou blocos cerâmicos de 2º linha passantes em # 50 mm.

TABELA 83 - Resultados de ensaios de pozolanicidade (mg CaO/g) e de outras propriedades de agregados reciclados (LEVY, 1997a)

	Cimento	Cerâmica vermelha moída	Argamassa moída
Área específica (m ² /kg)	364,3	586,4	231,9
Massa unitária solta (kg/m ³)	1.130	1.145	1.377
Massa específica (kg/m ³)	3.120	2.510	2.520
Atividade pozolânica * (MgCaO/g)			
Blocos cerâmicos de 1º linha	-	242	-
Blocos cerâm. 1º linha (pass. em #50)	-	224	-
Blocos cerâm. 2º linha (pass. em #50)	-	454	-
Tijolos maciços (pass. em #50)	-	565	-

* Método de Chapelle modificado

Considerando-se os resultados de pesquisas sobre a pozolanicidade de agregados reciclados, pode-se observar que há controvérsias entre pesquisadores sobre a atividade pozolânica de agregados reciclados compostos por materiais cerâmicos. Entretanto, mesmo nos ensaios em que não se concluiu que estes resíduos apresentam atividade pozolânica, as amostras contendo cerâmico consumiram quantidade de CaO significativamente maiores que os outros tipos de resíduos.

3.7.7. Usos atuais e indicados para argamassas com reciclado

Conforme informações da Revisão Bibliográfica, argamassas com reciclado apresentam características que as tornam adequadas à utilização em serviços de construção. Algumas propriedades são melhores que as das argamassas convencionais, e outras são piores, devido a particularidades na composição, granulometria e outras características do reciclado. Faltam pesquisas que aprofundem o conhecimento do compósito, para maior segurança nas aplicações.

HAMASSAKI et al. (1997) ensaiaram argamassas com reciclado, concluindo que são adequadas para uso em revestimento e assentamento, mas que se deve levar em conta a maior retração por secagem, aplicando-as em assentamento de componentes e revestimentos internos, evitando revestimentos externos onde as variações de temperatura e umidade são normalmente maiores.

Afirmam, entretanto que é necessário o entendimento da retração após secagem e que se deve analisar melhor os efeitos benéficos do uso de cerâmicos para a resistência mecânica. Lembram que um dos maiores problemas no uso do reciclado em argamassas é a heterogeneidade do resíduo, que torna os resultados de ensaios muito específicos para uma determinada composição estudada.

A I&T (1995) recomenda que argamassas com reciclado não sejam utilizadas em serviços onde seja necessária função impermeabilizante, pela alta absorção do reciclado. Para os outros serviços de revestimento, afirma que é necessária adoção dos mesmos cuidados indicados para argamassas comuns (medidas protetoras como pintura, proteção por chapisco etc.). Embora não tenha afirmado categoricamente, I&T (1995) adota aplicações simplificadas para argamassas com reciclado (note-se a ausência, na Tabela 85, de argamassas para alvenaria estrutural e outras, como argamassas para assentamento de revestimentos cerâmicos).

LEVY (1997a) chama a atenção para a relativa uniformidade de resultados de ensaios com argamassas com reciclado, apesar da heterogeneidade característica do material. Os resultados das pesquisas de LEVY (1997a) mostraram que os reciclados são adequados para uso em argamassa e que quanto maior a porcentagem de materiais cerâmicos, melhores são as propriedades mecânicas. No entanto, o autor chama a atenção para a baixa retenção de água das argamassas com o material. Aponta como necessários ensaios relativos a: módulo de elasticidade; retração por secagem; resistência de aderência à tração sobre diferentes substratos; durabilidade.

3.7.8. Traços identificados para argamassas com agregado reciclado

Pelo pouco tempo em que argamassas com reciclado são usadas no Brasil e pela grande heterogeneidade de composição do reciclado, faltam informações consolidadas sobre os traços a serem utilizados para os diversos tipos de argamassas aplicáveis em construção. As condições de aplicação do reciclado em argamassas podem variar consideravelmente conforme condições específicas (tipo de resíduo e equipamentos de reciclagem utilizados; tipo de serviço em que a argamassa é aplicada e condições de exposição; grau de conhecimento do usuário sobre propriedades do reciclado e das argamassas com o material).

Em alguns casos, indica-se a utilização de traços com mistura de agregado reciclado e areia convencional, e cimento como único aglomerante (ANVI, s.d.). Os traços da Tabela 83 foram indicados por ANVI (s.d.) como padrão para uma obra estudada em pesquisas de propriedades de argamassas. Em outra pesquisa, ANVI (1992) apresenta outros traços, com o uso de cal e cimento como aglomerantes. Informa que os traços indicados (Tabela 84) são os normalmente utilizados na construção onde foi realizada a pesquisa. Segundo informações da empresa, o teor de areia que pode ser substituído por reciclado varia de 30 % a 50 %.

TABELA 84 - Traços utilizados na preparação de argamassas para diversos serviços de construção (ANVI, 1992)

Argamassa de assentamento (blocos de concreto - alvenaria estrutural)			
	Com reciclado	Com areia convencional	
Traço	1: ½: 3: 6 (cim:cal:entulho:areia)	1:1:4 (cim:cal:areia)	
Argamassa de assentamento de blocos cerâmicos e de concreto			
Emboço e revestimento de forro			
	Com reciclado	Convencional com cal	Argam. pronta com cimento
Traço	1:4:7 (cim:entulho:areia)	1:2:8 (cim:cal:areia)	1:7 (cim:massa pronta)
Argamassa para regularização de piso			
	Com reciclado	Convencional	
Traço	1:6:1½ (cim:entulho:areia)	1:4 (cim:areia)	

A I&T (1995) apresenta traços para argamassas com reciclado, em que se utiliza apenas reciclado como agregado, e cal e cimento como aglomerantes. Para a fixação dos traços, utilizou como critério a resistência à compressão de argamassas, e assim os consumos de aglomerantes é menor, conforme pode ser observado na Tabela 85. Na opinião do autor desta Dissertação, este método apresenta falhas, pois não foram consideradas outras propriedades, como por

exemplo retração por secagem (deve-se lembrar que nem sempre a resistência mecânica é a característica mais importante ao se aplicar argamassas). Deve-se considerar, no entanto, que o trabalho configura-se numa orientação de uso, e que reflete a ausência de informações sobre argamassa com reciclado, da época em que foi elaborado.

Aplicações dos traços indicados na Tabela 85, realizadas pela Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, levaram ao aparecimento de número significativo de fissuras. O autor deste trabalho acompanhou a elaboração das argamassas que apresentaram retração, e em discussões com o arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, com quem elaborou o Manual de aplicação (I&T, 1995c) concluíram que não é possível afirmar se a retração ocorreu pelo uso exclusivo do reciclado, pelo teor de aglomerantes ou pela baixa qualidade do reciclado utilizado. Segundo opinião do autor desta Dissertação, faltam conhecimentos sobre argamassas com os traços indicados pela I&T (1995) para que se possa utilizá-las com segurança.

HAMASSAKI et al. (1997) apresentam traços que segundo os autores são indicados por fabricantes de moinhos de rolo para reaproveitamento de resíduos de construção: 1:3:8 e 1:1,5:6 (cimento:entulho:areia) em volume.

TABELA 85 - Condições de aplicação do reciclado em argamassas (proporção em volume / cimento:cal:agregado) (I&T, 1995)

Aplicação	Passante em (mm)	Traço	
		Com areia	Com reciclado
Assentamento de tijolos maciços ou furados	3	1:2:8	1:2:12
Assentamento de blocos comuns de concreto	3	1:1:6	1:1:6
Chapisco	5	1:4 (cim)	1:4 (cim)
Emboço interno para reboco e massa única	3	1:2:9	1:2:12
Reboco	1	1:3:12	1:2:18
Regularização de base para piso cerâmico	5	1:5 (cim)	1:5 (cim)
Chumbamentos e fixações	5	1:3 (cim)	1:2,5 (cim)

3.7.9. Influência da aplicação do reciclado nos custos de argamassas

O uso do reciclado em argamassas pode gerar economia, pela substituição da areia convencional pelo reciclado (geralmente mais barato), pela eliminação do custo de remoção do resíduo e pela diminuição do consumo de aglomerantes. Uma das conclusões de LEVY (1997a) é que as argamassas com material reciclado apresentam consumo de cimento 30% menor.

ANVI (1992) realizou estudo de viabilidade econômica da aplicação do reciclado em argamassas. Os resultados referem-se à cidade de São Paulo/SP, e são válidos para argamassas preparadas com moinhos de rolo de pequeno porte. As argamassas convencionais foram preparadas com betoneira comum. Pelo modo como foi colocado no artigo, a comparação de custos foi feita considerando-se apenas os preços dos materiais (cal, areia e cimento). Não é informado se foi considerado o custo da mão de obra para preparação das argamassas. Também não fica claro se foi considerado o custo de remoção de resíduos da obra, que se incluso na análise pode modificar os resultados favoravelmente à aplicação do reciclado. Na Tabela 86 estão apresentados os resultados da pesquisa, com indicação de traços utilizados para os diferentes tipos de argamassas estudadas.

TABELA 86 - Comparativo de custos de argamassas (ANVI, 1992)

Argamassa de assentamento (blocos de concreto - alvenaria estrutural)			
	Com reciclado	Com areia convencional	
Traço	1: ½: 3: 6 (cim:cal:entulho:areia)	1:1:4 (cim:cal:areia)	
Custo (referência)	45%	100%	
Argamassa de assentamento de blocos cerâmicos e de concreto			
Emboço e revestimento de forro			
	Com reciclado	Convencional com cal	Argam. pronta com cimento
Traço	1:4:7 (cim:entulho:areia)	1:2:8 (cim:cal:areia)	1:7 (cim:massa pronta)
Custo (referência)	47%	100%	100%
Argamassa fina			
	Agregado reciclado		Reboquit
Traço	Cal e areia		Reboquit
Custo (referência)	18%		100%
Argamassa para regularização de piso			
	Com reciclado	Convencional	
Traço	1:6:1½ (cim:entulho:areia)	1:4 (cim:areia)	
Custo (referência)	35%	100%	

Utilizando as informações acima, foi realizada estimativa de redução de custo com a utilização das argamassa com reciclado em obra de 8.000 m² de área construída e 12.000 m² de paredes. Pelos cálculos da ANVI a redução de custos é de aproximadamente 41%. Deve-se ter cuidado ao aceitar este número como válido, já que não foram obtidas maiores informações sobre a metodologia de cálculo utilizada pela empresa.

A I&T (1995) também é de opinião que é possível reduzir custos com o emprego de resíduos de construção em argamassas, pelo baixo custo do reciclado e pela redução do consumo de aglomerantes, além da redução dos custos com remoção de resíduo das obras em que se recicla este material.

3.7.10. Preparação de argamassas com reciclado

A I&T (1995) recomenda a umidificação prévia do reciclado antes da adição de aglomerantes, para evitar problemas com a alta absorção do material. Recomenda umidificação de 2 minutos, que somada à mistura de 5 minutos totaliza 7 minutos em que o reciclado se mantém em contato com a água, antes da aplicação (no pior caso). Na verdade, este tempo é suficiente, pois é sabido que as parcelas mais finas do reciclado se saturam em menor tempo que as gráudas. A indicação do tempo de mistura leva em conta também a necessidade de homogeneização adequada das argamassas, para obtenção de uniformidade.

A I&T (1995) recomenda ainda que sejam tomados cuidados com as condições de execução dos serviços, como: limitação das espessuras de juntas ou das camadas de revestimento; umidificação prévia da cal, para total extinção; respeito aos tempos de espera necessários antes de se iniciar novos serviços; previsão de caimentos adequados em pisos, para evitar empoçamentos.

Devido à maior absorção de água do reciclado, é necessário que se utilize maior quantidade de água nas argamassas com o material, para que se alcance trabalhabilidade adequada.

TABELA 87 - Espessuras de juntas e camadas de argamassas (I&T, 1995)

Aplicação	Espessura máx. (mm)
Juntas de assentamento de tijolos e blocos	15
Chapisco	5
Emboço	15
Reboco	5
Massa única	20
Base niveladora de pisos	50

3.8. Pesquisa de textos normativos de agregado reciclado e outros materiais

3.8.1. Considerações gerais

Uma das etapas do trabalho foi o levantamento de textos relativos aos agregados reciclados e convencionais, que fornecessem informações sobre:

- Exigências e parâmetros de controle da qualidade para agregado reciclado e suas aplicações em argamassas e concretos;
- Procedimentos de aplicação de agregados, argamassas e concretos em serviços de construção, para identificação de estrutura básica dos textos;
- Exigências e parâmetros de controle da qualidade para materiais e serviços que tenham semelhança com o agregado reciclado (agregados, argamassas, concretos) ou com as aplicações consideradas neste trabalho.

Buscou-se, com isto, identificar a natureza das informações a serem contidas nos diferentes tipos de normas sobre o reciclado e suas aplicações em argamassas e concretos. Estas informações foram úteis para aumento do conhecimento sobre aplicações do reciclado e sobre especificações do material, no Brasil e no exterior. Foram importantes também para a proposição de diretrizes e textos básicos para especificação do agregado reciclado.

3.8.2. Análise de textos relativos à obtenção e uso de agregado reciclado

Na revisão bibliográfica foram analisados documentos relativos ao uso de agregado reciclado em concretos e argamassas, para identificação das exigências, especificações e procedimentos utilizados. Muitos dos documentos são de outros países, e a utilização das informações neles contidas foi objeto de análise quanto à adequação à realidade da construção e da reciclagem de resíduos de construção no Brasil. A seguir são apresentados resumos das informações contidas nos documentos analisados.

a) Diretriz 121-DRG de RILEM para demolição e reuso de concreto e alvenaria. Especificações para concreto com agregados reciclados.

O documento trata do uso da parcela graúda (> 4 mm) do agregado reciclado em concretos (se o reciclado miúdo cumprir as especificações tradicionais para esta parcela, pode ser usado). O campo de aplicação para o reciclado é definido em função das condições de exposição e classes de resistência do concreto. São definidas três categorias de agregado reciclado: (1) agregado reciclado de alvenaria; (2) agregado reciclado de concreto (3) e agregados constituídos da mistura de agregados naturais e agregados reciclados. Para a

categoria três (3) são fixados teores máximos e mínimos de materiais: o conteúdo de agregado natural deve ser ao menos 80% em massa; o conteúdo máximo do agregado Tipo I deve ser menor que 10 % em massa.

É exigido que os agregados não contenham substâncias que retardem o endurecimento do concreto em mais de 15 % ou que sejam prejudiciais ao compósito. Outros requisitos obrigatórios são apresentados na Tabela 88.

TABELA 88 -Exigência para reciclado graúdo p/ concreto (RILEM, 1994)

Requisitos obrigatórios	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Densidade seca mín. (kg/m ³)	1.500	2.000	2.400
Absorção de água máx. (% em massa)	20	10	3
Material com $d_{SSS} < 2.200$ kg/m ³ máx. (% em massa)	-	10	10
Material com $d_{SSS} < 1.800$ kg/m ³ máx. (% em massa)	10	1	1
Material com $d_{SSS} < 1.000$ kg/m ³ máx. (% em massa)	1	0,5	0,5
Conteúdo de materiais estranhos ² (% em massa)	5	1	1
Conteúdo de metais máx. (% em massa)	1	1	1
Conteúdo de matéria orgânica máx. (% em massa)	1	0,5	0,5
Conteúdo de filler (< 0,063 mm) máx (% em massa)	3	2	2
Conteúdo de areia (< 4mm) máx. (% em massa)	5	5	5
Conteúdo de sulfatos solúveis máx. (% em massa)	1	1	1

1 - d_{SSS} - densidade saturada superfície seca
2 - metais, vidro, material leves, betume

São definidas algumas outras propriedades dos agregados reciclados que devem ser atendidas pelas três categorias do material, e que não são obrigatórias a menos que definidas em documentos nacionais: granulometria; resistência mecânica; índice de forma; resistência à abrasão; conteúdo de cloretos; conteúdo de vanádio e ferro; conteúdo de argila expansiva; resistência ao congelamento.

Além das apresentadas acima, são definidas também outras propriedades relativas a aspectos ambientais e de saúde que devem ser satisfeitas, considerando particularidades nacionais: contaminação dos agregados por metais pesados e hidrocarbonetos poliaromáticos; lixiviação; radiação.

Os agregados que atendam às exigências podem ser aplicados em concretos armados ou simples, devendo ser atendidas restrições quanto a exposição e desde que alguns testes sejam realizados (são definidos critérios de aceitação para o material submetido aos testes: expansão; resistência a ciclos de congelamento e degelo; exposição a sais de degelo).

A Diretriz estabelece critérios para o projeto de estruturas com concreto com agregado reciclado, baseados nas exigências para concretos convencionais. Na ausência de informações experimentais mais detalhadas sobre o concreto com reciclado, apresentam-se estimativas dos piores casos para algumas propriedades do concreto com reciclado, obtidas pela multiplicação dos valores fixados por normas para concreto convencional pelos fatores contidos na Tabela 89. Quando dados mais apurados forem necessários, recomenda-se a realização de testes. Em alguns casos, entretanto, são necessárias informações sobre outros parâmetros, sendo recomendado o uso de normas para agregados leves.

TABELA 89 - Fatores de avaliação das propriedades do concreto com reciclado (RILEM, 1994)

Propriedades	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Resistência à tração	1	1	1
Módulo de elasticidade	0,65	0,80	1
Coefficiente de fluência	1	1	1
Retração	2	1,5	1

Comentários sobre os números da Tabela: os valores confirmam conclusões de pesquisas que indicam que concretos com reciclado apresentam módulo de elasticidade menor que o concreto convencional, e maior retração. Entretanto, o fator 1,0 para coeficiente de fluência parece estranho ao autor desta dissertação, pois informações apresentadas na revisão bibliográfica indicam que a fluência de concretos com reciclados é maior que a de concretos convencionais.

No documento são apresentadas informações sobre aplicação da fração miúda do reciclado em concretos, listando-se as desvantagens da aplicação desta parcela do material. É recomendado que seja dada atenção ao uso dos agregados reciclados finos na fração 2-4 mm.

b) “Proposição de norma para uso de agregado reciclado e concreto com agregado reciclado” elaborado pela BUILDING CONTRACTORS’ SOCIETY OF JAPAN (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992²²)

HANSEN (1992) lista as especificações, contidas no documento japonês , que considera mais interessantes:

- O concreto a ser reciclado deve ser convencional e de boa qualidade; deve haver a separação de usos para concretos de diferentes qualidades; os materiais de acabamento, as armaduras e contaminantes devem ser removidos da melhor maneira possível;
- O reciclado deve atender às especificações da Tabela 90; Alguns usos indicados para o concreto com reciclado são apresentados na Tabela 93.
- O agregado não devem conter contaminantes que afetem adversamente o concreto ou as armaduras. Os teores de impurezas admissíveis são apresentados na Tabela 91. (HANSEN, 1992). A determinação dos teores de impurezas é realizada por identificação visual e separação em dois líquidos pesados com densidades 1.200 kg/m^3 e 1.950 kg/m^3 . HANSEN (1992) afirma que este é o único ensaio específico para a determinação do teor de impurezas em agregado reciclado, em diversos países;
- O concreto com reciclado deve ser classificado de acordo com tipo de agregado usado, conforme Tabela 92;
- A resistência à compressão de projeto para concretos deve ser especificada de acordo com o tipo de agregado e deve ser inferior aos valores especificados na Tabela 92;
- Deve-se utilizar aditivos incorporadores de ar ou incorporadores de ar e redutores de água em qualquer concreto com reciclado. O ar incorporado ao concreto com reciclado deve se situar entre 3 % e 6 %, em qualquer caso;
- O abatimento do concreto com reciclado não deve exceder a 21 cm; a relação água/cimento não deve exceder a 0,7; o consumo de cimento deve ser maior ou igual a 250 kg/m^3 ;
- Deve-se utilizar a menor quantidade de água possível e relação entre agregado graúdo e miúdo que permita a produção de concreto com o abatimento requerido e coesão apropriada.

²² B.C.S.J. - BUILDING CONTRACTORS’ SOCIETY OF JAPAN (1977). Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste* (versão em inglês publicada em junho de 1981)

TABELA 90 - Requerimentos de qualidade para agregados reciclados (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)

Característica	Graúdo	Miúdo
Massa específica	$\geq 2.200 \text{ kg/m}^3$	$\geq 2.000 \text{ kg/m}^3$
Absorção de água	$\leq 7 \%$	$\leq 13 \%$
Perda de substâncias em ensaios de lavagem	$\leq 1 \%$	$\leq 8 \%$
Volume de sólidos	$\geq 53 \%$	-

TABELA 91 - Teores de impurezas admissíveis em agregados reciclados (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)

Tipo de agregado	Graúdo	Miúdo
Argamassas e revestimentos com massa específica menor que 1.950 kg/m^3	10 kg/m^3	10 kg/m^3
Asfalto, plásticos, tintas, tecidos, papel, madeira e partículas similares retidos em # 1,2 mm, com massa específica menor que $< 1.200 \text{ kg/m}^3$	2 kg/m^3	2 kg/m^3

TABELA 92 - Tipos de concretos com reciclado e valores máximos de resistência à compressão (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)

Tipo de concreto	Tipo de agregado		Valores máximos de resist. à compressão (MPa)	
	Graúdo	Miúdos	f_{c_k}	f_{c_j}
I	Reciclado ⁽¹⁾	Convencional	18	30 ⁽²⁾
II	Reciclado ⁽¹⁾	Mistura de convencional e reciclado	15	27 ⁽²⁾
III	Reciclado ⁽¹⁾	Reciclado	12	24 ⁽²⁾

(1) Incluindo mistura com agregado de massa específica usual

(2) desde que o consumo de cimento não se torne excessivo, valores maiores podem ser usados

TABELA 93 - Usos indicados para concretos com reciclado (B.C.S.J. apud HANSEN, 1992)

Tipo de concreto	Principais objetos de uso
I	Fundações de prédios em geral, fundações de edifícios de apartamentos, edificações residenciais unifamiliares, edificações comerciais de um pavimento, fundações pesadas etc.
II	Fundações para blocos de concreto pré-fabricados, construções leves não residenciais, fundações de máquinas etc.
III	Fundações para edificações de madeira, fixação de portões e cercas, fundações simples de máquinas etc.

c) Normalização holandesa sobre agregados reciclados

Na Holanda utiliza-se agregados reciclados em concretos. O Centro Holandês para Pesquisas e Códigos Engenharia Civil desenvolveu normas relativas a concreto e argamassas britados como agregado para concreto (CUR, 1986).

CUR (1986) apresenta informações gerais sobre processos de reciclagem de resíduos de construção, afirmando que se pode ajustar o processo de demolição e de reciclagem para se obter agregados com características desejadas.

Exige-se que elementos estruturais em concreto com reciclado, cujas dimensões forem determinadas pela deflexão máxima permissível, tenham um aumento de 10 % na altura ou espessura para garantia da rigidez. Isto deve-se ao menor módulo de elasticidade e maior fluência do concreto com reciclado, quando comparado com concreto convencional. Para concretos com até 20 % de agregado reciclado este aumento de dimensões não é necessário.

Apresentam-se como principais propriedades do agregado reciclado:

- densidade, a qual é menor que a de agregados convencionais, o que leva à necessidade de correções dos traços, para que não se modifiquem as proporções dos materiais (massa/volume);
- natureza e qualidade: os reciclados de concreto apresentam menores variações de qualidade que os de alvenaria;
- o agregado reciclado pode apresentar alta absorção, o que pode gerar expansão no umedecimento e retração na secagem. Deve-se levar em conta a alta absorção do reciclado ao se preparar novos concretos;
- os agregados reciclados apresentam resistências mecânicas menores que os agregados convencionais. Sua utilização no concreto leva a aumento da retração e da fluência.

CUR (1986) apresenta informações sobre concretos com reciclado graúdo. Indica a necessidade de se pré-umidificar o reciclado ou adicionar maior quantidade de água para compensar a absorção. Segundo o relatório, as resistências mecânicas de concretos com reciclado são 10 a 35% menores que as de concretos convencionais. Os desvios-padrões, no entanto, não são significativos, situando-se em valores aceitáveis de acordo com normas para concreto.

Segundo CUR (1986) a retração de concretos com agregados reciclados é maior que a de concretos convencionais (de 30 a 65 %), assim como a relaxação. Os módulos de elasticidade são menores. CUR (1986) apresenta relações entre parâmetros de concretos convencionais e com reciclados (Tabela 94).

TABELA 94 - Relação entre parâmetros de concreto com reciclado e concreto convencional (CUR, 1986).

Parâmetro	Reciclado de concreto		Reciclado de alvenaria
	B17,5 e B22,5	B27,5 e B 45	B17,5 e B22,5
Coefic. de expansão térmica $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	13,6	13,1	14,9
Taxas de:			
Resistência à tração	1,0	1,0	1,0
Módulo de elasticidade	0,95	1,55	1,25
Retração	1,35	1,55	1,25
Relaxação	1,45	1,25	1,15

Para concretos com mesma resistência a taxa de carbonatação apresenta pequenas diferenças. Os concretos com reciclado resistem bem a congelamento no clima da Holanda, verificando-se problemas apenas quando se congela rapidamente concretos saturados com agregados reciclados de tijolos cerâmicos.

Ao contrário de resultados de vários pesquisadores de outros países, CUR (1986) informa que o uso de agregado reciclado miúdo (< 4 mm) e agregado graúdo convencional não traz prejuízos ao concreto.

Segundo as especificações holandesas, concretos com teores de reciclado de concreto graúdo inferiores a 20 % (em massa) são tratados como concretos normais, e devem atender às exigências para este tipo de concreto. Para concretos com mais de 20 % de reciclado de concreto, fino ou graúdo, existem exigências específicas, cujos principais pontos, apresentados por HANSEN (1992), são:

- Resíduo de concreto é definido como entulho de demolição derivado de concreto de cimento hidráulico, com massa específica aparente superior a 2.100 kg/m^3 ;
- Resíduos de concreto devem conter: pelo menos 95 % (em massa) de concreto; máximo de 5 % (em massa) de materiais pétreos; máximo de 1 % de materiais betuminosos.
- Materiais pétreos são definidos como: concreto de agregados convencionais; tijolos cerâmicos ou de outros materiais; concreto leve; concreto aerado; materiais cerâmicos; vidro; pedra natural; argamassas.
- Os resíduos a serem reciclados devem ser peneirados em # 8 mm, e as partículas maiores que esta medida devem ser caracterizadas pela porcentagem em massa, através de análise visual e pesagem (a

composição dos retidos em # 8 mm é considerada representativa de todo o resíduo). Deve-se identificar: concretos convencionais, leves e aerados; tijolos em geral; argamassas de cimento e cal; produtos cerâmicos; pedras naturais; vidro; madeira; materiais sintéticos; asfalto; outros materiais.

- A granulometria dos agregados deve atender às especificações da Tabela 95; o teor de partículas friáveis ou leves dos agregados não devem exceder a 0,1 % da massa do material seco; o teor (em massa) de cloretos solúveis em água não deve exceder aos valores da Tabela 96;
- O teor de sulfatos dos agregados reciclados não deve ser superior a 1 % da massa do agregado seco a 98 °C;
- Deve-se controlar o teor de matéria orgânica fina dos agregados reciclados. Nos ensaios com adição de hidróxido de sódio, definido pelas normas holandesas, o agregado reciclado não deve ocasionar coloração mais escura que a cor padrão. Os agregados que levarem a cores mais escuras somente poderão ser usados em concretos se for comprovado que a impureza que ocasionou mudança na cor não traz prejuízos ao concreto;
- Em caso de dúvida, deve-se proceder a ensaio em que se utiliza água extraída do agregado reciclado, para verificação da presença de substâncias solúveis em água. Preparando-se pastas de cimento com esta água e com água comum, deve-se verificar diferenças na pega e na resistência à compressão, que não devem exceder a 15 %.

