

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DE ACORDO COM A
RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 307/02 – ESTUDO DE
CASO PARA UM CONJUNTO DE OBRAS DE
PEQUENO PORTE

Alex Fabiane Fares da Silva

Belo Horizonte

2007

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DE ACORDO COM A
RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 307/02 – ESTUDO DE
CASO PARA UM CONJUNTO DE OBRAS DE
PEQUENO PORTE**

Alex Fabiane Fares da Silva

Alex Fabiane Fares da Silva

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DE ACORDO COM A
RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 307/02 – ESTUDO DE
CASO PARA UM CONJUNTO DE OBRAS DE
PEQUENO PORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Reciclagem, Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos Industriais

Orientador: Professor Gustavo Ferreira Simões

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2007

S536g Silva, Alex Fabiane Fares da
Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução
Conama nº 307/02 [manuscrito] : estudo de caso para um conjunto de obras de
pequeno porte / Alex Fabiane Fares de Silva .— 2007.
x, 102 f. , enc. : il.

Orientador: Gustavo Ferreira Simões

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Indústria da construção civil – Aspectos ambientais - Teses. 2. Resíduos
industriais – Teses. 3. Meio ambiente – Teses. I. Simões, Gustavo Ferreira. II.
Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628.4(043)

Ficha elaborada pelo Processamento Técnico da Biblioteca da EE/UFMG

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

Ao meu pai Francisco Assis da Silva e
à minha mãe Sara Angela Nogueira Fares da Silva,
responsáveis pela alegria de viver!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela benção de poder ter uma vida maravilhosa.

Aos meus queridos pais Assis e Sara, pelo exemplo, dedicação, carinho, presença e incentivo em todos os momentos da minha vida. Amo vocês!

Às minhas irmãs Georgia, Paula e Edilene, pelos grandes momentos de alegria e pela admiração que sempre me serviu como um grande estímulo para alcançar novas vitórias.

À minha querida esposa Luciana, pela ajuda, compreensão, paciência, pelo grande amor que recebo todos os dias e por me presentear com nossos lindos filhos, Bruna e Henrique.

Ao grande professor e orientador Gustavo Ferreira Simões, pela coragem de enfrentar novos desafios, pela amizade, empenho, competência e interesse em todas as etapas desta nossa dissertação.

À professora Liséte Celina Lange pelo incentivo no início desta jornada.

A todos os funcionários, empresas e proprietários das obras que tanto colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

No Brasil e no exterior, a indústria da construção civil se destaca como a maior consumidora de recursos naturais e a maior geradora de resíduos. A sua disposição final fica mais complicada a cada dia, devido aos elevados custos com transporte e à dificuldade na escolha de áreas que atendam aos requisitos ambientais.

Devido a essa situação, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a Resolução CONAMA nº. 307, publicada em 2002, que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, atribuindo aos municípios e aos grandes geradores a responsabilidade de segregar e dispor seus resíduos de acordo com uma classificação sugerida.

Conforme dados pesquisados, a maior parte dos resíduos da construção civil gerados diariamente no Brasil, provêm de eventos informais: pequenas obras de construção, reformas e demolições. Sendo assim, os pequenos geradores se tornam responsáveis pela maior parcela dos resíduos gerados.

Em função disso, o presente trabalho vem relatar os resultados obtidos com a implantação das diretrizes desta resolução em um conjunto de obras de pequeno porte na região de Belo Horizonte (MG). Foram escolhidas três construções novas (residencial, comercial e industrial) e uma obra de reforma. Todas elas foram monitoradas e, além da quantificação dos insumos e dos resíduos gerados, foram obtidos índices que podem ser utilizados na gestão de obras do mesmo tipo. Também foi apurado o custo de todas as etapas do gerenciamento.

Os estudos realizados mostraram uma grande diferença na quantidade de resíduos gerados entre a reforma (684 kg/m^2) e as construções novas (média de $97,75 \text{ kg/m}^2$). A sua segregação no momento da geração proporcionou uma melhoria na organização, nas condições de higiene e segurança do trabalho, e facilitou a sua reciclagem e a correta disposição final. Pode-se destacar ainda a possibilidade de reaproveitamento de resíduos na própria obra, o baixo custo do seu gerenciamento (média de 0,22% para as construções novas) e o fato desta gestão não ter alterado o cronograma físico das obras estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos de construção e demolição, gerenciamento, reciclagem.

ABSTRACT

In Brazil and abroad, the construction sector is well known as the largest user of natural resources and the largest producer of waste. The waste disposal becomes more difficult each day due to the high costs of transportation and also to the difficulty in finding areas which can achieve environmental requirements.

In this context, the Brazilian National Environmental Committee (Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA), published in 2002 the CONAMA Resolution 307, establishing guidelines, criteria and procedures for the management of the waste generated by civil construction, assigning to the municipalities and to the large producers the responsibility to separate and dispose their waste in accordance with a suggested classification.

According to research data, the largest proportion of civil construction wastes produced daily in Brazil comes from informal sites, involving small constructions, refurbishment and demolition activities. This way the small producers become responsible for the largest proportion of the waste generated.

In this context, this research describes the results of the implementation of the mentioned resolution guidelines in a group of small construction sites in the area of Belo Horizonte, Minas Gerais (Brazil). Three new construction sites (residential, commercial and industrial) and a refurbishment site were chosen. They were monitored and, beyond the measurement of the input materials and the waste produced, indexes, which can be used in similar construction sites, were developed. The costs of each management phase were also obtained.

The research conducted showed a large difference in the amount of waste produced in refurbishment (684 kg/m²) and new construction sites (average of 97,75 kg/m²). Its segregation at the production point allowed an improvement in organisation, hygiene conditions and occupational safety, as well as a simpler recycling and appropriate final disposal. It can also be highlighted the potential reuse of the waste in the construction sites, the low cost of its management (average of 0,22% to new construction activities) and the fact that such management activities did not change the physical timeline of the construction sites assessed.

KEY WORDS: construction and demolition wastes, management, recycling.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO.....	5
3.1.1 <i>O Desenvolvimento Desbravador</i>	5
3.1.2 <i>O Desenvolvimento Sustentável</i>	7
3.1.3 <i>A Construção Civil e o Desenvolvimento Sustentável</i>	9
3.2 O RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	10
3.2.1 <i>Caracterização e origem</i>	10
3.2.2 <i>Impacto dos RCD nos ambientes urbanos</i>	15
3.2.3 <i>Minimização do RCD e redução de perdas de materiais</i>	21
3.2.4 <i>A Legislação brasileira do RCD</i>	27
3.2.5 <i>Resolução CONAMA n.º. 307</i>	30
3.2.6 <i>Reciclagem do RCD</i>	33
3.2.7 <i>Vantagens ambientais da reciclagem de RCD</i>	41
3.2.8 <i>Impactos da reciclagem</i>	43
3.3 AGREGADO RECICLADO	44
3.3.1 <i>Características</i>	44
3.3.2 <i>Processos de produção</i>	45
3.3.3 <i>Resíduos contaminados</i>	47
3.3.4 <i>Utilização</i>	48
3.4 GESTÃO AMBIENTAL DO RCD NO BRASIL	54
3.4.1 <i>Gestão Corretiva</i>	54
3.4.2 <i>Gestão Diferenciada do RCD</i>	56
4 MATERIAIS E MÉTODOS	66
4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	66
4.1.1 <i>Obra comercial</i>	67
4.1.2 <i>Obra industrial</i>	68
4.1.3 <i>Obra residencial</i>	69
4.1.4 <i>Reforma</i>	70
4.2 IMPLANTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DA RESOLUÇÃO	71
4.2.1 <i>Autorização dos proprietários / responsáveis pelas obras</i>	71
4.2.2 <i>Exposição da Resolução aos empreiteiros</i>	72
4.2.3 <i>Determinação dos locais para acondicionamento dos resíduos</i>	73
4.3 ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS	74
4.3.1 <i>Quantificação dos insumos</i>	74
4.3.2 <i>Quantificação dos resíduos gerados</i>	75
4.3.3 <i>Determinação do custo do gerenciamento</i>	75
5 RESULTADOS	76
5.1 OBRA COMERCIAL.....	76
5.2 OBRA INDUSTRIAL	79
5.3 OBRA RESIDENCIAL.....	82
5.4 OBRA DE REFORMA	85

5.5	ÍNDICES OBTIDOS NAS OBRAS AVALIADAS.....	89
5.6	REPRESENTATIVIDADE DO VALOR DA MÃO DE OBRA NO CUSTO DO GERENCIAMENTO	90
5.7	REPRESENTATIVIDADE DOS RESÍDUOS CLASSE A	90
6	CONCLUSÕES.....	93
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices médios de perdas de materiais na construção civil	12
Tabela 2 – Geração de rcd em obras de edifícios de apartamentos	14
Tabela 3 – Perdas de materiais em processos construtivos convencionais conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores.....	24
Tabela 4 – Obras executadas em países europeus com a utilização do agregado reciclado	38
Tabela 5 – Custo da gestão corretiva em alguns municípios brasileiros	55
Tabela 6 – Representatividade do RCD na massa de resíduos sólidos recebidos pela SLU-BH	61
Tabela 7 – Insumos (materiais) da obra comercial	77
Tabela 8 – Resíduos gerados na obra comercial.....	78
Tabela 9 – Custo do gerenciamento na obra comercial.....	79
Tabela 10 – Insumos (materiais) da obra industrial	80
Tabela 11 – Resíduos gerados na obra industrial.....	81
Tabela 12 – Custo do gerenciamento na obra industrial.....	82
Tabela 13 – Insumos (materiais) da obra residencial	83
Tabela 14 – Resíduos gerados na obra residencial.....	84
Tabela 15 – Custo do gerenciamento na obra residencial.....	85
Tabela 16 – Insumos (materiais) da obra de reforma	87
Tabela 17 – Resíduos gerados na obra de reforma.....	87
Tabela 18 – Custo do gerenciamento na obra de reforma.....	88
Tabela 19 – Índices de resíduos gerados / m ² construído	89
Tabela 20 – Índices de resíduos gerados / insumos (materiais).....	89
Tabela 21 – Custo do gerenciamento / custo da obra	89
Tabela 22 – Representatividade dos resíduos classe A	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição média dos entulhos depositados no aterro de Itatinga/SP	14
Figura 2 – Comprometimento de tráfego de veículos pela disposição irregular de rcd em São Paulo	19
Figura 3 – Impactos por disposição irregular em Diadema/SP	20
Figura 4 – Obstrução do córrego dos meninos entre Santo André e São Bernardo/SP	20
Figura 5 – URPV – unidade de recebimento de pequenos volumes	62
Figura 6 – Estação de reciclagem do bairro Estoril – Belo Horizonte	63
Figura 7 – Utilização do agregado reciclado na preparação de vias internas do aterro municipal de Belo Horizonte	64
Figura 8 – Galpão do brecho da construção	65
Figura 9 – Planta baixa da obra comercial	68
Figura 10 – Planta baixa da obra industrial	69
Figura 11 – Planta baixa da obra residencial	70
Figura 12 – Planta baixa da obra de reforma	71
Figura 13 – Segregação de resíduos da obra industrial.....	73
Figura 14 – Pesagem de caçamba com entulho	75
Figura 15 – Obra comercial	76
Figura 16 – Medição dos resíduos de madeira da obra comercial.....	78
Figura 17 – Obra industrial	80
Figura 18 - Medição dos resíduos de madeira da obra industrial.....	81
Figura 19 – Obra residencial	82
Figura 20 - Medição dos resíduos de plástico da obra residencial.....	84
Figura 21 – Obra de reforma (sanitários)	86
Figura 22 – Obra de reforma (mictórios)	86
Figura 23 - Medição dos resíduos de papel/papelão da obra de reforma.....	88
Figura 24 – Representatividade da mão de obra no custo do gerenciamento	90
Figura 25 – Representatividade dos resíduos classe A (RCA).....	91

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CUR	Centro de Normas e Pesquisas em Engenharia (Holanda)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S A
EEA	Agencia Ambiental Européia
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Recursos e Projetos
hab.	Habitantes
I&T	Informações e Técnicas em Construção Civil
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
ITQC	Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LEV	Local de Entrega Voluntária
ONU	Organização das Nações Unidas
PBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RCA	Resíduos Classe A
RCC	Resíduos da Construção Civil

RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SICEPOT-MG	Sindicato da Indústria da Construção Pesada de MG
SINDUSCON-MG	Sindicato da Indústria da Construção Civil de MG
SLU-BH	Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte
URPV	Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes

1 INTRODUÇÃO

Durante um bom tempo a sociedade se comportou como se a quantidade de recursos naturais disponíveis fosse infinita e como se a natureza fosse capaz de absorver ilimitadas quantidades de resíduos. Porém, a partir do momento em que começaram a surgir efeitos das alterações do meio ambiente sobre o homem, iniciou-se uma crescente regulamentação ambiental com o objetivo de controlar a poluição ambiental, visando o desenvolvimento sustentável.

Uma boa parte dos resíduos sólidos gerados é constituída por resíduos de construção e demolição (RCD) ou resíduos da construção civil (RCC). A indústria da construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social e, por outro lado, comporta-se ainda como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos.

Estima-se que a construção civil utilize entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. No caso da madeira, cerca de 50% da quantidade extraída no mundo é consumida como material de construção (JOHN, 2000).

Estudo de Pinto (1999) estimou que, nas grandes cidades brasileiras, as atividades de canteiros de obra são responsáveis pela geração de 50% dos RCD, enquanto que as atividades de manutenção e demolição são responsáveis pela outra metade. Segundo o autor, os RCD representam entre 41 e 70% de todo resíduo sólido municipal, aproximando-se de 450 kg/hab.ano. Já nos EUA, considerando-se somente as atividades de construção civil, 48% dos resíduos são provenientes de atividades de demolição, 44% de atividades de reforma e recuperação e somente 8% de atividades de construção. Do total de resíduos gerados, 33% são provenientes de demolições não residenciais (EPA, 1998).

Dados nacionais revelam que, para cada tonelada de resíduo sólido urbano recolhido, são coletadas 2 toneladas de entulho proveniente da atividade de construção civil (BIDONE *et al.*, 2001). Uma parte destes resíduos é proveniente de perdas na execução das obras. Há alguns anos não havia quaisquer indicadores para essas ocorrências. Segundo Pinto (1995), para a construção empresarial o índice de perda se situa entre 20 e 30% da massa total de materiais, dependendo do patamar tecnológico do construtor.

Índices elevados de geração de RCD e de disposições irregulares motivaram alguns setores da sociedade a buscar novas alternativas para o gerenciamento dos resíduos e sua reciclagem tornou-se fundamental para implementar um modelo de desenvolvimento sustentável, capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência das gerações futuras. Ademais, a reciclagem de resíduos resultará em uma maior oferta de produtos alternativos para uma mesma função e, possivelmente, de soluções mais adequadas para situações específicas, com ganhos de eficiência geral do processo (JOHN, 2000).

Surgiram algumas ferramentas de políticas públicas direcionadas para a fase de planejamento da obra. Em alguns países houve a introdução de instrumentos regulatórios ou econômicos nessa área. O uso de instrumentos econômicos permite que se possa atuar de forma preventiva e indutora. Os tributos ou incentivos apresentam uma dupla vantagem: induzem comportamentos adequados à preservação e conservação do ambiente e minimizam as atividades relativas ao exercício do poder de fiscalização.

No Brasil, quase todos os municípios afetados pelos problemas com o RCD adotaram apenas medidas emergenciais, nas quais os gestores ficam como coadjuvantes dos problemas. Esse conjunto de medidas, denominado “gestão corretiva”, engloba atividades não preventivas, repetitivas e com elevados custos, que não têm muitos resultados positivos caracterizando o gerenciamento ineficiente.

Alguns municípios adotaram novas políticas, estruturadas em estratégias sustentáveis e integradas com a administração municipal e a sociedade civil. Essa “gestão diferenciada” busca a captação máxima de RCD, a reciclagem dos resíduos captados e a alteração cultural dos procedimentos quanto à intensidade da geração, à correção da coleta e disposição final e à possibilidade de reutilização dos resíduos reciclados.

Dentro dessa política, várias usinas de reciclagem de entulho foram instaladas e vários programas de gerenciamento preventivo foram implantados. Bons resultados foram obtidos nas cidades de São José do Rio Preto, São José dos Campos, Ribeirão Preto, Salvador e Belo Horizonte, entre outras.

No Brasil, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) com a Resolução nº. 307, de 05 de Julho de 2002 estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD. Essa resolução atribuiu aos geradores a responsabilidade pelos resíduos gerados e a

Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG 2

obrigatoriedade de segregar e dispor os resíduos de acordo com uma classificação sugerida, e proibiu a disposição de RCD em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de bota-fora.

Essa resolução foi direcionada para os municípios e os grandes geradores. Os municípios e o Distrito Federal ficaram responsáveis pela elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Ficaram incorporados neste plano o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, de responsabilidade dos Municípios e voltados para os pequenos geradores, e o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Este último, de responsabilidade dos grandes geradores e fiscalizados pelos municípios e órgãos competentes.

Segundo Pinto (2005), o consumo de materiais pela construção civil nas cidades é pulverizado e cerca de 75% dos resíduos RCD gerados nos municípios provêm de eventos informais, caracterizados por pequenas obras de construção, reformas e demolição, geralmente realizadas pelo próprio usuário dos imóveis.

O objetivo deste trabalho é estudar essa parcela de pequenos geradores, que geram a maior parte dos RCD no Brasil, implantando as diretrizes e os procedimentos da resolução citada acima. Foram escolhidas, na região de Belo Horizonte, pequenas obras de tipos diferentes: três construções novas (residencial, comercial e industrial) e uma reforma. Foram avaliados os custos e as dificuldades encontradas em todas as etapas do gerenciamento. Com o resultado espera-se identificar a contribuição dos fatores culturais e financeiros ao fato da maioria das obras não gerenciar os seus resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Avaliar os resultados obtidos com a implantação da Resolução CONAMA nº. 307 em um conjunto de obras de pequeno porte na região de Belo Horizonte, MG.

2.2 *Objetivos específicos*

- Acompanhar todas as etapas de construção de um conjunto de obras e quantificar o custo para o gerenciamento dos resíduos, avaliando se houve alteração no cronograma físico, ou seja, se houve acréscimo de tempo de execução.
- Comparar o custo do gerenciamento com o custo final das obras avaliadas;
- Quantificar os resíduos gerados no conjunto de obras e definir de índices de geração que possam ser utilizados em obras do mesmo porte.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Histórico do desenvolvimento*

3.1.1 O Desenvolvimento Desbravador

O desenvolvimento econômico significou, por muito tempo, a transformação da natureza de maneira a melhorar a qualidade de vida da parcela da população beneficiada. Dentro desta sociedade a função da construção civil é a transformação do ambiente natural no ambiente construído, adequado ao desenvolvimento das mais diversas atividades. Essa sociedade passou a ser alimentada pelo paradigma “desbravador”, segundo o qual existe uma contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento. A defesa do meio ambiente tornou-se antidesenvolvimentista (LIDDLE, 1994 apud JOHN, 2000).

De acordo com essa idéia, considerou-se que a quantidade de recursos naturais disponíveis era infinita e que a natureza seria capaz de absorver quantidades ilimitadas de resíduos. Estava criado o modelo de produção chamado de “modelo linear”. Nesse modelo a única preocupação era a produção. Não havia uma preocupação de como era produzido, nem com os resíduos que essa produção gerava. Esses produtos após sua vida útil, juntamente com seus resíduos do processo de produção, ficavam acumulados no meio ambiente (JOHN, 2000).

Avaliando apenas o desenvolvimento econômico, o modelo linear funcionou. A economia mundial quintuplicou de tamanho entre 1950 e 1999. Paralelamente, a população cresceu de pouco mais de 2,5 bilhões para quase 6 bilhões no mesmo período de tempo (PNUMA, 1999).

Devido a este crescimento desordenado a natureza começou a dar sinais que esse modelo não seria o ideal, com o aparecimento de vários impactos ambientais (JOHN, 2000):

- **Poluição do Ar e das Águas**

Com a industrialização, esses dois ambientes foram os primeiros a serem atingidos pelos excessivos descartes de resíduos dos processos.

- **Aquecimento Global**

O aquecimento global, também conhecido como efeito estufa, é resultado do acúmulo de gases capazes de absorver radiação infravermelha da atmosfera (PNUMA, 1999). O

CO₂ é considerado o principal gás do efeito estufa, mas outros gases como o metano, CFC's (cloro-fluor-carbono), ozônio e os aerossóis também contribuem para o aquecimento. A produção de CO₂ e o crescimento de sua concentração na atmosfera é produto principalmente da queima de combustíveis fósseis que vem crescendo de forma exponencial, aliada com a redução da área de florestas. Mais da metade do crescimento da concentração do CO₂ na atmosfera ocorreu nos últimos 40 anos.

Dentre dos prováveis efeitos do aquecimento global, dois têm interesse mais próximo da construção civil: a dissolução da calota polar que levará a um aumento do nível dos oceanos e o aumento da velocidade máxima dos ventos.

- **Consumo de energia**

O efeito do consumo de energia no aquecimento global é um dos motivos mais importantes para as políticas de redução do consumo de energia devido à utilização de termelétricas. Em 1995, cerca de 62% da energia elétrica mundial era gerada por essas usinas.

- **Destruição da camada de ozônio**

A destruição da camada de ozônio na estratosfera provoca um aumento da radiação UV-B expondo as pessoas ao aumento da probabilidade de desenvolver câncer de pele. Esta destruição ocorre por um conjunto de gases denominados carbonohalogenados, contendo carbono, cloro e flúor. O exemplo mais conhecido são os CFC's que são gases utilizados em refrigeradores e como propelentes em aerossóis.

- **Consumo de matérias-primas não renováveis**

O consumo de matérias-primas naturais cresce na mesma medida do crescimento da economia e da população. Países industrializados, como a Alemanha, Japão e Estados Unidos consomem entre 45 e 85 t/hab.ano de matérias-primas naturais, sem considerar água e ar.

As reservas de muitos materiais já começam a ficar escassas principalmente junto aos grandes centros. Além do risco do esgotamento das reservas naturais, a atividade extrativa destrói a paisagem e prejudica a flora e a fauna.

- **Geração de resíduos**

O volume de resíduos gerados se torna um outro problema. Na Europa a geração de lixo doméstico ou lixo sólido municipal varia entre 296 e 631 kg/hab.ano

(FRANGIPANE *et al*, 1999 citado por JOHN, 2000). No Brasil, segundo Azevedo *et. al* (2006) a produção *per capita* de resíduos sólidos municipais é de 0,73 kg/hab.dia.

Um dos problemas que agrava a questão do volume dos resíduos é o encarecimento dos processos de tratamento e disposição, principalmente dos resíduos perigosos. Esse encarecimento é devido a dois fatores principais: maior concentração em torno das grandes cidades, onde as áreas para disposição são escassas e existe a recusa da população em aceitar um depósito de lixo em sua vizinhança e as crescentes exigências técnicas para tratamento e disposição (I&T, 1990).

3.1.2 O Desenvolvimento Sustentável

Os avanços na compreensão científica do funcionamento do planeta permitiram verificar a não sustentabilidade do modelo linear de produção e a visão de desenvolvimento sustentável surge como decorrência da percepção sobre a incapacidade desse modelo de desenvolvimento e de preservação ambiental se perpetuar, e até mesmo garantir a sobrevivência da espécie humana (CARNEIRO *et al.*, 2001).

A partir da percepção dos efeitos das alterações do meio ambiente sobre o homem, a natureza passa a ser vista como tendo um valor em si e estabelecem-se limites para a poluição gerada no processo de produção. A preservação ambiental passa a ser vista, principalmente, como a proteção ao meio ambiente (flora e fauna) natural. O desenvolvimento, algo contraditório à preservação ambiental, se torna um mal necessário (JOHN, 2000).

A consolidação desse paradigma na sociedade levou a uma crescente regulamentação ambiental visando o controle da poluição e ações mais amplas de proteção à natureza. A preocupação com a disposição de resíduos, industriais ou de pós-consumo, concentra-se principalmente no desenvolvimento de técnicas adequadas e de remediação de locais e cursos de água contaminados por poluentes. Trata-se de uma visão de melhoria da qualidade ambiental como resultado do controle. Fundamentalmente a forma de produção linear não é questionada. Praticamente todos os processos industriais são considerados aceitáveis, desde que os índices de poluição estejam dentro dos limites estabelecidos. Esses limites levaram ao surgimento da engenharia *end-of-pipe* (LINDSEY & CAMPBELL, 1991 apud JOHN, 2000), especializada no tratamento de resíduos.

Nesta abordagem as atividades da construção civil ainda não sofrem controle, exceto ao que toca ao ruído e à disposição final dos resíduos. Assim, para a construção civil essa nova forma de ver o mundo significou oportunidades de negócios com a construção de aterros sanitários e estações de tratamento (LIDDLE, 1994 apud JOHN, 2000). O início da preocupação ambiental como resultados das atividades da construção civil foi resultado da crise de energia da década de 1970, que levou os países de clima frio a regulamentar as tecnologias construtivas de forma a permitir uma redução no consumo energético na fase de uso dos edifícios (KILBERT, 1994 apud JOHN, 2000).

A formulação do conceito de desenvolvimento sustentável é geralmente atribuída a Bruntland Commission (Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento) da Organização das Nações Unidas (ONU), que produziu o relatório denominado “Nosso Futuro Comum”, em 1983. No entanto esse documento é resultado evolutivo de uma série de trabalhos internacionais anteriores como a Conferência de Estocolmo, da ONU, em 1982, e do Clube de Roma, que publicou em 1980 o texto “Limites do Crescimento” (HILL *et al*, 1994 apud JOHN, 2000).

A Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (Rio/92) consolida, através da AGENDA 21, a visão de que o desenvolvimento sustentável não apenas demanda a preservação dos recursos naturais de maneira a garantir para as gerações futuras iguais condições de desenvolvimento – igualdade entre gerações – mas também uma maior equidade no acesso aos benefícios do desenvolvimento – a igualdade intrageração. (ONU, 1992).

A preservação da natureza vai exigir uma reformulação mais ampla dos processos produtivos e de consumo. Isso implica em uma reformulação radical da visão de impacto ambiental das atividades humanas, que passa também a incorporar todos os impactos das atividades de produção e de consumo, desde a extração da matéria prima, os processos industriais, o transporte e o destino dos resíduos de produção, e também, o do produto após sua utilização. (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Assim, desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele que permite atender as necessidades básicas de toda população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. Dessa forma, o paradigma do desenvolvimento

sustentável vai implicar na produção de uma maior quantidade de bens com uma menor quantidade de recursos naturais e poluição. O desenvolvimento sustentável vai exigir a desvinculação entre o desenvolvimento (crescimento) e a geração de impactos ambientais.

Várias ações devem ser tomadas nesse sentido: redução no consumo de matérias primas, redução e reciclagem de resíduos, aperfeiçoamento dos projetos, substituição dos materiais tradicionais por outros mais eficientes e duráveis, redução no consumo de energia e redução global da poluição gerada (resíduos). Essas ações devem ocorrer tanto no nível macro (global) quanto no micro (consumidores individuais).

Os desafios dessa nova visão de desenvolvimento são, simultaneamente, o crescimento econômico com a preservação da natureza e justiça social. Dessa forma, a proteção ambiental deixa de ser preocupação apenas de ambientalistas e funcionários de órgãos ambientais e entra no mundo dos negócios.

3.1.3 A Construção Civil e o Desenvolvimento Sustentável

Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações (CARNEIRO *et al.*, 2001).

A cadeia produtiva da construção civil também denominada *construbusiness*, apresenta importantes impactos ambientais em todas as suas etapas: extração de matérias-primas, produção de materiais, construção, uso e demolição. No Brasil o setor da construção civil corresponde a 14,8% do PIB brasileiro (SCHNEIDER, 2003).

Este tamanho reflete o papel gigantesco que o setor tem em proporcionar um ambiente construído adequado para o homem e suas complexas atividades econômicas. A construção civil está presente em todas as regiões do planeta ocupadas pelo homem. Qualquer sociedade preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade (JOHN, 2000).

A redução do impacto ambiental da construção civil é tarefa complexa, sendo necessário agir em várias frentes de maneira combinada e simultânea (KILBERT, 1994 apud CARNEIRO *et al.*, 2001):

- procurar minimizar o consumo e maximizar a reutilização de recursos;
- usar recursos renováveis ou recicláveis;

- proteger o meio ambiente;
- criar um ambiente saudável e não tóxico;
- buscar a qualidade na criação do ambiente construído.

3.2 O Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

3.2.1 Caracterização e origem

Os RCD são todos os resíduos provenientes de qualquer etapa de uma obra de construção civil: construções, reformas, reparos ou demolições. Se forem provenientes de obras de demolição, são classificados como resíduos de demolição e, se forem provenientes de obras de construção, reforma ou reparos, são classificados como resíduos de construção (TCHOBANOGLOUS, 1997 apud MARQUES NETO, 2005).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os resíduos da construção civil na classe II b – Inertes – e os define como :

“Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez, e sabor. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente” (ABNT, 1998).

Porém, a melhor definição a ser adotada deve ser a apresentada pela Resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), pelo fato de ter força de lei e prazo para ser implementada. Esta resolução define resíduos de construção civil como sendo os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.

O RCD, ou simplesmente entulho, possui características bastante peculiares. Por ser produzido num setor onde existem diferentes técnicas e metodologias de produção e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente, características como composição e quantidade produzida dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria de

construção local e da fase da obra (fundação, estrutura, alvenaria ou acabamento). Dessa forma, a caracterização média deste resíduo está condicionada a parâmetros específicos da região geradora do resíduo analisado (ZORDAN, 1997).

O entulho se apresenta na forma sólida, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares: pedaços de madeira, argamassas, concretos, plástico, metais etc. Por esse motivo, o entulho pode ser o mais heterogêneo dentre todos os resíduos industriais (ZORDAN, 1998).

Sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes e é basicamente composto por (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- concretos: todo material composto pela mistura de areia, cimento e pedra cuja identificação é possível. Apresentam alto potencial de reciclagem;
- argamassas: toda parcela constituída por areia e um material aglutinante (cimento ou cal) e sem a presença de agregados graúdos (brita ou pedrisco). Também apresentam alto potencial de reciclagem;
- pedras: fragmento de rocha ainda sem uso ou que já fez parte de concreto, portanto, ligado a uma argamassa, sem, no entanto, estar unido com outra pedra. Em princípio, apresentam na sua totalidade bom potencial para reciclagem;
- cerâmica: todo material cerâmico não esmaltado, constituído basicamente por telhas, lajotas e tijolos cerâmicos, que apresentam também alto potencial de utilização, sem necessitar de processo sofisticado de tratamento;
- cerâmica esmaltada: materiais cerâmicos de acabamento com pelo menos uma das faces polidas, como azulejos, pisos cerâmicos vitrificados, ladrilhos, manilhas e outros;
- solos, areia e argila, que podem ser facilmente separados dos outros materiais por peneiramento;
- asfalto: material com alto potencial de reciclagem em obras viárias;
- metais ferrosos: recicláveis pelo setor de metalurgia;
- madeiras: material apenas parcialmente reciclável, sendo que madeiras com proteção impermeabilizante ou pinturas devem ser consideradas como material poluente e tratadas como resíduos químicos perigosos devido ao risco de contaminação;

- outros materiais (plástico, borracha, papel, papelão etc.) passíveis de reciclagem, embora esse processo nem sempre apresente vantagens que possam ser suportadas pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico.

Segundo Levy (1997), os RCD têm sua origem em:

- catástrofes naturais ou artificiais (terremotos, incêndios, desabamentos, bombardeios, entre outros);
- demolições de pavimentos rodoviários ou de obras que chegaram ao final de sua vida útil;
- deficiências inerentes ao processo construtivo empregados nos dias de hoje e à baixa qualificação da mão de obra.

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. Embora nem toda perda se transforme efetivamente em resíduo – uma parte fica na própria obra – os índices médios de perdas (em %) apresentados na Tabela 1, fornecem uma noção clara do quanto se desperdiça em materiais de construção.

Tabela 1 – Índices médios de perdas de materiais na construção civil

MATERIAIS	AGOPYAN et al. ¹ (%)	PINTO ² (%)	SOILBELMAN ² (%)	SKOYLES ² (%)
Areia	76	39	46	12
Cimento	95	33	84	12
Pedra	75	-	-	-
Cal	97	-	-	-
Concreto	9	1	13	6
Aço	10	26	19	4
Blocos/Tijolos	17	27	13	13
Argamassa	18	91	87	12

¹ AGOPYAN *et al* (1998)

² PINTO (1995)

Fonte: ZORDAN (2002)

Com a intensificação do processo de urbanização, a quantidade de resíduos gerados pelas obras de construção é cada vez mais elevada, quer pelas demolições decorrentes do processo

de renovação urbana, quer por novas edificações. O crescimento populacional e o déficit habitacional aumentam a geração de entulho (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Nas obras de reformas, a falta de uma cultura de reutilização e reciclagem são as principais causas do entulho gerado pelas demolições do processo, enquanto que nas obras de demolição propriamente ditas, a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata do produto do processo, e essa origem, sempre existirá. No entanto, indiretamente, ambos influem na qualidade do resíduo gerado, ou seja, alguns sistemas construtivos e de demolição podem produzir resíduos com maior potencial reciclável que outros, por isso a mistura de materiais e componentes ou sua contaminação podem favorecer ou não a reutilização e a reciclagem do resíduo (ZORDAN, 2002).