TABELA 95 - Granulometria requerida para agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)

Fração (mm)	Porcentagem retida na peneira (mm)							
	> 31,5	> 16	> 8	> 4	> 2	> 1	>250 μ	> 63 μ
0-4	-		-	0-10	25-31	50-62	80-87	96-100
4-16	-	0-5	55-57	85-100	95-100	-	-	99-100
4-31,5	0-5	32-44	70-75	90-100	-	-	-	99-100

- Os teores de carbonato de cálcio em reciclados não devem exceder a 25 % da massa da fração 0-4 mm e 10 % da fração acima de 4 mm;
- Para algumas aplicações específicas o reciclado não deve conter partículas que prejudiquem a estética, como asfalto e outros compostos;
- O conteúdo de madeira e outras matérias orgânicas do reciclado não deve exceder a 0,5 % da massa da fração 0-4 e 0,1 % da massa da fração acima de 4 mm;

- Deve-se limitar o conteúdo de materiais que podem causar expansão no concreto (por exemplo, óxido de magnésio ou óxido de cálcio);
- O conteúdo de partículas lamelares não deve exceder a 30 % da massa de agregados reciclados graúdos;
- Exige-se que se especifique a origem do agregado reciclado, com informações sobre: data de expedição; nome do transportador; tipo de agregado; dimensões características; exigências de norma a que o agregado deve satisfazer; local e tipo de origem.

TABELA 96 - Teores máximos admissíveis de cloretos solúveis em água, de agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)

Fração (mm)	Teores máximos (% em massa) para concretos:		
	simples	armado	protendido
0-4	-	0,1	0,015
> 4	-	0,05	0,007

Nas normas holandesas são apresentadas exigências a serem atendidas pelos reciclados de alvenaria, cujas principais informações são:

- Para que o agregado reciclado seja classificado como de alvenaria deve ter a seguinte composição:
 - Ao menos 65 % (em massa) de resíduos de alvenaria;
 - Máximo de 20 % (em massa) de concreto leve, produtos cerâmicos e pedras naturais;
 - Máximo de 10 % de concreto aerado;
 - Máximo de 25 % de argamassa;
- Granulometria conforme Tabela 97;

TABELA 97 - Granulometria requerida para agregados reciclados (CUR apud HANSEN, 1992)

Fração (mm)	Porcentagem retida na peneira (mm)							
	> 31,3	> 22,4	> 16	> 8	> 4	> 2	> 1	> 0,25
0-4	-	-	-	0	2-10	-	15-50	80-100
4-16	-	0	0-5	35-70	85-100	95-100	96-100	-
4-32	0-2	5-30	25-55	60-85	90-100	-	96-100	-
4-8	-	-	0	0-10	80-100	98-100	-	-
8-16	-	0	0-10	80-100	98-100	-	-	-
16-32	0-10	-	80-100	98-100	-	-	-	-

Os teores de contaminantes devem se limitar aos valores a seguir:

- Finos dispersáveis: para a fração 0/4 mm, o limite é de 4 % em massa e para fração > 4 mm é de 2 % em massa. Permite-se presença destes materiais desde que comprovado que sejam inofensivos;
- Matéria orgânica: é definido teor que não leve a coloração mais escura que a definida em ensaio específico;
- Cloretos: o teor não deve exceder aos valores da Tabela 98.
- Sulfatos: o teor máximo é 1 % em massa;
- Componentes não minerais: teor de madeira, vegetação, material isolante, papel tecido não deve exceder a 1 % em massa ou volume;
- Teor de betume, borracha, metais, vidro e polímeros pesados não deve exceder a 1 % em massa;

TABELA 98 - Teor máximo de cloretos de agregado reciclado de alvenaria (% em massa) (CUR apud HANSEN, 1992)

Fração	Concreto		
	Simplex	Armado	Protendido
0/4	1,0	0,10	0,015
outras	1,0	0,05	0,0-7

- Partículas leves: o conteúdo de partículas que podem ser desintegradas à mão não deve exceder a 0,5 % em massa para concreto normal e 0,2 % em massa para concreto aparente;
- Materiais que podem causar mudanças de cor: como vanádio e ferro;
- Componentes que podem retardar a pega ou endurecimento do concreto: não são admitidas diferenças de mais de 15 % no tempo de pega ou no endurecimento do concreto;
- Forma das partículas: não é admitido mais de 30 % em massa de partículas lamelares;
- Resistência ao congelamento: quando submetido a ciclos de congelamento, a perda de massa não deve exceder a 3 %.

RAMONICH (1997b) apresenta conteúdo de texto intitulado “Sistema de certificação para agregados produzidos de resíduos de construção e demolição” de Ch. F. Hendriks²³, O documento trata de sistemas de certificação de resíduos de construção reciclados na Holanda. As especificações apresentadas dizem respeito a: aceitação do resíduo de demolição, processamento do resíduo de construção, propriedades dos granulados processados, sistema de qualidade do produtor. Para aplicação do reciclado em concretos são consideradas as propriedades: granulometria; densidade de partículas; conteúdo de partículas de concreto, de partículas não pétreas, de pó, de partículas planas, de cloretos, de sulfatos, de componentes susceptíveis a reações álcali-sílica, de substâncias orgânicas, de componentes fracos.

d) Estudos europeus sobre exigências para agregados reciclados para uso na construção

Na Comunidade Econômica Européia o uso do reciclado é regulamentado pelo Comitê CEN 154 – AHG – Recycled Aggregates, que elaborou relatório sobre características exigíveis de agregados reciclados para várias aplicações (RAMONICH, 1997b). O documento, identificado como “CEN/TC 154 Ad hoc group for recycled aggregates. Technical Report. Draft (Dec96)”, trata das propriedades de reciclados para utilização em argamassas, concretos e outros. Recomenda-se que se aumentem as aplicações do resíduo de construção reciclado, e indica a necessidade de elaboração de especificações e métodos de ensaio específicos para o material.

São apresentados vários usos para o reciclado, com indicações das propriedades a serem conhecidas e controladas em cada um. O relatório apresenta informações sobre a existência ou necessidade de estabelecimentos de métodos de ensaio para as propriedades indicadas abaixo, com especificação de alguns valores-limites. Para a aplicação a granel são apresentados limites para densidades de partículas em relação à composição

²³ publicado no “Environmental Aspects of Construction with Waste Materials” Elsevier Studies in Environmental Science nº 60 p. 821-834 (1994).

Uso em concreto

- Descrição geral: onde se determinará a proporção entre resíduos de concreto e de alvenaria;
- Densidade e absorção de água: estas duas características são consideradas determinantes para a classificação dos resíduos reciclados;
- Gradação de densidades: em que se determinam os teores de materiais com densidade na condição saturada superfície seca menores que 2.200, 1.800 e 1.000 kg/m³;
- Granulometria e conteúdo de finos;
- Teor de impurezas (cloretos, sulfatos, materiais que prejudicam a pega e o endurecimento do concreto e outras);
- Resistência mecânica; resistência à abrasão e ao polimento;
- Efeitos do clima na resistência do concreto;
- Estabilidade volumétrica;
- Reação álcali-agregado;
- Contaminação por metais pesados e por hidrocarbonetos poliaromáticos.
- Forma;

Uso em argamassa (e uso como agregado miúdo em concretos)

- Granulometria e conteúdo de finos;
- Teor de impurezas (cloretos, sulfatos e outros componentes danosos);
- Reação álcali-agregado;
- Resistência ao congelamento/degelo;
- Lixiviação.

Aplicações a granel

- Resistência à fragmentação, ao congelamento, ao desgaste
- Matéria orgânica gráuda;
- Composição;
- Densidade da partícula com relação à composição;
- Lixiviação;
- Granulometria e conteúdo de finos;
- Forma da partícula;

Aplicações em que o agregado reciclado é ligado hidráulicamente

- Composição;
- Matéria orgânica danosa;
- Granulometria e teor de finos
- Lixiviação;
- Forma;
- Resistência ao congelamento.

e) Projeto europeu de estudos sobre métodos de ensaios de agregados reciclados

Desenvolve-se na Europa projeto de estudo de métodos de ensaios de agregados reciclados, por consórcio composto por universidades, empresas e centros de investigação. O projeto foi apresentado ao programa STANDARDS, MEASUREMENT AND TESTING (SMT) com o título “New test methods and quality control for recycled aggregates”. O desenvolvimento do projeto será realizado em cooperação com outros grupos que estudam aplicações do reciclado (RILEM TC-RSM e CEN/TC-154).

Busca-se o desenvolvimento de métodos de ensaios adaptados ao reciclado, voltados à exploração comercial do material na Europa. Serão levadas em conta as particularidades do reciclado e as características críticas para sua aplicação com segurança e qualidade. Segundo o documento, as normas utilizadas para o reciclado são baseadas nas características dos agregados convencionais, e é um dos objetivos do projeto favorecer o desenvolvimento de normas que levem em conta as propriedades específicas do reciclado.

Um dos objetivos do trabalho é a minimização dos ensaios para uso geral do reciclado, embora seja considerada a necessidade de estabelecimento de outros ensaios ou valores-limites para que se aumentem as possibilidades de aplicação.

Alguns pontos levantados no projeto definem quadro muito parecido com o encontrado no Brasil:

- O reciclado produzido na Europa apresenta baixa qualidade (baixa resistência mecânica e baixa durabilidade);
- Faltam informações sobre o reciclado, o que não permite definir apropriadamente os valores nas especificações;

- Devido a grandes variações na composição, alto grau de contaminação e à falta de conhecimento sobre o material, boa parte do resíduo é aterrado ou aplicado em usos simplificados;
- As aplicações simplificadas do reciclado inibem, de certa forma, o estabelecimento de normas mais rigorosas que permitam usos de maior qualidade;
- Muitos dos estudos existentes sobre o reciclado foram realizados com agregados reciclados artificialmente (em laboratório) e não levam em conta as características reais do reciclado produzido em grandes centrais.

No documentos são listados os ensaios para agregados reciclados, com considerações sobre sua adequação ou situação atual. Três níveis de pesquisa são possíveis para as propriedades: (1) devem ser desenvolvidos novos métodos de ensaio e fixados valores para os parâmetros; (2) Os métodos existentes são aplicáveis ao reciclado, mas devem ser fixados valores específicos para os parâmetros; (3) Nem os métodos de ensaio nem os valores limites requerem novas pesquisas.

As propriedades listadas para o reciclado são apresentadas a seguir, com avaliações específicas válidas para a Europa:

- Descrição geral: não é necessário novo método de ensaio. É necessário que se estabeleçam valores-limites;
- Densidade: é necessário novo método de ensaio. Recomenda-se a adaptação de normas já existentes;
- Absorção de água: é necessário novo método de ensaio. Recomenda-se a adaptação de normas já existentes;
- Teor de impurezas: é necessário novo método de ensaio. Recomenda-se a adaptação de normas já existentes;
- Granulometria: seria melhor distribuição por volume em vez de distribuição por massa, mas por simplicidade não se recomenda mudanças nos procedimentos já existentes;
- Forma: existem métodos de ensaio e valores-limites;
- Conteúdo de finos: são necessárias pesquisas para obtenção de informações específicas;
- Resistência ao desgaste (abrasão Los Angeles): não é necessário novo método de ensaio;

- Efeitos do clima na resistência do concreto: é necessário novo método de ensaio. Recomenda-se a adaptação de normas já existentes;
- Resistência ao polimento: não é necessário método de ensaio ou valores-limites;
- Conteúdo de cloretos: são necessárias mais pesquisas sobre o assunto;
- Conteúdo de sulfatos: existem métodos de ensaio propostos, mas deve-se rever os valores-limites;
- Reação álcali-agregado: não é necessário método de ensaio. Os valores-limites devem ser estudados;
- Conteúdo de materiais que podem prejudicar a pega do concreto: não é necessário método de ensaio. Os valores-limites devem ser estudados;
- Contaminação por metais pesados e por hidrocarbonetos poliaromáticos: é recomendada adaptação de método existente. Valores-limites devem ser estabelecidos por legislações nacionais;
- Retração por secagem: os métodos de ensaio são para materiais que apresentam baixa absorção de água, e assim é necessário que se prepare método específico para o reciclado.

f) Normalização alemã de especificação de agregados reciclados

Na Alemanha o agregado reciclado é utilizado em pavimentação e foi desenvolvido documento para especificação do material. Este documento, intitulado “Materiais de construção reciclados para a construção de estradas. Garantia de qualidade. RAL-RG 501/1” foi elaborado pelo Instituto Alemão para a Identificação e Garantia de Qualidade e estabelece diretrizes para a garantia de qualidade de reciclados para utilização na construção de estradas. Busca uniformizar procedimentos de produção do material, e garantir que apresente propriedades conforme as especificações nacionais.

O documento trata de aspectos como obtenção, beneficiamento, armazenagem e classificação dos resíduos de construção a serem reciclados. São estabelecidas classes de reciclado, conforme características físicas e químicas:

- Obtenção, beneficiamento e armazenagem;
- Resistência contra ação atmosférica, resistência contra calor
- Distribuição granulométrica, forma do grão e superfície de fratura;
- Afinidade com materiais de aglutinação betuminosos;

- Pureza e teor de contaminantes;
- Resistência contra golpes;
- Lixiviação;
- Densidade;
- Teores de cloretos e de sulfatos.

g) Manual de uso dos resíduos de construção reciclados (I&T, 1995c).

Este manual apresenta informações sobre a aplicação do reciclado em diversos serviços. Foi elaborado para uso em alguns municípios em que a reciclagem já está implantada. Pretende dar ao leitor condições de executar serviços, com qualidade e segurança. São contemplados: concretos; argamassas; pavimentação; camadas drenantes; rip-rap; fabricação de pré-moldados de concreto. Para cada serviço é reservado um capítulo, cuja estrutura básica é apresentada a seguir. A estrutura não é original, sendo muito utilizada em manuais de outros serviços convencionais (ver item 3.9.3):

- Considerações gerais e características gerais do reciclado;
- Materiais e equipamentos;
- Procedimentos e especificações para aplicação;
- Cuidados nas diferentes aplicações;
- Bibliografia.

Em cada item são fornecidas informações que explicitam as particularidades do reciclado enquanto material de construção e quando aplicado no serviço, com indicações de cuidados para minimizar erros e ocorrência de patologias. Com relação ao uso do resíduo de construção são apresentadas considerações sobre:

- Composição e necessidade de homogeneidade do reciclado;
- Classes dos agregados reciclados produzidos (Tabela 100);
- Granulometria dos agregados reciclados;
- Necessidade de pré-umidificação do reciclado;
- Necessidade de cuidados nos usos devido a: fragilidade dos grãos do reciclado; alta absorção do reciclado; heterogeneidade do reciclado.

TABELA 99 - Condições para aplicação do reciclado em concreto para fabricação de pré-moldados (I&T, 1995c).

Aplicação	Granulometria máxima (mm)	Traço em peso (cim/agreg.)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Meio-fio, sarjeta e sarjetão	25	1 : 4,5	300
Bocas de lobo	25	1 : 4,5	300
Lajotas de pavimentação	12,5	1 : 4,5	300
Mourões	12,5	1 : 6	250
Blocos comuns	12,5	1 : 10,5	150
Briquetes, tubos e canaletas	12,5	1 : 4,5	300

TABELA 100 - Tipos de reciclados produzidos em Ribeirão Preto/SP e Belo Horizonte/MG (I&T, 1995c).

Classe	Descrição
A	Resíduo composto de materiais minerais inertes como argamassas, tijolos e outros produtos cerâmicos, concreto, blocos de concreto, fibrocimento, vidro, areia, pedra, etc. com a exclusão de impurezas como gesso, solo, metais, papel, madeira, matéria orgânica, etc.
B	Resíduo com composição semelhante ao Classe A, onde se admite a presença de pequenas porções de solo. As impurezas citadas acima também devem ser excluídas.

TABELA 101-Condições p/ aplicação do reciclado em concreto (I&T, 1995c)

Aplicação	Granulometria máxima (mm)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Camada de regularização de piso; lastro para piso	12,5	200
Lastro para fundação; enchimentos	25	150
Contrapiso em edificações	25	200
Enchimento de vergas, contravergas e enchimentos verticais em muros e paredes	12,5	300
Pavimentos em geral para trânsito de pedestres	12,5	300

3.8.3. Pesquisa em manuais de serviços de construção civil

Buscando melhor compreensão dos procedimentos para a execução de serviços e/ou preparação de compósitos (argamassas, concretos), foram analisados alguns Boletins Técnicos da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, para identificação da estrutura e natureza das informações contidas:

- Assentamento de blocos pré-moldados de concreto em pavimentação.
- Blocos de concreto pré-moldados sem função estrutural;
- Construção de uma fossa séptica;
- Fabricação de blocos de concreto para alvenaria;
- Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação;
- Mourões de concreto armado para cercas;
- Passeios de concreto. Lajotas pré-moldadas;
- Quadras esportivas de solo-cimento;
- Ruas de solo-cimento. Prática de construção;

O autor desta dissertação considera que estes boletins, ao buscar dar condições para o leitor executar os serviços que propõem, contém informações suficientes para o entendimento do objeto de que tratam e para a execução dos serviços com qualidade satisfatória. O levantamento destas informações é útil para que se prepare material informativo sobre aplicações do agregados reciclados.

Como resultado, identificou-se estrutura geral dos manuais:

- **Introdução:** onde se define o objeto a que o manual se refere, com informações sobre vantagens, problemas e condições de fabricação etc.;
- **Considerações gerais:** onde se apresentam informações gerais sobre a execução do serviço: problemas, critérios gerais de qualidade, etc.
- **Materiais:** em que se definem os materiais a serem utilizados no serviço, com exigências específicas quanto a características físicas e químicas, pureza, qualidade, dimensões, etc.;
- **Equipamentos:** onde se apresentam os equipamentos necessários para a execução dos serviços, com considerações sobre tipos e suas vantagens e desvantagens;

- **Procedimentos para a execução:** em que se descrevem as etapas de execução do serviço, com indicações de métodos a serem utilizados e cuidados a serem tomados em cada uma das etapas;
- **Referências bibliográficas:** em que se indicam outros textos referentes ao assunto, que podem auxiliar na sua compreensão e na execução do serviço com mais qualidade.

3.8.4. Análise de normas técnicas da ABNT

Foi realizada pesquisa na ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas em que se identificaram normas relativas a materiais e compostos com similaridades com reciclado e suas aplicações (agregados, argamassas, blocos de concreto e concreto).

As normas analisadas estão apresentadas nos anexos. Não foram consideradas na análise as modificações que estão sendo introduzidas no sistema de normalização em decorrência da implantação do Mercosul, por considerar que seria um complicador desnecessário para o trabalho.

Embora o sistema de catalogação das normas tenha sido mudado, não mais identificando os textos conforme finalidade (especificação, método de ensaio etc.), as diferentes finalidades das normas foram consideradas no levantamento. Como principais resultados obteve-se uma compreensão das estruturas das diferentes normas, e do tipo de informação, critérios e exigências adotados pela ABNT para agregados.

a) Principais informações contidas em normas de especificação

- **Função:** especifica um material ou componente a ser aplicado em determinado serviço, através de características físicas e químicas exigíveis e de condições que o material deve satisfazer. Indica procedimentos de inspeção para verificação do cumprimento das exigências e critérios para aceitação ou rejeição do lote de material ou componente examinado.
- **Estrutura básica:** Cabeçalho com palavra chave; Sumário (apresentado em algumas normas); Objetivo; Normas e/ou documentos complementares; Definições; Condições gerais; Condições específicas; Inspeção; Aceitação e rejeição.
- **Objetivo:** especifica o material ou componente a que a norma se refere e o serviço em que será aplicado.

- **Normas e/ou documentos complementares:** relação de documentos relativos ao material: procedimentos de amostragem, métodos de ensaio, especificação de outros materiais ou componentes etc.
- **Definições:** para os principais termos encontrados na norma, de modo que sua compreensão seja única, minimizando a possibilidade de interpretações equivocadas e de falhas na aplicação da norma.
- **Condições gerais:** condições de cunho geral que o material ou componente objeto da norma deve atender. São apresentados em geral: materiais que podem ser usados na fabricação; indicações de normas a serem atendidas pelo material ou componente e pelos materiais de que será fabricado; listagem de características como dimensões, uniformidade, homogeneidade etc.; exigências quanto a fabricação ou obtenção;
- **Condições específicas:** exigências relativas às características físico-químicas específicas do material, com indicação de normas a serem utilizadas e limites dos resultados para aceitação do material;
- **Inspeção:** critérios para a realização da inspeção, procedimentos para a formação da amostra, relação dos ensaios e inspeções necessários e normas a serem usadas para a realização dos ensaios.
- **Aceitação de rejeição:** apresenta critérios para a aceitação ou rejeição do lote analisado, em função dos resultados dos ensaios realizados.

b) Principais informações contidas em normas de procedimento

- **Função:** fixa condições exigíveis para a realização de uma atividade (elaboração de um projeto, preparação de concreto etc.)
- **Estrutura básica:** Cabeçalho com palavra chave; Sumário (apresentado em algumas normas); Objetivo; Normas e/ou documentos complementares; Definições; Condições gerais; Condições específicas; Outros itens).
- **Objetivo:** especifica o procedimento a que a norma se refere e sua aplicação.
- **Normas e/ou documentos complementares:** relação de documentos relativos ao material: procedimentos de amostragem, métodos de ensaio, especificação de outros materiais ou componentes etc.
- **Definições:** para os principais termos encontrados na norma, de modo que sua compreensão seja única, minimizando a possibilidade de interpretações equivocadas e de falhas na aplicação da norma.

- **Condições gerais:** condições de cunho geral relativos a materiais e serviços de que trata o procedimento (características relativas à qualidade e outros aspectos dos materiais, equipamentos ou métodos utilizados).
- **Condições específicas:** ao contrário das condições gerais, apresenta informações referentes a condições e características particulares de materiais, equipamentos e serviços ou métodos específicos.
- **Outros itens:** os itens seguintes variam conforme o objeto da norma, podendo ser em grande número ou praticamente inexistentes. Em muitos casos são descritas etapas necessárias para a realização da atividade, com apresentação de seqüência de execução, procedimentos de trabalho, indicação dos materiais, equipamentos, aparelhos e ferramentas necessários e cuidados com a qualidade. É muito comum a apresentação de condições exigíveis de materiais, componentes e serviços, e critérios e procedimentos de inspeção.

c) Principais informações contidas em normas de método de ensaio

- **Função:** prescreve métodos para a realização de ensaio para determinação de características físicas e químicas de materiais e componentes.
- **Estrutura básica:** Cabeçalho com palavra chave; Sumário (apresentado em algumas normas); Objetivo; Normas e/ou documentos complementares; Definições (em algumas normas, quando necessário); Outros itens).
- **Objetivo:** especifica o material a ser ensaiado e a(s) característica(s) físicas e/ou químicas que o ensaio proposto determina.
- **Normas e/ou documentos complementares:** relação de documentos relativos ao material: procedimentos de amostragem, métodos de ensaio, especificação de outros materiais ou componentes etc.
- **Definições:** para os principais termos encontrados na norma, de modo que sua compreensão seja única, minimizando a possibilidade de interpretações equivocadas e de falhas na aplicação da norma.
- **Outros itens:** os outros itens variam com o tipo de ensaio, com informações sobre: preparação das amostras; etapas para a realização dos ensaios; equipamentos, ferramentas, aparelhos, materiais e instalações necessários; técnicas de aferição dos aparelhos; cuidados necessários; preparação, análise e apresentação dos resultados; exigências quanto à elaboração de relatório sobre o ensaio.

d) Principais informações contidas em normas de classificação

- **Função:** classifica materiais e componentes com relação a parâmetro(s) de classificação (periculosidade, resistência mecânica, etc.).
- **Estrutura básica:** Cabeçalho com palavra chave; Sumário (apresentado em algumas normas); Objetivo; Normas e/ou documentos complementares; Definições; Classes.
- **Objetivo:** classifica determinado material ou componente de acordo com um parâmetro específico, como uma característica física ou química, periculosidade, etc.
- **Normas e/ou documentos complementares:** relação de documentos relativos ao material: procedimentos de amostragem, métodos de ensaio, especificação de outros materiais ou componentes etc.
- **Definições:** para os principais termos encontrados na norma, de modo que sua compreensão seja única, minimizando a possibilidade de interpretações equivocadas e de falhas na aplicação da norma.
- **Classes:** apresenta as classes em que os materiais e componentes analisados deverão se encaixar, com explicitação dos critérios adotados na classificação (características físico-químicas).

e) Principais informações contidas em normas de terminologia

- **Função:** especifica e define os termos técnicos a serem empregados para situar, designar e caracterizar elementos de interesse de uma área da engenharia ou de uma família de materiais.
- **Estrutura básica:** Cabeçalho com palavra chave; Sumário; Objetivo; Normas e/ou documentos complementares; Definições.
- **Objetivo:** especifica o serviço, setor da engenharia ou família de materiais a que os termos técnicos definidos na norma se referem.
- **Normas e/ou documentos complementares:** relação de documentos relativos ao material: procedimentos de amostragem, métodos de ensaio, especificação de outros materiais ou componentes etc.
- **Definições:** apresenta as definições adotadas para os termos utilizados para descrever materiais, componentes e serviços de uma área da engenharia ou de uma família de materiais e componentes. Busca-se realizar as definições dos termos de maneira que sua compreensão seja única, minimizando as possibilidades de interpretações equivocadas dos seus significados e de falhas na aplicação de outras normas.

f) Informações gerais contidas em normas de especificação de agregados

Foram levantadas informações gerais contidas em normas de especificação de agregados. As relação geral das informações está apresentadas a seguir:

Condições gerais

- Exigências gerais quanto à qualidade dos grãos (dureza, compacidade, uniformidade, etc.);
- Exigências quanto ao controle do fornecimento do agregado (idoneidade do fornecedor, indicação de proveniência e qualidade);
- Limitações aos teores de: grãos lamelares ou de forma indesejável; fragmentos moles; substância nocivas ou impurezas; materiais que possam causar reações álcali-agregado.

Condições específicas de agregado miúdo

- Características petrográficas;
- Granulometria e tolerâncias para os limites impostos; módulo de finura;
- Substâncias nocivas: torrões de argila; materiais carbonosos; material pulverulento; impurezas orgânicas;
- Prescrições para usos especiais: massa específica absoluta; porosidade; absorção; estabilidade dimensional; ciclagem; durabilidade; outras substâncias nocivas; resistência à compressão; resistência à abrasão; resistência ao impacto; resistência à desintegração; resistência à trituração; limite de liquidez; índice de plasticidade.

Condições específicas de agregado graúdo

- Granulometria e tolerâncias para os limites impostos;
- Substâncias nocivas: torrões de argila; materiais carbonosos; material pulverulento; impurezas orgânicas;
- Forma dos grãos; abrasão Los Angeles; tenacidade;
- Prescrições para usos especiais: massa específica absoluta; porosidade; absorção; estabilidade dimensional; ciclagem; durabilidade; outras substâncias nocivas; resistência à compressão; resistência à abrasão; resistência ao impacto; resistência à desintegração; resistência à trituração;
- Inspeção: quando deve ser realizada; ; amostragem; normas a utilizar nos ensaios;
- Aceitação e rejeição.

3.9. Reciclagem de resíduos de construção. Terminologia

A terminologia apresentada neste item é baseada parcialmente na Proposição de Norma Japonesa “Agregado reciclado e concreto de agregado reciclado” (HANSEN, 1992).