A geração de resíduo na construção civil pode ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos. Na fase de construção, a geração está relacionada às perdas nos processos construtivos – parte dessas perdas é incorporada nas construções e parte se converte em resíduo (JOHN e AGOPYAN, 2000). Na fase de manutenção e reformas, está relacionada a ações corretivas nas edificações, reformas ou modernizações de parte ou de toda a edificação e do descarte de componentes que atingiram o final de sua vida útil.

Nos países da Europa Ocidental, a geração de entulho equivale a uma quantidade entre 0,7 e 1,0 t/hab.ano, correspondendo, assim ao dobro dos demais resíduos sólidos urbanos gerados (PERA, 1996).

Picchi (1993) avaliou a geração de RCD em três obras prediais entre 1986 e 1987, conforme dados apresentados na Tabela 2. Os valores médios encontrados para o volume de RCD gerado é de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Em uma obra, o volume produzido foi calculado a partir de documentos fiscais das empresas contratadas para retirada dos RCD e nas outras duas obras, os dados foram levantados por meio de contagem de caçambas retiradas. O autor considerou a massa específica do resíduo de construção como $1,2 \text{ t/m}^3$.

Tabela 2 – Geração de RCD em obras de edifícios de apartamentos

Obra	Área (m ²)	Duração da obra (meses)	Nº. de viagens ¹	Volume de entulho (m ³)	Massa de entulho (t) ²	Índice de geração (t/m ²)	Perdas (%) ³ em massa
A	7.619	17	173	606,50	727,80	0,095	11,2
B	7.982	15	202	707,70	849,24	0,107	12,6
C	13.581	16	-	1.615,00	1.938,00	0,145	17,1

¹ Retiradas de caçambas estacionárias de 3,5 m³ cada. Na obra C, o registro foi feito diariamente em m³.

² Adotou-se massa específica do entulho de 1,2 t/m³.

³ Quantidade de entulho produzida em relação à massa final projetada do edifício (adotada como 0,85 t/m²).

Fonte: PICCHI (1993)

Em estudos realizados na cidade de Londrina/PR, Levy e Helene (1997) obtiveram um índice de geração de resíduos de 0,0848 m³ de RCD/m² de construções novas. Os levantamentos qualitativos foram realizados por amostragem e referidos em percentual do volume aferido.

Em análises feitas no aterro de Itatinga, São Paulo, Brito Filho (1999) destacou a composição média dos entulhos, conforme pode ser visto na Figura 1:

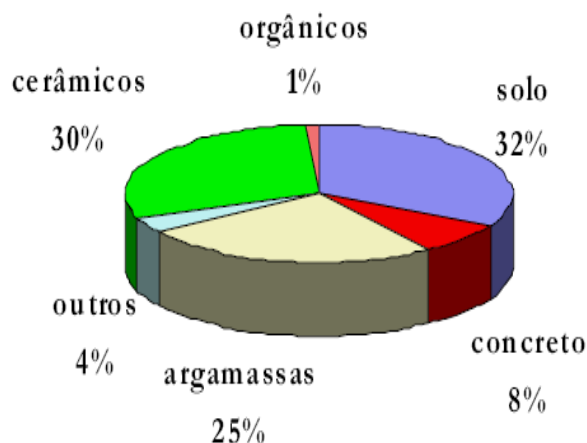


Figura 1 – Composição média dos entulhos depositados no aterro de Itatinga, São Paulo. Fonte: BRITO FILHO (1999)

Verifica-se na composição média mostrada na Figura 1, que mais de 90% destes resíduos apresentam potencial para a reciclagem como agregados para a construção civil (solo, concreto, argamassas e cerâmicos).

A heterogeneidade do entulho e a dependência direta de suas características com a obra que lhe deu origem podem mudá-lo de faixa de classificação, ou seja, uma obra pode fornecer um entulho inerte e outra pode apresentar elementos que o tornem não-inerte ou até mesmo perigoso, como por exemplo, a presença de amianto que, no ar é altamente cancerígeno.

Para Carneiro *et al.*, (2001), há uma gama muito grande de aspectos que interferem na quantidade, composição e características desse resíduo. Entre esses aspectos, destacam-se:

- o nível de desenvolvimento da indústria da construção local;
- qualidade e treinamento da mão de obra disponível;
- técnicas de construção e demolição empregadas;
- adoção de programas de qualidade e redução de perdas;
- adoção de processos de reciclagem e reutilização no canteiro;
- os tipos de materiais predominantes e/ou disponíveis na região;
- o desenvolvimento de obras especiais na região (metrô, esgotamento sanitário, restauração de centros históricos, entre outros);
- desenvolvimento econômico da região;
- a demanda por novas construções.

Além dos fatores regionais, as diferenças observadas podem ser atribuídas ao período da amostragem (fases da obra), à técnica de amostragem utilizada e ao local de coleta da amostra. Logo, dentro de um mesmo país, em cada região pode ocorrer a variabilidade da composição dos entulhos gerados.

3.2.2 Impacto dos RCD nos ambientes urbanos

Segundo a resolução CONAMA nº. 1 de 23 de Janeiro de 1986, impacto ambiental é conceituado como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetem a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais” (BRASIL, 1986).

3.2.2.1 Consumo de recursos naturais e energia

O setor da construção civil produz os bens com maiores dimensões físicas do planeta e é o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia (JOHN, 2000).

O macro complexo da construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SJOSTROM, 1992 apud CARNEIRO *et al.*, 2001). Isso está diretamente relacionado com:

- as altas taxas de geração de resíduos de construção e demolição;
- as necessidades de manutenção e reparos;
- a vida útil das construções, bem como, suas tecnologias;
- as perdas de materiais incorporados nos empreendimentos (ZORDAN, 1997).

Durante a vida útil de um edifício, as atividades de manutenção consomem recursos em volume aproximadamente igual aos despendidos na fase de produção (JOHN, 2000).

Algumas reservas estão atualmente, bastantes limitadas, a exemplo das reservas mundiais de cobre, com vida útil estimada em pouco mais de 100 anos, e as reservas de zinco, com expectativa de aproximadamente 200 anos. Numa cidade como São Paulo, o esgotamento das reservas próximas da capital faz com que a areia natural já seja transportada de distâncias superiores a 100 km, implicando enorme consumo de energia e geração de poluição, além do aumento do custo do produto final (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Segundo Valverde (2001), o consumo de agregados para construção civil no Brasil foi de 240 milhões de m³ em 2000 e estima-se para o ano de 2010 o consumo de 340 milhões de m³. Este dado é verificado pela produção nacional de cimento Portland, que em 2004 foi de 34 milhões de toneladas. Considerando-se um traço médio de 1:6, tem-se um consumo de 210 milhões de toneladas ou 130 milhões de m³ de agregados, na produção de concretos e argamassas, devendo-se acrescentar ainda o material empregado para outros fins.

O setor consome, por exemplo, enormes quantidades de materiais com significativo conteúdo energético que necessitam ser transportados a grandes distâncias. Estima-se que cerca de 80% da energia utilizada na produção de um edifício é consumida na produção e transporte de materiais (CARNEIRO *et al.*, 2001). Os edifícios são responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia elétrica no Brasil (ELETROBRAS, 1998) .

O simples conteúdo de energia por unidade de massa dos materiais não constitui em si um indicador do seu impacto ambiental, porque existe significativa diferença de eficiência entre os diferentes materiais para uma mesma função. Assim é importante a quantidade de energia ou material necessário para cumprir determinada função. Outro aspecto que também deve ser considerado é que diferentes materiais vão apresentar diferentes durabilidades (ou vidas úteis) em diferentes ambientes. Dessa forma, uma durabilidade elevada pode compensar um elevado consumo de energia e vice-versa (JOHN, 2000).

3.2.2.2 Geração de resíduos

A indústria da construção civil destaca-se como a maior geradora de resíduos da economia e usualmente a quantidade de resíduos gerados é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento de uma cidade, resultado das maiores atividades econômicas e dos hábitos de consumo decorrentes. Sendo assim, é provável que os problemas relacionados com a gestão de resíduos sejam mais intensos nas vinte e seis regiões metropolitanas do país, onde vivem pouco mais de 40% da população brasileira (SCHNEIDER, 2003).

Em 1960, 10% da população mundial, 300 milhões de habitantes, residiam em cidades. Em 40 anos estas passaram a abrigar dez vezes mais pessoas, atingindo 3,2 bilhões, cerca de 50% da população mundial. Como consequência, as cidades vivem sob impactos e riscos sanitários e ambientais, tensão social e violência (SCHNEIDER, 2003).

As características químicas e minerais dos RCD brasileiros são semelhantes aos agregados naturais e solos. Entretanto, os RCD podem apresentar outros tipos de resíduos como óleos de maquinários utilizados na construção, pinturas e asbestos de telhas de cimento amianto. Nos Estados Unidos, a quantidade de resíduos perigosos presentes na massa de RCD é de 0,4% (ANGULO 2000).

Segundo Pinto (1999) a geração de RCD, no Brasil, pode ser estimada em 450 kg/hab.ano, o que representa entre 41 e 70% de todo resíduo sólido municipal. A afirmativa deste autor que para cada m² construído equivale à geração de 150 kg de resíduos é fundamentada em três bases de informação: estimativas de áreas construídas, movimento de carga por coletores e monitoramento de descargas nas áreas utilizadas como destino dos resíduos. Para ele os principais fatores que contribuem para geração total de RCD são:

- definição e detalhamento insuficientes em projetos de arquitetura, de estruturas, formas, instalações, entre outros;
- qualidade inferior dos materiais e componentes de construção disponíveis no mercado;
- mão de obra não qualificada;
- ausência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle de execução e inspeção.

No final de 2003, apenas doze dos 5507 municípios brasileiros (0,2%) possuíam centrais de reciclagem de RCD com capacidade significativa (NUNES, 2004). Segundo dados do IBGE (2000), em 4690 municípios brasileiros (85,4% do total) era realizado algum tipo de coleta municipal de RCD. No mesmo levantamento constatou-se que 94,5% do lixo coletado por todos os municípios era disposto em lixões, aterros controlados ou em aterros sanitários.

São várias as conseqüências do grande volume de RCD gerado nos centros urbanos. Elas advêm do fluxo irracional e descontrolado dos resíduos, típico do processo que se denominou de Gestão Corretiva e das características dos agentes envolvidos, pequenos ou grandes geradores, pequenos ou grandes coletores. Inexistindo soluções para a captação dos RCD gerados nas atividades construtivas, seus geradores, ou os pequenos coletores que os atendem, buscarão inevitavelmente, áreas livres nas proximidades para a disposição dos resíduos. Estes resíduos são depositados ilegalmente, acumulando-se nas cidades, gerando custos e agravando problemas urbanos, como enchentes e tráfego (PINTO, 1999).

O distanciamento e o esgotamento crescente dos bota-foras é fator complicador para as ações corretas de coleta e disposição dos RCD, pois o componente custo de deslocamento é parcela importante do custo de coleta, mesmo em cidades onde os percursos sejam extremamente menores que em regiões metropolitanas. Nas regiões metropolitanas de SP, BH e RJ, praticamente todos os bota-foras mais centrais fazem cobrança de taxas para o descarte de resíduos (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Segundo Pinto (1999), os principais impactos sanitários e ambientais relacionados aos RCD talvez sejam aqueles associados às disposições irregulares, uma conjunção de efeitos deteriorantes do ambiente local:

- degradação da paisagem urbana;

- ocupação de vias e logradouros públicos, prejudicando o tráfego de pedestres e de veículos;
- assoreamento de rios e córregos, com obstrução dos canais de drenagem de águas pluviais provocando enchentes (é muito freqüente o reconhecimento da concentração de disposições irregulares ao longo de cursos d'água);
- atração de outros resíduos não-inertes;
- multiplicação de vetores de doenças com o comprometimento da saúde pública.

Alguns dos impactos são plenamente visíveis e revelam um extenso comprometimento da qualidade do ambiente e da paisagem local, mas, dificilmente podem ser quantificados e ter seu custo historiado. É o caso da degradação da paisagem que pode ser uma ameaça a saúde física e psicológica, e dos prejuízos às condições de tráfego de pedestres e veículos (SCHNEIDER, 2003) conforme pode ser visto na Figura 2.



Figura 2 – Comprometimento de tráfego de veículos pela disposição irregular de RCD em São Paulo. Fonte: SCHNEIDER (2003)

Já os impactos em relação à drenagem urbana são mais extensos, ocorrendo desde a drenagem superficial, como visível na Figura 3, até a obstrução de córregos, um dos componentes mais importantes do sistema de drenagem, tal como mostrado na Figura 4.



Figura 3 – Impactos por disposição irregular em Diadema/SP. Fonte: PINTO (1999)



Figura 4 – Obstrução do Córrego dos Meninos entre Santo André e São Bernardo/SP. Fonte: PINTO (1999)

Originam-se então impactos imediatos, como necessidade de desobstrução contínua do sistema ou perdas particulares decorrentes de enchentes que se tornam inevitáveis, e impactos de longo prazo, como o resultante da persistente ocupação das áreas naturais, várzeas e outras regiões de baixada nos ambientes urbanos, que são o sorvedouro da contribuição ocorrente nas áreas impermeabilizadas (PINTO, 1999).

O acúmulo de RCD em local inadequado atrai resíduos não inertes. São atraídos resíduos volumosos, para os quais não são oferecidas soluções aos geradores, resíduos vegetais,

resíduos domiciliares, resíduos industriais e perigosos. A disposição irregular de parcelas de resíduos industriais em bota-foras, que também pode acontecer com resíduos tipicamente orgânicos, é incentivada pelo diferencial de preços para o descarte regularizado (PINTO, 1999).

Tal problema ocorre também em outros países, exemplificando isto o elevado percentual de irregularidades detectadas em bota-foras do estado de Nova York (EUA), que recebiam o descarte secreto de resíduos tóxicos (SWANA, 1993).

A presença do RCD e outros resíduos cria um ambiente propício para a proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e à saúde humana. É comum nos bota-foras e locais de disposições irregulares a presença de roedores, insetos peçonhentos (aranhas e escorpiões) e insetos transmissores de endemias perigosas (como a dengue), doenças respiratórias, epidérmicas e intestinais. Nestes locais, eles obtêm água, alimento e abrigo (SCHNEIDER, 2003).

Pesquisa realizada sobre riscos à saúde pública decorrentes dos RCD acondicionados em caçambas metálicas localizadas em vias públicas, mostrou a presença de material orgânico, produtos perigosos e de embalagens vazias que podem reter água e outros líquidos e favorecer a proliferação de mosquitos e outros vetores de doenças (ARAÚJO, 2000).

3.2.3 Minimização do RCD e redução de perdas de materiais

Ao se reconhecer que o Planeta tem uma capacidade de suporte limitada, e que o enfoque do controle da poluição não tem sido suficiente para compatibilizar a demanda humana e a disponibilidade dos recursos naturais, em uma escala ecologicamente sustentável, surgem tecnologias que buscam um enfoque de prevenção da poluição e minimização de resíduos, como forma de evitar os desperdícios de matéria-prima e energia, convertidos em resíduos sólidos, líquidos e gasosos, responsáveis por adicionar custos aos processos produtivos e gerar problemas ambientais (AZEVEDO *et. al.*, 2006).

John e Agopyan (2000) identificam algumas ações que direcionam para a redução da geração de resíduo na construção civil:

- mudanças de tecnologia para combater as perdas;
- aperfeiçoamento e flexibilidade de projeto;

- melhoria da qualidade de construção, de forma a reduzir a manutenção causada pela correção de defeitos;
- seleção adequada de materiais, considerando inclusive, o aumento da vida útil dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios;
- capacitação de recursos humanos;
- utilização de ferramentas adequadas;
- melhoria da condição de estoque e transporte;
- melhor gestão de processos;
- incentivo para que os proprietários realizem modificações nas edificações e não demolições;
- taxação sobre a geração de resíduos;
- medidas de controle de disposição;
- campanhas educativas.

Programas de redução de perdas e gestão da qualidade contribuem para reduzir a geração do entulho e permitem o seu gerenciamento adequado no canteiro. Contudo, a implantação de tecnologias visando à reutilização e a reciclagem desse material é fundamental num processo de gestão, pois a quantidade de entulho gerada pelas obras de construção, demolição ou reformas continuará a ser significativa, mesmo com a implantação de programas de redução de perdas (CARNEIRO *et al.*, 2001).

É considerada como perda a quantidade de material sobre-utilizado em relação às especificações técnicas ou às especificações de projeto, podendo ficar incorporada ao serviço ou transformar-se em resíduo.

Alguns anos atrás não havia quaisquer indicadores para a ocorrência de perdas na construção civil e pouco se conhecia sobre a intensidade da geração de resíduos de construção e demolição, senão a freqüência com que iam se formando as “montanhas” de entulho nos ambientes urbanos. No Brasil, as informações hoje disponíveis permitem confirmar a significância das perdas na construção e quantificar a geração dos RCD, demonstrando sua supremacia na composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em cidades de médio e grande porte (PINTO, 1999).

A ausência de informações se estendia também à natureza das atividades construtivas, desconhecendo-se a participação dos diversos agentes na produção das edificações urbanas e a origem dos resíduos gerados.

As perdas de materiais durante o processo de construção aumentam o consumo de recursos naturais, provocando uma extração de matérias-primas maior que a necessidade real da produção ou manutenção de um bem (SOUZA *et al.*, 1998). Parte das perdas permanece incorporada à construção na forma de espessuras excessivas e outra parcela é retirada na forma de resíduo de construção (ANDRADE, 1998 apud JADOVSKI, 2005).

Segundo Agopyan *et al.* (2003) as perdas têm origem nas diferentes etapas do ciclo de vida da construção:

- fase de planejamento: pode ser responsável por desperdício ao decidir a construção de uma estrutura não necessária.
- fase de projeto: a seleção de uma tecnologia inadequada ou o superdimensionamento da solução construtiva também pode causar desperdício ou necessidades de retrabalho (PINTO, 1999). Um projetista estrutural não explorando adequadamente os limites que o conhecimento atual permite, pode gerar uma estrutura com consumo de concreto por metro quadrado de obra muito acentuado. O mesmo pode se dar quando a definição do traço, para a argamassa de contrapiso, leva a um consumo desnecessariamente alto de cimento.
- fase de execução: neste caso, são várias as fontes de perdas possíveis: no recebimento, pode estar chegando menos material numa entrega que a quantidade solicitada; blocos estocados inadequadamente estão sujeitos a quebras mais facilmente; o concreto, transportado por equipamentos e trajetos inadequados, pode cair pelo caminho; a não-observância ao traço correto da argamassa pode implicar sobre-consumos na dosagem/mistura (processamento intermediário); o processo tradicional de aplicação de gesso pode gerar uma grande quantidade de material endurecido não utilizado.
- fase de utilização: alteração de cores internas ou re-pintura de uma fachada precocemente gera um consumo de tinta maior que o necessário ou previsto inicialmente.

O desperdício não pode ser visto apenas como materiais não utilizados no canteiro (resíduos), mas também, como toda perda efetiva durante o processo construtivo. Em qualquer processo, devido à variabilidade natural, é inevitável que ocorra um determinado volume de perdas. A fração das perdas que excede a este limite mínimo característico da tecnologia é considerada desperdício. Os limites entre a perda inevitável e o desperdício são difíceis de estabelecer e para uma mesma tecnologia variam com características regionais e no tempo. Segundo Zordan (2002) a quantidade de RCD gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado.

A questão das perdas em processos construtivos vem sendo tratada no Brasil, em processos de pesquisa cada vez mais abrangentes, sendo aceitável a afirmação de que para a construção empresarial a intensidade da perda se situe entre 20 e 30% da massa total de materiais, dependendo do patamar tecnológico do executor (PINTO, 1989).

A importância de detectar a ocorrência de uma faixa de valores para as perdas foi reforçada pela pesquisa nacional “Alternativas para a Redução do Desperdício de Materiais no Canteiro de Obra”, promovida pelo ITQC – Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil, com recursos da FINEP – Financiadora de Recursos e Projetos, tendo envolvido 16 universidades brasileiras e pesquisado o fluxo de materiais em 99 diferentes canteiros de obra (SOUZA *et al.*, 1998). A Tabela 3 apresenta, para a construção empresarial, a significativa variabilidade dos valores detectados para alguns dos materiais comuns à atividade construtiva. Na mesma tabela são apresentados, também, os resultados obtidos em duas outras pesquisas anteriores sobre o mesmo tema (PINTO, 1999).

Tabela 3 – Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores

Perda de materiais em processos construtivos			
Materiais	Pinto ⁽¹⁾	Soibelman ⁽²⁾	FINEP/ITQC ⁽³⁾
Concreto usinado	1,50%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	53%	13%
Cimento	33%	84%	56%
Cal	102%	-	36%
Areia	39%	46%	44%

⁽¹⁾ Valores de uma obra (PINTO, 1989)

⁽²⁾ Média de 5 obras (SOIBELMAN, 1993)

⁽³⁾ Mediana de diversos canteiros (SOUZA *et al.*, 1998)

Fonte: PINTO (1999).

A existência de uma continuidade de procedimentos entre essas pesquisas coloca a pesquisa brasileira em uma posição de destaque no tema. Cumpre ressaltar que a primeira pesquisa de Pinto (1989), mostrou a possibilidade e a importância de se investigar essa temática; a segunda, de Soibelman (1993), lançou os parâmetros da metodologia de investigação e revelou a variabilidade dos dados obtidos; a terceira pesquisa, trabalho de 16 universidades coordenado pela EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo entre 1996 e 1998, consolidou a metodologia e imprimiu dimensão numérica e geográfica ao conjunto dos dados coletados (PINTO, 1999).

O estudo de Pinto (1989) avaliou o desperdício de uma edificação predial com 3.658 m² de área construída. Através da análise de documentos fiscais, ele aferiu todos os materiais que entraram na obra, além de medições no canteiro e estudo do projeto executivo. Segundo o projeto, para uma massa estimada em 3.110 toneladas (0,85 ton/m²), foram adquiridas 3.678 toneladas (1,0 ton/m²) para execução da obra, o que representou desperdício de 18,3%. Durante as etapas de construção foram retiradas 213 caçambas de entulho em 18 meses de obra, o que representa 2,7 viagens ou 9,45 m³ por semana. Verifica-se que as argamassas e seus constituintes representaram cerca de 60% do material retirado do canteiro.

Segundo Marques Neto (2005), o estudo de Soibelman (1993) avaliou o desperdício de cinco obras de classe média alta na cidade de Porto Alegre, RS, que empregaram tecnologias convencionais, ou seja, estrutura de concreto armado, paredes de vedação com blocos cerâmicos e revestimentos argamassados. Para ele, os valores de desperdício obtidos não representam a quantidade de entulho gerado nos canteiros, mas valores teóricos de consumo utilizados em orçamento e a quantidade de materiais adquiridos. Além disso, a quantidade dos materiais recebidos nos canteiros nem sempre equivale ao que foi solicitado aos fornecedores, o que pode representar falta de materiais durante a execução das etapas das obras e conseqüente necessidade de novos pedidos de materiais.

Segundo Souza *et al.* (1988), uma estimativa média de 27% de perda em massa no universo de obras estudadas, situa-se no intervalo de 20 a 30%. É importante ressaltar que, devido à variabilidade das situações diagnosticadas, os agentes construtores devem ter sua atenção voltada para o reconhecimento de seus índices particulares, seu patamar tecnológico, buscando investir em melhorias para conquistar competitividade no mercado e racionalidade no uso dos recursos não renováveis.

Quanto ao resultado dessas pesquisas, a expectativa que pode ser traçada é a de que existe coincidência entre os materiais com maiores índices de perda e a composição dos resíduos deslocados dos canteiros de obra. Outro resultado importante é que a imensa maioria dos resíduos gerados, em qualquer das pesquisas, é formada por parcelas recicláveis.

Pesquisas mais recentes indicam que os índices médios de desperdício estão entre 7 e 8% (perdas físicas), refletindo as perdas de materiais que se tornaram entulho ou ficaram incorporados à obra, sem levar em conta as despesas com mão de obra que essa perda implica, além da despesa com a retirada do entulho (AGOPYAN, 2001). Segundo o autor, as argamassas despertam maior preocupação em relação às perdas nos canteiros de obra, pois, os índices para esses materiais chegam a 50% do total do material utilizado. A indústria da construção civil, embora não seja a única a ter alto nível de desperdício e ainda que as perdas já não cheguem a 30%, continua a gerar grandes quantidades de RCD. Ele exemplifica o caso de um empreendimento com margem de lucro de 8% e perdas de materiais na ordem de 3 a 4% (perda financeira) em que o desperdício pode representar até 50% do lucro (MARQUES NETO, 2005).

Os dados disponíveis para a Comunidade Européia mostram para os diversos países uma presença média nos RCD de 45% de componentes de alvenaria e vedação, 40% de concreto, 8% de madeira, 4% de metal e 3% de papel, plásticos e outros materiais, com o predomínio dos resíduos de procedência mineral na maioria dos países (PERA, 1996 apud PINTO, 1999). Exemplo disso são os resíduos gerados na Holanda, onde 80% têm origem em serviços envolvendo concreto ou alvenaria. São significativos, ainda, os dados disponíveis para a Espanha, indicando que os resíduos de origem mineral (concreto, artefatos e outros) são 95% do peso de edifícios com 60 anos de idade e 98% do peso total de edifícios residenciais contemporâneos, executados em estrutura de concreto e vedações de artefatos (PINTO, 1999).

Para Laguette (1995 citado por MARQUES NETO, 2005), os países europeus desperdiçam anualmente cerca de 200 milhões de toneladas de RCD entre concreto, pedras e recursos minerais valiosos. Esse volume seria suficiente para construir uma rodovia com seis faixas de rolamento ligando as cidades de Roma e Londres.

Nos canteiros de obra brasileiros acontece um processo de aproveitamento das aparas de materiais como papel, metálicos, plásticos e parte da madeira, que têm valor comercial

imediate e serão encontrados nos resíduos de construção em quantidades menores que as realmente geradas.

A tendência, não só nos países mais desenvolvidos, mas também no Brasil, é de um rápido incremento da participação dos resíduos de embalagens de materiais e componentes industrializados, em detrimento dos resíduos de natureza mineral. Dado disponível para a Catalunha indica que a composição desses resíduos em peso é de 75% de madeira, 16% de plásticos, 8% de papel e 1% de metais (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Há que se observar, ainda, que nos resíduos analisados em obras brasileiras típicas, ocorre uma grande predominância dos provenientes das construções em relação aos resíduos gerados em demolições, em função mesmo do desenvolvimento recente das áreas urbanas (PINTO, 1999). Nos países já desenvolvidos, onde as atividades de renovação de edificações, infraestrutura e espaços urbanos são mais intensas, os resíduos provenientes de demolições são muito mais freqüentes.

Deve ser ressaltado que a construção empresarial, no cenário atual, tem cada vez menos espaço para a convivência com o elevado percentual de perdas detectado e com o desperdício de recursos naturais não renováveis, tanto por injunções econômicas, quanto ambientais.

3.2.4 A Legislação brasileira do RCD

3.2.4.1 Legislações Municipais

A partir da década de 90, começou a surgir no Brasil, a preocupação com a geração e a destinação do RCD. Como o país ainda não possuía uma política nacional de saneamento ambiental e, conseqüentemente, de resíduos sólidos, algumas cidades se empenharam em implantar sistemas amparados por leis municipais para viabilizar a gestão diferenciada destes resíduos (BIDONE, 2001):

- São Paulo
 - Decreto nº. 37.633, de 18 de setembro de 1998 – Regulamenta a coleta, o transporte, a destinação final de entulho, terras e sobras de materiais de construção.
 - Decreto nº. 42.217, de 24 de julho de 2002 – Regulamenta os procedimentos para a criação de novas áreas de transbordo e triagem do RCD com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e as condições ambientais de áreas próximas aos empreendimentos, e

trazer benefícios ao meio ambiente urbano com a substituição dos recursos naturais já escassos por resíduos reciclados.

- Belo Horizonte
 - Programa de Correção Ambiental e Reciclagem dos Resíduos de Construção (1993).
 - Lei ° 6.732, de 20 de setembro de 1994 – Dispõe sobre a colocação e permanência de caçambas de coleta de terra e entulho nas vias e logradouros públicos.

- Salvador
 - Decreto nº. 12.133, de 8 de outubro de 1998.
 - Projeto de Gestão Diferenciada de Resíduos – Estabelece a obrigação para o proprietário ou ao responsável legal ou técnico por uma obra ou movimento de terra, a obrigação de providenciar, às suas expensas, o transporte de entulho até os locais autorizados para sua recepção, bem como a aquisição dos recipientes adequados para acondicionamento no local da obra. Determina, também, a obrigatoriedade de cadastro para pessoas físicas ou jurídicas que realizam o transporte de entulho no município, as quais devem cumprir as normas de segurança e levar o material para os locais autorizados. Prevê, ainda, pesadas multas para quem joga entulho nas ruas ou locais não autorizados e para quem transporta entulho sem autorização ou desrespeitando normas de segurança (AZEVEDO, *et al.*, 2006).

- Outras cidades
 - Exemplos semelhantes foram implantados em Recife, Curitiba, São Carlos e Ribeirão Preto.

3.2.4.2 Lei Ambiental 6938 (31/08/1981)

Esta lei tem como objetivo principal a criação de uma Política Nacional do Meio Ambiente. O SISNAMA, órgão composto por entidades da união, dos estados e dos municípios, já refletia a tendência da necessidade de um trabalho envolvendo as três esferas (Federal, Estadual e Municipal) no combate aos danos e proteção ao meio ambiente. Apesar de ser uma lei bastante geral, menciona em seu artigo 13 o que se segue: “ O Poder Executivo incentivará as atividades voltadas ao meio ambiente, visando:

- Ao desenvolvimento no País, de pesquisas e processos tecnológicos destinados a reduzir a degradação da qualidade ambiental;
- A fabricação de equipamentos antipoluidores;
- A outras iniciativas que propiciem a racionalização do uso de recursos ambientais.”

Como se pode verificar, apesar de genérica, a atividade de reciclagem de RCD se encaixa nesta citação, apesar de não se mencionar o Poder Executivo em questão ser Federal, Estadual ou Municipal. Este vácuo de especificação será uma constante até que se tenha realmente motivações políticas para alterar esta realidade (AFFONSO, 2005).

3.2.4.3 Lei Ambiental 9605 (12/02/1998)

Esta lei, de 13 de fevereiro de 1998, foi criada para estabelecer sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente. Portanto, após a sua promulgação, crime ambiental no Brasil é regido por esta lei e é passível de prisão. Assim, a partir dela, a prisão de um indivíduo no nosso País sem qualquer direito à apelação se deve a três fatores: a) O não pagamento de pensão alimentícia, b) A ser infiel depositário e c) A praticar crimes contra o meio ambiente. Esta lei, de caráter amplo, pretende legislar em crimes ambientais, desde grafitar um monumento público até a exportação de animais silvestres nacionais, passando por toda sorte de poluições (do ar, do solo e da água). Assim, a sua abrangência é total, possibilitando ao Ministério Público poderes para a detenção, prisão e multas sobre os infratores, pessoa física ou jurídica (AFFONSO, 2005).

3.2.4.4 PBQP-H

Um importante programa nacional voltado para a área de resíduos foi o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional, instituído pela Portaria MPO nº. 134, de 18 de dezembro de 1998, cujo escopo foi ampliado para Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBPQ-H no ano 2000, conforme disposto na Lei nº. 9.989, de 21 de julho de 2000.

O PBQP-H desenvolveu a organização do setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva. Envolveu a qualificação de construtoras e de projetistas, melhoria da qualidade de materiais, formação e re-qualificação de mão de obra, normalização técnica, capacitação de laboratórios, aprovação técnica de tecnologias

inovadoras entre outras. As empresas que se qualificam no nível mais alto devem comprovar gestão correta dos RCD, inclusive sua destinação adequada (PBQP- H, 2003). Isso colabora para o uso mais racionalizado dos recursos naturais e ainda reduz a geração de resíduos devido a re-trabalhos ou reformas em função de problemas com a qualidade dos materiais empregados na construção.

3.2.5 Resolução CONAMA nº. 307

Entrou em vigor, a partir de janeiro de 2003, a Resolução nº. 307/02, de 5 de julho de 2002, do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), que dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil, e surgiu da urgente necessidade de solucionar problemas decorrentes da imensa geração dos RCD e de seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

O seu objetivo principal é estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, considerando que:

- a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;
- os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;
- os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;
- a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil;
- que a gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Essa Resolução define, para a construção civil, quatro classes de resíduos, que devem ter tratamentos distintos (BRASIL, 2002):

- Classe A: São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: tijolos, concreto, argamassa, blocos, telhas, placas de revestimentos, solos provenientes de terraplanagem etc.;

- Classe B: São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D: São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2004).

Pela resolução, para a implementação da gestão dos RCD, deve ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Esse plano deve incorporar um programa municipal de gerenciamento dos RCD e projetos de gerenciamento desses resíduos pelos seus geradores contendo:

- diretrizes técnicas e procedimentos para o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e para projetos de gerenciamento de RCD a serem elaborados pelos grandes geradores possibilitando o exercício de suas responsabilidades;
- cadastramento de áreas, públicas ou privadas, adequadas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de resíduos;
- elaboração de processos de licenciamento de áreas para beneficiamento e disposição final do RCD;
- proibição do descarte em áreas não licenciadas;
- incentivo à reutilização e à reciclagem dos resíduos no processo produtivo;
- definição dos critérios para o cadastramento de transportadores;
- ações de orientação, fiscalização e controle dos agentes envolvidos;
- programas educativos visando a reduzir a geração dos RCD e a possibilitar sua reciclagem.