Resíduo de concreto: restos de concreto de estruturas demolidas assim como concreto fresco e endurecido rejeitado por produtores de concreto ou por fabricantes de artefatos de concreto;

Concreto convencional: concreto produzido com areia natural como agregado miúdo e pedra britada ou natural como agregado graúdo;

Concreto original: concreto de estruturas de concreto armado, estruturas de concreto simples ou peças de concreto pré-moldado que possam ser usadas como matéria-prima para produção de agregado reciclado (ou outros propósitos úteis). Ocasionalmente refere-se a concreto original como concreto velho, concreto demolido ou concreto convencional;

Concreto de agregado reciclado: concreto produzido usando-se agregado reciclado ou combinações de agregado reciclado e outros agregados. Às vezes refere-se a concreto de agregado reciclado como concreto novo;

Argamassa original: mistura endurecida de cimento, água, e agregado convencional miúdo menor que 4-5 mm no concreto original. Alguma argamassa original é sempre aderida a partículas do concreto original nos agregados reciclados. Ocasionalmente refere-se a argamassa original como argamassa velha ou argamassa convencional;

Agregados originais: agregados convencionais com os quais o concreto original é produzido. Agregados originais são naturais ou artificiais, agregados graúdos ou miúdos comumente usados para a produção de concreto convencional. Quando não é possível mal entendimento, agregado original é também referido como agregado virgem ou convencional;

Agregados de concreto reciclado: agregados produzidos pela britagem de concreto original; tais agregados podem ser agregados miúdos ou graúdos. Agregado reciclado miúdo é referido algumas vezes como miúdo de concreto britado. Quando não é possível mal entendimento, agregados de concreto reciclado podem ser referidos como agregados reciclados.

ZORDAN (1997) apresenta definição para **resíduo 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 camuflem outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais que estiverem num dos itens acima".²⁴

Com base nas definições acima, propõem-se outras nesta Dissertação:

Argamassa convencional: argamassa produzida com areia natural como agregado;

Argamassa de agregado reciclado: argamassa produzida usando-se agregado reciclado ou combinações de agregado reciclado e outros agregados;

Resíduo de alvenaria: resíduos sólidos não contaminados, provenientes da construção, reforma, reparos e demolição de alvenaria e estruturas. Como resíduos, incluem-se, mas não limitam-se, blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, rocha, argamassa, telhas e outros componentes cerâmicos ou de concreto.

²⁴ Regulamentação de gerenciamento de resíduos sólidos do Estado de Nova York, 6NYCRR, part. 360

4. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS A AGREGADO RECICLADO

4.1. Informações gerais

Neste capítulo são apresentadas considerações e diretrizes relativas ao agregado reciclado, abordando-se assuntos como obtenção e classificação do material, suas propriedades e adequação a alguns usos. As considerações e diretrizes apresentadas baseiam-se em análises realizadas pelo autor da Dissertação, a partir de informações disponíveis sobre o reciclado. Assim, refletem muitas vezes opiniões e questionamentos pessoais sobre assuntos levantados por outros autores e pelo próprio autor.

4.2. Considerações sobre propriedades do agregado reciclado e suas conseqüências para as aplicações em argamassas e concretos

No desenvolvimento da Dissertação foram levantadas e analisadas informações sobre propriedades do reciclado e de argamassas e concretos preparados com o material. Uma das conclusões a que se pôde chegar é que o material apresenta heterogeneidade considerável. Entretanto, apesar dos reciclados apresentarem composições diferentes, pode-se encontrar algumas similaridades no material e nas argamassas e concretos com ele preparados.

As propriedades do reciclado a serem conhecidas e controladas variam com os usos. Apresentam-se a seguir informações sobre algumas delas, consideradas importantes para o entendimento das possibilidades de uso do material.

4.2.1. Granulometria

A distribuição granulométrica de agregados influencia nas características de argamassas e concretos (trabalhabilidade, coesão, consumo de aglomerantes, resistência mecânica e outras propriedades no estado fresco ou endurecido).

A granulometria do reciclado depende do tipo de resíduo processado e das características dos equipamentos de reciclagem, podendo ser muito parecida com a de agregados convencionais, dependendo das regulagens dos britadores e do sistema de peneiramento. Reciclado de concretos de qualidades diferentes não apresentam variações significativas na granulometria e podem apresentar curvas parecidas com a de pedras naturais britadas, quando retiradas as parcelas finas.

Alguns autores não recomendam o uso da parcela miúda do reciclado em concreto, por prejudicarem algumas de suas características como resistência à compressão, absorção de água, perda de massa por abrasão, módulo de elasticidade, retração por secagem, fluência, resistência ao congelamento e outras.

O reciclado de alvenaria pode apresentar altas porcentagens de finos, o que pode ser prejudicial para algumas aplicações. Isto, no entanto, depende dos processos de reciclagem utilizados.

No uso em argamassas também pode ser necessário eliminar-se parte da fração miúda do agregado para melhoria de algumas propriedades do compósito e para redução dos riscos do surgimento de patologias devido à presença de contaminantes (cujo teor tende a ser maior na fração miúda).

A eliminação das parcelas miúdas, pode gerar a necessidade de se estudar alternativas para sua utilização, para evitar seu simples aterramento.

4.2.2. Composição

Os agregados reciclados apresentam composições diferenciadas conforme região geográfica, tipos de obras geradoras dos resíduos, modo de captação e manejo dos resíduos etc. Para um mesmo local, resíduos captados em períodos diferentes podem apresentar diferenças significativas na composição.

De uma maneira geral, agregados reciclados são compostos por materiais minerais inertes como argamassas, componentes de alvenaria e concretos. As argamassas e resíduos cerâmicos são predominantes na maior parte dos casos.

A composição do reciclado determina muitas de suas propriedades, como resistência mecânica, absorção de água etc. Dependendo da aplicação prevista pode-se variar os teores dos componentes do reciclado, para que apresente características adequadas, para aplicação em concretos ou em argamassas.

4.2.3. Absorção de água

O reciclado apresenta absorção de água considerável, em geral maior que a de agregados convencionais. Quanto maior o teor de cerâmicos e de argamassa, maior a absorção. A absorção de água de concretos está ligada à porosidade e à permeabilidade. Concretos mais porosos tendem a apresentar menor resistência mecânica e maior susceptibilidade à carbonatação e a ataques químicos.

Devido à maior absorção, muitos usuários do material o saturam antes de colocá-lo em contato com os aglomerantes na preparação do concretos e

argamassas, pois do contrário o agregado poderá absorver parte da água necessária para a hidratação do cimento, prejudicando a qualidade do compósito.

A absorção do reciclado pode interferir nas propriedades de argamassas, que passam a ser mais porosas e permeáveis, com diminuição de sua proteção ao substrato e eliminação da possibilidade de serem aplicadas em serviços de impermeabilização.

4.2.4. Permeabilidade, carbonatação e corrosão de armaduras

A permeabilidade está diretamente ligada à ocorrência de carbonatação em concretos e argamassas. O fenômeno da carbonatação propicia corrosão das armaduras, pela diminuição do pH do concreto. A permeabilidade de concretos com reciclado é maior que a de concretos convencionais. Pesquisas mostram que a profundidade de carbonatação em concretos com reciclado é maior que a de concretos convencionais e que o tempo de início da corrosão é menor.

Em alguns estudos determinou-se permeabilidades de argamassas com reciclado menores que de argamassas convencionais. Levando em conta as diferentes possibilidades de composição do reciclado, deve-se estudar melhor a permeabilidade de argamassas com o compósito.

4.2.5. Teor de contaminantes

A presença de alguns materiais no agregado pode prejudicar a qualidade do concreto ou da argamassa, retardando ou impedindo a pega, diminuindo a resistência mecânica e modificando outras características ligadas à qualidade e à durabilidade. Pelo modo como é obtido, o reciclado pode conter impurezas de vários tipos, como argila, gesso, vidro, papel, papelão, matéria orgânica etc. Deve-se avaliar os efeitos destes materiais sobre a qualidade de concretos e argamassas e estabelecer limites para seus teores, dependendo da aplicação prevista.

4.2.6. Resistência à compressão

A resistência à compressão é um dos principais indicadores da resistência mecânica e da qualidade de concretos e argamassas, fundamental para as aplicações. Para baixos consumos de cimento a resistência do concreto com reciclado pode ser semelhante à de concretos convencionais, passando a ser menor à medida em que se aumenta o consumo. Em geral a diferença aumenta com o uso de resíduos de alvenaria e com aumento do teor de finos do reciclado. Quanto menor a resistência do reciclado, menor a resistência do concreto.

Argamassas com reciclado apresentam, em geral, resistências à compressão maiores que argamassas convencionais, e quanto maior o teor de cerâmicos, maior a diferença. Possíveis explicações para isto são a pozolanicidade dos resíduos cerâmicos e o efeito filler das parcelas finas do reciclado.

4.2.7. Módulo de elasticidade

Esta propriedade é fundamental para avaliação de qualidade do concreto e para definição da geometria dos elementos construtivos como espessuras de lajes, alturas e larguras de vigas etc. O módulo de elasticidade de concretos com reciclado em geral é menor que o de concretos convencionais, dependendo do tipo de resíduo usado e da sua granulometria. Quanto maior o teor de argamassa aderida, menor o módulo de elasticidade. O uso da parcela miúda do reciclado pode diminuir o módulo de elasticidade. A diferença dos módulos do concreto convencional e com reciclado aumenta com o aumento da resistência mecânica. Argamassas com reciclado, ao contrário, podem apresentar módulo de elasticidade maiores que argamassas convencionais.

4.2.8. Retração por secagem

A retração em concretos e argamassas prejudica a qualidade, criando tensões internas e fissuras. A retração em concretos com reciclado é maior que em concretos convencionais. Quando se utiliza a parcela fina do reciclados a retração é ainda maior.

Argamassas com reciclado também podem apresentar maior retração, dependendo da composição, granulometria, teores de impurezas e outras propriedades da areia reciclada, assim como da proporção entre agregados e aglomerantes. Para diminuir a retração em argamassas com reciclado alguns usuários acrescentam areia convencional ao compósito.

Pelas possíveis variações na retração de concretos e argamassas com reciclado, devido a diversos fatores ligados à qualidade dos materiais e seu proporcionamento, esta propriedade deve ser melhor estudada.

4.2.9. Fluência

Esta propriedade é importante para avaliação do comportamento de peças estruturais no tempo. A fluência de concretos com reciclado é maior que a de concretos convencionais, e aumenta com a diminuição da resistência mecânica e com o aumento do teor de reciclado miúdo no concreto.

4.2.10. Massa específica

A massa específica de reciclados é em geral menor que a de agregados convencionais, devido em grande parte à maior porosidade dos resíduos de construção. Isto se reflete nas massas de compósitos preparados com o material.

Pode-se utilizar a massa do reciclado e de concretos e argamassas preparados com o material como um indicador da qualidade e como critério de classificação. Em geral, quanto maior a massa, maior é a resistência mecânica e menor a absorção de água, fatores importantes para o desempenho e durabilidade de compósitos.

4.2.11. Abrasão Los Angeles

Os resultados de ensaios de perda de massa por abrasão Los Angeles dão indicações da resistência mecânica das partículas do agregado, a qual está diretamente ligada à resistência do concreto. A perda de massa em agregados reciclados de concreto é maior para as parcelas mais finas, devido ao maior teor de argamassa aderida, que resiste menos que o agregado natural. Quanto menor a resistência do concreto original, maior a perda de massa nos ensaios de abrasão. Para reciclados de alvenaria o desgaste por abrasão é ainda maior.

4.2.12. Resistência ao congelamento

Esta propriedade está ligada à durabilidade do agregado e consequentemente à durabilidade de concretos e argamassas. No Brasil esta propriedade pode ser relativamente importante em algumas regiões. A durabilidade de reciclado submetido a ciclos de congelamento e degelo aumenta com a diminuição das partículas. Pesquisas mostram que a resistência ao congelamento de concreto preparado com reciclado de concreto é igual ou maior que a de concretos convencionais. No entanto, a alta absorção do reciclado pode prejudicar concretos saturados submetidos a ciclos de gelo/degelo.

4.2.13. Teor de partículas susceptíveis a reações álcali-agregado

Conforme a composição química das partículas de reciclado e do cimento utilizado na preparação de novos concretos, há a possibilidade da ocorrência de reações álcali-agregado. Não foram obtidas informações sobre ensaios para determinação dos efeitos do uso do reciclado de concreto que tenha sofrido reações álcali-agregado. Este assunto deverá ser melhor pesquisado.

4.2.14. Forma e textura

A forma dos grãos de agregados influencia na trabalhabilidade, na coesão e no consumo de cimento. Dependendo do tipo de resíduo de construção e dos processos de obtenção, o reciclado pode apresentar forma lamelar, prejudicial ao uso em concretos (já foi verificada, em concretos, a criação de linhas de fratura devido à presença de partículas lamelares orientadas de modo semelhante).

A influência da forma e da textura depende da granulometria. Quando se utiliza a fração miúda do reciclado os prejuízos à trabalhabilidade podem não se verificar (embora outras propriedades possam ser prejudicadas). Este parece ser o caso das argamassas, onde os finos melhoram as condições de aplicação. Se for retirada a fração mais fina do material, provavelmente a trabalhabilidade será prejudicada.

4.3. Considerações gerais sobre os usos possíveis para o agregado reciclado

Neste item são apresentadas considerações gerais sobre a adequação do reciclado a alguns serviços de construção. Para a análise da adequação do material aos usos, tomou-se como base informações obtidas durante a pesquisa. Muitas das observações refletem a opinião pessoal do autor da Dissertação.

Nas análises, avaliou-se a adequação do uso do reciclado produzido atualmente no país pelas Centrais de Reciclagem públicas e de reciclado possível de ser produzido com processos mais sofisticados, ainda não implementados. A adequação de resíduos reciclados por construtoras aos serviços depende do grau de controle da qualidade do processo de reciclagem utilizado. Outras aplicações em condições particulares devem ser objeto de análises específicas.

4.3.1. Concreto estrutural armado

Em outros países apenas reciclado de concreto estrutural pode ser utilizado na produção de concreto estrutural, e ainda assim desde que satisfaça a exigências como absorção máxima, composição, teor de impurezas etc.

O reciclado produzido atualmente no país não apresenta uniformidade e possivelmente não atende a exigências quanto a características físicas e químicas que garantam sua qualidade e durabilidade quando aplicado em concretos estruturais. Mesmo que sejam melhorados os procedimentos de produção do reciclado, é opinião do autor deste trabalho que não se deva aplicá-lo neste serviço até que o conhecimento sobre o assunto esteja consolidado.

4.3.2. Concreto de baixo consumo, não armado

Este tipo de concreto pode ser preparado com reciclado produzido atualmente, porém deve-se considerar a alta taxa de absorção dos agregados e conseqüentemente do concreto ao se determinar o serviço em que será utilizado.

Possivelmente em alguns serviços com exposição a altas taxas de umidade, como contrapisos e calçadas, deverão ser tomados cuidados para evitar problemas de durabilidade (aumento das espessuras, redução da distância entre juntas etc.).

Com o avanço da reciclagem e produção de reciclados de classes diferentes, poderão ser encorajados usos em concretos armados de baixa responsabilidade estrutural em serviços com baixa probabilidade de corrosão das armaduras (baixa umidade, peças revestidas etc.).

4.3.3. Argamassa de assentamento

Pode-se preparar argamassas de assentamento com o reciclado produzido atualmente no Brasil. O material confere boa resistência mecânica e aderência ao compósito, mas ainda há carência de informações sobre outras propriedades e quanto à durabilidade, para que se apliquem argamassas de assentamento com reciclado com total segurança. Por isso não se indica, por exemplo, sua aplicação em alvenaria estrutural. Pela alta taxa de absorção do reciclado não se indica o uso de argamassas com o material em locais sujeitos a umidade ou onde é necessária impermeabilização.

Com o avanço das pesquisas e melhoria da qualidade do reciclado, podem ser viabilizados outros usos, como argamassas para alvenaria estrutural. A definição de classes variadas de reciclados pode auxiliar na aplicação do material em argamassas com diferentes funções, com diminuição do risco de patologias.

4.3.4. Argamassa de revestimento

Pode-se aplicar argamassa com reciclado no revestimento de superfícies, principalmente em emboços. Faltam informações sobre comportamento das argamassas com reciclado no estado fresco e endurecido, como aderência, retração etc. Por isso alguns usuários utilizam mistura de reciclado com areia convencional, em traços empíricos (faltam ensaios que determinem qual a proporção ótima entre os materiais). Não se aconselha a aplicação do reciclado em chapisco, reboco e no assentamento de revestimentos cerâmicos. Para que estes usos sejam implementados será necessário que se obtenham mais informações sobre o material.

4.3.5. Fabricação de pré-moldados de concreto

O concreto com reciclado produzido atualmente pode ser utilizado na produção de pré-moldados de concreto como tijolos maciços, blocos, briquetes, tubos, meio-fio e outros componentes para infra-estrutura urbana. Deve-se analisar os efeitos da composição do reciclado e da sua alta taxa de absorção na durabilidade dos componentes. Não se aconselha o uso em peças armadas.

O uso do material para a fabricação de componentes para alvenaria estrutural deve ser objeto de análise cuidadosa. Com o avanço das pesquisas sobre o assunto e a melhoria da qualidade do reciclado podem vir a ser fabricados componentes estruturais com o material.

4.3.6. Rip-rap

Para esta aplicação o agregado reciclado é adequado, pois pode ser obtido na granulometria necessária e apresenta bons resultados. Pode ser utilizado reciclado com algum grau de impureza, o que propicia o uso do material produzido atualmente nas recicladoras públicas. O uso de reciclado de melhor qualidade, e possivelmente mais caro, deve ser objeto de análise de viabilidade econômica.

4.3.7. Pavimentação

A aplicação do reciclado em pavimentação é uma daquelas em que se obtém os melhores resultados, superiores em muitos casos aos obtidos com o agregado convencional. Há conhecimento do meio técnico para a aplicação do reciclado neste serviço com qualidade e segurança.

4.3.8. Camadas drenantes

Para esta aplicação o reciclado deve ter composição e granulometria adequados. Não deve conter finos que colmatem os poros ou grãos de baixa resistência mecânica ou que se desintegram com exposição à umidade. O reciclado produzido no Brasil deve ser objeto de análise quanto a essas exigências antes de ser aplicado neste serviço. O uso de reciclado de melhor qualidade, possivelmente mais caro, deve ser objeto de análise de viabilidade econômica.

4.3.9. Cobertura de aterros

Quando aplicado sobre o solo e compactado adequadamente o reciclado pode apresentar bom comportamento, formando camada com relativa coesão e mais resistente a esforços e a danos causados por chuvas que o solo normalmente utilizado. No entanto, deve-se levar em conta fatores econômicos antes de se aplicar o reciclado neste serviço.

4.3.10. Gabião

Em uma primeira análise, esta aplicação parece viável para alguns tipos de resíduos de construção, que apresentem resistência de grão necessária e que possam ser obtidos nas dimensões adequadas à execução do serviço. Possivelmente os resíduos a serem utilizados seriam os de estruturas e outros elementos de concreto. Para que o uso seja implementado devem ser realizadas pesquisas e aplicações-piloto, considerando-se que os gabiões na maioria das vezes têm função estrutural (retenção de taludes), e falhas causadas pelas características do resíduo reciclado poderiam ter sérias conseqüências.

4.4. Identificação dos tipos de resíduos de construção no Brasil

Para que se proponham classificações para os resíduos de construção a serem recebidos nas recicladoras ou para os agregados reciclados a serem produzidos, é necessário que se analisem os principais tipos de resíduos gerados no país, os quais apresentam características diferenciadas que interferem nas propriedades do reciclado e nos procedimentos de reciclagem. Analisando-se as informações relativas aos resíduos de construção, pode-se identificar alguns dos tipos mais comuns, provenientes de:

- Perdas na construção ou reforma de edificações;
- Demolições;
- Perdas na indústria de materiais de construção;
- Demolição de pavimentos à base de concreto asfáltico;
- Desastres envolvendo desabamento ou danificação de construções;
- Limpeza de terrenos;

Nas páginas seguintes são apresentadas informações sobre estes tipos de resíduos. Pode-se observar que os principais componentes dos resíduos no Brasil são restos de alvenaria, argamassas e concretos, com pequenas parcelas de outros materiais minerais inertes como peças cerâmicas (azulejos, telhas etc.), de fibrocimento, componentes de concreto, além de vidro, areia e pedra. Resultados de ensaios de determinação da composição de resíduos em vários municípios brasileiros confirmam esta informação.

Encontram-se nos resíduos impurezas em quantidades significativas, principalmente madeira, papel e plástico, provenientes de fôrmas e embalagens de materiais e componentes utilizados nas construções. Encontra-se também gesso e outros materiais como terra e resíduos vegetais (provenientes de movimentação de terra ou limpeza de terrenos ou obras).

Resíduos provenientes de
1. PERDAS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES E PEQUENAS REFORMAS
<p><u>Considerações gerais</u></p> <p>São gerados em obras de portes distintos, de pequenas reformas a grandes construções. São os resíduos com maior presença nas centrais de reciclagem em operação, juntamente com resíduos provenientes de demolições.</p>
<p><u>Composição</u></p> <p>São compostos predominantemente de argamassa e componentes de alvenaria (blocos e tijolos), com pequena participação de concreto, peças cerâmica (telhas, azulejos, pisos e revestimentos), areia e pedra, vidro, etc.</p>
<p><u>Impurezas</u></p> <p>Podem conter teores significativos de impurezas, dependendo da etapa da construção em que foi gerado ou da forma como foi retirado. As principais impurezas são: terra, restos de vegetação, madeira, metais, papel, plástico. Podem conter gesso, o que pode ser prejudicial para a qualidade do reciclado. A quantidade de vidro é pequena, assim como de materiais betuminosos.</p>
<p><u>Facilidade de separação das impurezas e dos diferentes tipos de resíduos presentes</u></p> <p>Em geral é possível separar-se dois conjuntos de materiais: <i>materiais recicláveis</i>: restos de alvenaria, concreto, outros materiais minerais inertes como agregados, cerâmicos etc.; <i>impurezas</i>: terra, madeira, papel, metais, plástico etc.</p> <p>Pode-se obter material sem impurezas, sem grandes dificuldades operacionais ou sobrecustos, se isto for uma preocupação da gerência da obra em que o resíduo foi gerado. A separação por tipos (alvenaria, cerâmicos etc.) seria possível nas grandes obras, se fosse um dos objetivos da gerência. Nas pequenas obras isso poderia não ser viável, pelo aumento de custos de retirada e pela baixa disponibilidade de materiais e de mão de obra.</p>
<p><u>Tamanho das peças</u></p> <p>Em geral as peças apresentam dimensão máxima de 20-30 cm, sendo adequadas ao processamento na maioria dos equipamentos de reciclagem sem necessidade de partição prévia.</p>
<p><u>Adequação à reciclagem</u></p> <p>Pela composição, facilidade de separação de impurezas e dimensões das peças, este tipo de resíduo é um dos mais adequados à reciclagem no Brasil atualmente.</p> <p>Não é muito atraente a separação conforme a resistência. Para isso seria necessário que os resíduos chegassem às recicladoras já classificados. A separação na central de reciclagem, da maneira como o resíduo é recebido atualmente, aumentaria os custos de produção, já que seriam necessários o aumento da equipe e modificações nos procedimentos operacionais.</p>

Usos possíveis do agregado reciclado

O agregado reciclado é composto por materiais distintos, que apresentam grande variação de resistência mecânica e outras propriedades físicas e químicas. É possível obter reciclado com composição relativamente homogênea, mas suas características são determinadas pelos materiais como argamassas e cerâmicos, que apresentam resistências mecânicas relativamente baixas, altas taxas de absorção e alto teor de finos.

Em função disto, os usos indicados para o agregado reciclado são principalmente pavimentação, fabricação de peças de concreto, concretos de baixo e médio consumos (para uso em calçadas, contrapisos e similares), argamassas de assentamento em alvenaria de vedação, argamassas para revestimentos, além de outros usos simplificados do agregado a granel como camadas drenantes e rip-rap.

Resíduos provenientes de

2. DEMOLIÇÕES

Considerações gerais

São gerados em obras de portes distintos, de pequenas reformas a grandes construções. Têm presença significativa nas recicladoras em operação.

Composição

São compostos predominantemente de argamassa e componentes de alvenaria (blocos e tijolos), com pequena participação de concreto, peças cerâmica (telhas, azulejos, pisos e revestimentos), areia e pedra, vidro, etc.

Impurezas

Pode conter teores significativos de impurezas, dependendo da forma como a edificação foi demolida ou da forma como foi retirado. As principais impurezas são: terra, restos de vegetação, madeira, metais, papel, plástico. Pode conter de gesso, o que pode ser prejudicial para a qualidade do reciclado. A quantidade de vidro é pequena, assim como de materiais betuminosos.

As dimensões dos materiais considerados impurezas podem ser maiores que no caso de resíduos gerados em construções novas.

Facilidade de separação das impurezas e dos diferentes tipos de resíduos presentes

Em geral é possível separar-se dois conjuntos de materiais: *materiais recicláveis*: restos de alvenaria, concreto, argamassas, outros materiais minerais inertes como agregados, cerâmicos etc.; *impurezas*: terra, madeira, matéria vegetal, papel, metais, plástico etc.

A separação dos diferentes tipos de resíduos recicláveis depende do porte e do tipo da obra. Seria possível separar resíduos de concreto de resíduos de alvenaria. Se houver preocupação dos operadores, é possível a separação dos materiais recicláveis das impurezas com relativa facilidade.