Os projetos de gerenciamento de RCD devem ser elaborados de acordo com as seguintes etapas:

- caracterização: o gerador deve identificar e quantificar os resíduos;

- triagem: será realizada, preferencialmente, na origem ou nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitando as classes dos resíduos;
- acondicionamento: o gerador deverá garantir o acondicionamento correto dos resíduos desde a produção e o transporte até a destinação final;
- transporte: seguirá as normas técnicas para transporte de resíduos sólidos;
- destinação: de acordo com o estabelecido nesta resolução.

Os RCD, dependendo da sua classificação, devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; ou devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas:

- Classe A: devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe B: devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe C: devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- Classe D: devem ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

A Resolução estabelecia o prazo máximo de 12 meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborassem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, contemplando os pequenos geradores de entulho. Aos grandes geradores foi dado um prazo de dois anos (até janeiro de 2005) para que incluíssem, nos seus projetos de obras a serem submetidos à aprovação, o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

A Resolução CONAMA nº. 307/02 constitui um avanço, pois disciplina as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais, proibindo, inclusive, a disposição dos RCD em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de bota-fora. Ademais, define a responsabilidade das prefeituras em apoiar o pequeno gerador e, como responsabilidade do grande gerador, o controle e manejo dos resíduos, tendo como principal objetivo a sua não geração. Por outro

lado, a classificação em tipos diferenciados ajudará o controle e manejo adequado dos resíduos, bem como o melhor reaproveitamento, quando sua geração não puder ser evitada.

3.2.6 Reciclagem do RCD

A reciclagem de resíduos da construção é praticada há milênios, sendo comuns na história das civilizações antigas exemplos de resíduos de construções de um determinado período histórico (vias romanas, igrejas renascentistas) constituírem base usada por edificações do período seguinte (PINTO, 1999).

A elevada geração de resíduos sólidos, determinada pelo acelerado desenvolvimento da economia neste século, coloca como inevitável a adesão às políticas de valorização dos resíduos e sua reciclagem nos países desenvolvidos e em amplas regiões dos países em desenvolvimento. Os processos de gestão dos resíduos em canteiro, de sofisticação dos procedimentos de demolição, de especialização no tratamento e reutilização dos RCD vão conformando um respeitável e sólido ramo da engenharia civil, atento à necessidade de usar parcimoniosamente recursos que são finitos e à necessidade de não sobrecarregar a natureza com dejetos evitáveis (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Devidamente reciclado o entulho apresenta propriedades físicas e químicas apropriadas para o seu emprego como material de construção (ANGULO *et al.*, 2001).

A cadeia produtiva da construção civil apresenta muitas vantagens que a credenciam a ser uma grande recicladora (PINTO, 1999):

- ela é a maior consumidora de materiais da economia e, portanto tem maior condição de reciclar;
- os diferentes ramos da cadeia produtiva estão presentes em todas as regiões, o que facilita projetos de simbiose industrial, permitindo uma reciclagem local, já que a questão geográfica é crítica neste tipo de trabalho;
- boa parte dos componentes de construção é de produção simples, como os componentes produzidos com agregados e aglomerantes inorgânicos. Requisitos como esterilidade, pureza elevada, entre outras, são dispensáveis na maioria das aplicações comuns da construção civil, simplificando os processos. A reciclagem do vidro em sua produção, por exemplo, requer classificação de cor, enquanto que sua reciclagem como agregado para concreto asfáltico não exige qualquer classificação. Os

agregados, por exemplo, são materiais granulares, compatíveis com o aglomerante, em que estão embebidos e com resistência e densidade apropriadas à aplicação. É possível produzir grânulos com muitos materiais diferentes através de técnicas simples como a pelotização ou mesmo a trituração. Agregados muito diferentes dos tradicionais, podem ser adequados a aplicações especializadas, como concretos leves, concretos pesados, base de rodovias, etc.;

- a construção civil permite a utilização de grandes volumes de produtos com resistência mecânica baixa se comparada com outros setores da engenharia, o que torna possível a convivência com materiais com grande quantidade de defeitos micro-estruturais e impurezas (tijolos de vedação). Apresenta também uma maior quantidade de produtos alternativos para uma mesma função e, possivelmente, de soluções mais adequadas para situações específicas, com ganhos de eficiência geral do processo.

Simons *et al.* (1994 apud MIRANDA, 2000) apresentam algumas ferramentas a serem utilizadas para estimular a reciclagem:

- os agregados reciclados devem ser utilizados com sólidas técnicas em obras públicas, pois aumentam o mercado e atraem investidores privados;
- criação de marca oficial para produtos reciclados que seja uma garantia de boa qualidade do produto, com a intenção de tirar o medo do produto ser ruim;
- emissão de novas especificações para os trabalhos de demolição, de forma a obter maior quantidade e canalização de produtos recicláveis;
- incentivo à criação de indústrias de reciclagem pelo setor privado;
- necessidade de novas aplicações do material reciclado, onde devem ser dadas prioridades para atividades que utilizem grande quantidade deste material.

Elias-Ozkan (2001 apud JADOVSKI, 2005) propõe algumas medidas para facilitar o uso de agregados reciclados, entre as quais destacam-se:

- permissão municipal, com vistoria prévia, para demolição de construções onde conste as quantidades de cada resíduo gerado e sua correta destinação;
- penalização para os proprietários no caso de efetuarem a demolição sem ou em desacordo com esta permissão;
- criação de normas para utilização de agregados reciclados.

O Brasil já possui normas específicas para áreas de transbordo, triagem, aterro e reciclagem de RCD e para utilização de agregados reciclados em pavimentação e produção de concreto sem função estrutural, são elas: NBR 15112, NBR 15113, NBR 15114, NBR 15115 e NBR 15116 (ABNT, 2004), porém, apenas uma pequena parcela dos RCD são reciclados como agregados.

A viabilização da reciclagem dos RCD em um centro urbano é resultado de uma série de fatores, dos quais certamente um dos mais importantes é sua viabilidade econômica em confronto com os preços dos agregados naturais (JOHN, 2000).

Com a reciclagem de entulho pode-se fazer economia dos custos de transporte de matérias-primas para longas distâncias, além dos custos de disposição final em aterros e transporte do entulho. Nesse sentido, destacam-se projetos com grande geração de resíduos, como renovação de centros urbanos, recuperação de vias e rodovias, reconstrução após desastres naturais ou tecnológicos, etc. Os custos relativos ao transporte do entulho ao aterro e ao fornecimento de matérias primas podem tornar a reciclagem economicamente viável. Os eventuais custos com remediação de impactos ambientais e disposição no aterro podem aumentar ainda mais as vantagens econômicas da reciclagem (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Para utilizar resíduos, como matéria-prima, em substituição aos materiais tradicionais, é necessário que esse insumo alternativo apresente padrões de desempenho compatíveis com a sua utilização. O material reciclado será mais consumido caso o seu preço seja menor que o do agregado natural. Nos casos em que o material reciclado e o natural têm o mesmo custo, o diferencial será a qualidade ou a confiabilidade do produto e a utilização de instrumentos de marketing, como selos verdes, de forma a garantir que o produto é ambientalmente correto (CARNEIRO *et al.*, 2001).

A utilização de agregados reciclados permite produzir componentes de construção que, dependendo da sofisticação tecnológica, terão custos significativamente inferiores ao preço de componentes disponíveis no mercado.

3.2.6.1 Reciclagem em Países do Hemisfério Norte

Atualmente os interesses de diversos países e regiões na reciclagem, estão ancorados também na necessidade de solucionar o destino de expressivos volumes de RCD gerados em regiões urbanas cada vez mais adensadas.

Resultado destas necessidades, a reciclagem de RCD foi implantada e consolidou-se na Europa Ocidental, no Japão e nos EUA. Para a Comunidade Européia foi estimada a geração anual de 500 milhões de toneladas de RCD (PINTO, 1999), somatória de gerações elevadas como a da Alemanha e outras bem menos significativas, como na Bélgica e Suíça, países de menor área territorial. Em praticamente todos os países-membros existem instalações de reciclagem de RCD, normas e políticas específicas para esse tipo de resíduo, desenvolvendo-se, no período mais recente, esforço de consolidação de normativa única para toda a comunidade.

Um dos principais fatores que incentivaram o desenvolvimento da reciclagem nestes países foi a intervenção governamental com incentivos à utilização do agregado em determinados serviços e a imposição de taxas para disposição de resíduos em aterros sanitários (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Na Alemanha, em torno de 1860, há notícias do uso de blocos de concreto britados como agregado para novos produtos de concreto. Os primeiros estudos sistemáticos sobre as características dos agregados reciclados têm início naquele país, em 1928 (PINTO, 1999).

O uso significativo de RCD reciclado, na Alemanha ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, em resposta à necessidade de satisfazer a enorme demanda por materiais de construção e à necessidade de remover os escombros das cidades européias. A então República Federal da Alemanha herdou da guerra um volume entre 400 e 600 milhões de metros cúbicos de escombros, dos quais foram reciclados cerca de 11,5 milhões de metros cúbicos, que possibilitaram a produção de 175.000 unidades habitacionais até o ano de 1955. No fim de 1956, cerca de 85% do entulho gerado durante a guerra havia sido removido para reciclagem (LEVY, 1997).

Atualmente na Alemanha, os agregados reciclados não podem ser utilizados em novos concretos. Isso ocorre devido a rigorosas normas existentes que exigem uma elevada resistência mecânica que não é atingida pelos agregados reciclados. Sua utilização é liberada apenas para pavimentação (MARQUES NETO, 2005).

Outros países europeus, tais como Holanda, Dinamarca, Bélgica e França, passaram a se interessar pela reciclagem dos RCD, não só pelo problema da destinação dos resíduos gerados, mas também pelas deficiências na oferta de materiais granulares (PINTO, 1999).

Nos países da Comunidade Europeia estima-se que 80% do mercado de utilização de agregados reciclados, esteja direcionado para execução de concreto com resistência até 25 MPa, resultados perfeitamente alcançáveis com os RCD reciclados (VÁZQUEZ, 1997 apud JADOVSKI, 2005).

Na Dinamarca, após a implantação da taxa de disposição de RCD em aterros, a média de reciclagem se desenvolveu significativamente. A maior parte dos resíduos reciclados são absorvidos na construção civil, especialmente como material de aterro e como sub-base e base de estradas ou construção de espaços abertos. No ano de sua introdução (1987), o valor da taxa de disposição em aterros era o equivalente a aproximadamente 5 Euros/t. Desde então, este valor aumentou em cerca de 900%. Com o aumento dessa taxa, verificou-se um crescimento significativo da média de reciclagem, que passou de 25%, em 1990, para 90% de reciclagem em 1999 (SCHNEIDER, 2003) abastecendo com aproximadamente 10% do mercado de agregados.

Na Holanda, o interesse pela reciclagem foi incentivado com a intervenção governamental através de altas taxas de disposição de resíduos em aterros públicos. De 1985 a 1993, o preço normal para a disposição dos resíduos de construção aumentou de cinco a seis vezes, especialmente no oeste da Holanda (CONCRETE, 1993 apud COUTO NETO, 2007). Como consequência, surgiram vários estudos visando a sua reciclagem e reaproveitamento. No ano 2000, as normas holandesas permitiram a utilização de agregados reciclados até em concreto protendido (CARNEIRO *et al.*, 2001). Esse avanço tecnológico ocorreu, principalmente, devido ao Centro de Normas e Pesquisas em Engenharia Civil (CUR) que é uma organização independente e sem fins lucrativos. O CUR está engajado no desenvolvimento, aquisição e transferência de conhecimentos e experiência no extenso campo da engenharia civil. O CUR tem por objetivo a implantação e coordenação de projetos de pesquisa em parceria com entidades públicas e privadas no processo da construção. Os resultados são divulgados aos usuários através da publicação de relatórios, recomendações e normas com recomendações práticas e também através da realização de seminários. Ele atua nos seguintes campos de pesquisa e desenvolvimento: construção, tecnologia de materiais, estruturas de concreto, alvenaria, construção sustentável, hidráulica e geotécnica e drenagem (LEVY, 2002).

O Reino Unido adotou políticas de incentivo a reciclagem, entre elas a imposição de uma taxa sobre todo o material enviado para aterro. Cerca de 10% do mercado de agregados e

‘abastecido com produtos reciclados, e é política do governo ampliar essa taxa, em função do considerável potencial do mercado (COLLINS, 1998).

Segundo o EC Council Directive (Conselho que estabelece as diretrizes para os países da Comunidade Européia), para atingir metas de altas taxas de reciclagem, algumas medidas devem ser tomadas, entre elas (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- a prevenção e a redução da geração de entulho e de seus impactos ambientais diretos, através da redução das perdas, da implementação de tecnologias limpas e do reaproveitamento do resíduo;
- o estabelecimento de incentivos econômicos para a reciclagem;
- a implementação de projetos para gestão de resíduos;
- aplicação da política de responsabilidade (sobretudo financeira) do produtor de resíduo.

Várias obras com agregados reciclados já foram executadas em vários países europeus como pode ser visto na Tabela 4, e comprovam as vantagens do uso responsável do agregado reciclado.

Tabela 4 – Obras executadas em países europeus com a utilização de agregados reciclados

Características localização da obra e descrição	Volume (m³)	Local de aplicação	Ano / país
Viaduto na rodovia RW-32	500	Muretas laterais	1988 – Holanda
Interligação entre barragem e eclusa em Nieuw Statenzijl	3.000	Laje submersa	1989 – Holanda
2º Viaduto na rodovia RW-32	11.000	Todos os componentes da estrutura	1990 – Holanda
Eclusa de Berendrecht	80.000	Na construção de paredes	1987 e 1988 – Bélgica
Reconstrução de cidades	Milhares de condomínios	Produção de concretos leves e normais e blocos de alvenaria	1945 a 2000 – Alemanha
Edifício do Meio Ambiente do BRE	1.500	Fundações e lajes	1996 – Inglaterra

Fonte: LEVY, 2002.

No Japão, o Ministério da Construção orienta desde a década de 80 que as autoridades contratantes de obras públicas incluam cláusulas especiais sobre a gestão de RCD, o que resultou em avanços significativos ainda nesta década, onde a geração nacional de RCD reciclados saltou de 30,4 para 83,6 milhões de toneladas anuais. Sob as diretrizes da Lei de Reciclagem, em 1988, o Japão estava reciclando 22% dos RCD gerados. Em 1991, em Tóquio já existiam 12 instalações de reciclagem, operando com equipamentos de origem alemã, exclusivamente para a reciclagem de concreto, processando 10.000 toneladas ao dia e gerando novos produtos a custo inferior ao dos agregados convencionais, para uso principalmente em obras viárias. O Japão é reconhecido, nos simpósios internacionais, como o país mais adiantado em técnicas de demolição adequadas à necessidade de gestão do meio ambiente (LAURITZEN, 1994 apud MARQUES NETO, 2005).

Nos EUA existe uma política nacional que estabelece critério de compra para produtos “ambientalmente preferíveis”, definidos como aqueles que possuem menor efeito nocivo ao ambiente ou à saúde. Coerentemente, grande destaque é dado para os produtos reciclados. Em 1996, foi estimada a existência de 1.800 instalações de reciclagem em operação no país, 1.000 delas processando asfalto, 500 processando madeira e 300 operando com resíduos misturados. (PINTO, 1999). Segundo CRMA (2006), 140 milhões de toneladas de concreto são recicladas por ano naquele país.

As pesquisas estão direcionadas para a normalização e aceitação da utilização de agregados reciclados por meio de britagem de concretos velhos, sendo que a grande área de aplicação destes agregados, tem sido a construção de pavimentos rodoviários. Entidades como ASTM, o Corpo de Engenheiros do Exército Americano, e o Departamento de Transportes têm se dedicado a produzir uma norma que especifique limites de tolerância para aceitação dos agregados reciclados a serem utilizados na produção de concretos novos (LEVY, 2002).

3.2.6.2 Reciclagem do RCD no Brasil

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil, como materiais de construção, é recente e ainda tímida, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90% recentemente, como é o caso da Holanda (ZWAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000 citados por ANGULO *et al.*, 2001), que já discute a certificação do produto. Porém, vem chamando a atenção dos gestores

urbanos pelas possibilidades que apresentam enquanto solução de destinação dos RCD e solução para a geração de produtos a baixo custo.

Este atraso em relação aos países mais desenvolvidos tem vários componentes. Entre eles, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam a agenda de discussões políticas, deixando pouco espaço para discussões mais de longo prazo, como a questão do desenvolvimento sustentável.