<p><u>Tamanho das peças</u></p> <p>Em alguns casos é necessária partição prévia de peças de concreto ou de alvenaria para adequação aos equipamentos de reciclagem.</p>
<p><u>Adequação à reciclagem</u></p> <p>Pela composição, facilidade de separação de impurezas e dimensões das peças, este tipo de resíduo é um dos mais adequados à reciclagem no Brasil atualmente. No caso de haver necessidade de reciclagem de resíduos de diferentes tipos (alvenaria de componentes de concreto ou cerâmicos, concreto, etc.), os resíduos de demolições seriam os mais adequados, pela maior facilidade de separação.</p>
<p><u>Usos possíveis do agregado reciclado</u></p> <p>As observações e usos relativos ao agregado produzido à partir de resíduos provenientes de demolições são as mesmas dos agregados produzidos a partir de resíduos provenientes de perdas na construção de edificações novas, apresentadas acima.</p>

<p>Resíduos provenientes de</p> <p>3. PERDAS NA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</p>
<p><u>Considerações gerais</u></p> <p>São gerados em indústrias de portes distintos, desde pequenos fabricantes de blocos a indústrias cerâmicas ou de peças de concreto de grande porte. Este tipo de resíduo tem pequena presença nas centrais de reciclagem em operação no Brasil. Os que ocorrem são resíduos de fabricantes de componentes de concreto como blocos e briquetes.</p>
<p><u>Composição</u></p> <p>A composição depende do tipo de componente fabricado e em geral é homogênea, sendo definida por um só tipo de material (concreto, peças de cerâmica vermelha etc.).</p>
<p><u>Impurezas</u></p> <p>Pode conter impurezas, dependendo da forma como o resíduo foi estocado ou retirado da fábrica. As principais impurezas são terra, restos de vegetação, e possivelmente outros resíduos estocados ou retirados junto. Dependendo do componente fabricado pode conter teores significativos de desmoldante.</p>
<p><u>Facilidade de separação das impurezas e dos diferentes tipos de resíduos presentes</u></p> <p>Se houver preocupação de obter-se material com composição uniforme e sem impurezas, isto é viável na maior parte dos casos.</p>
<p><u>Adequação à reciclagem</u></p> <p>Pela composição, facilidade de separação de impurezas e dimensões das peças, este tipo de resíduo é adequado à reciclagem no Brasil atualmente.</p>

<p><u>Tamanho das peças</u></p> <p>Depende do tipo de componente fabricado, mas em geral as peças são de pequeno porte (dimensão máxima menor que 20 cm) com exceção de algumas peças pré-moldadas de concreto.</p>
<p><u>Usos possíveis do agregado reciclado</u></p> <p>O uso depende do tipo de resíduo. No caso de restos de peças de concreto pode-se buscar usos mais nobres como preparação de concretos. No caso de agregados reciclados de peças cerâmicas deve-se avaliar a viabilidade da aplicação em concretos e argamassas, pela alta taxa de absorção de água e alto teor de finos. Pode ser mais viável a aplicação em pavimentação, como sub-base ou camada de cobertura de ruas sem pavimentação asfáltica. Pode ser utilizado a granel em rip-rap, cobertura de aterros e outros serviços.</p>

Resíduos provenientes de
4. DEMOLIÇÃO DE PAVIMENTOS À BASE DE CONCRETO ASFÁLTICO
<p><u>Considerações gerais</u></p> <p>Algumas empreiteiras reciclam parte dos pavimentos em reforma no próprio local, mas parcela do antigo pavimento acaba sendo descartada, podendo ser reciclada.</p>
<p><u>Composição</u></p> <p>Em geral este tipo de resíduo é composto de concreto asfáltico, pedra britada e eventualmente concreto convencional (proveniente de peças como guias, sarjetas etc.).</p>
<p><u>Impurezas</u></p> <p>As principais impurezas são terra e matéria vegetal, podendo haver também outros materiais, dependendo da forma como o resíduo foi retirado do local.</p>
<p><u>Facilidade de separação das impurezas e dos diferentes tipos de resíduos presentes</u></p> <p>Se houver preocupação de obter-se material sem impurezas isto é viável.</p>
<p><u>Tamanho das peças</u></p> <p>Pode haver peças de dimensões não adequadas ao equipamento de reciclagem (placas de concreto asfáltico) que necessitem de partição prévia.</p>
<p><u>Adequação à reciclagem</u></p> <p>Pela composição e dimensões das peças, este tipo de resíduo é adequado à reciclagem no Brasil atualmente, para produção de tipo específico de agregado reciclado para pavimentação.</p>
<p><u>Usos possíveis do agregado reciclado</u></p> <p>Pela presença de concreto asfáltico e de pedras britadas, o agregado reciclado obtido de restos de pavimentos deve ser utilizado em pavimentação (base, sub-base e cobertura de ruas sem pavimentação asfáltica). Pode ser utilizado a granel em alguns serviços específicos, como cobertura de aterros.</p>

Resíduos provenientes de
5. DESASTRES ENVOLVENDO DESABAMENTO OU DANIFICAÇÃO DE CONSTRUÇÕES
<u>Considerações gerais</u>
Os resíduos provenientes de desabamentos apresentam características muito parecidas com resíduos de demolição, possivelmente com maior presença de impurezas devido ao fato das edificações estarem ocupadas por móveis e/ou equipamentos em alguns casos. A reciclagem de resíduos de obras desabadas em que morreram pessoas pode gerar preconceito contra o agregado reciclado, como já aconteceu em outros países.
<u>Composição</u>
São compostos predominantemente de argamassa e componentes de alvenaria (blocos e tijolos), com pequena participação de concreto, peças cerâmica (telhas, azulejos, pisos e revestimentos), areia e pedra, vidro, etc.
<u>Impurezas</u>
Pode conter teores significativos de impurezas, dependendo do uso da obra antes do desastre, da magnitude do desabamento e da forma como os escombros foram retirados e estocados. As principais impurezas são: madeira, metais, papel, plástico, tecidos e outros materiais.
<u>Facilidade de separação das impurezas e dos diferentes tipos de resíduos presentes</u>
Em geral é possível separar-se dois conjuntos de materiais: <i>materiais recicláveis</i> : restos de alvenaria, concreto, argamassas, outros materiais minerais inertes como agregados, cerâmicos etc.; <i>impurezas</i> : terra, madeira, matéria vegetal, papel, metais, plástico etc. Se houver preocupação dos operadores, é possível a separação de parte dos materiais recicláveis das impurezas.
<u>Tamanho das peças</u>
Em alguns casos é necessária partição prévia de peças de concreto ou de alvenaria para adequação aos equipamentos de reciclagem.
<u>Adequação à reciclagem</u>
Pela composição e dimensões das peças, este tipo de resíduo é adequado à reciclagem.
<u>Usos possíveis do agregado reciclado</u>
O agregado reciclado apresenta características muito parecidas às dos resíduos de demolições, e são adequados aos mesmos usos.

Resíduos provenientes de

6. LIMPEZA DE TERRENOS

Considerações gerais

São resíduos provenientes da limpeza de terrenos, compreendendo muitas vezes retirada da vegetação, raspagem do solo e demolição de pequenos serviços como muros etc. Este tipo de resíduo não é processado pelas centrais de reciclagem, podendo ser objeto de ações para sua captação racional, estocagem e reutilização, evitando que seja colocado nos aterros, caso isto não seja desejável. Na maioria dos municípios há grande oferta deste tipo de resíduo, assim como demanda significativa, para cobertura de aterros, regularização de terrenos e outros serviços.

Composição

É composto predominantemente de terra e vegetação, podendo conter altos teores de outros materiais como metais, restos de edificações, outros resíduos etc.

4.5. Proposição de classificação dos resíduos de construção

No desenvolvimento do trabalho foi proposto sistema de classificação de resíduos de construção, para permitir a separação dos tipos existentes, de modo a racionalizar seu manejo e viabilizar sua reciclagem ou reutilização. Para a definição do sistema de classificação foram considerados alguns fatores, apresentados a seguir com análise resumida de cada um deles:

- **Tipos de resíduos de construção disponíveis para a reciclagem ou reutilização:** os diferentes tipos de resíduos de construção apresentam propriedades diferenciadas. As classificações possíveis para o material devem contemplar estas diferenças;
- **Exigências para os agregados reciclados em seus diversos usos atuais e potenciais:** são várias as aplicações possíveis para o agregado reciclado, exigindo propriedades diferenciadas do material. Devem ser criadas classes que permitam o uso em serviços específicos com qualidade e segurança. As características dos resíduos utilizados na reciclagem devem ser coerentes com as características exigidas para o reciclado.
- **Sistemas de classificação existentes:** nos municípios onde existem recicladoras em operação existem classificações simplificadas dos resíduos de construção e alguns profissionais que estudam a reciclagem desenvolveram propostas mais abrangentes, que devem ser analisadas;
- **Condições de operação de centrais de reciclagem:** pode-se implantar recicladoras com diferentes graus de sofisticação, para a produção de agregados com diferentes características (composição, teor de contaminantes etc.). Em geral os custos de implantação aumentam com o grau de complexidade. A proposição adequada de classes pode permitir a operação de centrais simplificadas e relativamente baratas, aumentando o reaproveitamento de materiais e garantindo qualidade nas utilizações;
- **Experiências em outros países onde a reciclagem está implantada a mais tempo:** a pesquisa ou aplicação de agregado reciclado em outros países levou ao estabelecimento de algumas separações entre os diversos tipos de agregados reciclados. A principal é a separação entre agregados reciclados de concreto estrutural (obtendo menores quantidades de reciclado de boa qualidade) e agregados reciclados de alvenaria (obtendo maiores quantidades de reciclado de qualidade um pouco inferior);

- **Necessidade de consumir quantidades significativas de resíduo de construção:** pode-se propor classes de resíduos que permitam a reciclagem e a utilização da maior quantidade possível, em serviços de diversas naturezas e graus de exigência. Com isso é possível diminuir o descarte do resíduo, contribuindo para a diminuição do desperdício de materiais, para o aumento da vida útil de aterros e para a viabilização técnica e econômica das recicladoras.

Analisando-se os critérios acima elaborou-se proposta de classificação de resíduos de construção²⁵, apresentada a seguir:

- **Classe 1:** Resíduo de construção composto predominantemente de concreto estrutural (simples ou armado), com teores limitados de argamassa e alvenaria, e teores limitados de impurezas como gesso, terra, vegetação, vidro, papel, madeira, metais, plásticos e outros.
- **Classe 2:** Resíduo de construção composto predominantemente de argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros materiais minerais inertes como areia, pedra britada, com teores limitados de impurezas como gesso, terra, vegetação, papel, madeira, plástico e outros.
- **Classe 3:** Resíduo de construção composto predominantemente de argamassas, concreto e alvenaria de componentes de concreto, com baixa presença de materiais cerâmicos. Pode conter outros materiais minerais inertes como areia, pedra britada, fibrocimento. Os teores de impurezas devem ser limitados (terra, vegetação, gesso, madeira, plástico e outros).
- **Classe 4:** Resíduo de construção composto predominantemente pelos mesmos materiais do resíduo classe 2, mas em que se admite a presença de terra ou terra misturada a vegetação até determinada porcentagem em volume. O teor de impurezas tolerado é maior que nas outras classes acima.
- **Classe 5:** Resíduo de construção composto predominantemente de terra e vegetação (teores acima dos admitidos nos resíduos classe 4) com presença tolerada de argamassas, alvenaria e concreto e outros materiais minerais inertes como areia, pedra britada, fibrocimento. Admite-se teores de impurezas maiores que nas demais classes.

²⁵ O sistema de classificação proposto é parecido com outro, estudado pela empresa de consultoria I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil Ltda. para uso em centrais de reciclagem com procedimentos operacionais mais avançados que os atualmente em prática no país.

- **Classe 6:** Resíduo de construção com presença significativa de material asfáltico, com limitações para outras impurezas como argamassas e restos de alvenaria, terra, vegetação, gesso, vidros e outros.

Pode-se apresentar as classes, simplificada, da seguinte forma:

- **Classe 1:** Resíduo de concreto sem impurezas;
- **Classe 2:** Resíduo de alvenaria sem impurezas;
- **Classe 3:** Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas;
- **Classe 4:** Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação;
- **Classe 5:** Resíduo composto por terra e vegetação;
- **Classe 6:** Resíduo com predominância de material asfáltico.

Os agregados reciclados provenientes da reciclagem dos resíduos apresentados acima ou os próprios resíduos (sem processamento) podem ser utilizados em diferentes serviços. São apresentadas a seguir algumas considerações sobre o assunto:

Classe 1 (Resíduo de concreto sem impurezas)

Agregados reciclados de resíduos desta classe apresentam algumas vantagens com relação aos das demais e poderiam ser aplicados em concretos estruturais ou na fabricação de pré-moldados, entre outros serviços. Este tipo de agregado não é produzido atualmente. Os rejeitos de concreto estrutural são misturados aos de alvenaria para produção de reciclados de resíduos classes 2 e 3.

Apesar de haver oferta de concreto a reciclar, esta é pequena quando comparada à de resíduos de alvenaria. É difícil a obtenção do material em separado, condição fundamental para a produção de reciclado de resíduo classe 1. A produção deste agregado seria difícil atualmente, pela dificuldade de controle da qualidade e de eliminação de impurezas. Os custos de produção seriam possivelmente altos, podendo não ser competitivos com os do agregado natural.

O processamento deste resíduo para a obtenção de agregado de melhor qualidade se justificaria caso fossem objetivadas aplicações mais sofisticadas, como concreto estrutural armado, assentamento de alvenaria estrutural e outras.

Em situações específicas em que a oferta de resíduos de concreto estrutural seja significativa e em que haja demanda por reciclados de melhor qualidade, pode-se proceder à sua reciclagem com esta finalidade, o que seria benéfico para que se ampliem as possibilidades de reaproveitamento de materiais no país.

Poderia ser adequado o processamento de resíduos classe 1 por empresa privada que desejasse oferecer ao mercado produtos de melhor qualidade. Para o setor público, que necessita consumir a maior quantidade de resíduo possível para aliviar os aterros e diminuir o custo unitário do reciclado, o processamento de resíduos desta classe pode não ser muito atraente neste momento.

Opinião do autor: Atualmente pode ser melhor processar os resíduos de concreto estrutural juntamente com os resíduos classe 3 e vetar o uso de agregado reciclado em concreto estrutural e algumas argamassas em que se exijam melhores propriedades físicas e químicas. A produção de agregado reciclado de concreto para uso estrutural pelas centrais públicas em operação não é desejável, porque não há procedimentos adequados para garantia da qualidade e o volume de resíduos consumido seria relativamente pequeno.

Classe 2 (Resíduo de alvenaria sem impurezas)

É uma das principais classes processadas atualmente (as outras são resíduos com altos teores de terra e vegetação, e em menor escala resíduos de alvenaria sem presença de cerâmicos). Com o processamento de resíduos desta classe consomem-se quantidades significativas de material, obtendo-se agregado reciclado para uso em concretos e argamassas, entre outros serviços.

É relativamente fácil obter-se resíduos de materiais minerais inertes, sem impurezas e a demanda pelo agregado reciclado deste resíduo é grande, para uso a granel em pavimentação, estabilização de solo, camadas drenantes ou misturado a aglomerantes em argamassas e concretos para uso em alvenaria, fabricação de componentes, calçamento, etc.

A produção do agregado reciclado a partir desta classe de resíduo é relativamente simples, já que não é necessária a separação dos diferentes tipos de resíduos, apenas sua homogeneização da melhor forma possível.

Já há conhecimento suficiente para a utilização do reciclado em alguns serviços, de maneira simplificada e com segurança. Entretanto falta pesquisar melhor muitas das propriedades do agregado e de argamassas e concretos com o material para uma melhor compreensão sobre qualidade e durabilidade.

Esta classe é adequada para processamento pelo setor público (por consumir grande quantidade de resíduos) e privado (porque o agregado reciclado é adequado a aplicação em vários serviços de construção).

Opinião do autor: atualmente esta classe de resíduos é a que melhor se adequa ao processamento visando consumo de resíduos e produção de material de qualidade para aplicação em serviços de construção de edificações e obras de infraestrutura, na forma de argamassas e concretos. Pelas potencialidades do agregado reciclado produzido, deve-se pesquisar suas características e suas aplicações em argamassas e concretos.

Classe 3 (Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas)

É processada atualmente como uma alternativa à classe 2, quando se deseja agregado reciclado de qualidade um pouco melhor para produção de concretos e pré-moldados de concreto.

De uma forma geral agregados provenientes do processamento desta classe de resíduos apresentam resistência mecânica um pouco maior e absorção de água um pouco menor que os provenientes da reciclagem da classe 2, além de pequenas diferenças em outras características.

O processamento desta classe consome quantidades significativas de material (resíduo de construção).

É relativamente fácil obter-se resíduos de materiais minerais inertes, sem materiais cerâmicos e sem impurezas e a demanda pelo reciclado é significativa.

A produção do reciclado é relativamente simples, apesar de ser necessária a separação dos diferentes tipos de resíduos. Já há conhecimento suficiente para sua utilização em alguns serviços, de maneira simplificada e com segurança. Entretanto falta pesquisar melhor as propriedades do agregado e de argamassas e concretos com o agregado para uma melhor compreensão sobre qualidade e durabilidade.

Esta classe é adequada para processamento pelo setor público (por consumir grande quantidade de resíduos) e privado (porque o agregado reciclado é adequado a aplicação em vários serviços de construção).

Opinião do autor: atualmente esta classe é processada para obtenção de agregado de qualidade um pouco melhor que o da classe 2. Pela possibilidade de produzir-se concretos e argamassas de boa qualidade com reciclados desta classe, deve-se pesquisar melhor as propriedades do agregado a granel e quando aplicado em concretos e argamassas.

Classe 4 (Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação)

Pelas características da geração, coleta e disposição dos resíduos de construção, é muito comum a presença de terra, vegetação e outras impurezas no material. Assim a oferta de resíduos de construção desta classe é grande.

Como o agregado reciclado proveniente do processamento desta classe pode ser aplicado em pavimentação, como parte integrante de pavimentos asfálticos (base e sub-base) ou na cobertura simples de vias não pavimentadas, a demanda por resíduos classe 4 é significativa.

A aplicação do agregado reciclado a granel como cobertura de aterros ou outros serviços similares deve ser objeto de análise de viabilidade econômica. Sua produção é fácil, já que são tolerados altos teores de contaminantes e já que na maioria das vezes o reciclado é utilizado sem peneiração.

Há conhecimento suficiente do setor de pavimentação sobre o uso do reciclado. Não deve ser aplicado em concretos ou argamassas.

O processamento desta classe parece mais adequado ao setor público, que pode consumir grandes quantidade do reciclado, ou por empresas privadas em parceria com o setor público.

<p>Opinião do autor: esta classe de resíduos é adequada a centrais em que os processos são simplificados. O reciclado, porém, é de baixa qualidade, podendo ser aplicado em número limitado de serviços. Enquanto houver demanda pelo material sua produção é desejável, já que consome grandes quantidades de resíduos, que de outra forma acabariam sendo colocados em aterros, diminuindo sua vida útil.</p>
--

Classe 5 (Resíduo composto por terra e vegetação)

Este tipo de resíduo não é processado pelas centrais de reciclagem, podendo ser objeto de ações para sua captação racional, estocagem e reutilização, evitando que seja colocado nos aterros, caso isto não seja desejável.

Na maioria dos municípios há grande oferta deste tipo de resíduo, assim como demanda significativa, para cobertura de aterros, regularização de terrenos e outros serviços.

Opinião do autor: terra e resíduos proveniente de serviços de terraplanagem e limpeza de aterros são gerados em grande quantidade, e podem ser gerenciados de modo a evitar a diminuição da vida útil de aterros ou problemas de deposição irregular. Dependendo das condições do município podem ser criados bancos de solo, que organizem o fluxo destes resíduos, servindo tanto aos geradores quanto a munícipes ou órgãos públicos que necessitem de terra para serviços de construção.

Classe 6 (Resíduo com predominância de material asfáltico)

Nos casos em que houver oferta significativa de resíduos de pavimentação pode-se processar estes resíduos para a produção de agregados reciclados que poderiam ser aplicados em serviços de pavimentação. A princípio seria fácil a produção deste reciclado, devendo ser tomados cuidados na demolição do pavimento e no transporte do resíduo para evitar contaminação com terra, vegetação e outras impurezas que possam diminuir sua qualidade.

Devem ser analisadas as conseqüências do processamento de material asfáltico pelo britador e demais equipamentos de reciclagem, mas ao que parece não haveria problemas, já que as condições internas dos equipamentos quando em operação dificilmente permitiriam a adesão de betume às superfícies internas.

Há conhecimento no setor envolvido com pavimentação sobre aplicação de agregado reciclado nestes serviços. Resíduos reciclados a partir desta classe não devem ser aplicados em argamassas e concretos.

O agregado reciclado proveniente de resíduos classe 6 pode ser produzido por empresas privadas envolvidas com pavimentação, ou por centrais públicas em municípios que tenham grande oferta de resíduos, mesmo que temporariamente.

Opinião do autor: a oferta de resíduos de pavimentos pode ser esporádica, mas as centrais de reciclagem devem estar preparadas para seu processamento, quando necessário. De outra forma, os resíduos de pavimentos poderiam ser somados aos resíduos classe 5, eliminando a possibilidade de um reaproveitamento mais adequado e a obtenção de reciclado de melhor qualidade.

TABELA 102 - Adequação de agregados reciclados (a partir de resíduos das classes propostas) a alguns usos potenciais

Uso	Classe				
	1	2	3	4	6
Concreto estrutural armado	P	NI	NI	V	V
Concreto simples de baixo consumo	P	P	P	V	V
Chapisco	P	P/FI	P/FI	V	V
Emboço interno ou externo	P	P	P	V	V
Reboco interno ou externo	P	P/FI	P/FI	V	V
Assentamento de componentes de alvenaria estrutural	P	P/FI	P/FI	V	V
Assentamento de componentes (alvenaria de vedação)	P	P	P	V	V
Assentamento de revestimentos cerâmicos	P	P/FI	P/FI	V	V
Revestimento de pisos com argamassa	P	P/FI	P/FI	V	V
Fabricação de pequenos componentes para alvenaria de vedação	P	P	P	V	V
Uso	Classe				
	1	2	3	4	6
Fabricação de pequenos componentes para alvenaria estrutural	P	P/FI	P/FI	V	V
Fabricação de briquetes para pavimentação	P	P	P	V	V
Fabricação de tubos e outros componentes para infraestrutura	P	P	P	V	V
Gabião	P	P/FI	P/FI	V	NI
Camadas drenantes	P	P	P	V	V
Cobertura de aterros	P/AE	P/AE	P/AE	P	NI
Rip-rap	P/AE	P/AE	P/AE	P	NI
Sub-base para pavimentação	P/AE	P/AE	P/AE	P	P
Cobertura primária de vias	P/AE	P/AE	P/AE	P	P
NI = não indicado		P/FI = possível, mas falta informação			
P = possível		V = vetado			
P/AE = possível, mas antieconômico					

TABELA 103 - Viabilidade do processamento das classes de resíduos propostas x realidade atual da reciclagem no Brasil

Dado da realidade	Classe					
	1	2	3	4	5	6
Necessidade de produção de grandes quantidades de reciclado	D	F	LD	F	F	D
Composição diferenciada dos resíduos	D	F	LD	F	F	D
Presença significativa de cerâmicos	D	F	LD	F	F	D
Dificuldade de retirada de impurezas	D	LD	D	MF	MF	D
Dificuldade de separação dos resíduos na fonte geradora	D	F	D	MF	MF	D
Ausência de conhecimento do meio técnico	D	D	D	MF	MF	EC
Ausência de normalização	D	D	D	MF	MF	EC
Ausência de estrutura fiscalizadora	D	D	D	MF	MF	D
F = Favorável D = Desfavorável LD = Levemente desfavorável	MF = Muito favorável EC = Existe conhecimento					

TABELA 104 - Diretrizes de trabalho x processamento de classes de resíduos propostas

Diretrizes	Classes				
	1	2	3	4	6
Consumo da maior quantidade de resíduo possível	Não possibilita consumo de grande quantidade de resíduo	Possibilita consumo de quantidade significativa de resíduo	Possibilita consumo de quantidade significativa de resíduo	Possibilita consumo de grande quantidade de resíduo	Possibilita consumo de grandes quantidades de resíduos
Simplificação do processo de reciclagem	Exige processos mais controlados, ainda não disponíveis	Exige processos relativamente simplificados.	Exige processos relativamente simplificados.	Não exige processos complexos.	Não exige processo complexos.
Minimização dos riscos para os usuários	Em estruturas, os riscos podem ser altos. Em concretos de baixo consumo e artefatos, o risco é baixo.	Risco médio e baixo para as aplicações previstas, dependendo das condições de exposição.	Risco médio e baixo para as aplicações previstas, dependendo das condições de exposição.	Para as aplicações previstas, o risco é baixo.	Para as aplicações previstas, o risco é baixo.
Favorecimento do avanço progressivo da reciclagem no país	Resíduo a ser produzido em fases mais avançadas da reciclagem	Deve-se obter informações sobre o reciclado e suas aplicações e aumentar seu consumo.	Deve-se obter informações sobre o reciclado e suas aplicações e aumentar seu consumo.	Reciclado produzido nas fases mais simplificadas ou iniciais da reciclagem	Reciclado produzido nas fases iniciais da reciclagem, com bons resultados técnicos.

TABELA 105 - Usos indicados na Dissertação x agregados reciclados produzidos a partir das classes de resíduos propostas

Usos	Classes		
	1	2	3
Concreto de baixo consumo sem armadura, para execução de contrapisos, calçadas, enchimentos e pequenos reforços	Agregados reciclados produzidos a partir desta classe são os mais indicados para estes serviços.	Os agregados reciclados são adequados à aplicação nestes serviços, apresentando maior absorção de água que as duas outras classes (1 e 3).	Os agregados reciclados são mais indicados para estes usos que os classe 2, pois obtém-se concretos de melhor qualidade (maior resistência mecânica e menor absorção de água)
Argamassa de assentamento de componentes em alvenaria de vedação (tijolos maciços, tijolos cerâmicos furados, blocos de concreto)	Os agregados reciclados são adequados à aplicação. Possivelmente seu desempenho será parecido com o de areia natural, com possíveis prejuízos à trabalhabilidade, pois os grãos tendem a ser mais irregulares e ásperos.	Os agregados reciclados são adequados à aplicação. Obtém-se argamassas com maior resistência mecânica que com resíduo classe 3. Faltam informações sobre argamassas com reciclado para aplicação em grande escala.	Os agregados reciclados são adequados à aplicação. Faltam informações sobre argamassas com reciclado para aplicação em grande escala.
Argamassas para emboço interno e externo, para parede e teto			
Fabricação de componentes pré-moldados de concreto de pequeno e médio portes (blocos de concreto, tijolos maciços, tubos de concreto, etc.)	Reciclados desta classe são os mais indicados para estes serviços.	Reciclados adequados à aplicação, apresentando maior absorção de água que as duas outras classes (1 e 3).	São mais indicados às aplicações que o da classe 2, obtendo-se concretos com qualidade um pouco melhor, além de maior regularidade na cor

4.6. Considerações sobre operação de Centrais de Reciclagem e a produção de agregados reciclados adequados ao uso em argamassas e concretos

Os procedimentos operacionais das recicladoras públicas brasileiras são relativamente simplificados, não sendo produzidos reciclados com boas características no que diz respeito a controle da composição, granulometria e conteúdo de contaminantes. A classificação e a separação de impurezas não são rigorosas, e não há um controle efetivo da qualidade do produto.

Isto se justifica em parte pelo baixo consumo de reciclado em serviços de maior responsabilidade estrutural ou mais complexos, e pelo fato de grande parte da produção ser aplicada em serviços onde não se necessita reciclado com controle da qualidade muito rigoroso (cobrimento primário de vias e outros serviços em pavimentação, cobertura de aterros e contenção de encostas).

Produz-se também reciclado diferenciado para fabricação de pré-moldados não estruturais e em concretos para serviços simplificados, que apresentam exigências relativamente baixas quanto a qualidade do agregado.

Entretanto, pode-se obter reciclado com propriedades apropriadas para aplicação em serviços relativamente complexos, desde que adequadamente produzido. Assim, pode ser benéfica a melhoria dos procedimentos operacionais das recicladoras, principalmente as públicas, no sentido de produzir material com qualidade que atenda às exigências para uso em concretos e argamassas.

Apresentam-se a seguir algumas considerações gerais sobre os processos de produção do reciclado, visando a melhoria da qualidade do produto:

- Considerando-se a necessidade de limitar o teor de impurezas e de obter agregado com boa distribuição granulométrica, pode ser benéfica a eliminação da parcela miúda do resíduo antes da britagem, como é feito em recicladoras do exterior. É sabido que esta parcela apresenta maiores teores de impurezas que a parcela graúda, e sua simples eliminação poderia diminuir sensivelmente a contaminação do agregado reciclado;
- O tamanho máximo dos grãos a serem eliminados poderia ser determinado a partir de ensaios experimentais, levando em conta a granulometria e o teor de impurezas dos agregados produzidos, além da quantidade descartada como rejeito;
- Em muitos casos a quantidade descartada como rejeito pode ser significativa, demandando estudos específicos para sua aplicação, evitando assim que venham a ser aterrados;

- No sentido de aproveitar melhor as potencialidades dos resíduos, poderiam ser criados procedimentos de separação e armazenamento de resíduos com composições diferenciadas, adequados à produção de agregados de melhor qualidade. Para estes resíduos, além da eliminação das parcelas abaixo de determinada dimensão, poderiam ser adotados métodos mais eficazes de homogeneização e de separação de contaminantes, mesmo que isto significasse aumento no custo de produção.
- O aumento nos custos de produção nesta fase da implantação da reciclagem no país pode ser tolerável, levando em conta a necessidade da difusão do uso do material. A aplicação do material em serviços em que hoje se utiliza areia e pedra convencionais, obtendo reconhecimento do meio técnico e da população, é um fator altamente positivo para a prática da reciclagem no país.
- Neste cenário, podem ser adotados procedimentos de controle de qualidade do produto, com ensaios para o reciclado (composição, resistência mecânica, absorção, teor de impurezas, granulometria e outros necessários) e para argamassas e concretos preparados com o material. As informações obtidas devem ser divulgadas aos usuários.

5. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS À APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM CONCRETOS

5.1. Informações gerais

Apresentam-se neste capítulo considerações e diretrizes relativas ao uso do reciclado em concreto. São tratados assuntos como adequação do material ao uso em concretos (estruturais ou não), controle tecnológico e uso da parcela miúda do material. Propõe-se texto básico para elaboração de norma técnica de especificação do reciclado para concretos. O conteúdo do capítulo reflete, na maioria dos casos, opiniões pessoais do autor sobre assuntos levantados pelo próprio e por outros autores.