Embora já se observe no mercado a movimentação de empresas interessadas em explorar o negócio de reciclagem de RCD e não apenas o negócio de transporte, as experiências brasileiras estão limitadas em ações das municipalidades que buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da disposição da enorme massa de entulho no meio urbano para algumas cidades brasileiras de médio e grande porte (ANGULO *et al.*, 2001).

Inexistem no mercado brasileiro entidades emitindo certificação ambiental, algumas vezes chamados de “selos verdes”, tanto para produtos de consumo imediato quanto para edifícios. No caso dos edifícios, programas de certificação como o inglês BREEAM e o americano LEED, incluem requisitos de conteúdo mínimo de produtos reciclados. Para um edifício receber o selo americano, uma das exigências é que produtos que representem 20% do custo dos materiais sejam constituídos com no mínimo 20% de resíduos pós-consumo ou 40% de resíduos industriais. A ausência deste selo no mercado brasileiro é, ao mesmo tempo, um indicador do atraso de uma agenda ambiental mais pró-ativa e mais uma dificuldade na introdução de produtos contendo reciclagem (JOHN, 2000).

A experiência brasileira com equipamentos de maior porte é mais recente, tendo se iniciado em 1991 e expandido para uma série de municípios: São Paulo, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Piracicaba e Londrina. Algumas municipalidades como a de Belo Horizonte operam plantas de reciclagem, produzindo principalmente base para pavimentação. Adicionalmente a tecnologia de reciclagem de RCD em canteiro pode ser empregada para a produção de argamassas, aproveitando inclusive a atividade pozolânica conferida por algumas frações cerâmicas (LEVY & HELENE, 1997).

A reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável em estudos brasileiros do ponto de vista tecnológico e econômico. Entretanto, a avaliação do risco ambiental não foi avaliada (LEVY, 1997).

A reciclagem de pavimento asfáltico, introduzida no mercado paulistano no início da década de 90, é hoje uma realidade nas grandes cidades brasileiras, viabilizando a reciclagem tanto do asfalto quanto dos agregados do concreto asfáltico.

Um dos problemas mais graves nos RCD é variabilidade de composição e, conseqüentemente, de outras propriedades desses agregados reciclados (ANGULO, 2000).

A recente introdução maciça de gesso na forma de revestimentos ou placas no Brasil pode ser um complicador para a reciclagem dos RCD, caso processos de controle não sejam instalados em Centrais de Reciclagem, devido a formação de etringita secundária que é altamente expansiva, provocando fortes tensões internas que podem fissurar o concreto e a argamassa. (JADOVSKI, 2005). A solução para alguns contaminantes presentes nos RCD (plásticos e madeiras) pode ser o emprego de tanques de depuração por flotação e separadores magnéticos; mas, em alguns casos, a retirada das fases contaminantes pode ser algo bem mais complexo, como compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos (ANGULO *et al.*, 2001).

A indústria cimenteira recicla mais de 5 milhões de toneladas por ano de escória de alto-forno, cinzas volantes, pneus etc. Os efeitos ambientais deste tipo de cimento são substancialmente menores do que os gerados pelo cimento Portland comum, significativamente perceptíveis quando se avalia o ciclo de vida deste novo cimento. Notadamente as emissões ao meio ambiente e o consumo de matérias-primas são reduzidos. Além disso, o aumento da durabilidade das estruturas de concreto confeccionadas com a adição de escória de alto forno diminui os custos de manutenção dessas obras (ANGULO *et al.*, 2001).

O setor siderúrgico é também um grande reciclador, com pelo menos 6 milhões de toneladas de sucatas recicladas anualmente. Boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria-prima principal a sucata de aço. A reciclagem desta sucata permitiu economizar em 1997 cerca de 6 milhões de toneladas de minério de ferro, evitou a geração de cerca de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e de cerca de 11 milhões de toneladas de CO₂.

3.2.7 Vantagens ambientais da reciclagem de RCD

Os resíduos sempre existirão e as políticas hoje existentes são voltadas quase que exclusivamente para a disposição controlada desses resíduos. Essa disposição deve ser feita

em aterros o que tem significado alto custo em função de sua localização e distância em relação aos grandes centros. Além disso, a normalização desses aterros tem recebido aperfeiçoamento constante, visando controlar o risco de acidentes, o que tem elevado o preço desses serviços.

A reciclagem é uma oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa numa fonte de faturamento ou, pelo menos, de redução das despesas de disposição. No entanto, a vantagem ambiental de um processo de reciclagem, somente pode ser dada como certa após análise específica através de ferramentas como análise do ciclo de vida. Um dos graves riscos quando se produzem novos materiais a partir de resíduos, é a contaminação ambiental interna e externa das construções que usam estes resíduos, seja pela contaminação da água, radiação ou pela volatilização de frações orgânicas (JOHN, 2000).

A primeira e mais visível das contribuições ambientais da reciclagem de RCD é a preservação de recursos naturais limitados, que são substituídos por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna (EPA, 2000). Esta contribuição é importante mesmo nos casos onde os recursos naturais são abundantes, como é o caso do calcário e da argila, porque a extração de matérias-primas prejudica a paisagem e pode afetar ecossistemas. Em 1996 a substituição do clínquer por cinzas volantes e escórias de alto forno (com bom poder calorífico) resultou em uma redução no consumo de combustível de 28% na indústria cimenteira nacional (YAMAMOTO, 1997 apud JOHN, 2000), o que também reduz a geração de CO₂.

A incorporação de resíduos na produção de materiais também pode reduzir o consumo de energia, não apenas pelo fato de esses produtos frequentemente incorporarem grandes quantidades de energia, mas, também, porque podem-se reduzir as distâncias de transporte de matérias-primas. É o caso da reciclagem do aço, alumínio e mesmo da reciclagem da escória de alto forno e da cinza volante como aglomerante. Levando-se em consideração novamente a indústria cimenteira, estima-se que entre 1976 e 1995 ela economizou cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, casca de babaçu, entre outros.

Muitas vezes, a incorporação de resíduos permite a produção de materiais com melhores características técnicas, como é o caso da adição de microssílica, que viabiliza concretos de

alta resistência mecânica, e da escória de alto forno, que melhora o desempenho do concreto frente à corrosão por cloretos.

A reciclagem também permite a geração de empregos e aumenta a competitividade da economia. Estudo realizado na Carolina do Norte (EUA) demonstrou que para cada 100 empregos criados na reciclagem, são perdidos apenas 13 na indústria do lixo (JOHN, 2000).

A reciclagem do entulho também representa vantagens econômicas para a administração pública municipal (CARNEIRO *et al.*, 2001), tais como:

- redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas;
- aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para implantação de novos aterros;
- diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, pela diminuição do entulho;
- diminuição nos custos de pavimentação, infra-estrutura urbana e construção de habitações populares (blocos de vedação);
- geração de emprego e renda e criação de novas oportunidades de negócios.

3.2.8 Impactos da reciclagem

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

A quantidade de materiais e energia necessários ao processo de reciclagem pode representar um grande impacto para o meio ambiente. Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto, ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Tal energia dependerá da utilização proposta para o resíduo, e estará diretamente relacionada aos processos de transformações utilizados. Além disso, muitas vezes, apenas a energia não é suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente (ANGULO *et al.*, 2001).

Como qualquer outra atividade, a reciclagem também pode gerar resíduos, cuja quantidade e características também vão depender do tipo de reciclagem escolhida. Esses novos resíduos, nem sempre são tão ou mais simples que aqueles que foram reciclados. É possível que eles se tornem ainda mais agressivos ao homem e ao meio ambiente do que o resíduo que está sendo reciclado. Dependendo de sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-los e todo o custo que isto ocasionaria. É preciso também considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados – fechando assim o ciclo.

Um parâmetro que geralmente é desprezado na avaliação de produtos reciclados é o risco à saúde dos usuários do novo material e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora, devido à lixiviação de frações solúveis ou até mesmo pela evaporação de frações voláteis. Os resíduos muitas vezes são constituídos por elementos perigosos como metais pesados (Cd, Pb) e compostos orgânicos voláteis. Estes materiais mesmo quando inertes nos resíduos – após a reciclagem – podem apresentar riscos, pois nem sempre os processos de reciclagem garantem a imobilização destes componentes. Dessa forma, é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido (ANGULO *et al.*, 2001).

3.3 Agregado reciclado

3.3.1 Características

Materiais nobres podem ser facilmente reciclados, como as parcelas de concreto, argamassa, solo, areia, cerâmicas e rochas, que representam a maioria dos componentes do entulho.

Os materiais resultantes do processo de reciclagem dos resíduos de construção e de demolição são denominados por diversos autores de agregados reciclados. Tal denominação é adequada para o novo material produzido, uma vez que esse não é mais considerado um resíduo (entulho), e sim um agregado reciclado a ser utilizado no mesmo processo em que foi gerado, a construção civil (CARNEIRO *et al.*, 2001).

De uma forma geral os agregados obtidos na reciclagem do entulho são mais porosos e possuem uma maior quantidade de finos que os naturais, o que implica uma absorção de água mais elevada.

Se o excesso de absorção de água não for considerada, haverá diminuição substancial da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco, sendo necessário acrescentar mais água à mistura. Este fato implicará na redução da resistência mecânica ou aumento do consumo de cimento e conseqüente aumento de custos (LEITE, 2001).

Os agregados reciclados de concreto podem apresentar curvas granulométricas muito próximas às dos agregados naturais, no entanto, tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa, resultando em um módulo de finura um pouco maior. Além disso, os agregados miúdos apresentam-se maiores e mais angulares, produzindo concretos mais ásperos e menos trabalháveis (LIMA, 1999 apud JADOVSKI, 2005).

Por outro lado, os resíduos de construção reciclados apresentam componentes com algumas propriedades relevantes para o desempenho de materiais de construção. Segundo Pinto (1999), entre esses componentes, destacam-se as partículas de cimento não-inertizadas, que ainda irão reagir, partículas de cal, que estarão disponíveis para novas reações, partículas já cristalizadas, que funcionarão como iniciador da cristalização (acelerando a formação da nova rede cristalina) e partículas finas de material cerâmico, com significado potencial pozolânico, que irão reagir com a cal hidratada.

3.3.2 Processos de produção

As características do agregado reciclado estão diretamente relacionadas com o seu processo de produção. De modo geral o processo de reciclagem dos resíduos de construção é constituído das etapas de limpeza e seleção prévia, homogeneização, trituração, extração de materiais metálicos, eliminação de contaminantes e estocagem para expedição (PINTO, 1999).

Na reciclagem de entulho são utilizados equipamentos diversos como pá-carregadeira, alimentador vibratório, britador, eletroímã para separação das ferragens, peneiras, mecanismos transportadores e eventualmente sistemas para eliminação de contaminantes. Esses equipamentos devem permitir que o processamento ocorra com minimização da geração de ruídos e materiais particulados. Deve-se ainda dispor de uma área suficientemente grande

para armazenar os diversos tipos de entulho recebido e os vários tipos de agregados produzidos (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Os sistemas de reciclagem de entulho podem ser classificados em função dos critérios e do rigor usados na eliminação dos contaminantes, conforme apresentados a seguir (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- plantas de primeira geração – necessitam de elementos que possam eliminar metais;
- plantas de segunda geração – similares às de primeira geração, mas contendo sistemas preliminares (mecânicos ou manuais) de eliminação de contaminantes, como a limpeza e classificação do material, por via seca ou úmida;
- plantas de terceira geração – visam a remoção praticamente integral de todos materiais secundários, considerados como contaminantes dos agregados reciclados.

Um dos principais condicionantes do processo de reciclagem é a necessidade de gerar produtos homogêneos e de características adequadas, a partir de resíduos heterogêneos e de origem bastante diversificada.

A maioria das plantas de reciclagem utilizadas no Brasil é de 1^a. Geração. Esse processo é o mais simples de todos. A eliminação de contaminantes em plantas de 2^a. e 3^a. geração, por sua vez, encarece o processo e pode tornar inviável a reciclagem. Uma alternativa para as aplicações que necessitem agregados reciclados com desempenho superior é buscar processos de gestão do resíduo pelo gerador que permitam a separação preliminar dos contaminantes no canteiro, durante o processo construtivo. A reciclagem é bastante favorecida quando não há mistura significativa dos materiais. A separação prévia de elementos como vidro, madeira, metais, plásticos, papelão é recomendável, uma vez que existem processos específicos relativamente simples, alguns inclusive já consolidados para reciclagem desses materiais.

Além da classificação por geração, as unidades de reciclagem podem ser divididas em instalações fixas e plantas móveis. As instalações fixas permitem um maior controle de seu impacto ambiental e são preferíveis em relação às pequenas e móveis. A geração de ruídos e a distância dos centros urbanos são fatores que devem ser levados em consideração na seleção da localização das plantas. As usinas de reciclagem, tanto fixas quanto móveis, constituem o espaço mais adequado à destinação do entulho e à produção de agregados reciclados para confecção de materiais de construção.

Quando o entulho é composto de diversos materiais misturados, deve-se adotar alguns procedimentos para recebimento e reciclagem do material (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- não receber entulho que apresente quantidade visivelmente significativa de contaminantes (podas, papel, papelão, madeira, matéria orgânica, plásticos, solos, metais, entre outros);
- buscar a homogeneização do entulho;
- identificar aplicações que aceitem a presença dos contaminantes e variações nas características do agregado reciclado;
- analisar periodicamente as características do agregado reciclado.

3.3.3 Resíduos contaminados

Segundo Jadovski (2005), pode-se considerar contaminantes no reciclado praticamente todos os materiais minerais não inertes ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas, tais como: cloretos, sulfatos, matéria orgânica, produtos industrializados leves (papel, plástico, tecido, borracha etc.), vidro, betume, vegetação, terra, gesso, madeira, refratários, metais, álcalis e areias industriais quimicamente contaminadas.

Os concretos produzidos com agregados reciclados contaminados com solos argilosos ou matéria orgânica podem sofrer redução das resistências mecânicas, ou instabilidade dimensional quando expostos a ciclos de umedecimento / secagem, sendo que, este tipo de contaminação pode atingir indistintamente agregados naturais e reciclados.

A presença de material betuminoso no agregado reciclado reduz a resistência do concreto produzido (LEITE, 2001), e contribui para uma grande quantidade de incorporação de ar ao concreto.

Pequenas quantidades de aço ou pedaços de arame podem causar manchas ou pequenos danos à superfície do concreto, principalmente em presença de cloretos. A remoção dos metais presentes nos RCD pode ser realizada antes do seu beneficiamento através de separação magnética, para não danificar os equipamentos de britagem, ou no decorrer do processo de beneficiamento, pois o aço não se fragmenta devido a sua característica dúctil (LEVY, 1997).

3.3.4 Utilização

Os países desenvolvidos vêm consolidando o uso de RCD reciclado como material de enchimento para a preparação de terrenos, para projetos de drenagem, para a sub-base de vias e estradas, e como agregado para a produção de novo concreto, sendo este último uso o ocorrente em menor volume. Mas também para ele, tal qual já ocorre há dezenas de anos para os primeiros citados, não há aspectos técnicos que ofereçam obstáculo significativo à aplicação dos RCD reciclados (PINTO, 1999).

Pode ocorrer os condicionantes econômicos locais, típicos da região geradora, oriundos de fatores diversos como custo de agregados naturais, valor das taxas de disposição em aterros, custos de transporte, suporte pelas políticas governamentais locais, e outros.

Os estudos que vêm sendo desenvolvidos no Brasil desde as décadas de 80 e 90 já dão sustentação suficiente para a disseminação dos procedimentos de reciclagem como alternativa de destinação dos RCD para um número maior de centros urbanos. Mas certamente precisam ser aprofundados, ampliando-se as possibilidades de reutilização segura, para que mais e mais os municípios de médio e grande porte possam implantar procedimentos corretos para reciclar.

Os estudos brasileiros para a utilização de RCD reciclado em argamassas e concreto vêm avançando nos últimos anos, corroborando, no caso das argamassas, o uso já bastante significativo desse material por centenas de empresas construtoras do País (I&T, 1995). Segundo Hansen (1992), os usos para os quais há maiores possibilidades de desenvolvimento de mercado são: enchimentos de pisos, drenagem, pavimentação (sub-base ou material de superfície) e produção de novos concretos.

O emprego de materiais reciclados pode ocorrer dentro dos próprios canteiros de obra. Marques Neto (2005) cita, entre outras, algumas atividades que podem utilizar esses agregados:

- assentamento de blocos cerâmicos, batentes, contra-marcos e esquadrias metálicas;
- enchimento de degraus de escada e de rasgos de paredes para tubulações hidráulicas e elétricas;
- chumbamento de caixas elétricas e tubulações;

- contrapisos internos de unidades habitacionais e casas de máquinas ou áreas comuns de tráfego leve.

Os dados de Pinto (1986) e Levy (1997), indicam o bom desempenho dos RCD em argamassas e o resultado positivo da presença significativa de produtos cerâmicos em sua composição.

As verificações do comportamento dos RCD na produção de concreto para uso enquanto massa ou para produção de artefatos são mais recentes e, coerentemente com os resultados verificados na ampla bibliografia internacional existente sobre o tema, apontam para bons resultados em composições com baixo consumo de aglomerante, quando os agregados miúdos e graúdos são substituídos integralmente pelo reciclado (PINTO, 1995; ZORDAN, 1997).

Estudos mais detalhados sobre o comportamento dos RCD em concreto ainda devem ser feitos, para que se imprima segurança a um tipo de utilização concreto de média resistência – para o qual certamente há demanda no Brasil.

Os esforços devem estar focados na ampliação e consolidação de aplicações para os resíduos, pois cada uma dessas aplicações constitui importante apoio à alteração dos graves problemas gerados pelos RCD nas áreas urbanas.

3.3.4.1 Em bases e sub-bases de pavimentação

Os dados nacionais demonstram que o setor de pavimentação sozinho seria incapaz de consumir integralmente o RCD reciclado como base de pavimentação, até porque parte do agregado natural é utilizada no concreto asfáltico e não todo na base do pavimento (ANGULO, 2000).

A aplicação de entulho na forma de bica corrida ou em misturas do resíduo com solo, em bases, sub-bases e revestimentos primários de pavimentação é a forma mais simples de reciclagem (ZORDAN, 1997).

A investigação sobre o uso dos RCD em obras de pavimentação foi iniciada por técnicos da Prefeitura Municipal de São Paulo, no ano de 1989, tendo sido ancorada em metodologias que consideram as características específicas dos solos tropicais típicos. Os resultados das verificações realizadas indicaram a possibilidade de obter-se idêntica capacidade de suporte

com o uso de quantidade muito menor de agregados, caso utilizado o RCD reciclado. Resultados satisfatórios também foram alcançados na cidade de Belo Horizonte (PINTO, 1999).

O aproveitamento do agregado reciclado na pavimentação apresenta algumas vantagens (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- Utilização de quantidade significativa de material reciclado tanto na fração miúda, quanto na graúda;
- Simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado, contribuindo para a redução dos custos e a difusão dessa forma de reciclagem;
- Possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras etc.);
- Utilização de parte do material em granulometrias graúdas, reduzindo o consumo de energia necessário para a reciclagem do entulho;
- Do ponto de vista geotécnico, é considerado um material não plástico, o que permite sua utilização em locais com presença de água, por gerar pouca ou nenhuma lama. Pode ainda ser usado como redutor de plasticidade, contribuindo, assim na estabilização de solos. Apresenta também, expansibilidade baixa ou nula, ou seja, mesmo sob saturação, não ocorre a expansão das camadas compactadas;
- Com relação aos aspectos econômicos e de durabilidade, as pesquisas apontam que as camadas de base e sub-base produzidas com agregado reciclado apresentam custo de construção significativamente menor que as camadas produzidas com brita graduada ou brita adicionada ao solo, representando uma economia entre 50 e 60%.

É importante citar a coesão apresentada pelas bases, executadas com materiais agregados, na sua reabertura após alguns meses da execução. A reabertura permitiu confirmar que, diferentemente das bases com agregados naturais, em que ocorre travamento mecânico entre partículas e desagregação quando ocorre desconfinamento da camada, as bases com RCD reciclado apresentaram-se consolidadas, demonstrando a ocorrência de componentes reativos no RCD que agiram com a exposição à umidade na execução e umidade natural dos solos locais (PINTO, 1999).

3.3.4.2 Agregado para concreto

A atual tecnologia empregada nas centrais de reciclagem de RCD brasileira não permite que grande parte dos agregados de RCD reciclados seja empregada em concretos, conforme especificações internacionais. Angulo *et al.* (2001) constataram que nenhum dos lotes de agregados de RCD reciclados produzidos na central de reciclagem de Santo André permitiria o uso em concreto com função estrutural, e que menos de 50% seriam aceitáveis para o emprego em concretos sem função estrutural, não analisando possíveis problemas com a variabilidade nos agregados.

Segundo Zordan (1997), a influência da variabilidade dos agregados reciclados em algumas propriedades do concreto podem ser avaliados da seguinte forma:

- a parte gráuda do entulho utilizado como agregado representa aspectos negativos para a resistência do concreto, devido à presença de materiais cerâmicos esmaltados, que induzem à ocorrência de superfícies de ruptura nas suas faces lisas devido à insuficiente aderência entre essas faces e a pasta de cimento, enfraquecendo bastante a zona de transição;
- o entulho usado como agregado apresenta uma absorção de água bem superior à do agregado tradicional, devido tanto à sua grande porosidade como a maior quantidade de finos existentes neste resíduo;
- De um modo geral, pode-se afirmar que concretos com agregados reciclados apresentam resistência à compressão menor do que os concretos de referência, situando-se em torno de 50 a 70% para traços ricos (1:3, cimento:agregados), em torno de 60 a 70% para traços médios (1:5, cimento:agregados), e em torno de 80 a 95% para traços pobres (1:7, cimento:agregados);
- o aumento de resistência do concreto ocorrido dos 28 aos 60 dias, é mais significativo no traço 1:7 que nos traços mais fortes (1:3 e 1:5). Além disso, nos traços mais pobres (menor consumo de cimento), os valores de resistência obtidos pelo concreto com entulho se aproximam mais dos apresentados pelo concreto com agregados naturais. Isto pode ser explicado pelo fortalecimento da pasta de cimento nos traços mais fortes, o que contribui, neste caso, para que o agregado seja a parte mais frágil do concreto;
- a resistência ao desgaste à abrasão fica em média 26,5% inferior àquela obtida pelo concreto que utilizou areia e brita como agregado;

- os resultados dos ensaios de compressão, abrasão e permeabilidade, realizados permitem concluir que este tipo de concreto atende perfeitamente (quanto aos quesitos avaliados) às exigências de fabricação de peças de concreto para a infra-estrutura urbana como elementos de drenagem, guias, sarjetas, ou outras aplicações onde não se exijam resistências elevadas;

Uma forma de uso simplificado dos agregados de RCD reciclados em concretos seria através da substituição dos agregados naturais por agregados reciclados de qualidade definida em teores nos quais a influência no desempenho dos concretos seja desprezível. Diversas especificações internacionais para o uso destes agregados em concretos se baseiam neste procedimento (HENDRIKS, 2000 apud ÂNGULO *et al.*, 2001).

Com base nas conclusões obtidas por Levy (2002), uma substituição de 20% de agregados de concreto ou de alvenaria reciclados, desde que isentos de contaminantes e impurezas, não afeta o comportamento dos concretos do ponto de vista de resistência mecânica e durabilidade se comparado aos concretos convencionais de referência.

O uso dos agregados de RCD reciclados em concretos exige mudanças em procedimentos e em equipamentos nas instalações de reciclagem, na gestão do resíduo, normalização, entre outras. Exemplos de melhorias para as quais devem ser tecnologicamente desenvolvidas soluções adequadas ao mercado brasileiro são demolição seletiva, classificação no recebimento do resíduo na instalação de reciclagem e a sofisticação dos processos de reciclagem, utilizando tecnologias de processamento de minérios (ANGULO *et al.*, 2001).

As técnicas de demolição seletiva ou desconstrução vêm ganhando importância pela maximização da reciclagem e reutilização dos RCD e minimização da destinação dos resíduos em aterros na Europa (BRITO FILHO, 2001). A demolição seletiva consiste na remoção ou desmontagem de diversos tipos de componentes na demolição para reutilização (por exemplo, telhas, vidros e caixilhos), seguida da demolição de fases não desmontáveis separadamente. Por exemplo, remoção inicial da alvenaria, segregação desta fase (transporte), para a seguir, demolir e transportar para a reciclagem a estrutura de concreto.

Este processo, por ser controlado, reduz a quantidade de contaminantes presentes no resíduo e contribui para a melhoria de qualidade do RCD reciclado. Como desvantagens, podem-se

citar a morosidade na execução, o uso de equipamento especializado e o custo, particularmente devido ao uso de mão-de-obra intensiva (BRITO FILHO, 2001).

Uma versão simplificada deste tipo de procedimento já é praticada de forma limitada no Brasil pelas demolidoras que alimentam as lojas de materiais de construção usados, com a demolição principalmente de residências e imóveis mais antigos.

3.3.4.3 Agregado para argamassa

Os agregados provenientes de RCD podem ser utilizados em argamassas de assentamento de tijolos e blocos ou em revestimentos internos e externos (chapisco, emboço e reboco). As vantagens dessa utilização podem ser observadas nos próprios canteiros de obras, pela redução dos custos de transporte, do consumo de cimento e cal e pelo ganho na resistência à compressão do material reciclado em relação às argamassas convencionais.

As propriedades de resistência à compressão, à tração e de aderência de argamassas produzidas com agregados reciclados apresentam resultados satisfatórios, e também as propriedades de módulo de elasticidade e dureza superficial (MIRANDA, 2000; SANTANA *et al.*, 2001).

A substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado apresenta-se como alternativa tecnicamente viável e com redução do custo do material, necessitando de controles em relação ao consumo de água e ao acabamento superficial. Tanto o agregado reciclado produzido em canteiro quanto o produzido em usina de reciclagem apresentam comportamento satisfatório para a utilização em argamassas de revestimento. O traço com substituição total de areia chega a custar menos de 40% do valor da argamassa com areia (SANTANA *et al.*, 2001).

Segundo Miranda (2000), o fato da maioria das argamassas com agregados reciclados consumir uma quantidade de água superior à normalmente consumida por argamassas mistas, não impediu que as argamassas apresentassem facilidade de aplicação. Santana *et al.*, (2001) ressaltam a boa capacidade de aderência inicial ao substrato e a consistência adequada, no entanto, as argamassas com teores elevados de agregado reciclado apresentaram acabamento superficial áspero.

3.3.4.4 Blocos de vedação

Outra utilização para os agregados reciclados é a produção de blocos de concreto e outros pré-moldados sem função estrutural, como por exemplo, meio-fios. Devido à maior absorção de água dos agregados reciclados, deve-se evitar a utilização de blocos em locais mais susceptíveis à presença de umidade.

3.4 Gestão Ambiental do RCD no Brasil

A intensidade da geração de resíduos e a extensão dos impactos por eles causados nas áreas urbanas, apontam claramente para a necessidade de ruptura com a ineficácia da Gestão Corretiva. A gestão dos espaços urbanos em municípios de médio e grande porte não mais comporta intervenções continuamente emergenciais e coadjuvantes das reações de geradores e coletores à ausência de soluções (CARNEIRO *et al.*, 2001).

No âmbito de um inventário preciso da composição e fluxo dos RSU, o volume de RCD gerado precisa ser reconhecido e assumido pelos gestores de limpeza urbana, assim como precisa ser assumida a necessidade de soluções duráveis para a absorção eficiente desses resíduos (PINTO, 1999).

3.4.1 Gestão Corretiva

As soluções atualmente adotadas, na imensa maioria dos municípios, são sempre emergenciais e, quando se tornam rotineiras, têm significado sempre atuações em que os gestores se mantêm como coadjuvantes dos problemas. Num ou noutro caso, caracteriza uma prática que pode ser denominada de “Gestão Corretiva”.

A Gestão Corretiva caracteriza-se por englobar atividades não preventivas, repetitivas e custosas, que não surtem resultados adequados, e são, por isso, profundamente ineficientes. A Gestão Corretiva se sustenta na inevitabilidade de áreas com disposições irregulares degradando o ambiente urbano, e se sustenta enquanto houver a disponibilidade de áreas de aterramento nas proximidades das regiões geradoras de RCD (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Além disso a gestão corretiva acarreta efeitos perversos, uma vez que a prática contínua de aterramento, nos ambientes urbanos, com volumes tão significativos, elimina, progressivamente as áreas naturais (várzeas, vales, mangues e outras regiões de baixada), que

servem como escoadouro dos elevados volumes de água concentrados nas superfícies urbanas impermeabilizadas (PINTO, 1999).

Assim a pressão da alta geração de RCD encontra municipalidades desaparelhadas, que só têm a ineficácia da Gestão Corretiva como solução, e não podem contar com o suporte de políticas centrais de saneamento, as quais só recentemente vêm buscando incorporar preocupações com os resíduos sólidos não-inertes.

Uma parcela significativa dos custos da gestão corretiva dos RCD, conforme pode ser visto na Tabela 5, deve ser atribuída ao uso de equipamentos inadequados, como pás carregadeiras e caminhões basculantes, para remoção de entulhos que normalmente apresentam variedade de materiais, com densidade variada e pequeno ou grande volume unitário (PINTO, 1999).

Tabela 5 – Custo da gestão corretiva em alguns municípios brasileiros

Custo unitário da gestão corretiva	Municípios				
	São J. do Rio Preto (1996)	São José dos Campos (1995)	Ribeirão Preto (1995)	Belo Horizonte (1993)	Vitória da Conquista (1997)
Tipo de Remoção ¹	EMP / MEC	PUB / MAN	PUB / MEC	PUB / MEC	PUB / MEC
Custo unitário (US\$/t)	11,78	10,66	5,37	7,92	8,41

¹ PUB: pública; EMP: empreitada; MEC: carregamento mecânico; MAN: carga manual.
Fonte: PINTO (1999).

Tais valores revelam apenas custos apropriáveis. No entanto, a deterioração causada pelos impactos ambientais deve fazer parte do cálculo econômico e de políticas de governo, uma vez que a perda ambiental configura um prejuízo real e físico, enquanto destruição da natureza (CAVALCANTI, 1996 citado por JADOVSKI, 2005).

Pinto (1999) aponta que os custos apropriáveis muitas vezes se aproximam ou ultrapassam o valor dos materiais descartados. Leite (2001) ressalta que se forem computados os menores gastos no gerenciamento e transporte dos resíduos, a menor velocidade de esgotamento dos aterros sanitários ou de inertes, entre outros, a economia conseguida com a reciclagem é ainda maior.

Por todos esses motivos pode-se caracterizar a Gestão Corretiva como uma prática sem sustentabilidade. Sua ineficiência impõe a necessidade de traçar novas políticas específicas para o domínio dos RCD, ancoradas em estratégias sustentáveis, como o correto envolvimento dos agentes atuantes e a intensa reciclagem dos resíduos captados.

3.4.2 Gestão Diferenciada do RCD

A proposição de uma gestão diferenciada dos resíduos de construção e demolição persegue a ampliação dos serviços públicos, buscando constituir um modelo racional, eficaz, menos custoso e, portanto, sustentável.

O modelo de Gestão Diferenciada dos RCD possibilita, em contraposição a todas as deficiências diagnosticadas na Gestão Corretiva, atingir a qualidade no serviço de limpeza urbana e é a única forma de romper com a ineficácia da Gestão Corretiva e com a postura coadjuvante dos gestores dos resíduos sólidos, propondo soluções sustentáveis para espaços urbanos cada vez mais densos e complexos de gerir. Deve ser vista como solução necessária, complementar à gestão tradicional dos resíduos domiciliares e à introdução de preceitos modernos na gestão de outras parcelas dos resíduos sólidos urbanos como a coleta seletiva e reciclagem de embalagens, compostagem de resíduos orgânicos e podas vegetais, desmontagem e reaproveitamento de resíduos volumosos (PINTO, 1999).

A Gestão Diferenciada dos RCD deverá buscar, ainda, a exemplo dos países mais desenvolvidos, a aprimoração de mecanismos reguladores e econômicos, que responsabilizem os geradores, desincentivem práticas agressivas e estimulem aquelas econômica e ambientalmente sustentáveis (BRASIL, 1996).

Em vários países desenvolvidos é comum a superioridade, em regiões densamente povoadas, dos custos de aterramento sobre os de recepção para processamento e dos materiais naturais sobre os recuperados por reciclagem. Este fato faz parte de uma atuante política governamental que permite a presença de operadores privados e a possibilidade de superposição de diversas fontes de recursos na mesma atividade: taxas de descarte, comercialização de reciclados e redução de custos de transporte pela utilização otimizada dos mesmos equipamentos para captação de resíduos e distribuição de produtos (BIOCYCLE, 1996).

A Gestão Diferenciada do RCD é constituída por um conjunto de ações que corporificam um novo serviço público, visando à (MARQUES NETO, 2005):

- captação máxima dos resíduos gerados, através da constituição de redes de áreas de atração, diferenciadas para pequenos e grandes geradores;
- reciclagem dos resíduos captados, em áreas perenes especialmente definidas para essa tarefa;
- alteração de procedimentos e culturas, no tocante à intensidade da geração, à correção da coleta e da disposição e às possibilidades de utilização dos resíduos reciclados.