5.2. Aplicação de agregado reciclado em concretos

Analisando-se as informações obtidas sobre o reciclado, pode-se afirmar que o material é adequado à preparação de concretos. Deve-se considerar, no entanto, que no estágio atual da reciclagem no Brasil há desvantagens e incertezas com relação à esta aplicação, relativas à qualidade do reciclado e à falta de conhecimento do meio técnico sobre os concretos preparados com o material. Isto, entretanto, é natural, já que esta aplicação é nova no país.

Para uso em concreto estrutural as incertezas são ainda maiores, e é recomendado, neste trabalho, que se evite a execução de estruturas de concreto com reciclado no país, até que o conhecimento sobre este uso esteja consolidado e que material adequado seja produzido em quantidade e qualidade suficientes para viabilizar a aplicação.

Entretanto, mesmo nos usos simplificados, defendidos neste trabalho, há a necessidade de se tomar cuidados que garantam a qualidade dos serviços. Devido à heterogeneidade do reciclado, não é possível a fixação de parâmetros válidos para todos os casos. Em geral pode ser necessária a determinação de características específicas do material antes de sua utilização.

É desejável que se determinem pelo menos as seguintes características do material: composição; teor de contaminantes; granulometria; absorção de água.

São também necessárias determinações de características dos concretos preparados com o reciclado, pesquisando-se pelo menos: resistência mecânica (em função do consumo de cimento, entre outros fatores); absorção de água e permeabilidade; módulo de elasticidade.

Conhecidas algumas propriedades do reciclado e do concreto com reciclado, deve-se analisar os usos pretendidos para avaliar se o concreto atende às exigências de qualidade e durabilidade. De maneira geral, deve-se analisar:

- Se a características do concreto (resistência mecânica, retração, etc.) são adequadas às solicitações do serviço em que o concreto será aplicado;
- Se a aplicação da parcela miúda do material é recomendável;
- As condições específicas para a execução do serviço (podem ser necessárias mudanças na geometria em função da maior retração por secagem, menor módulo de elasticidade etc., entre outros cuidados).

Deve-se levar em conta que, em geral, concretos com reciclados apresentam as seguintes diferenças com relação ao concreto convencional:

- Provavelmente, menor durabilidade, pela maior absorção de água e porosidade, maior profundidade de carbonatação e menor proteção à corrosão do aço inserido no concreto;
- Menor resistência à compressão (cuja diferença com relação ao concreto convencional diminui com a diminuição do consumo de cimento);
- Menor massa específica;
- Menor módulo de elasticidade, maiores retração por secagem e fluência;
- Maior dificuldade de controle tecnológico.

Resumo das considerações sobre a aplicação do reciclado em concretos:

- O reciclado é adequado à preparação de concretos, mas ainda faltam conhecimentos sobre a aplicação.
- Recomenda-se, neste trabalho, que se evite o uso do reciclado em concreto estrutural até que o conhecimento sobre esta aplicação esteja consolidado.
- Nas aplicações do reciclado em concretos é necessária a determinação de características do agregado e do concreto, e avaliação do atendimento a exigências de qualidade do serviço.

5.3. Aplicação do agregado reciclado em concreto estrutural

No item anterior afirma-se que se pode aplicar concretos preparados com reciclado, tomando-se cuidados com a qualidade e levando-se em conta as carências de conhecimento sobre a aplicação. É possível obter-se reciclado com características adequadas à preparação de concretos com boas resistências e durabilidade. Entretanto, para este uso, o reciclado apresenta desvantagens com

relação aos agregados naturais, por melhor que seja sua qualidade. Em alguns usos a substituição do agregado convencional pelo reciclado não traz prejuízos à qualidade, embora possam ser modificadas algumas propriedades do concreto, devido a particularidades do material.

Há diferenças marcantes entre reciclado de concreto e reciclado de alvenaria e uma das conseqüências disto é a determinação de aplicações diferenciadas para os materiais, ou pelo menos de condições de aplicação diferenciadas quando os dois materiais se prestarem a um mesmo tipo de serviço.

O reciclado de alvenaria apresenta maiores variações na composição e é adequado, a princípio, a serviços mais simples e de menor responsabilidade que o reciclado de concreto, com o qual pode-se obter concreto de melhor qualidade. Pelas características específicas do segundo, estuda-se aplicações similares às indicadas para agregados convencionais (inclusive estruturas). Esta postura é viável e necessária em muitos países em que se obtém quantidades significativas de resíduos de concreto com boa qualidade, em que as jazidas de agregados naturais sejam escassas e em que os preços aos consumidores sejam altos.

Diante destas considerações, pode-se colocar uma questão: **Qual o interesse, na situação atual da reciclagem no Brasil, de se aplicar reciclado em concreto de alto consumo e alta resistência, em serviços de responsabilidade estrutural?** Na opinião do autor deste trabalho, algumas das motivações para o uso em estruturas não são tão intensas em nosso país:

- **Preservação do meio ambiente:** se um dos objetivos da reciclagem é a preservação ambiental, isto pode ser obtido aplicando-se o reciclado em serviços simplificados, que consumam grandes quantidades de material, sem prejuízos à qualidade e à durabilidade;
- **Custo:** os custos de produção de reciclado de concreto de boa qualidade para usos estruturais provavelmente seriam mais altos que para a produção de reciclados de menor qualidade, pela menor oferta de resíduos com características adequadas e pela maior complexidade do processo de produção. Assim, dificilmente a substituição do agregado convencional pelo material seria economicamente atraente (pela pequena diferença de preço com relação ao agregado convencional e pelo aumento de consumo de cimento necessário para que se alcancem os mesmos resultados do material natural);

- **Esgotamento de jazidas de agregados naturais:** para que a aplicação em concreto estrutural pudesse aliviar a exploração de jazidas naturais seria necessário que houvesse produção significativa de reciclado adequado a este uso. Isto exigiria a oferta racionalizada de grandes quantidades de resíduos de concreto com características adequadas, conhecimento quanto às características do reciclado para este uso, recicladoras com grau de sofisticação adequado para a produção de agregado com a qualidade necessária e conhecimento do meio técnico sobre uso de concreto estrutural com reciclado. Nenhum destes fatores existe no país, atualmente;

Entretanto, considerando a necessidade do avanço progressivo da reciclagem no país, deve-se estudar a aplicação de reciclado em concreto estrutural, para maior conhecimento de suas propriedades. Os estudos podem contemplar a execução de aplicações-piloto, em que se analisem com cuidado o comportamento do concreto e sua adequação ao serviço. Com isto pode-se obter conhecimento necessário para esta aplicação, em maior escala, no futuro. Deve-se considerar a necessidade do aumento do consumo do reciclado, no momento atual, o que pode não ocorrer caso surjam patologias nos usos.

Nas condições atuais, o resíduo de concreto, de boa qualidade, pode ser usado para a obtenção de agregado de melhor qualidade que o proveniente da reciclagem de alvenaria, para serviços simplificados em que se necessite qualidade um pouco melhor, como fabricação de artefatos ou pré-moldados simples.

Resumo das considerações sobre o uso do reciclado em concreto estrutural:

- Para uso em concreto, o reciclado apresenta desvantagens com relação aos agregados naturais, por melhor que seja sua qualidade.
- Devem ser consideradas as diferenças entre agregados reciclados de concreto e de alvenaria e as conseqüências disto para as aplicações.
- É necessário que se estude a aplicação de reciclado em concreto estrutural, para maior conhecimento de suas propriedades.
- Recomenda-se, neste trabalho, que se evite o uso do reciclado em concreto estrutural até que o conhecimento sobre este uso esteja consolidado.

5.4. Uso da parcela miúda do agregado reciclado em concretos

Analisando as informações obtidas sobre as conseqüências do uso da fração miúda do reciclado em concreto e considerando a realidade atual da reciclagem no Brasil, pode-se chegar a algumas conclusões:

- Pelo estágio de conhecimento sobre o reciclado, é improvável que se utilize o material na produção de concreto estrutural, em escala significativa. Esta aplicação, neste momento, deve ocorrer em caráter experimental.
- Aplicações mais prováveis e seguras do reciclado em concretos são na produção de pré-moldados não estruturais (para infra-estrutura urbana, alvenaria de vedação) e na execução de calçamentos, enchimentos e reforços de menor responsabilidade estrutural e exigências de desempenho.
- Nas aplicações listadas acima os efeitos danosos da parcela miúda do reciclado não teriam, a princípio, tanta importância. Deve-se, porém, analisar a durabilidade do novo concreto, considerando as condições específicas dos materiais e as condições de exposição brasileiras. Em alguns casos pode ser recomendável a utilização da parcela graúda apenas, principalmente em aplicações em que a durabilidade do concreto seja muito importante ou em que as condições de exposição sejam muito desfavoráveis.
- Nas aplicações iniciais do reciclado em peças de concreto estruturais ou que exijam grande durabilidade, pode ser prudente a eliminação da parcela miúda do reciclado, total ou parcialmente, até que se obtenham mais informações sobre seus efeitos nas propriedades do novo concreto.
- Alguns dos critérios utilizados ao se recomendar o uso da parcela miúda nos concretos com reciclado no Brasil atualmente são: a necessidade de consumir grandes quantidades de resíduos, a simplificação dos processos de reciclagem e a simplicidade dos usos em prática atualmente.

5.5. Controle tecnológico de concreto preparado com agregado reciclado

A absorção do reciclado pode dificultar o controle tecnológico do concreto, prejudicando a qualidade do compósito. Há a possibilidade do agregado retirar água da pasta, influenciando negativamente na hidratação do cimento. Por isso, a maioria dos usuários de reciclado em concretos o saturam antes de aplicá-lo.

Há controvérsias sobre a necessidade de se pré-umidificar o reciclado, principalmente em processos de produção de concreto mais complexos, em que se deseja controle rigoroso das propriedades no estado fresco e endurecido. Nas aplicações práticas mais simplificadas, porém, a discussão sobre pré-umidificar ou não o reciclado antes do uso pode não ter tanto sentido: os possíveis ganhos de qualidade com procedimentos rigorosos de preparação de concreto utilizando o agregado sem pré-saturação podem não compensar os riscos de perda de resistência e durabilidade que podem ocorrer se o agregado retirar água da pasta de cimento, caso ocorram erros no processo de produção. Além disso, este controle de processo exige sofisticação não existente em muitas situações práticas.

As dificuldades de se determinar a taxa de absorção e a umidade do reciclado (devido à sua heterogeneidade), principalmente da parcela miúda, pode inviabilizar o uso do material sem pré-umidificação e o uso da relação água/cimento para controle tecnológico do concreto.

Considerando estas dificuldades, é defendido neste trabalho que o reciclado seja utilizado na condição pré-saturada e que o controle tecnológico seja baseado no consumo de cimento e no abatimento do concreto, juntamente com ensaios periódicos de resistência à compressão e massa específica. O controle da relação a/c pode ser difícil, principalmente quando se utilizar a parcela miúda do reciclado. Mesmo no caso do uso exclusivo da parcela graúda, o uso da relação a/c para controle da qualidade pode levar a incertezas e a erros.

A umidificação no misturador pode ser preferível à saturação na pilha. No segundo caso, há a possibilidade de carreamento de material fino para a parte inferior da pilha e de haver endurecimento de parte do agregado. A saturação no misturador evita estes problemas, e tem se mostrado satisfatória, desde que o tempo de umidificação do material, antes do ensaio de abatimento, seja suficiente. Considera-se o tempo de 5 minutos suficiente para evitar problemas. Entretanto, o tempo de umidificação de alguns tipos de reciclados pode ser determinado em ensaios, para otimização do processo de produção.

Resumo das considerações sobre controle tecnológico de concreto com reciclado:

- Para evitar problemas na qualidade de concretos com reciclado, é recomendável que se utilize o agregado na condição pré-saturado.
- Uma das opções para a pré-umidificação é levar o material ao misturador e adicionar água necessária para sua saturação, deixando os materiais em contato por pelo menos 5 minutos.
- O controle tecnológico de concretos com reciclado deve ser baseado no consumo de cimento e no abatimento.

5.6. Proposição de especificação de agregado reciclado para uso em concreto

Apresenta-se neste item proposta de texto para especificação de reciclado para uso em concreto. O texto foi elaborado levando em conta opiniões do autor da Dissertação sobre restrições que se devem impor atualmente ao uso do reciclado a ser produzido no país. Utilizou-se como modelos os textos normativos relativos ao reciclado, (item 3.8), e outras informações da revisão bibliográfica. Para a fixação de parâmetros de controle e de seus valores utilizaram-se resultados de pesquisas realizadas no Brasil (os resultados obtidos em outros países foram adotados quando se considerou que são válidos para a realidade brasileira). Um balizador importante nesta etapa foi a relação de diretrizes de trabalho (item 2), que levaram à definição final das aplicações indicadas para o agregado reciclado.

5.6.1. Proposição de texto básico para especificação de agregado reciclado de resíduos de construção para uso em concreto

a) Objetivo

O texto especifica agregado reciclado de resíduos de construção, para uso em concreto sem responsabilidade estrutural e outros serviços. São especificadas as parcelas gráuda e miúda do material. Em alguns itens do texto o agregado será denominado simplesmente como reciclado.

b) Aplicações indicadas para o reciclado

Os agregados reciclados especificados neste texto são adequados à preparação de concretos a serem aplicados nos seguintes serviços:

- Contrapisos, calçadas externas e regularização de pisos sem função impermeabilizante;
- Reforços não armados em edificações (apoios de peças de cobertura, reforços para fixação de buchas, parafusos etc., em casas de máquinas, depósitos de pequeno porte, construções para proteção de equipamentos, enchimento de blocos e outros componentes de alvenaria etc.);
- Reforços armados em elementos sem presença de umidade, em pequenas edificações (cintas, vergas, contravergas, apoios de peças de cobertura, em casas de máquinas, depósitos de pequeno porte, construções para proteção de equipamentos etc.);
- Execução de peças de reforço não armadas em muros de vedação;

- Regularização de pisos para assentamento direto de revestimento cerâmico, preferencialmente em pavimentos não apoiados diretamente sobre o solo;
- Lastro para fundação, a ser aplicado entre o solo e a peça de fundação (blocos, sapatas etc.) em edificações térreas;
- Fabricação de pequenos componentes de alvenaria de vedação (tijolos maciços; blocos, meios-blocos e canaletas; outros);
- Fabricação de outros componentes de concreto, não armados:
 - Lajotas de concreto para lajes mistas;
 - Tubos e canaletas para drenagem;
 - Briquetes e lajotas de pavimentação, a serem aplicadas em estacionamentos, vias de tráfego de pedestres, ciclistas e motociclistas;
 - Meios-fios, sarjetas e componentes similares para serviços auxiliares de pavimentação;
- Fixação de mourões e portões em cercamentos;
- Outros serviços simplificados, não armados.

c) Restrições de uso do agregado reciclado

Os agregados reciclados descritos no texto não devem ser aplicados em:

- Concretos com função estrutural: em vigas, lajes (mesmo de forração), pilares etc.;
- Concretos em peças estruturais em fundações de edificações, como blocos, sapatas, brocas e estacas etc.;
- Concreto para fabricação de peças pré-moldadas com função estrutural: componentes para alvenaria estrutural, vigotas para lajes etc.;
- Concretos com função impermeabilizante;
- Concretos armados em serviços com presença de umidade.

d) Condições gerais

Condições gerais relativas à produção e aplicação do reciclado:

- Pode-se aplicar, nos serviços indicados para o material, as parcelas gráudas e miúdas do reciclado, ficando por conta do usuário a decisão do uso conjunto ou exclusivo de alguma das duas.

- Nas aplicações do reciclado em concretos pode-se substituir, total ou parcialmente, a fração graúda ou miúda por pedra britada ou areia convencionais. Não é esperado prejuízo à qualidade com este procedimentos (ao contrário, muitas das características do concreto com reciclado poderão ser melhoradas). A decisão de substituir-se o reciclado por agregados convencionais deverá basear-se em:
 - Critérios técnicos, como necessidade de aumento da resistência mecânica ou diminuição da absorção de água ou da retração;
 - Critérios econômicos, levando em conta os custos envolvidos nos usos: custos de remoção dos resíduos do canteiro, custos de reciclagem ou de compra do reciclado, custos de aquisição dos agregados convencionais, existência dos materiais em estoque.
- No caso de se utilizar mistura de agregado reciclado e convencional, o agregado obtido deverá atender às exigências para o tipo de agregado reciclado utilizado na mistura;
- A determinação das características do reciclado deverão ser realizadas utilizando-se apenas o material (e nunca a mistura entre reciclado e material convencional). Desta forma, somente poderão ser utilizados em concretos (mesmo em misturas com agregados convencionais) reciclados que atendam às exigência indicadas no texto.

e) Tipos de agregados reciclados para uso em concreto

Para aplicações nos concretos a que se refere este texto, os agregados reciclados podem ser divididos em três tipos:

- **Tipo I - agregado reciclado de concreto:** agregado proveniente da reciclagem de resíduos de concreto, sem presença de argamassas, componentes de alvenaria (tijolos, blocos) e peças cerâmicas (telhas, lajotas etc.), concreto leve e outros materiais;
- **Tipo II - agregado reciclado de alvenaria com presença de materiais cerâmicos:** agregado proveniente da reciclagem de resíduos de construção (paredes, lajes, pisos, coberturas etc.) com presença de concreto, argamassa e componentes cerâmicos (blocos, tijolos, telhas, lajotas etc.) em quantidade significativa;

- **Tipo III - agregado reciclado de alvenaria sem presença de materiais cerâmicos:** agregado proveniente da reciclagem de resíduos de construção (paredes, lajes, pisos, coberturas etc.) com presença de concreto, argamassa e componentes de concreto (blocos, lajotas etc.) sem presença de materiais cerâmicos (tijolos, telhas, blocos, lajotas etc.).

Materiais aceitáveis e a serem restringidos nas composições do reciclado

Tipo I - agregado reciclado de concreto

Materiais aceitáveis:

- Concreto estrutural e concreto de médio e alto consumo utilizado em contrapisos, calçadas, reforços, enchimentos e outros serviços simplificados;
- Concreto proveniente de peças pré-moldadas com função estrutural;
- Pedra e areia naturais.

Materiais que devem ter seus teores limitados

- Concretos de baixo consumo (de lastros de fundação e outros serviços);
- Concretos impregnados de substâncias danosas (óleos, combustíveis etc.), concreto celular e demais concretos leves;
- Argamassas de cal, de cimento ou mistas de assentamento ou revestimento;
- Componentes de alvenaria (blocos de concreto, tijolos cerâmicos)
- Outros componentes cerâmicos (lajotas de laje mista, telhas, tubos etc.);
- Cimento amianto (de telhas, reservatórios etc.);
- Vidro e outros materiais.

Tipo II - agregado reciclado de alvenaria com presença de materiais cerâmicos

Materiais aceitáveis

- Argamassas de cal, de cimento ou mistas de assentamento ou revestimento;
- Componentes de concreto ou cerâmicos: blocos, tijolos, telhas, tubos, briquetes, lajotas para laje mista etc.;
- Concretos convencionais em geral (estruturais ou não);
- Pedra e areia naturais.

Materiais que devem ter seus teores limitados

- Concretos e componentes de alvenaria impregnados de substâncias danosas (óleos, combustíveis e outras);
- Concreto celular e demais concretos leves;
- Cimento amianto (telhas, reservatórios etc.);
- Vidro e outros materiais.

Tipo III - agregado reciclado de alvenaria sem presença de materiais cerâmicos

Materiais aceitáveis

- Argamassas de cal, de cimento ou mistas de assentamento ou revestimento;
- Componentes de concreto: blocos, tijolos, telhas, tubos, briquetes, lajotas para laje mista etc.
- Concretos convencionais em geral (estruturais ou não);
- Pedra e areia naturais.

Materiais que devem ter seus teores limitados

- Componentes de alvenaria cerâmicos (blocos de concreto, blocos e tijolos cerâmicos);
- Outros componentes cerâmicos (lajotas de laje mista, telhas, tubos etc.);
- Concretos impregnados de substâncias danosas (óleos, combustíveis e outras); Concreto celular e demais concretos leves;
- Cimento amianto (de telhas, reservatórios etc.);
- Vidro e outros materiais.

f) Exigências para os agregados reciclados

f.1) Os agregados reciclados descritos neste texto devem atender às exigências apresentadas na Tabela 106 e nos itens seguintes.

f.2) Preparação do concreto com agregado reciclado

- O reciclado deverá ser umidificado antes de entrar em contato com o cimento. A umidificação deverá ser realizada durante pelo menos 5 minutos, e deve permitir a total saturação do agregado. Este tempo compreende etapas de contato água-agregado e o tempo de mistura do concreto. O tempo mínimo de contato água-agregado (sem presença de outros materiais, deverá ser de 2 minutos).

f.3) Quantidade de água e controle tecnológico

- O controle tecnológico do concreto deve ser realizado pelo consumo de cimento e pelo abatimento, não sendo utilizada a relação água/cimento como parâmetro;
- Considerando-se que o concreto com reciclado será utilizado em substituição aos concretos convencionais em serviços de construção, deve-se utilizar abatimentos dos concretos com reciclados iguais aos dos concretos convencionais;
- Deve-se utilizar a menor quantidade de água necessária para obter-se abatimento e coesão adequados.

f.4) Adequação dos tipos de reciclados aos usos previstos para os concretos

- Na Tabela 107 apresentam-se comentários sobre o uso de concretos com reciclado de diferentes tipos nos serviços indicados neste texto.

TABELA 106 - Exigências para agregados reciclados para uso em concretos sem função estrutural ou impermeabilizante

Parâmetro	Reciclado tipo:		
	I	II	III
Composição			
Concreto ¹ (teor mínimo - % em massa)	85	-	-
Argamassas, pedra, areia e componentes de concreto (blocos, tijolos, etc.), concretos magros (% em massa)	Máx. 10	Mín. 50	Mín. 85
Componentes cerâmicos (tijolos etc.) (% em massa)	Máx. 5	Máx. 50	Máx. 5
Outros resíduos de alvenaria, não cerâmicos: concreto leve, concreto aerado, vidro, etc. (% em massa)	Máx. 5	Máx. 15	Máx. 15
Absorção de água			
Fração graúda (> 4,8 mm) – (máxima - % em massa)	7	12	10
Fração miúda (< 4,8 mm) - (máxima - % em massa)	12	17	15
Limites de resistência à compressão de concretos com agregado reciclado (MPa)			
Concreto com agregado reciclado graúdo	16	12	14
Concreto com agregado reciclado miúdo ²	12	10	12
Teor de contaminantes			
Conteúdo de sulfatos (teor máximo - % em massa)	1	1	1
Conteúdo de cloretos ³ (teor máximo - % em massa)	1	1	1
Conteúdo de materiais não minerais: papel, papelão, plástico, metais, madeira, borracha, espumas e outros materiais sintéticos leves (teor máximo - % em massa)	1	1	1
Solo e vegetação (teor máximo - % em massa)	5	5	5
Betume (teor máximo - % em massa)	1	1	1
Partículas friáveis ou leves (teor máx. - % em massa)	0,1	0,5	0,1
Cimento amianto– (teor máximo - % em massa)	1	1	1
<p><small>1 – concretos magros (utilizados como lastros de fundação, contrapisos e em outros serviços) serão caracterizados como resíduos do item seguinte (argamassas mistas, pedra, ...).</small></p> <p><small>2 - neste caso, o agregado graúdo pode ser convencional ou reciclado.</small></p> <p><small>3 – concretos sem armadura ou com armadura em serviços sem presença de umidade</small></p>			

TABELA 107 - Comentários sobre a aplicação dos concretos com reciclado de diferentes tipos nos serviços indicados

Aplicação	Agregado reciclado		
	I	II	III
Contrapisos, calçadas externas e regularização de pisos sem função impermeabilizante	BA	A	BA
Reforços não armados em edificações (apoios de peças de cobertura, reforços para fixação de buchas, parafusos etc., em casas de máquinas, depósitos de pequeno porte, construções para proteção de equipamentos, enchimento de blocos e outros componentes de alvenaria etc.)	BA	A	A
Reforços armados em elementos sem presença de umidade, em pequenas edificações (cintas, vergas, contravergas, apoios de peças de cobertura, em casas de máquinas, depósitos de pequeno porte, construções para proteção de equipamentos etc.)	BA	A	A
Execução de peças de reforço não armadas em muros de vedação simples	BA	A	A
Lastro para fundação, a ser aplicado entre o solo e a peça de fundação (blocos, sapatas, etc.) em edificações térreas	BA	A	A
Fabricação de pequenos componentes de alvenaria de vedação (tijolos maciços, blocos, meios-blocos e canaletas, outros)	BA	A	A
Fabricação de outros componentes de concreto, não armados (lajotas de concreto para lajes mistas; tubos e canaletas para drenagem; briquetes e lajotas de pavimentação, a serem aplicadas em estacionamentos, vias de tráfego de pedestres, ciclistas e motociclistas; meios-fios, sarjetas e componentes similares para serviços auxiliares de pavimentação)	BA	PA	A
Fixação de mourões e portões em cercamentos	BA	A	A
Enchimentos	BA	A	A
Pavimentos em geral para trânsito de pedestres	BA	PA	A

BA = bastante adequado A = adequado PA = pouco adequado

f.5) Granulometria

- A fração graúda deve atender às exigências das normas brasileiras relativas à granulometria de agregados convencionais para concreto;
- Para as aplicações previstas neste texto, a fração miúda pode ser usada conforme produzida, sem modificações na granulometria. Entretanto, deve-se buscar a produção de reciclado miúdo com baixos teores de finos e cujas curvas granulométricas se aproximem das indicadas nas normas brasileiras para agregados para concreto. Nos casos em que se desejar reciclado miúdo com menor teor de finos pode-se adotar um dos procedimentos:
 - Eliminar a parcela miúda do resíduo de construção antes da britagem (ver item 4.6.) (neste caso será desejável identificar outras aplicações para a parcela descartada);
 - Eliminar os finos da parcela miúda do reciclado após a britagem, por peneiramento (neste caso será desejável identificar outras aplicações para a parcela descartada).
- Para melhoria da qualidade do concreto com o material sugere-se que se determine a melhor mistura de agregados graúdos e miúdos, para o uso pretendido. Esta determinação pode ser realizada variando-se os teores dos materiais e identificando-se com qual mistura graúdo-miúdo obtém-se a maior massa unitária.

f.6) Forma dos grãos

- Deve-se considerar se a presença de partículas lamelares no reciclado graúdo não pode trazer prejuízos ao concreto endurecido, avaliando-se:
 - Se a quantidade de partículas lamelares não é excessiva, considerando-se o tipo de aplicação;
 - Se as partículas lamelares encontradas não são excessivamente alongadas ou grandes, podendo causar linhas de fratura nas peças de concreto.

f.7) Outras exigências

- O resíduo de concreto a ser processado para a produção de agregado Tipo I deve apresentar boa qualidade (boa resistência mecânica, baixa porosidade, ausência de contaminantes). Não deve ser utilizado concreto magro, aceitado neste texto como componente do resíduo de alvenaria.

- Deve-se considerar a maior retração do concreto com reciclado na determinação da geometria dos elementos construtivos em que o compósito for utilizado. Podem ser necessárias modificações como:
 - Redução das distâncias entre as juntas de dilatação e movimentação em contrapisos, calçamentos etc.;
 - Restrição às dimensões de pré-moldados com concreto com reciclado, como tubos e outras peças com dimensões significativas.
- Deve-se também considerar, nas aplicações, as características do concreto com reciclado como menor resistência à flexão, menor módulo de elasticidade, maior fluência. Podem ser necessárias modificações como:
 - Aumento de espessuras de camadas de concreto em contrapisos, calçamentos e outros serviços;
 - Aumento das alturas e/ou espessuras de apoios e reforços em paredes e outros elementos construtivos.

5.6.3. Comentários sobre a proposta de especificação de reciclado para uso em concreto

a) Considerações gerais

Ao se analisar a proposta para especificação de reciclado para uso em concretos, deve-se considerar as questões:

- As especificações levam à obtenção de reciclado de qualidade adequada para a execução dos serviços indicados ?
- A aplicação das especificações é fácil e tecnicamente viável ?
- As restrições e indicações de uso do concreto com reciclado são muito conservadoras ou levam a riscos de patologias devido à inadequação do material ?
- Agregados que atendam às especificações apresentam melhoria de qualidade com relação aos agregados atualmente produzidos no país por centrais de reciclagem públicas ?

A seguir são apresentadas justificativas e comentários relativos às exigências e sobre as decisões tomadas pelo autor desta Dissertação ao elaborar a proposta de texto de especificação.

b) Definição dos tipos de agregados reciclados

A definição dos tipos de reciclados propostos é justificada pelos seguintes fatores:

- Os resíduos de concreto apresentam diferenças marcantes com relação aos resíduos de alvenaria (resistência mecânica, absorção de água, uniformidade, etc.). Agregados obtidos a partir da reciclagem dos resíduos de concreto apresentam características mais adequadas à aplicação em concretos, podendo-se obter produtos com maior resistência mecânica, menor absorção de água, maior uniformidade e maior durabilidade.
- Os resíduos de alvenaria apresentam composição variada, podendo-se obter reciclado com características diferenciadas. Pode-se identificar diferenças significativas entre resíduos de alvenaria de blocos de concreto e resíduos de alvenaria de componentes cerâmicos:
 - Resistência mecânica: resíduos de alvenaria sem componentes cerâmicos podem apresentar maior resistência mecânica que resíduos de alvenaria com cerâmicos;

- Absorção de água: em geral resíduos de alvenaria com predominância de argamassas, concretos e componentes de concreto apresentam absorção de água menores que os resíduos com presença de componentes e materiais cerâmicos;
- Cor: resíduos com cerâmicos apresentam cor avermelhada, e maior variação na cor que resíduos de alvenaria sem cerâmicos. Utilizando-se reciclados do tipo III pode-se obter peças com cores mais claras e uniformes, fator que pode ser importante para a aceitação do agregado pelo mercado;
- Uniformidade: apesar de poder apresentar heterogeneidade, o reciclado tipo III tende a ser mais uniforme que o tipo II, por ser composto de materiais de natureza semelhante e pelo menor número de materiais e componentes que o compõem.
- Com a proposição do Tipo III evita-se a separação simples entre reciclados de concreto e de alvenaria, e busca-se a disponibilização de material com características intermediárias, que se não apresenta a qualidade do Tipo I para aplicação em concretos, apresenta algumas vantagens importantes com relação ao Tipo II, permitindo a obtenção de produtos e serviços com melhor qualidade.

c) Definição dos usos indicados e restrições de aplicação de concretos com reciclado

Buscou-se definir aplicações para o concreto com reciclado que permitissem a execução de serviços com qualidade, apesar de algumas lacunas de conhecimento e desvantagens que o reciclado possível de ser produzido atualmente no país podem apresentar.

Utilizaram-se, na escolha, as diretrizes de trabalho:

- Uso da maior quantidade de material possível;
- Simplificação do processo de reciclagem;
- Minimização dos riscos para os usuários;
- Favorecimento do avanço progressivo da reciclagem no país.

Como traços comuns das aplicações definidas, pode-se apresentar:

- Não exigem concretos com altas resistências mecânicas;
- Não exigem concretos com grandes restrições de permeabilidade e porosidade;

- Os elementos construtivos que têm contato com umidade não são armados, para evitar-se corrosão das armaduras;
- Os elementos construtivos em que o concreto com reciclado é aplicado não têm função impermeabilizante.

As restrições foram definidas em função dos critérios:

- O concreto com reciclado pode apresentar valores diferentes para características, devido à heterogeneidade do reciclado. Por isto, mesmo considerando a possibilidade de se produzir concretos com reciclado com boa resistência mecânica, baixa absorção de água e boa durabilidade, optou-se por restringir os serviços em que o reciclado pode ser aplicado;
- Concretos com reciclado podem apresentar permeabilidade e teor de impurezas considerável, e por isso não se indicou uso em elementos armados em presença de umidade, para evitar-se carbonatação e corrosão de armaduras;

d) Uso da parcela miúda do agregado reciclado

Segundo as especificações, é permitido o uso da parcela miúda do reciclado. Mesmo sabendo-se que esta parcela pode prejudicar algumas propriedades do concreto, recomenda-se sua utilização porque:

- Os serviços para os quais o concreto com reciclado é recomendado são simplificados e de baixa responsabilidade, e os possíveis prejuízos da aplicação da parcela miúda não são tão significativos;
- O reciclado pode apresentar boa parcela de miúdos, que descartada pode gerar problemas de destinação e aumento dos custos do material, podendo diminuir sua competitividade com agregados convencionais.

e) Composição dos agregados reciclados

Justificativas para a definição dos limites de teores de materiais que compõem os agregados reciclados:

- O teor mínimo de 85 % de concretos para o Tipo I é menor que o indicado nas normas holandesas (95 %) e na Diretriz RILEM DRG 121 (90%)²⁶. Sugere-se limite mais baixo levando-se em conta a simplicidade dos usos do concreto com reciclado propostos neste texto;

²⁶ A diretriz, ao propor 10 % como limite para materiais com densidade saturada com superfície seca inferior a 2.200 kg/m³ de certa forma limita o teor mínimo de concreto em 90 %.

- O teor máximo de argamassas mistas e componentes de concreto sugerido para o Tipo I é de 10 %, maior que o das normas holandesas. Sugere-se limite mais alto levando em conta a simplicidade dos usos do concreto com reciclado propostos neste texto;
- Para o Tipo III, o teor mínimo dos argamassas mistas e componentes de concreto é 85 %, buscando a obtenção de reciclado com características intermediárias entre Tipos I e II;
- Para o Tipo II o teor mínimo de argamassas mistas e componentes de concreto é de 50 %, para evitar-se que reciclados compostos quase que totalmente por cerâmicos sejam enquadrados nesta classificação;
- O teor máximo de materiais cerâmicos nos Tipos I e III é de 5 %, mesmo valor de normas holandesas para outros materiais que não o concreto. Com isto busca-se restringir a presença de cerâmicos no reciclado, tornando-o adequado para usos em que se necessite de concreto de melhor qualidade;
- No Tipo II o teor máximo de cerâmicos é de 50 %, evitando-se que se aplique material composto quase que exclusivamente de resíduos cerâmicos (por exemplo, resíduos de fabricantes de componentes cerâmicos);
- O teor de outros resíduos de alvenaria, não cerâmicos, foi limitado em 5 % para reciclado Tipo I, de acordo com as normas holandesas;
- Considerando a simplicidade dos serviços em que os Tipos II e III podem ser usados, limitou-se o teor de outros componentes de alvenaria, não cerâmicos, em 15 %.

f) Absorção de água

Justificativas para a definição dos limites de absorção do reciclado:

- Para os reciclados Tipo I gráudos sugere-se o valor de 7%, porque:
 - pelos resultados de ensaios de absorção da bibliografia, concluiu-se que boa parte do reciclado de concreto atende a este limite;
 - Considera-se a obtenção de reciclados que atendam a esta exigência relativamente fácil;
 - Considera-se o valor de 10 % da Diretriz 121 - DRG de RILEM muito alto, levando-se em conta as informações obtidas na revisão bibliográfica;

- Mesmo nos resultados de I&T (1995) para agregados compostos de concreto e argamassa, a faixa de absorção é de 3 a 8 %²⁷;
- A proposição de norma Japonesa apresentada no item 3.8. especifica o limite de absorção de 7% para esta parcela.
- Para os reciclados Tipo II graúdos, sugere-se o valor de 12 %, porque:
 - Esta limitação tenta limitar o uso de resíduo composto predominantemente de tijolos maciços (mais absorventes) e/ou argamassas de baixa qualidade, buscando a obtenção de concreto com menor porosidade e permeabilidade e maior resistência mecânica (reciclados com predominância de tijolos maciços podem apresentar absorção superior a 15 %);
 - Considera-se o valor de 20 % da Diretriz 121 - DRG de RILEM muito alto, considerando-se as informações disponíveis sobre as frações graúdas e miúdas do reciclado de concreto e de alvenaria.
- Para os reciclados Tipo III graúdos, sugere-se o valor de 10 %, porque:
 - As taxas de absorção de reciclados deste tipo, identificadas na revisão bibliográfica, são coerentes com o valor especificado;
 - A redução na absorção permitida, em comparação com o Tipo II, tenta reduzir a presença de argamassas de baixa qualidade e foi realizada considerando-se que a ausência de materiais cerâmicos levaria naturalmente à redução da absorção do reciclado;
 - Levou-se em conta também o limite de 7 % para o Tipo I: o aumento do limite, mantendo-o abaixo do limite para o Tipo II, tenta levar à obtenção de material intermediário entre os Tipos I e II.
- Para os reciclados Tipo I miúdos sugere-se o valor de 12 %, porque:
 - A absorção desta parcela do reciclado, conforme análise das informações da bibliografia, é inferior ao valor especificado;
 - A proposição de norma Japonesa apresentada no item 3.8. especifica o limite de absorção de 13 % para esta parcela.
 - A possível dificuldade de enquadrar parte do reciclado de concreto como Tipo I pode ser compensada pela criação do Tipo III, intermediário aos Tipos I e II.

²⁷ Deve-se considerar que as argamassas presentes tendem a aumentar a absorção do material como um todo, e que se os resíduos fossem compostos somente por concretos os valores provavelmente seriam menores

- Para os reciclados Tipo II miúdos sugere-se o valor de 17 %, porque:
 - A diferença entre absorção de reciclados de concreto graúdos e miúdos é de pelo menos 4 %, conforme resultados de ensaios apresentados por HANSEN (1992) e conforme especificações da Norma Japonesa, apresentada pelo mesmo autor. O valor de 17 % é 5 % maior que o da parcela graúda para o Tipo II;
 - A fixação de valores muito superiores a 17 % pode permitir a aplicação de agregado miúdo composto predominantemente de tijolos maciços e argamassas de baixa qualidade, aumentando a porosidade e absorção de água e diminuindo a resistência à compressão do novo concreto.
- Para os reciclados Tipo III miúdos, sugere-se o valor de 15 % porque:
 - As taxas de absorção de reciclados deste tipo, identificadas na revisão bibliográfica, são coerentes com o valor especificado;
 - A redução na absorção permitida, considerando-se comparação com o Tipo II, tenta reduzir a presença de argamassas de baixa qualidade e foi realizada considerando-se que a ausência de cerâmicos levaria naturalmente à redução da absorção do reciclado;
 - Levou-se em conta também o limite de 12 % para o Tipo I: o aumento do limite, mantendo-o abaixo do limite para o Tipo II, tenta levar à obtenção de material intermediário entre os Tipos I e II.

g) Resistências à compressão máximas de concretos com reciclado

Justificativas para a definição dos limites de resistência à compressão de concretos em que o reciclados pode ser aplicado:

- Sugere-se que reciclados Tipo I graúdos e miúdos sejam aplicados em concretos de resistência à compressão de até 16 MPa e 12 MPa, respectivamente, porque:
 - Concretos convencionais com consumos de cimento inferiores a 300 kg/m³ atingem facilmente a 20 MPa, quando adequadamente produzidos. Até esta faixa de resistência o concreto com reciclado de concreto atinge resistências muito próximas às do concreto convencional. Entretanto, por razões de segurança, foram aplicados redutores nos limites de resistência para concreto com reciclado Tipo I, conforme descrito a seguir;

- Pelos resultados de ensaios apresentados por HANSEN (1992) a redução na resistência dos concretos com reciclados de concreto graúdos pode ser da ordem de 20 %, mas em geral é inferior a este valor. A perda de resistência à compressão utilizando-se reciclados de concreto graúdo e miúdo pode ser da ordem de 40 % com relação ao concreto convencional. Apesar de reduções de resistência tão bruscas ocorrerem com maior freqüência em concretos com resistência maiores que 20 MPa, os valores para as quedas foram mantidos nas análises, por segurança;
- Considera-se, neste trabalho, que 12 MPa é valor adequado para limite para a resistência do concreto com reciclado, nos piores casos. Busca-se com isto segurança nas aplicações (alcança-se facilmente esta resistência utilizando-se reciclados em concretos) e a possibilidade de aplicação de parcela significativa do material (normas muito restritivas limitariam o uso e não seriam coerentes com as possibilidades técnicas do reciclado).
- A proposição de norma japonesa (HANSEN, 1992) limita a resistência de concretos com reciclados graúdos e areia convencional em 18 MPa. Entretanto, considerando-se as perdas de resistências citadas acima, pode-se observar que em casos bastante desfavoráveis a resistência à compressão de concretos com reciclados de concreto graúdo e miúdo representa 75 % da resistência do concreto com reciclado de concreto graúdo e areia convencional. O valor fixado pela norma japonesa para concretos com reciclado de concreto miúdo é 12 MPa, levando à limitação de 16 MPa para concretos com reciclado graúdo Tipo I e areia convencional;
- As resistências para concretos com reciclado de concreto podem ser bem superiores à sugerida como limite. A limitação em 16 MPa busca dar segurança às aplicações do reciclado em concretos e intimidar o uso em peças estruturais.

- Sugere-se que os reciclados Tipo II graúdos e miúdos sejam aplicados em concretos de resistência à compressão de até 12 MPa e 10 MPa, respectivamente, porque:
 - Podendo conter argamassas de baixa qualidade e componentes cerâmicos de alta absorção e baixa resistência mecânica, é desejável que as aplicações do Tipo II se restrinjam a serviços simplificados e sem praticamente nenhuma função estrutural;
 - Considera-se o valor indicado para concretos com reciclado graúdo o limite inferior para esta aplicação, levando em conta as informações relativas a concretos com reciclados de alvenaria, que indicam que se pode atingir facilmente entre 12 MPa e 16 MPa;
 - A fixação de valor inferior para concretos com agregado Tipo II miúdo deveu-se à redução na resistência que o uso desta fração do material pode provocar.
- Sugere-se que os reciclados Tipo III graúdos e miúdos sejam aplicados em concretos de resistência à compressão de até 14 MPa e 12 MPa, respectivamente, porque:
 - Considera-se o valor de 12 MPa indicado para concretos com reciclado Tipo III o limite inferior para esta aplicação, levando em conta as informações relativas a concretos com reciclados de alvenaria, que indicam que se pode atingir facilmente entre 12 MPa e 16 MPa. Deve-se levar em conta que as especificações para este agregado buscam a obtenção de reciclado de qualidade intermediária entre o Tipo I e o II;
 - A criação de tipo intermediário foi uma das razões que levaram à fixação de 14 MPa para concretos com agregados Tipo III graúdos: o valor é maior que o do concreto com o Tipo II e inferior ao concreto com valor Tipo I.

h) Teor de contaminantes

Justificativas para a definição dos limites de teores de contaminantes:

- Os teores máximos de sulfatos foram fixados em 1 %, para os três tipos de reciclados, porque:
 - O valor máximo de 1 % para o reciclado é especificado por normas da Holanda (CUR²⁸ apud HANSEN, 1992), de RILEM (1994) e da Alemanha (SCHULZ & HENDRICKS, 1992);
 - Informações sobre reciclados de alvenaria realizadas na Holanda (CUR apud HANSEN, 1992) apresentam conteúdos de sulfatos inferiores a 1 % em reciclados com quatro composições diferentes, indicando boa possibilidade de se atender a esta exigência;
 - Norma DIN relativa a agregados leves restringe o conteúdo de sulfatos para estes materiais em 1 %;
- **Observações:**
 - O limite de 1 % para sulfatos pode restringir o uso das parcelas miúdas dos reciclados, principalmente de alvenaria, já que esta parcela tende a conter maiores quantidades de contaminantes que a graúda (SCHULZ & HENDRICKS, 1992);
 - Para viabilizar o uso da fração miúda e a aplicação de normas para reciclado pode ser necessário que se definam valores específicos para teores de sulfatos para esta parcela;
 - Uma opção ao aumento do valor admissível é a restrição do uso de parcelas do reciclado miúdo em que os teores de sulfatos sejam muito altos. Isto poderá levar à eliminação de parte dos agregados miúdos, a partir de determinadas dimensões máximas.
- Os teores máximos de cloretos foram fixados em 1 % para os três tipos de reciclados, porque:
 - O teor máximo de 1 % é especificado por normas da Holanda (CUR apud HANSEN, 1992);
 - O uso do reciclado em peças de concreto armado, para pequenos reforços, somente é permitido, neste texto, em elementos e componentes não sujeitos a umidade, e por isto manteve-se a limitação de 1 %, também neste caso.

²⁸ CUR/VB Onderzoekcommissie B 29 Hergebruik beton – en metselwerkpuin: Interim Rapport: granulaat van beton- en metselwerkpuin als toelagmateriaal voor beton. 83/1.

- Os teores máximos de materiais não minerais como: papel, papelão, plástico, metais, madeira, borracha, espumas tecidos e outros materiais sintéticos leves foram fixados em 1 % para os três tipos de agregados reciclados, porque:
 - A norma japonesa fixa valores para conteúdos de materiais não minerais como papel, madeira etc. para reciclado de concreto, que representam aproximadamente 0,1 % em massa. Entretanto, as normas holandesas fixam em 1 % o limite para reciclados de alvenaria. Sugere-se limite de 1 % para os três tipos, considerando-se a simplicidade dos usos indicados;
- Os teores máximo de solo e vegetação foram fixados em 5 % para os três tipos de reciclados, porque a proposta de norma japonesa indica como 5 % (em volume) o teor de solo que pode reduzir em até 15 % a resistência de concretos. Sendo a massa específica do solo menor que a massa dos resíduos, de uma maneira geral, 5 % em massa representa pouco mais de 5 % em volume. Considera-se a diferença aceitável, levando em conta a simplicidade dos usos indicados para os concretos com os reciclados;
- O teor máximo de materiais betuminosos para os três tipos de reciclados foi fixado em 1 %, coerente com as exigência de normas holandesas e com resultados de pesquisa apresentadas por HANSEN (1992);
- Os teores máximo de partículas friáveis ou leves foram fixados em 0,1 % para os reciclados Tipo I e III por sua proximidade com limites indicados por normas relativas a materiais reciclados. Para o agregado Tipo II o limite fixado é de 0,5 % levando em conta que os concretos com este material são indicados para serviços mais simplificados e de menor responsabilidade.
- A quantidade admitida de cimento amianto deve ser a menor possível, considerando os danos à saúde que material particulado proveniente do processamento do cimento amianto pode causar.

i) Comentários sobre a ausência de algumas características do reciclado ou de concretos nas especificações

i.1) Granulometria

As exigências de granulometria de reciclado devem levar em conta as diferenças entre as frações graúda e miúda do material. Na opinião do autor desta Dissertação, a fração graúda deve atender às exigências das normas brasileiras relativas à granulometria de agregados convencionais para concreto. Isto pode significar ajustes na composição das curvas, realizáveis com relativa facilidade pelas Centrais de Reciclagem equipadas com equipamentos de peneiração.

Para a fração miúda, no entanto, a adequação às curvas granulométricas de areia convencional pode significar necessidade de ajustes significativos na granulometria do reciclado, possivelmente com a eliminação das parcelas mais finas do material. Devido ao alto teor de finos do reciclado, isto pode significar desperdício de materiais e aumento do custo unitário do reciclado.

Para as aplicações simplificadas previstas neste texto, considera-se que o reciclado miúdo deva ser aplicado conforme produzido, sem modificações na granulometria, adotando-se quando possível os procedimentos para melhoria da granulometria indicados no texto.

i.2) Massa específica

Em algumas normas de reciclados (Holanda, Japão, Europa) utiliza-se a massa dos materiais componentes do reciclado como parâmetro de especificação. No reciclado de concreto, principalmente, busca-se reduzir os teores de materiais com menores massas e privilegiar materiais com massas específicas altas. Uma razão para isto é que materiais com maiores massas específicas tendem a ser menos permeáveis, mecanicamente mais resistentes e mais duráveis.

Para as aplicações indicadas para os concreto com reciclado de que trata o texto proposto, considera-se não ser necessária a utilização de massa como parâmetro, pois as restrições na composição e absorção dos reciclados são consideradas suficientes para a obtenção de material adequado aos usos. Para especificação de reciclado para uso em concretos com melhor qualidade, é necessário que se considere o uso da massa como parâmetro de especificação.

i.3) Resistência mecânica do reciclado

Não se propõe o uso da resistência mecânica do reciclado como parâmetro de especificação. Em vez disto, sugere-se que se controle a resistência do concreto com o reciclado. A não utilização da resistência como parâmetro deve-se à simplicidade e baixas resistências dos concretos com reciclado de que o texto trata.

i.4) Forma e textura

Não se utilizará a textura do reciclado como parâmetro de especificação. A forma, no entanto, será considerada, em avaliações qualitativas do teor de partículas lamelares nos agregados graúdos. Para especificação de reciclado para concretos com melhor qualidade, é necessário que se considere a limitação do teor de partículas lamelares.

i.5) Relação água/cimento dos concretos com reciclado

Para as aplicações sugeridas no texto, não se propõe limitações para a relação água/cimento do concreto com reciclado. Propõe-se que o controle tecnológico seja realizado pelo consumo de cimento e pelo abatimento do concreto fresco, pré-umidificando-se o reciclado e utilizando-se a menor quantidade de água necessária para que se alcance boa trabalhabilidade.

Em normas mais avançadas de reciclado para uso em concreto estrutural, sugere-se a avaliação da viabilidade da utilização da relação a/c (livre ou total) como parâmetro de especificação.

6. CONSIDERAÇÕES E DIRETRIZES RELATIVAS À APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS

6.1. Informações gerais

Apresentam-se neste capítulo considerações e diretrizes relativas à aplicação do reciclado em argamassas. Porém, não é apresentada proposta de texto para especificação do material para aplicação em argamassas. O motivo para a ausência é a falta de conhecimento consolidado sobre este uso, em quantidade e aprofundamento suficientes para permitir a elaboração das especificações.

Muitas das considerações e diretrizes refletem a relativa falta de informação sobre as aplicações do reciclado em argamassas. O conteúdo do capítulo reflete, na maioria dos casos, opiniões pessoais do autor sobre assuntos levantados pelo próprio e por outros autores.

6.2. Considerações sobre a aplicação do reciclado em argamassas

Analisando as informações obtidas sobre argamassas com agregado reciclado, pode-se afirmar que o material pode ser utilizado na preparação destes compósitos, para aplicação em serviços de construção. Entretanto, assim como em outros usos do reciclado, faltam informações aprofundadas sobre esta aplicação. As lacunas de informação referem-se a condições de preparação, propriedades físico-químicas e durabilidade de argamassas elaboradas com o material.

Os serviços em que as argamassas podem ser aplicadas em uma obra são variados, com condições diferenciadas de aplicação e exposição. Modificações nos traços ou falhas na análise da viabilidade técnica podem ocasionar patologias. Podem ocorrer problemas devido a altos teores de impurezas ou de finos, à falta de uniformidade de agregados (composição, granulometria, teor de impurezas etc.) e a outros fatores, que podem dificultar o controle tecnológico e prejudicar a qualidade dos serviços. Existem dúvidas importantes relativas à aplicação:

- Quais os tipos de argamassas em que se pode utilizar agregado reciclado com segurança ?
- É possível estabelecer procedimentos de preparação e aplicação de argamassas com reciclado, válidos para os vários tipos de resíduos encontráveis em construção, que garantam qualidade nas aplicações ?

Para que se possa identificar os serviços onde aplicar argamassas com reciclado e estabelecer procedimentos de preparação e aplicação, algumas ações podem ser implementadas:

- Caracterização dos diversos tipos de reciclado possíveis de serem obtidos com os resíduos da construção e estabelecimento de sistema de classificação para o reciclado;
- Pesquisa das propriedades físicas e químicas dos agregados de diversas classes, para conhecimento do material;
- Pesquisa de argamassas com reciclado, principalmente de:
 - Determinação das propriedades físicas e químicas das argamassas com reciclado;
 - Identificação dos serviços em que as argamassas com reciclado podem ser aplicadas, em função de suas propriedades e das condições de exposição;
 - Determinação de traços a serem adotados para os diversos serviços, para garantia da qualidade, com o maior consumo de reciclado possível.

Para uso do reciclado em argamassas é desejável que se analisem pelo menos as seguintes propriedades dos diversos tipos de reciclados: composição; granulometria e conteúdo de finos; módulo de finura; absorção de água; pozolanidade; massa; conteúdo de impurezas.

Algumas propriedades consideradas importantes de serem pesquisadas para garantia da qualidade de argamassas com agregado reciclado são:

- Trabalhabilidade (consistência; plasticidade; coesão; aderência);
- Consumo de agregados e aglomerantes;
- Resistência à compressão, à tração, à abrasão; módulo de elasticidade;
- Retração por secagem e capacidade de absorver deformações
- Retenção de água, absorção de água, porosidade e permeabilidade;

Nas pesquisas será necessário que se estude a viabilidade técnica da aplicação do reciclado como único agregado. Para alguns tipos de reciclado isto pode levar a patologias como retração por secagem. Para outros, com características diferentes, isto pode não ocorrer. A determinação do traço ideal que consuma a maior quantidade do reciclado e garanta a qualidade dos serviços é importante para o aumento do consumo do material, auxiliando na viabilização econômica da reciclagem.

Outro fator importante a ser pesquisado é a granulometria do reciclado. Conforme resultados de ensaios de propriedades de reciclados e de argamassas com o material, pode vir a ser necessária a eliminação de frações do agregado que

apresentem tamanho de grãos indesejáveis, que possam causar problemas de trabalhabilidade, retração, aumento de consumo ou que apresentem teores indesejáveis de contaminantes.

6.3. Usos possíveis para argamassas com agregado reciclado

Argamassas com agregado reciclado apresentam melhoria em algumas propriedades, em relação à argamassas convencionais, como aumento da resistência mecânica com mesmo consumo de aglomerantes. No entanto, outras propriedades podem ser pioradas e outras ainda não foram objeto de análise suficiente para respaldar o uso de argamassas com segurança em alguns serviços.

Considerando possíveis problemas como maior retração por secagem, ausência de informações consolidadas sobre argamassas com reciclado e heterogeneidade inerente aos resíduos, a indicação de aplicações para argamassas com o material deve ser feita com cautela. No estágio atual da reciclagem no país o autor deste trabalho (assim como outros pesquisadores) sugere a utilização em serviços simplificados. Deve-se analisar a possibilidade de estabelecimento de vetos a algumas aplicações, entre elas:

- Assentamento de componentes em alvenaria estrutural; assentamento de revestimentos cerâmicos em paredes ou pisos;
- Execução de pisos externos em argamassa;
- Camadas de revestimento finais em paredes e tetos, como reboco e massa única; argamassas com funções impermeabilizantes; chapisco.

Em contrapartida, é sugerida relação de serviços para os quais é considerada viável a aplicação de argamassas com reciclado, neste momento (a ampliação da relação dos usos indicados será mais segura se baseada em resultados de estudos experimentais):

- Assentamento de componentes em alvenaria não estrutural, preferencialmente em locais não sujeitos a umidade significativa;
- Emboço interno de paredes e tetos (evitando-se uso em ambientes com presença de umidade como banheiros e áreas de serviço);
- Pisos e camadas de regularização de pisos.

6.4. Uso conjugado de agregado reciclado e areia convencional

Do ponto de vista do consumo de reciclado, importante para a viabilização econômica das recicladoras de resíduos de construção, é melhor que se utilize o maior teor possível de reciclado nas argamassas preparadas com o material.

Entretanto, há informações que a aplicação do material como único agregado em argamassas pode gerar patologias como retração por secagem. Deve-se considerar que os resultados referem-se a tipos específicos de reciclado aplicados em número limitado de argamassas. As causas dos problemas encontrados podem ser devidas a um dos fatores abaixo ou à combinação deles:

- Características do reciclado utilizado (composição, curva granulométrica, teor de impurezas etc.);
- Teores de aglomerantes (cal e cimento) das argamassas;
- Procedimentos de preparação e aplicação das argamassas (consistência, condições da base, condições de cura etc.).

Segundo opinião do autor deste trabalho, não há informações em quantidade suficiente para sustentar a afirmação que o uso exclusivo do agregado reciclado de qualquer tipo ocasionará com certeza patologias nas argamassas. Para que se faça tal afirmação deve-se considerar as condições específicas listadas acima. Da mesma forma, não é possível afirmar-se o contrário, ou seja, que se pode aplicar o resíduo como único agregado sem perda de qualidade (alguns usuários utilizam mistura de agregado reciclado e convencional, com bons resultados, mas em alguns casos ocorrem patologias).

Para que se possa aplicar o material em argamassas com segurança, neste cenário de relativa falta de informação sobre esta aplicação, pode ser benéfica a adoção de alguns cuidados:

- Identificação dos tipos de resíduos que se pretende utilizar nos serviços de assentamento e revestimento e avaliação de algumas características como presença de cerâmicos, teor de impurezas e de finos do reciclado;
- Homogeneização rigorosa dos resíduos a utilizar, buscando uniformidade das características;
- Realização de misturas experimentais do reciclado com aglomerantes (cal e cimento). Para as argamassas em que a resistência mecânica não seja uma das características principais, pode-se considerar a utilização do menor teor de cimento possível;

- Execução de pequenos trechos de revestimentos em paredes para análise do comportamento das argamassas quanto a:
 - Facilidade de preparação e aplicação (consistência, plasticidade, coesão, aderência); Aderência e ganho de resistência;
 - Surgimento de fissuras devidas a retração por secagem; tolerância a variações térmicas;
 - Resistência mecânica (compressão, tração, abrasão);
 - Absorção de água e estanqueidade;

(os itens avaliados e a profundidade da avaliação dependerá das condições específicas das argamassas requeridas por cada usuário)

- Verificada a ocorrência de patologias nas argamassas com reciclado e concluído que a origem dos problemas é o uso exclusivo do material como agregado, pode-se realizar os mesmos estudos com argamassas contendo teores variáveis de areia convencional até a determinação do traço ideal (que alie o maior consumo do reciclado e o menor consumo de aglomerantes, com qualidade no serviço).

Na opinião do autor, no entanto, a determinação do traço ideal não é tarefa simples. São muitos os fatores que podem influir nos resultados e ao se escolher os traços a serem analisados, as combinações possíveis entre agregados (reciclado ou convencional) e aglomerantes (cal, cimento e outros) são numerosas.

Além disso, as relações entre aglomerantes e agregados utilizadas para argamassas convencionais podem não ser válidas, pois o reciclado pode conter teores consideráveis de material ultra-fino, que combinado com os aglomerantes pode invalidar regras utilizadas pelos construtores (por exemplo: uso da relação 1:3 para aglomerantes e agregados).

Resumo das considerações sobre uso do reciclado como único agregado em argamassas:

- Não é possível afirmar-se que o uso exclusivo do reciclado em argamassas seja responsável pelo surgimento de patologias, ou o contrário, pois faltam informações sobre o assunto e é necessário especificar-se quais tipos de argamassa ou resíduo estão sendo considerados;
- Enquanto persistirem as dúvidas, é necessário que se realizem aplicações experimentais para determinação do melhor traço;
- Em todos os casos é necessário cuidado especial com a qualidade do reciclado (composição, teor de impurezas, granulometria etc.).

7. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do trabalho foi necessário modificar o tema da pesquisa, pois a proposição de textos básicos para a elaboração de normas técnicas relativas ao reciclado e seus usos não pareceu possível no âmbito de um curso de mestrado, pela limitação de tempo, por ser trabalho excessivo para este tipo de curso e porque considerou-se que não haviam informações suficientes para a proposição de normas de diversos tipos, relativas à obtenção, controle de qualidade do reciclado, procedimentos de aplicação em concretos e argamassas e controle de qualidade destes compósitos. Entretanto, analisando-se as informações disponíveis sobre o reciclado e suas aplicações, julgou-se possível e necessária a proposição de diretrizes relativas à sua obtenção, controle de qualidade e aplicações. Assim, o título do trabalho passou de “Proposição de textos básicos para normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos” para “Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos”.

Os objetivos do trabalho, de uma maneira geral, foram alcançados: obtiveram-se informações sobre o reciclado e suas aplicações, no Brasil e no exterior; propuseram-se diretrizes e textos normativos relativos ao material e seus usos em argamassas e concretos; preparou-se material informativo aos construtores sobre a reciclagem e sobre captação dos resíduos de construção.

Avaliando os resultados, considera-se como um dos mais importantes a obtenção de informações sobre a reciclagem e uso do reciclado e a análise da viabilidade de aplicação do material no Brasil. A partir daí foi possível a proposição de diretrizes e texto básico contidos na Dissertação, elaborados no sentido de auxiliar na reflexão sobre o modo como a reciclagem deve ser realizada e como deve avançar no país.

Identificaram-se características comuns aos diferentes resíduos reciclados e na proposta de especificação do material para uso em concreto escolheram-se as características a adotar como parâmetros de qualidade e propuseram-se valores limites para as mesmas, com base nas informações disponíveis.

Considera-se o pressuposto de trabalho, da maneira como foi colocado, válido, já que foi possível a proposição de norma de especificação do agregado reciclado com base na análise das informações existentes. Como ainda existem

lacunas importantes de conhecimento sobre o assunto, os serviços indicados para o reciclado são simplificados, mas podem, na opinião do autor, ser elaborados com segurança com o reciclado possível de ser obtido no país com os recursos atualmente disponíveis.

Alguns dos resultados parcelares podem ser úteis aos gerentes de centrais de reciclagem, principalmente aqueles relacionados à proposição de sistema de classificação de resíduos de construção e à operação de centrais de reciclagem buscando melhoria do agregado produzido.

Considera-se promissora a sugestão de diretrizes para captação racionalizada de resíduos, apesar de ser um produto não previsto inicialmente nos objetivos de trabalho. O outro texto informativo, para os usuários de agregado reciclado, é considerado pelo autor da dissertação como muito embrionário, carecendo de maior desenvolvimento até que possa ser utilizado como um instrumento de informação efetiva aos construtores.

As diretrizes relativas ao uso do reciclado em concretos refletem, na opinião do autor, questionamentos importantes do meio técnico envolvido com a reciclagem. Nelas, o autor toma partido de algumas opiniões, com explicações sobre os motivos para isso.

As diretrizes e considerações relativas a argamassas refletem, por outro lado, a carência de informações sistematizadas sobre esta aplicação do reciclado. Não foram encontradas informações sobre este uso em quantidade comparável com as informações encontradas sobre aplicações do reciclado em concretos.

Considera-se a proposta de texto para especificação de agregado reciclado para uso em concretos como um primeiro passo no sentido da elaboração de norma de especificação, que obviamente terá que sofrer críticas e modificações. Apesar de terem sido identificadas as estruturas dos diferentes tipos de normas técnicas brasileiras, não se avançou com a elaboração de outros tipos de normas (métodos de ensaio, procedimentos etc.) relativas ao reciclado, porque se considerou que isto seria muito prematuro. Entretanto, as informações relativas às estruturas dos diferentes tipos de normas foram mantidos no trabalho.

Julga-se que os resultados obtidos são coerentes com as diretrizes, pressupostos e hipóteses de trabalho apresentadas, embora se reconheça que este trabalho não esgota (como não poderia) o assunto, sendo antes mais um passo no sentido da consolidação da reciclagem no Brasil.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de resíduos de construção avança no país, assim como estudos relativos a ela. Da mesma forma, as perdas de materiais de construção continuam a ocorrer, embora cada vez mais passem a ser estudadas, com proposição de procedimentos para minimizá-las e controlá-las. Estes fatores podem configurar-se em quadro de uso racionalizado de recursos (de um lado, a redução da geração de resíduos; de outro, a reciclagem de parte do resíduo gerado, com benefícios para o meio ambiente e para a economia do país).

Este trabalho é mais um passo no sentido da implantação da reciclagem de resíduos de construção no país. Entretanto, assim como outros trabalhos elaborados por outros pesquisadores, deve ter continuidade, com discussões de seus resultados e com a elaboração de outras pesquisas sobre obtenção e uso do agregado reciclado.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1. Referências bibliográficas

1. ANDRADE, R.C.; ROCHA, J.C.; PRUDÊNCIA JR., L.R. CHERIAF, M. (1998). Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 139-143.
2. ANVI COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA. (1992). *Comparativo de custo de argamassas. Argamasseira "Anvi 500" x betoneiras*. São Paulo, ANVI.
3. ANVI COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA. (1995). Catálogo comercial,. São Paulo, 4 p.
4. ANVI COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA. (s.d.). *Nova velha proposta para melhorar a qualidade das argamassas*. São Paulo, ANVI.
5. ASSIS, C. S. ; OLIVEIRA, M. J. E. (1998). Estudo da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 100-105.
6. BARRA, M. (1996). *Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado*. Barcelona, 223p. Tese (doutorado). Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya.
7. BARRA, M. (1997). Dosagem de concretos com agregados reciclados: aspectos particulares. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 39-43.
8. BATTISTI, S.; MACHADO, G. S; KAZMIERCZAK, C. S.; SCHERER, A. R.; CALARGE, L. , SANTOS, S. S. (1998). Aproveitamento de resíduo industrial para a aplicação em componentes construtivos tijolos e blocos para habitação de interesse social. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 145-149.
9. BODI, J. (1997). Experiência brasileira com entulho reciclado na pavimentação. . In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 56-64.

10. CAMPINAS. Secretaria dos Serviços Públicos / Secretaria da Administração (1996). *Campinas: a gestão dos resíduos urbanos*. Concepção, Coordenação Técnica e Supervisão Geral: Ernesto Dimas Paulella e Clair de Oliveira Scapim. Campinas, SSP/AS.
11. CASTRO, M. C. A. , SCHALCH, V. , FERNANDES JUNIOR, J.L.F. , LEITE, W.C.A. (1997). Caracterização física e granulométrica dos entulhos gerados na construção civil na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO ASSEMAE. *Anais*.
12. CAVALCANTE, J.R. , CHERIAF, M. (1997). Ensaios de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p 31-38.
13. COMITÊ CEN 154 – AHG – RECYCLED AGGREGATES (1996). *CEN/TC 154 Ad hoc group for recycled aggregates. Technical Report. Draft (Dec96)*.
14. CORBIOLI, N. (1996). Do caos à solução. *A Construção – São Paulo*, n.º 2505, fev/96, p 4-7.
15. CUR - COMMISSIE VOOR UITVOERING VAN RESEARCH (1984). *Betonpuingranulaaten als Toeslagsmateriaal vor Beton. Aanbeveling 4*. CUR-VB, Holanda. (Concreto britado como agregado para concreto. CUR-VB, recomendação 4. Centro Holandês para Pesquisas e Códigos em Engenharia Civil)
16. CUR - COMMISSIE VOOR UITVOERING VAN RESEARCH (1994). *Metselwerkpuingranulaat als Toeslagsmateriaal vor Beton. Aanbeveling 5*. CUR-VB, Holanda. (Argamassa britada como agregado para concreto. CUR-VB, recomendação 5. . Centro Holandês para Pesquisas e Códigos em Engenharia Civil)
17. CUR - COMMISSIE VOOR UITVOERING VAN RESEARCH (1986). *Betonpuingranulaaten Metselwerkpuins Granullat alls Toeslagmeterial van Beton*. Rapport 125. CUR, Holanda. (Entulho de concreto e alvenaria como agregado para concreto. CUR Relatório 125)
18. DE PAUW, C.; LAURITZEN, E.K. (1994). *Disaster planning, structural assessment, demolition and recycling (RILEM REPORT 9)*. Londres, E&FN Spon.

19. FONSECA, J. B. B.; COSTA, J. S., CONCIANI, W. (1998). Aproveitamento de rejeitos de cerâmica vermelha estrutural para produção de concreto de baixa resistência. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 95-99.
20. FRANCHI, C.C. ; SOILBELMAN, L.S. ; FORMOSO, C.T. (1993). As perdas de materiais na indústria da construção civil. In: II SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, Porto Alegre, UFRGS. *Anais*. Porto Alegre, NORIE, UFRGS.
21. HAMASSAKI, L.T., SBRIGHI NETO, C., FLORINDO, M.C.(1997). Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p 107-115.
22. HANSEN, T.C. (1992). *Recycling of demolished concrete and masonry*. Londres, E&FN Spon.
23. INSTITUTO ALEMÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO E GARANTIA DE QUALIDADE (1985). *Materiais de construção reciclados para a construção de estradas. Garantia de qualidade. RAL-RG 501/1*. Alemanha. Tradução.
24. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1990). *Segundo relatório informativo das atividades do estudo de viabilidade técnico-econômica da reutilização de resíduos de Santo André*. São Paulo, I&T /Documento interno/
25. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1991). *Relatório final das atividades do estudo de viabilidade técnico-econômica da reutilização de resíduos de Santo André*. São Paulo, I&T /Documento interno/
26. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1993). *Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos de Construção no Município de Belo Horizonte/MG*. São Paulo, I&T / documento interno/
27. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1995a). *Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos de Construção no Município de São José dos Campos/SP*. São Paulo, I&T / documento interno/
28. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1995b). *Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos de Construção no Município de Ribeirão Preto/MG*. São Paulo, I&T / documento interno/

29. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1995c). *Manual de uso dos resíduos de construção reciclados*. São Paulo, I&T / documento interno/
30. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1997a). *Diagnóstico da geração e destinação de Resíduos de Construção no Município de São José do Rio Preto/SP*. São Paulo, I&T / documento interno/
31. I&T – INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. (1997b). *Diagnóstico da geração e destinação de Resíduos de Construção no Município de Jundiaí/SP*. São Paulo, I&T / documento interno/
32. JOHN, W.M. (1997a), Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p.21-30.
33. KAZMIERCZAK, C. S.; KERN; A. P.; RAMIRES, I. S. S.; SILVA, H.C. (1998). Aproveitamento de entulho da construção civil como agregado para concreto. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 132-138.
34. LATTERZA, L. (1997). *Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação*. São Carlos. Dissertação (mestrado). Departamento de Estruturas, Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
35. LEVY, S.M. (1997a). *Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas*. São Paulo, 146p. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
36. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo, Pini Editora.
37. PERA, J. (1997). State of the art – use of waste materials in construction in Western Europe. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p 1-20.
38. PICCHI, F.A. (1993). *Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios*. São Paulo. Tese (doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

39. PINTO, T. P. (1989a). *Perda de materiais em processos construtivos tradicionais*. São Carlos, 33p. Pesquisa de campo. Departamento de Arquitetura e Planejamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo / texto datilografado /
40. PINTO, T. P. (1989b). *Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas*. São Carlos, 140p. Dissertação (mestrado). Departamento de Arquitetura e Planejamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
41. PINTO, T. P. (1992). Entulho de construção: problema urbano que pode gerar soluções. *A Construção – São Paulo*, n.º 2325, ago/92, p 11-12.
42. PINTO, T.P. (1997a) Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p.156-170.
43. PINTO, T. P. ; AGOPYAN, V. A. (1994). Construction wastes as raw materials for low-cost constructions products. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION, Florida. Proceedings. Florida, USA, CIB TG 16.
44. RAMONICH, E.V. (1997a). Utilização dos resíduos pela CEE. Aspectos políticos e ambientais, estado da arte e normalização. . In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 64-66.
45. RILEM (1994). RILEM TC 121 – DRG. Specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*, v. 27, p 557-559.
46. SANTOS, P.S. (1975). *Tecnologia das argilas aplicada às argilas brasileiras*. São Paulo, Edgard Blücher, ed. Universidade de São Paulo.
47. SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, F. (1992). Recycling of masonry rubble. *Recycling of demolished concrete and masonry. Part 2*. (editado por T.C. Hansen). Londres, E&FN Spon.
48. SMT – STANDARDS, MEASUREMENTS AND TESTING. (1996). *New test methods and quality control for recycled aggregates*. Scientific and Technical Contents: Part B. RTD Projects. C.E.E., SMT.
49. SOIBELMAN, L. (1993). *As perdas de materiais na construção de edificações: suas incidência e seu controle*. Porto Alegre. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

50. SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A.C.; AGOPYAN, V. (1998). Perdas de materiais nos canteiros de obras. A queda do mito. *Qualidade na Construção*, SindusCon/SP, ano II, nº 13, p.10-15.
51. SWANA – THE SOLID WASTE ASSOCIATION OF NORTH AMERICA (1993). *Construction waste & demolition debris recycling ... a primer*”. Maryland, SWANA.
52. TEIXEIRA, B. A. N. , SOUZA, B. O. , BAODOCHI, V. M. S. (1997). Diagnóstico da coleta e destinação final de resíduos da construção civil na cidade de São Carlos – SP. In: CONGRESSO ASSEMAE. Anais.
53. ZORDAN, S. E. (1997). *A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto*. Campinas, 140p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

9.2. Obras consultadas

1. ACI COMMITTEE 221 (1984). Guide for use of normal weight aggregates in concrete. *ACI Journal*, março - abril, p. 115-139.
2. ANDRADE, C. (1992). *Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*. São Paulo, Pini Editora.
3. AS VÁRIAS opções de reaproveitamento dos resíduos sólidos. (1997). *Revista Limpeza Pública*, n.º 45, julho/97, p. 4-10.
4. CAMARGO, A. (1995). Minas de entulho. *Téchne*, n.º 15, mar-abr/95, p 15-19.
5. CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PELA RECICLAGEM (1997). Como está a reciclagem no Brasil. *Informativo CEMPRE* n.º 35, Rio de Janeiro, CEMPRE.
6. CEOTTO, L.H. (1995). O desperdício na construção civil. *A Construção – São Paulo*, n.º 2480, ago/95, p 12-13.
7. CINCOTTO, M. A. (1983). *Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações*. São Paulo, IPT (Série Monografias 8).
8. CINCOTTO, M. A. (1985). A utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. *A Construção – São Paulo*, n.º 1855, ago/83, p 27-30.
9. COELHO, P. E. (1998). Construction & demolition debris samples make concrete with tensile strength above primary aggregates concrete. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 84-88.

10. COLLINS, R. (1998). Recycled aggregate in readmix. *Concrete Engineering International*, março, 49-54.
11. COZZA, E. (1996). Eterno retorno. *A Construção – São Paulo*, n.º 2543, nov/96, p 12-13.
12. DERMURP – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO (1997). *Diagnóstico da Central de Reciclagem de Resíduo de Construção Civil de Ribeirão Preto*. Ribeirão Preto, DERMURP (Documento interno).
13. FIORITTO, A.J.S.I. (1994). *Manual de argamassas e revestimentos*. São Paulo, Pini Editora.
14. HELENE, P. R. .L. (1986). *Corrosão de armaduras para concreto armado*. São Paulo, Editora Pini.
15. HELENE, P.R.L. MARTINELLI, F. A. *Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias*. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil (Boletim Técnico BT/PCC/47).
16. HONG KONG POLYTECHNIC (DEPARTMENT OF BUILDING AND REAL STATE); THE HONG KONG CONSTRUCTION ASSOCIATION LTD. (1993). *Reduction of construction waste. Final report*. Hong, Kong.
17. INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (1995). *Aprofitament de residus en la construcció*. Catalunya, ITC.
18. INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (1995). *Guia d'aplicació del Decret 201/1994, regulador dels enderrocs i altres residus de la construcció*. Catalunya, ITC.
19. INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (1995). *Manual de desconstrucció*. Catalunya, ITC.
20. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1988). *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini Editora.
21. JOHN, V.M. (1997b). *Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio*. São Paulo. Tese (doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
22. JOHN, V.M. (1997c). Reciclagem na construção civil. Alternativa econômica para proteção ambiental. In: *RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop)*, São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 67-76.

23. JOHN, W.M.; ROCHA, J.; SAVASTRANO Jr., H.S.; CINCOTTO, M. A. (1997). Conclusões do Workshop. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC.
24. KHALOO, A. R. (1994). Properties of concrete using crushed clinker brick as coarse aggregate. *ACI Material Journal* (Technical paper), Jul-ago, p. 401-407.
25. KHALOO, A. R. (1995). Crushed tile coarse aggregate concrete. *Cement, Concrete and aggregates, CCAGDP*, Vol. 17, n.º 2, p. 119-125.
26. LATTERZA, L. ; MACHADO Jr. E.F. (1997). Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação. In: XXVIII JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL. *Anais*. São Carlos, EESC/USP, p 1967-1975.
27. LEVY, S.M. (1997b). Reciclagem do entulho em canteiros de obra, influência do material cerâmico na qualidade de novas argamassas. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p. 44-55.
28. LEVY, R.; LEVY, S.M.; DJANIKIAN, J.G. (1996). Tratamento e disposição de concreto residual em centrais dosadoras. In: 38º Reunião do IBRACON, Ribeirão Preto. *Anais*. São Paulo, IBRACON, v2, p. 499-506.
29. LEVY, S.M., HELENE, P.R.L. (1997b). *Vantagens e desvantagens de argamassas produzidas com entulho de obra, finamente moído*. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil (Boletim Técnico BT/PCC/185).
30. LEVY, S.M., HELENE, P.R.L. (1997a) Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p.137-146.
31. MYMRIN, V.A.; VAAMONDE, A. J. V. (1998). Industrial wastes recycling as binder for the construction materials producing. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, PURGS, p. 89-94.

32. MUNICIPAL WASTE MANEGEMENT ASSOCIATION (s.d.). *Overview of new legislation and policies for municipal solid waste reduction and recycling*. Washington/EUA, MWMA.
33. NEVILLE, A.M. (1982). *Propriedades do concreto*. Trad. Por S.E. Giamusso. São Paulo, Pini Editora.
34. O'MAHONY, M.M. (1997). An analysis of the shear strength of recycled aggregates. *Material and Structures*, vol. 30, p. 599-606.
35. OPPORTUNITIES for recycling C&D debris (1990). *Byocicle*, v.31, n.º 7, jul/90, p56-58.
36. ÖZTURAN, T.; ÇEÇEN, C. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concrete with different strengths. *Cement and concrete research*, Vol. 27, n.º 2, pp.165-170.
37. PARA não virar pó (1993). *A Construção – São Paulo*, n.º 2348, fev/93, p 10.
38. PINTO, T.P. (1990). Desperdício em xequê. *Revestimentos 89/90* (Suplemento da revista A Construção - São Paulo).
39. PINTO, T.P. (1994). Reciclagem de resíduos de construção e possibilidades de uso de resíduos reciclados em obras públicas. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte, IPT, p 49-55.
40. PINTO, T.P. (1995). De volta à questão do desperdício. *A Construção – São Paulo*, n.º 2491, nov./95, p 18-19.
41. PINTO, T. P. (1997b). Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 1-10.
42. PINTO, T.P.; LIMA, J. A. R. (1993). Industrialização de componentes a partir de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3º. São Paulo. *Anais*. São Paulo, IP, p.528-537.
43. QUALIDADE vem para ficar (1996). *A Construção – São Paulo*, n.º 2507, fev/96, p 4-7.

44. RAMONICH, E.V. (1997b). Inertização, valorização e impacto ambiental dos resíduos tratados com ligantes hidráulicos, aditivos e adições. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop), São Paulo. *Anais*. São Paulo, EPUSP, p 35-38.
45. SABATINI, F.H. (1986). *Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente*. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil (Boletim Técnico 02/86).
46. SOBRAL, H.S. (1980). *Durabilidade de concretos*. São Paulo, ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland (Estudo Técnico 43).
47. THOMAZ, E. (1990). *Trincas em edifício – causas, prevenção e recuperação*. 1º ed. São Paulo, Pini Editora.
48. TOPÇU, I.B.; GÜNÇAN, N.F.(1995). Using waste concrete as aggregate. *Cement and concrete research*, Vol. 25, n.º 7, pp.1385-1390.
49. ZHOU, F. P.; BARR, B.I.G. (1995). Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete. *Cement and concrete research*, Vol. 25, n.º 1, pp.177-186.

ANEXO A

RELAÇÃO DE NORMAS DA ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ANALISADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DE NORMAS TÉCNICAS COM DIVERSAS FINALIDADES

1. NBR 5739/80. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto
2. NBR 7173/82. Bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural
3. NBR 7184/82. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural
4. NBR 7186/82. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural
5. NBR 7200/82. Revestimento de paredes e tetos com argamassas. Materiais, preparo, aplicação e manutenção
6. NBR 7211/83. Agregados para concreto
7. NBR 7216/87. Amostragem de agregados
8. NBR 7218/87. Agregado. Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis
9. NBR 7219/87. Agregado. Determinação do teor de materiais pulverulentos
10. NBR 7222/83. Argamassas de concreto. Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos
11. NBR 7223/82. Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone
12. NBR 7251/82. Agregado em estado solto. Determinação da massa unitária
13. NBR 7810/83. Agregado em estado compactado e seco. Determinação da massa unitária
14. NBR 7389/92. Apreciação petrográfica de agregados
15. NBR 7582/82. Pedra britada graduada e solo para base tipo macadame
16. NBR 8490/84. Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural. Retração por secagem
17. NBR 9287/86. Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto. Determinação da retenção de água
18. NBR 9777/86. Agregado. Determinação da absorção de água em agregados miúdos
19. NBR 9778/87. Argamassas e concreto endurecidos. Determinação da absorção de água por imersão. Índice de vazios e massa específica
20. NBR 9779/87. Argamassa e concreto endurecidos. Determinação de absorção de água por capilaridade

21. NBR 9832/87. Concreto e argamassa. Determinação dos tempos de pega por meio da resistência à penetração
22. NBR 9935/87. Agregados. Terminologia
23. NBR 11801/90. Argamassa de alta resistência mecânica para pisos
24. NBR 12654/92. Controle tecnológico de materiais componentes do concreto
25. NM66/98. Constituintes mineralógicos dos agregados naturais. Terminologia
26. NBR 6461/83. Bloco cerâmico para alvenaria. Verificação da resistência à compressão
27. NBR 6136/80. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural
28. NBR 7174/82. Pedra britada e pó de pedra para base de macadame hidráulico
29. NBR 7207/82. Terminologia e classificação de pavimentação
30. NBR 7215/82. Ensaio de cimento portland
31. NBR 7582/82. Pedra britada graduada e solo para base tipo macadame
32. NBR 8215/83. Prismas de blocos vazados simples para alvenaria estrutural. Preparo e ensaio à compressão
33. NBR 8419/84. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
34. NBR 8545/84. Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos
35. NBR 8798/85. Execução e controle de obras em alvenaria de blocos vazados de concreto
36. NBR 9574/86. Execução de impermeabilização
37. NBR 9780/87. Peças de concreto para pavimentação. Determinação da resistência à compressão
38. NBR 9781/87. Peças de concreto para pavimentação
39. NBR 9794/87. Tubo de concreto armado de seção circular para águas pluviais
40. NBR 9793/86. Tubo de concreto simples de seção circular para águas pluviais
41. NBR 9795/87. Tubo de concreto armado. Determinação da resistência à compressão diametral
42. NBR 9939/87. Agregados. Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo
43. NBR 10.004/87. Resíduos sólidos. Classificação
44. NBR 10.005/87. Lixiviação de resíduos
45. NBR 10.006/87. Solubilização de resíduos
46. Projeto de norma - 18:04 03 – 004. Execução de piso de argamassa de alta resistência mecânica
47. NBR 5673/77 (cancelada sem substituição). Diretrizes para o controle tecnológico de processos executivos em estruturas de concreto

ANEXO B

OBTENÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO VISANDO SUA RECICLAGEM

TEXTO PARA CONSTRUTORES E DEMOLIDORES

O objetivo deste item é o de configurar-se em proposta de texto informativo para construtores e demolidores, sugerindo diretrizes a serem adotadas na captação de resíduos de construção, em obras novas ou demolições, visando a reciclagem. A introdução de procedimentos de separação dos resíduos por tipos e com o menor teor de contaminantes possível nas obras pode contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos nas Centrais de Reciclagem e para a introdução de procedimentos de reciclagem nas próprias construtoras.

O público-alvo do texto são gerentes, engenheiros e arquitetos, encarregados e profissionais de obras (pedreiros, serventes) envolvidos com a execução de construções. Assim, a linguagem do texto parece, ao autor desta Dissertação, um pouco rebuscada. Para sua utilização prática consideram-se desejáveis ajustes. Da mesma forma, não se trabalhou muito a forma do material impresso, que se for apresentada aos construtores deverá ser modificada. Para os objetivos deste trabalho, no entanto, o texto é julgado satisfatório.

ENTULHO NAS OBRAS

DIRETRIZES PARA CAPTAÇÃO VISANDO A RECICLAGEM

APRESENTAÇÃO

Este folheto apresenta informações sobre a reciclagem de resíduos de obras e diretrizes para sua captação. Poderá servir a construtores e a demolidores.

O QUE É A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

A reciclagem de resíduos de construção é uma forma de processamento destes rejeitos, tornando-os adequados para reutilização na construção. É praticada há muito tempo, embora em nosso país só recentemente venha sendo praticada com mais intensidade.

Ao contrário do que parece, a reciclagem não exige equipamentos muito sofisticados ou caros para ser implementada. Pode ser feita até pequenas obras.

QUEM PODE RECICLAR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

A reciclagem no Brasil começou nas obras, onde os restos de argamassas e tijolos eram moídos junto com cal e cimento, em moinhos de rolo de pequeno porte.

Quem tem britadores de pedras também pode moer restos de concreto, argamassas, blocos e outros materiais, obtendo assim areia ou pedra reciclada.

Mesmo quem não tem máquinas pode usar os resíduos de construção. Um jeito simples é como camada sob contrapisos e sob fundação (colocando-se uma camada do resíduo sobre o solo e socando-a, pode-se obter camada de isolamento entre a terra e o concreto).

Hoje em dia prefeituras já implantam Recicladoras de bom porte, mas para que consigam operá-las com sucesso dependem da colaboração dos coletores de entulho, dos construtores e demolidores. Esta colaboração pode ser na forma de fornecimento de resíduo sem impurezas e, melhor ainda, separado por tipos.

O QUE SE PODE FAZER COM O RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO RECICLADO

O resíduo reciclado pode ser usado na substituição da areia ou da pedra britada em diversos serviços. Deve-se ter em mente que o material se comporta diferentemente da areia e pedra naturais. Por isso deve-se usá-lo onde pode dar bons resultados, com qualidade e segurança. Não adianta aplicar em um serviço para o qual não possui as características necessárias e depois reclamar. Isto é assim com qualquer material (não se fazem vigas com isopor...).

Alguns dos serviços em que se pode usar areia e pedra reciclada são:

COMO CONCRETO

- Contrapisos, calçadas externas e regularização de pisos sem função impermeabilizante
- Reforços não armados (enchimentos) e reforços armados em elementos sem presença de umidade (cintas, vergas, contravergas, apoios etc.)
- Execução de peças de reforço não armadas em muros de vedação;
- Regularização de pisos para revestimento cerâmico, preferencialmente em pavimentos não apoiados diretamente sobre o solo;
- Lastro para fundação em edificações térreas
- Fabricação de componentes de alvenaria de vedação (blocos etc.)
- Fabricação de outros componentes de concreto, não armados:
 - Lajotas de concreto para lajes mistas
 - Tubos e canaletas para drenagem

- Briquetes e lajotas de pavimentação (para tráfego leve)
- Meios-fios, sarjetas e similares
- Fixação de mourões e portões em cercamentos
- Outros serviços simplificados, não armados

 **NÃO USAR EM CONCRETO ESTRUTURAL !** 

COMO ARGAMASSA

- Assentamento de blocos ou tijolos em paredes de vedação
- Revestimento internos e externos, preferencialmente emboços

 **NÃO USAR EM ARGAMASSAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

NEM EM ARGAMASSAS IMPERMEABILIZANTES ! 

A GRANEL

- Pavimentação e cobertura de solo
- Serviços de drenagem
- Enchimentos e reaterros

QUAIS AS VANTAGENS DA RECICLAGEM

A recuperação do entulho traz vantagens para muita gente:

PARA OS CONSTRUTORES

- Redução de gastos com retirada do entulho das obras
- Redução da quantidade de areia e pedra a ser comprada
- Redução da quantidade de cal e cimento a ser comprada (porque argamassas com reciclado usam menos destes materiais)

PARA A SUA CIDADE

- Menos entulho jogado nas ruas - Cidade mais limpa
- Menos entulho a aterrar: os aterros duram mais e gasta-se menos
- Redução de gastos com compra de materiais

QUAIS RESÍDUOS SÃO RECICLÁVEIS

Muitos dos materiais que compõem o entulho podem ser recuperados e usados para conseguir areia e pedra reciclada. Outros devem ser eliminados.

Para preparar argamassas com entulho devem ser usados resíduos “moles” e evitar o uso de concreto.

Para preparar concreto podem ser usados os materiais listados abaixo, inclusive concreto, tentando-se evitar os materiais “moles”.

MATERIAIS PARA FAZER AREIA E PEDRA RECICLADAS

- Restos de concreto e de argamassas
- Restos de paredes, lajes, pisos
- Restos de areia e pedra naturais
- Tijolos, blocos, canaletas (cerâmicos ou de concreto)
- Telhas, lajotas, manilhas e peças cerâmicas ou de concreto

MATERIAIS QUE DEVEM SER ELIMINADOS

- Gesso (não é aceito de jeito nenhum !)
- Papel, papelão, plástico e similares
- Borracha, espumas, panos e similares
- Cimento amianto
- Vegetação, terra, matéria orgânica
- Tintas, betume e similares
- Metais (ferros, latas, arames etc.)
- Madeira

QUAIS AS CONDIÇÕES DO RESÍDUO PARA QUE POSSA SER RECICLADO

Pode-se reciclar muitos tipos de resíduos e para cada tipo os usos do agregado reciclado produzido são diferentes. Pode-se considerar os seguintes possibilidades para os resíduos de construção:

- **1:** Resíduo de concreto sem impurezas
- **2:** Resíduo de alvenaria sem impurezas
- **3:** Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas
- **4:** Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação

Para reciclar os resíduos 1 é bom usar britadores. O agregado produzido pode ser usado como areia e pedra para fazer concreto e pré-moldados.

Com os resíduos 2 e 3 pode-se fazer concretos e argamassas, e o material pode ser reciclado em britadores ou em moinhos de rolo. Usa-se em concretos, argamassas e a granel. O resíduo 3 é melhor para concretos que o 2.

O resíduo 4 pode ser reciclado por recicladoras grandes, sendo de muita utilidade em pavimentação (cobertura de ruas, sub-bases etc.).

Com exceção do resíduo 4, todos os outros devem estar livres das impurezas, apresentadas em item passado.

RECICLANDO O RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO NA PRÓPRIA OBRA

Numa obra gera-se bastante resíduo dos tipos 1, 2 e 3 e construtores interessados em reciclar o material podem fazer isto com facilidade. A aquisição ou locação de máquinas para reciclagem é fácil e relativamente barata, e existe informação de como reciclar e usar o material com simplicidade.

Como a reciclagem não é prática comum em grande parte das obras, sua implantação pode ser paulatina, permitindo ao construtor conhecer melhor o material e verificar os benefícios da reciclagem.

Duas formas são indicadas:

- Usando moinhos de rolo: os restos de argamassa, tijolos e blocos podem ser moídos junto com cal, areia e cimento. O moinho funciona como maseira e ao final da moagem tem-se a argamassa pronta para o uso
- Usando britadores: pode-se comprar ou alugar britadores (britadores de mandíbula e/ou moinhos de martelo, principalmente) e produzir areia e pedra recicladas, para diversos usos, com qualidade e segurança

O importante, antes de partir para a reciclagem, é fazer as contas, considerando:

- O volume de resíduo que pode ser reciclado
- Quanto custaria para tirar este resíduo da obra
- Qual a demanda por areia e pedra em serviços onde estes materiais podem ser trocados por material reciclado e qual o custo da areia e pedra para estes serviços
- Quanto custa reciclar o entulho
- Qual o ganho financeiro com a reciclagem

COMO CAPTAR O RESÍDUO PARA FACILITAR A RECICLAGEM

Os construtores ou demolidores interessados podem separar melhor os entulhos de suas obras. Isto pode ser benéfico quando:

- Existe a possibilidade de encaminhar estes entulhos para a reciclagem, feita por outros recicladores ou pelo próprio construtor ou demolidor
- Existe a possibilidade de pagar menos pela remoção do entulho. Em cidades em que as prefeituras têm recicladoras fica mais barato para os coletores retirar entulho “limpo”, e assim os construtores podem negociar reduções nos preços da remoção do entulho de suas obras

Para quem pretende recolher o entulho de modo racionalizado, visando a facilitação da reciclagem, apresentam-se algumas diretrizes:

- **Identificar os tipos de resíduos** de construção que serão gerados na etapa do serviço a ser executado (construção de uma parede ou laje, demolição de paredes, pisos etc.)
- **Avaliar se o material é reciclável**, pelas informações apresentadas neste e em outros folhetos
- **Avaliar a quantidade dos materiais recicláveis** e se é viável sua remoção ou captação em separado
- **Avaliar se é possível obter benefícios com a captação racionalizada** dos resíduos de construção (redução dos custos com captação, obtenção de material para a reciclagem, redução de custos com remoção do entulho, redução do risco de acidentes de trabalho e outros)
- Remover ou captar os resíduos **racionalmente**, lembrando que:
 - A separação mais simples é de entulho sem impurezas do entulho com impurezas
 - Em seguida pode-se separar entulho de concreto de entulho de alvenaria e outros
 - Se for desejável pode-se separar o entulho de alvenaria em: entulho com materiais cerâmicos e entulho sem materiais cerâmicos

QUANTO CUSTA A CAPTAÇÃO RACIONALIZADA DOS RESÍDUOS

Isto é uma coisa que depende do tipo de empresa e obra considerados. Se for realizada análise cuidadosa da questão é possível encontrar vantagens interessantes:

- Se houver espaço na obra e equipe motivada e competente é possível a captação racionalizada dos resíduos sem custos adicionais
- Pode-se obter, como “efeito colateral”, um canteiro mais limpo e organizado, que pode se refletir beneficemente no comportamento dos funcionários
- Captando-se materiais racionalmente pode-se obter outros resíduos vendáveis como metais, papel, etc. Se bem administrados, os recursos obtidos com as vendas podem ser revertidos para os operários, aumentando sua motivação para o trabalho
- Pode-se reduzir os riscos de acidentes de trabalho

- Pode-se, através da maior organização dos canteiros, melhorar a imagem da empresas junto aos clientes
- A informação que a empresa busca a reciclagem, se bem colocada para os clientes, traz benefícios para a imagem da empresa

LEMBRETES FINAIS

A reciclagem de resíduos de construção existe, é mais fácil do que muitos imaginam e pode gerar materiais de boa qualidade e adequados a vários serviços.

Praticamente todos os construtores podem adotar a reciclagem em seus canteiros, em menor ou menor grau.

A reciclagem é mais eficiente se casada com sistema racionalizado de separação do entulho.

Pode-se obter benefícios com a reciclagem: ganhos econômicos, melhoria de imagem, de organização das obras e de grau de conscientização dos operários.

ANEXO C

TEXTO PARA USUÁRIOS DE AGREGADO RECICLADO (PROPOSTA DE CONTEÚDO)

O objetivo deste item é sugerir conteúdo de texto informativo para usuários de agregados reciclados em concretos e argamassas. Para finalização e distribuição aos usuários o texto deveria ser criticado, revisado e ter sua linguagem modificada.

O objetivo inicial ao elaborar este item era o de produzir manual de uso do agregado reciclado, nos moldes do produzido por I&T (1995c), dando informações sobre o agregado reciclado e suas aplicações, inclusive condições específicas como ordem de preparação de concretos e argamassas e informações sobre dimensões sobre os elementos construtivos com o reciclado. Entretanto, à medida em que o trabalho desenvolveu-se, tornou-se claro ao autor desta Dissertação que tal produto exigiria projeto específico, e que muitos das recomendações a serem contidas no texto são de conhecimento dos profissionais que utilizam concretos e argamassas (consistência x condições de aplicação; tempos de espera; espessuras de juntas e camadas; outras).

Assim, buscou-se a elaboração de texto que informasse ao leitor sobre as particularidades do reciclado e de compósitos com ele elaborados, e explicitasse alguns dos problemas existentes em sua obtenção e aplicação. Conforme o leitor poderá observar, muitas das recomendações e informações contidas no texto proposto estão apresentadas de outra forma na Dissertação e são aqui colocadas de outra forma, mais adequada ao nível de conhecimento dos profissionais que podem vir a lidar com o agregado reciclado em obras. O texto destina-se a engenheiros, arquitetos, encarregados e outros profissionais da construção com prática de leitura.

DIRETRIZES PARA USO DE AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS E CONCRETOS

1. APRESENTAÇÃO

Os resíduos de construção constituem um problema, causando dificuldades no armazenamento, remoção e destinação. Geralmente são fontes de despesas para construtores e prefeituras. A reciclagem do entulho é uma das formas de lidar com estes materiais, obtendo-se economia de recursos e melhoria do meio ambiente. Através da reciclagem pode-se produzir areia e pedra reciclados que, entretanto, apresentam diferenças com relação aos agregados convencionais: (1) maior absorção de água dos grãos; (2) heterogeneidade na composição; (3) menor resistência mecânica dos grãos.

A maior **absorção** exige cuidados na escolha dos serviços onde o reciclado vai ser aplicado e cuidados no modo de usar o material. A **heterogeneidade** (mudanças na composição) dos resíduos exige cuidados na hora da reciclagem, para obtenção de material uniforme. A **menor resistência mecânica** dos grãos, aliada a outras características, exige cuidados especiais na aplicação do reciclado em concretos, muitas vezes impossibilitando o uso em peças estruturais.

O agregado reciclado pode substituir a areia e a pedra convencionais em muitos serviços. Entretanto, deve-se conhecer as propriedades do material e saber que seu comportamento é diferente dos agregados convencionais em alguns casos, e que por isso deve-se aplicá-lo em serviços em que pode dar bons resultados, com qualidade e segurança. Não se pode esperar que se comporte bem se aplicado em um serviço para o qual não possui as características adequadas. Isto é assim com qualquer material...

Lembrete: os cuidados necessários nas aplicações de concretos e argamassas convencionais devem ser tomados também quando se usa agregado reciclado: (1) verificação das condições da base antes de aplicar o material (limpeza e umidificação); (2) utilização de traços controlados e boa uniformização da mistura; (3) utilização dos compósitos dentro do tempo adequado para o início de pega do cimento; (4) respeito aos os tempos de espera para a execução dos serviços, para permitir a cura das camadas ou elementos executados anteriormente; (5) utilização da menor quantidade de água necessária para obtenção de boa trabalhabilidade; (6) evitar-se que os materiais se contaminem com materiais indesejáveis; (7) utilização de materiais (água, agregados, aglomerantes e aditivos) de boa qualidade e dentro do prazo de validade; (8) observância dos cuidados necessários no lançamento, na cura e no uso dos concretos e argamassas.

2. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS

O termo “agregado reciclado” pode significar materiais de características muito diferentes, conforme o resíduo processado, o equipamento usado e o modo como o material for reciclado. São muitas as opções de composição do material, podendo ser citadas: **1** - agregado obtido a partir de resíduo de concreto sem impurezas; **2** - agregado obtido a partir de resíduo de alvenaria sem impurezas; **3** - agregado obtido a partir de resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas; **4** - agregado obtido a partir de resíduo de alvenaria com presença de

terra e vegetação (este não deve ser usado em concretos e argamassas, porque pode gerar problemas como trincas, perda da resistência etc.).

O tipo **1** é o mais adequado para uso em concretos, mas os outros dois também podem ser usados (o tipo 3 é melhor que o tipo 2). Os tipos **1, 2 e 3** podem ser usados em argamassas, desde que se tomem cuidados.

A seguir são apresentadas algumas informações sobre o agregado reciclado.

Composição – varia conforme região, tipos de obras geradoras dos resíduos etc. Porém, em geral agregados reciclados são compostos por materiais minerais inertes como argamassas, componentes de alvenaria e concretos (argamassas e materiais cerâmicos são predominantes na maior parte dos casos). Dependendo da aplicação prevista pode-se variar os teores dos componentes do reciclado, para que apresente características adequadas.

Granulometria - depende do tipo de resíduo e das características dos equipamentos de reciclagem. Pode ser muito parecida com a de agregados convencionais, dependendo das regulagens dos britadores e do sistema de peneiramento. O reciclado pode ter muito material fino, o que pode ser um problema em algumas aplicações.

Absorção de água - o reciclado apresenta absorção em geral maior que as de agregados convencionais (quanto maior o teor de cerâmicos e de argamassa, maior a absorção). Devido a isto, muitos usuários do material o saturam antes de colocá-lo em contato com os aglomerantes na preparação do concretos e argamassas, pois do contrário o agregado poderá absorver parte da água necessária para a hidratação do cimento, prejudicando a qualidade do compósito.

Teor de contaminantes - a presença de alguns materiais no agregado pode prejudicar a qualidade do concreto ou da argamassa, retardando ou impedindo a pega, diminuindo a resistência mecânica e modificando outras características ligadas à qualidade e à durabilidade.

3. CARACTERÍSTICAS DE CONCRETOS COM RECICLADO

Resistência à compressão - para baixos consumos a resistência do concreto com reciclado pode ser semelhante à do concreto convencional, passando a ser menor à medida em que se aumenta o consumo de cimento. Em geral o uso de reciclados obtidos de resíduos de alvenaria leva à redução da resistência, principalmente para consumos mais altos. O uso de reciclados miúdos também reduz a resistência.

Retração por secagem - concreto com reciclado pode apresentar maior retração que o concreto normal, o que pode causar problemas como trincas e redução da durabilidade.

4. CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS COM RECICLADO

Resistência à compressão - argamassas com reciclado apresentam, de uma maneira geral, resistências à compressão maiores que argamassas convencionais, e quanto maior o teor de materiais cerâmicos, maior a diferença.

Retração por secagem - argamassas com reciclado também podem apresentar maior retração, dependendo da composição, granulometria, teores de impurezas e outras propriedades da areia reciclada, assim como da proporção entre agregados e aglomerantes. Para diminuir a retração em argamassas com reciclado alguns usuários acrescentam areia convencional ao compósito.

5. APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM CONCRETOS

5.1. Informações gerais

Concretos com reciclado apresentam características próprias, com algumas diferenças em relação aos concretos convencionais. De um modo geral, apresentam: (1) menor resistência à compressão; (2) menor massa específica; (3) menor módulo de elasticidade; (4) maior retração por secagem e maior fluência; (5) maior dificuldade de controle tecnológico.

Em função disto podem apresentar menor durabilidade, se aplicados em serviços inadequados. Algumas diretrizes podem ser úteis na escolha dos usos do concreto com reciclado:

- Não usar em concretos com função estrutural (lajes, vigas e pilares), até que o conhecimento sobre esta aplicação esteja sólido e que haja oferta de reciclado de qualidade adequada a este uso;
- Não usar em peças armadas que terão contato com umidade, quando se usar o material em reforços em serviços de construção;
- Não usar o material em concretos que venham a ter contato com umidade, em edificações, exceto em serviços em que isto não venha a trazer problemas;
- Não usar em concretos com função impermeabilizante.

USOS SUGERIDOS PARA CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

- Contrapisos, calçadas externas e similares
- regularização de pisos sem função impermeabilizante;
- Reforços não armados em edificações
- Reforços armados em elementos sem presença de umidade (cintas, vergas se similares)
- Execução de peças de reforço não armadas em muros de vedação
- Regularização de pisos para revestimento cerâmico, preferencialmente em pavimentos não apoiados diretamente sobre o solo
- Lastro para fundação em edificações térreas
- Fabricação de componentes de alvenaria de vedação (tijolos maciços; blocos, meios-blocos e canaletas; outros)
- Fabricação de outros componentes de concreto, não armados:
 - Lajotas de concreto para lajes mistas
 - Tubos e canaletas para drenagem
 - Briquetes e lajotas de pavimentação (para estacionamentos, vias de tráfego de pedestres, ciclistas e motociclistas)
 - Meios-fios, sarjetas e similares para serviços auxiliares de pavimentação
- Fixação de mourões e portões em cercamentos;
- Outros serviços simplificados, não armados.

SUGESTÃO DE VETOS DE USO DE CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

- Concretos com função estrutural: em vigas, lajes (mesmo de forração), pilares etc.;
- Concretos em peças estruturais em fundações de edificações, como blocos, sapatas, brocas e estacas etc.;
- Concreto para fabricação de peças pré-moldadas com função estrutural: componentes para alvenaria estrutural, vigotas para lajes etc.;
- Concretos com função impermeabilizante;
- Concretos armados em serviços com presença de umidade.

5.2. Condições de aplicação e cuidados necessários

Mesmo nas aplicações simplificadas do reciclado há a necessidade de se tomar cuidados que garantam a qualidade dos serviços. O material é heterogêneo e em geral é necessário conhecimento de algumas de suas características antes de sua utilização. É bom conhecer: composição; teor de contaminantes; granulometria; absorção de água.

Deve-se também analisar: (1) se a características do concreto são adequadas ao serviço em que será aplicado; (2) as condições específicas para a execução do serviço (podem ser necessárias mudanças na geometria em função da maior retração por secagem, menor módulo de elasticidade etc., entre outros cuidados).

Cuidados gerais - para melhoria da qualidade do concreto com reciclado sugere-se que se determine a melhor mistura de agregados graúdos e miúdos, reciclados ou convencionais, para o uso pretendido. Esta determinação pode ser realizada variando-se os teores dos materiais e identificando-se com qual mistura obtém-se maior massa unitária.

Uso da parcela miúda do agregado reciclado - o uso da parcela miúda pode prejudicar um pouco propriedades como resistência mecânica, retração e outras. Porém, nas aplicações sugeridas neste texto os danos da parcela miúda não teriam, a princípio, tanta importância. Entretanto, em alguns casos pode ser recomendável o uso da parcela graúda apenas (aplicações em que a durabilidade seja muito importante ou em condições de exposição muito desfavoráveis). Nas aplicações iniciais do reciclado em concreto estrutural, se ocorrerem, pode ser prudente eliminação da parcela miúda, total ou parcialmente.

Quantidade de água e controle tecnológico - a absorção do reciclado pode dificultar o uso em concreto. O agregado pode retirar água da pasta, influenciando negativamente na hidratação do cimento. Por isso, o controle tecnológico do concreto deve ser realizado pelo consumo de cimento e pelo abatimento, não sendo utilizada a relação água/cimento como parâmetro. Se for possível, pode-se monitorar a resistência à compressão, também. Para evitar problemas é recomendável que se utilize o agregado na condição pré-saturado (entretanto, há controvérsias sobre a necessidade da pré-umidificação). Uma das opções para a pré-umidificação é levar o material ao misturador e adicionar água necessária para sua saturação, deixando os materiais em contato por pelo menos 5 minutos. Este tempo compreende etapas de contato água-agregado e o tempo de

misturação do concreto. O tempo mínimo de contato água-agregado (sem presença de outros materiais), deverá ser de 2 minutos.

Consistência - considerando-se que o concreto com reciclado será utilizado em substituição aos concretos convencionais em serviços de construção, deve-se utilizar abatimentos iguais aos dos concretos convencionais. Deve-se utilizar a menor quantidade de água necessária para obter-se abatimento e coesão adequados.

TABELA 108 - Condições gerais para aplicação de reciclado em concreto para fabricação de pré-moldados (I&T, 1995c).

Aplicação	Granulometria máxima (mm)	Traço em massa (cim/agreg.)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Guias (meio-fio)	25	1 : 4,5	300
Bocas de lobo	25	1 : 4,5	300
Sarjetas	25	1 : 4,5	300
Lajotas de pavimentação	12,5	1 : 4,5	300
Sarjetão	25	1 : 4,5	300
Mourões	12,5	1 : 6	250
Blocos comuns	12,5	1 : 10,5	150
Briquetes	12,5	1 : 4,5	300
Tubos e canaletas	12,5	1 : 4,5	300

6. APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS

6.1. Informações gerais

Argamassas com reciclado apresentam boa resistência mecânica, boa trabalhabilidade e boa aderência aos substratos, embora em alguns casos possam apresentar problemas, dependendo do traço utilizado e da qualidade do reciclado. Pode-se usar menos cal e cimento para conseguir as mesmas resistências de argamassas convencionais, em alguns casos. Entretanto ainda faltam muitas informações sobre este uso para que se possa aplicar o material com segurança, e por isso são necessários cuidados especiais nas utilizações. Algumas diretrizes podem ser úteis na escolha dos usos de argamassas com reciclado:

- Não aplicar em serviços com função impermeabilizante
- Não usar em alvenaria estrutural
- Não usar em revestimentos sujeitos a umidade
- Evitar usos externos, principalmente em superfícies sujeitas a umidade
- Evitar uso em reboco e camadas finais de revestimentos
- Evitar o uso como chapisco
- Não usar para assentamento de revestimentos cerâmicos

USOS SUGERIDOS PARA ARGAMASSAS COM AGREGADOS RECICLADOS

- Assentamento de componentes em alvenaria não estrutural, preferencialmente em locais não sujeitos a presença significativa de umidade;
- Emboço interno de paredes e tetos (evitando-se uso em ambientes com presença de umidade como banheiros e áreas de serviço);
- Camadas de regularização de pisos em ambientes não sujeitos a umidade;
- Piso em argamassa em ambientes não sujeitos a umidade.

6.2. Condições de aplicação e cuidados necessários

Nas aplicações de reciclado em argamassas há a necessidade de se tomar cuidados que garantam a qualidade dos serviços. O material é heterogêneo e em geral é necessário conhecimento de algumas de suas características antes de sua utilização. É bom conhecer: composição; teor de contaminantes; granulometria e conteúdo de finos; absorção de água.

Deve-se também analisar: (1) se a características da argamassa são adequadas às solicitações do serviço em que será aplicada; (2) as condições específicas para a execução do serviço.

Para uso do reciclado em argamassas é desejável que se analisem pelo menos as seguintes propriedades da argamassa: (1) composição; (2) trabalhabilidade (consistência; plasticidade; coesão; aderência); (3) consumo de agregados e aglomerantes; (3) resistência à compressão e à tração; (4) retração por secagem. Infelizmente é muito difícil a recomendação de traços a serem utilizados nos diversos serviços, pois isto depende das condições particulares de cada obra e da obtenção de informações mais aprofundadas sobre argamassas com reciclado.

Uso conjugado de agregado reciclado e areia convencional

É necessário avaliar se é viável a aplicação do reciclado como único agregado nas argamassas, pois isto pode levar a patologias como retração por secagem, em alguns casos. Deve-se determinar o traço ideal que consuma a maior quantidade do reciclado e garanta a qualidade dos serviços. Para que se possa aplicar o material com segurança pode ser benéfica a adoção de alguns cuidados:

- Avaliação de algumas características do reciclado como presença de cerâmicos, teor de impurezas, teor de finos
- Homogeneização rigorosa dos resíduos a utilizar e realização de misturas experimentais do reciclado com aglomerantes (cal e cimento)
- Execução de pequenos trechos de revestimentos em paredes para análise do comportamento das argamassas quanto a: (1) facilidade de preparação e aplicação (consistência, plasticidade, coesão, aderência); (2) ganho de resistência; (3) surgimento de fissuras devidas a retração por secagem; (4) aderência; (5) resistência mecânica (compressão, tração, abrasão); (6) absorção de água e estanqueidade; (7) tolerância a variações térmicas - (os itens avaliados e a profundidade da avaliação dependerá das condições específicas de cada usuário);
- Verificada a ocorrência de patologias e concluído que sua origem é o uso exclusivo do material como agregado, pode-se realizar os mesmos estudos com argamassas contendo teores variáveis de areia convencional até a determinação do traço ideal (que alie o maior consumo do reciclado e o menor consumo de aglomerantes, com qualidade no serviço).