A Gestão Diferenciada dos RCD proposta por PINTO (1999) tem como objetivos gerais:

- redução dos custos municipais com a limpeza urbana, com a destinação dos resíduos e com a correção dos impactos ocorrentes na Gestão Corretiva;
- disposição facilitada dos pequenos volumes de RCD gerados;
- descarte racional dos grandes volumes gerados;
- preservação do sistema de aterros, como condição para a sustentação do desenvolvimento;
- melhoria da limpeza urbana;
- incentivo à presença e à consolidação de novos agentes de limpeza urbana;
- preservação ambiental, com a redução dos impactos por má disposição, redução do volume aterrado e redução dos impactos decorrentes da exploração de jazidas naturais de agregados para construção civil;
- preservação da paisagem e da qualidade de vida nos ambientes urbanos;
- incentivo às parcerias para captação reciclagem e reutilização de RCD;
- incentivo à redução da geração nas atividades construtivas.

As diretrizes básicas da Gestão Diferenciada dos RCD são (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- a facilitação total da disposição dos RCD através da oferta mais abrangente possível de áreas públicas para descarte de resíduos sólidos não-domiciliares, não-sépticos e não-industriais de pequeno e médio porte, constituindo-se uma rede ofertada aos agentes para a disposição correta de RCD e outros resíduos sólidos que comumente com eles transitam. Devem ser especializadas as pequenas áreas para a recepção de pequenos volumes, limitados à quantidade transportável em veículos particulares ou pequenos veículos de agentes informais de coleta, e as áreas de médio porte

especializadas para a recepção de volumes coletados por agentes que operam com veículos maiores, dedicados exclusivamente ao transporte de RCD;

- a segregação integral dos resíduos sólidos captados, se possível, na fonte geradora;
- a reciclagem dos resíduos captados como forma de alteração da destinação interrompendo-se o contínuo aterramento de materiais, plenamente reaproveitáveis, e o inexorável esgotamento das áreas que dão sustentação ao desenvolvimento urbano.

As experiências desenvolvidas por alguns municípios são ímpares, constituindo referência importante para os gestores urbanos de outros municípios que convivem com problemas semelhantes.

Os resultados por eles alcançados, alguns provenientes de ações amplas que perseguiram objetivos a partir do planejamento das intervenções, e outros que são reflexos de ações pontuais, são expressão de um processo oferecido pelas ações propugnadas na Metodologia de Gestão Diferenciada. Alguns destes resultados aconteceram no nível da limpeza urbana e do envolvimento de comunidades, outros são relativos ao sucesso de instalações de reciclagem, outros constituem avanços no uso de materiais reciclados e, entre eles, sobressaem os resultados alcançados pela Gestão Diferenciada em Belo Horizonte / MG (PINTO, 1999).

3.4.2.1 Gestão Diferenciada em Belo Horizonte

Mesmo não tendo sido o primeiro município brasileiro a aderir à reciclagem de RCD, Belo Horizonte é uma referência fundamental na gestão desses resíduos, assim como na gestão de outras parcelas dos RSU, por ter desenvolvido desde 1993 um plano pioneiro de gestão diferenciada (denominado à época de Programa de Correção Ambiental e Reciclagem dos Resíduos de Construção).

No ano da implantação deste programa, a partir do estudo contratado pela SLU-BH, constatou-se a existência de 134 áreas de disposição clandestina, que obrigavam a coleta diária de cerca de 425 m³ de material. A partir desse estudo foi estimada, a geração de 2.000 m³ de resíduos de construção ao dia, entre material proveniente de aterro (1.250 m³) e entulho gerado nos processos de construção e demolição (750 m³). O RCD significou aproximadamente 40% da massa de resíduos coletada diariamente em Belo Horizonte. Parte do material era disposto adequadamente em bota-foras autorizados pela administração

municipal, e parte era depositada de forma irregular pela malha urbana, gerando problemas para o município e custos para sua correção (CHENNA, 2001).

A partir desse diagnóstico, estruturou-se um programa voltado à instalação de unidades físicas descentralizadas para receber esse material em pequenas quantidades para encaminhamento posterior às estações recicladoras. Esse plano programou ações específicas para captação, reciclagem, informação ambiental e recuperação de áreas degradadas. Ele fez parte de um conjunto maior de ações que constituiu o Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte (SLU-BH, 1993), desenvolvido pela equipe técnica da Superintendência de Limpeza Urbana e premiado, em 1996, pela Fundação Ford e Fundação Getúlio Vargas como melhor experiência de gestão municipal brasileira (PINTO, 1999).

Em linhas gerais, o Programa de Correção de Deposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho estruturou-se numa *rede de áreas* para o manejo, tratamento e disposição dos resíduos de construção (Estações de Reciclagem de Entulho e Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPV's) e numa *rede de subprogramas* complementares visando diversificar, ampliar e qualificar as ações voltadas à informação, à fiscalização e à promoção da recuperação de áreas degradadas pelo depósito irregular de entulho (Sub-Programa de Comunicação e Mobilização Social, Sub-Programa de Fiscalização e Sub-Programa para Recuperação de Áreas Degradadas).

As Estações de Reciclagem são os locais onde são instalados equipamentos para trabalhar o entulho transformando-o em agregados e têm a finalidade de (CHENNA, 2001):

- receber resíduos de construção considerados recicláveis que contenham no máximo 10% de impurezas (gesso, matéria orgânica, amianto, etc.) e que sejam gerados no município de Belo Horizonte;
- proceder à classificação, britagem e expedição do material;
- funcionar, sempre que possível e viável como Local de Entrega Voluntária (LEV) do projeto de coleta seletiva de materiais recicláveis (papel, metal, vidro e plástico);
- transformar entulho em agregados para sua nova inserção na indústria da construção civil.

As Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes de Entulho, URPV's, possuem instalações civis e equipamentos bem mais simples que as estações de reciclagem e têm por finalidade (CHENNA, 2001):

- receber gratuitamente pequenos volumes (até 2 m³ diários, por transportador) de resíduos de qualquer natureza (resíduos de construção, material de desaterro, aparas de vegetação e de madeira, e bens de consumo danificados), exceto animais mortos, lixo orgânico e industrial;
- proceder à classificação e à organização dos diversos resíduos para possibilitar a remoção racionalizada e a diferenciação do tratamento, com o uso de caçambas na organização e remoção dos resíduos dessas áreas para facilitar a estocagem e diminuir os custos com a remoção;
- organizar (por escala de atendimento e em função da capacidade operacional instalada em cada unidade) pequenos coletores credenciados, que utilizam veículos de pequeno porte; na perspectiva social, é contemplada a organização da secular atuação de carroceiros no transporte de entulho na cidade;
- dar encaminhamento às solicitações telefônicas da comunidade para contratação de serviços de retirada de pequenos volumes de resíduos de construção por coletores autônomos (carroceiros);
- funcionar, sempre que possível e viável, como locais de entrega voluntária (LEV) para recebimento dos materiais destinados à coleta seletiva (papel, metal, vidro, plástico, podas, móveis e eletrodomésticos usados).

Quando a primeira estação de reciclagem foi implantada, houve muita resistência da população que temia desvalorização de seus imóveis, pois acreditavam que poderia haver problemas com mau cheiro, ruído ou poeira. Para contornar esses problemas, foram adotadas pela SLU-BH, algumas medidas preventivas e corretivas:

- toda área das estações é fechada o que dificulta a entrada de pessoas e animais;
- toda área é cercada com uma cortina vegetal formada com árvores que funcionam como uma barreira visual, como proteção acústica e como retenção de materiais particulados;
- instalação de borrachas nas calhas dos equipamentos britadores e instalação de silenciadores nas carregadeiras, visando maior proteção acústica;

- instalação de pontos de aspersão de micro-partículas de água em várias etapas do processo (recebimento, estocagem e movimentação);

Após sua instalação e início de funcionamento a população vizinha à área percebeu que os impactos ambientais da usina não afetavam, de forma significativa, suas moradias. Isso facilitou muito a instalação da segunda estação.

3.4.2.2 Resultados da Gestão Diferenciada em Belo Horizonte

A geração de RCD em Belo Horizonte, situa-se em torno de 450 kg/habitante/ano (SLU-BH, 2005) e na Tabela 6 está listada a representatividade do RCD na massa total de resíduos sólidos recebidos diariamente pela SLU-BH no período de 2000 a 2003.

Tabela 6 – Representatividade do RCD na massa de resíduos sólidos recebidos pela SLU-BH

Tipo de Resíduos	2000	2001	2002	2003	Média
Resíduos Sólidos Urbanos (t/dia)	4.554	4.009	4.337	4.119	4.255
RCD (t/dia)	2.325	1.676	1.829	1.352	1.795
Representatividade dos RCD %	51,	41,	42,	32,	42,

Fonte: SLU-BH, 2005.

Atualmente, a quantidade de URPV's em funcionamento totaliza 28 unidades, que são distribuídas em pontos estratégicos da cidade, sempre próximos a áreas de descartes clandestinos, com 2.500 carroceiros cadastrados (estima-se que existam mais de 10.000 carroceiros em Belo Horizonte). Essa quantidade de URPV's já ultrapassou a expectativa inicial do programa, que seria de 17 unidades. Os materiais coletados são separados em caçambas, com cores distintas e direcionados para as três estações de reciclagem e para o aterro sanitário. A maior parte vai para o aterro sanitário devido ao alto grau de contaminação.

As URPV's (Figura 5) possuem área de aproximadamente 300 m² e disponibiliza ao carroceiro um serviço de apoio, com banheiro e telefone (disk carroça). As pessoas da comunidade interessadas no transporte entram em contato para a contratação do serviço. Ainda são oferecidos serviços de apoio veterinário com vacinação, desvermifugação e banho do animal. Estes serviços têm a finalidade de transformar o carroceiro em um agente comunitário de limpeza urbana, com a qualificação de trabalho e geração de renda, evitando que deposite resíduos irregularmente no município.



Figura 5 – URPV (Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes)

Fonte: PINTO (2005 b)

Atualmente existem 3 estações de reciclagem de entulho em funcionamento. As estações do bairro Estoril e Pampulha já estão em operação desde 1995 e 1996, respectivamente. A estação do bairro Califórnia, instalada na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR 040 está funcionando em caráter experimental e pode ter sua capacidade de produção de agregados duplicada dependendo da demanda municipal (SLU-BH, 2005).

No início a operação da Estação do bairro Estoril, que pode ser vista na Figura 6, ela recebia 110 t/dia de resíduo. Hoje ela tem capacidade instalada para 260 t/dia e processa 25 t/hora, o que resulta em aproximadamente 175 t/dia, considerando as sete horas trabalhadas. Essa usina, por estar inserida em uma área residencial, funciona no período de 09:00 as 12:00h e de 14:00 às 18:00h. A estação da Pampulha, quando foi instalada, tinha capacidade para 240 t/dia e hoje, após modificações realizadas em seu britador, ela pode processar até de 320 t/dia. A estação do bairro Califórnia, tem capacidade instalada para 80 t/h e processa atualmente 50 t/h (SLU-BH, 2007).

A evolução da produção de agregados reciclados nas duas primeiras usinas foi muito satisfatória. Em 1996 foram recicladas 16.000 t de RCD, enquanto que em 2003, foram recicladas 116.000 t, o que representou um aumento significativo.



Figura 6 – Estação de reciclagem do Bairro Estoril
Fonte: PINTO (2005 b)

Na entrada das usinas de reciclagem o material, ainda dentro da caçamba, passa por um controle visual de impurezas que admite-se no máximo 10% de materiais estranhos ao RCD classe A, tais como plásticos, papel, papelão, latas de tinta etc. A caçamba é então descarregada no pátio. Posteriormente, o material é espalhado com o auxílio de uma pá carregadeira para remoção manual de elementos indesejados, tais como matéria orgânica, gesso, papéis, papelão, conduítes e metais. Peças maiores de 30 cm são quebradas com auxílio de marretas. O material então é carregado no alimentador vibratório, britado, estocado e posteriormente utilizado pela Prefeitura de Belo Horizonte na execução de base e sub-base, na preparação de vias internas e células no Aterro Municipal (Figura 7) em substituição de solo nobre que era anteriormente importado de outros locais. Pode ainda, ser vendido para terceiros para execução de aterros particulares.

Uma pequena parte do material reciclado na usina do bairro Estoril, é doada para a Ecobloco, que está instalada nesta estação e que produz 1.200 blocos diariamente. Essa empresa, que iniciou seus trabalhos em 2004, produz blocos de concreto sem função estrutural, em uma conjugação da proteção ambiental com a inclusão social de trabalhadores com trajetória de rua, que fizeram cursos de capacitação de produção, gerenciamento e empreendedorismo. A produção segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e hoje é auto-sustentável.



Figura 7 – Utilização do agregado reciclado na preparação de vias internas do Aterro Municipal. Fonte: PINTO (2005 b).

Segundo Carneiro *et al.* (2001), consegue-se uma economia de 22% na execução da pavimentação asfáltica e é estimada uma economia de 50% na produção de blocos de vedação.

Ainda não existe nas usinas de reciclagem a triagem de materiais recebidos em condições de serem reutilizados, tais como, pedras de alicerce, tijolos, louça cerâmica e outros materiais servíveis, com a finalidade de constituir um banco de materiais para utilização em projetos sociais de habitação. Porém, através de uma iniciativa de caráter social, foi criado no ano de 2003 o Centro de Distribuição Brechó da Construção que é um projeto que se baseia na captação de material de construção de empresas e particulares que desejam fazer a doação (Figura 8). O contato é feito por telefone e um caminhão faz a coleta gratuita dos materiais que, posteriormente são vendidos a preços simbólicos a famílias carentes para reforma e construção de moradias. O valor cobrado das famílias corresponde a 5% do preço de mercado e antes da entrega dos materiais, um consultor vai até a moradia ou lote verificar se o imóvel não está situado em área invadida ou de risco. Esse projeto foi reconhecido nacionalmente pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil, com a concessão do I Prêmio Responsabilidade Social em 2005 (SINDUSCON-MG, 2005).



Figura 8 – Galpão do Brechó da Construção – Belo Horizonte.

Fonte: SICEPOT-MG (2005).

Atualmente, o custo médio da britagem do RCD é de R\$ 35,93/t ou R\$ 57,49/m³. O custo é elevado, mas a Prefeitura de Belo Horizonte encontra várias vantagens (SLU-BH, 2007):

- pode vender esse agregado a R\$ 5,31/t ou R\$ 8,50/ m³. O custo do agregado reciclado é muito inferior se comparado ao custo dos agregados naturais mais utilizados em obras. O custo da areia, brita e pedra de mão na região metropolitana de Belo Horizonte, por exemplo, é aproximadamente igual a R\$ 40,00/m³. O custo da bica corrida, que também é um bom material para execução de base e sub-base, é R\$ 20,00/m³, ou seja, mais que o dobro do valor do agregado reciclado;
- economiza ao deixar de aterrar esse material, cujo custo médio é de R\$ 15,84/t e prolongando a vida útil do aterro;
- atende à Resolução CONAMA n° 307/02 que determina que os RCD não sejam destinados a aterros de resíduos domiciliares;
- minimiza danos ambientais através da redução da exploração de recursos naturais não renováveis.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 *Definição e caracterização da amostra*

A Resolução CONAMA nº. 307/02, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais provocados pelos resíduos da construção civil, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para serem implantados durante a execução das obras. Essas ações podem e devem ser empregadas em todo e qualquer tipo de construção que provoque a geração de resíduos.

Toda obra para ser executada necessita de tempo para sua execução. É muito comum as obras gastarem vários meses, ou até mesmo, anos para serem concluídas. O cronograma físico de cada obra pode ser determinado em função de vários fatores:

- tamanho da construção: quanto maior a área a ser construída, maior será o tempo necessário para sua construção;
- recursos financeiros: uma obra pode ter seu tempo prolongado, podendo até mesmo, nem ser concluída devido à falta de recursos do proprietário. Pelo contrário, pode ocorrer a antecipação do cronograma com o aumento do número de funcionários ou com o aumento de sua jornada de trabalho (horas extras). Essa última opção pode provocar uma elevação no custo final da obra;
- condições climáticas: determinadas obras podem atrasar devido às condições do tempo. Por exemplo, obras de fundação ou de terraplanagem, no período das chuvas podem ser até paralisadas;
- grau de dificuldade do projeto: as obras possuem particularidades que as diferenciam umas das outras;
- soluções tecnológicas utilizadas: construções metálicas ou com estruturas pré-moldadas de concreto armado reduzem o tempo de construção, podendo elevar o custo final.

Considerando todos esses fatores e com o objetivo de garantir que os dados de todas as etapas das obras fossem coletados, procurou-se escolher obras que pudessem ser concluídas dentro

do prazo de duração deste programa de pós-graduação (em torno de 24 meses). Foram escolhidas obras de pequeno porte e com cronograma previamente definido.

O fato das obras serem pequenas não altera a qualidade das informações coletadas, pois, de acordo com dados de Pinto (2005), o consumo de materiais pela construção civil nas cidades é pulverizado e cerca de 75% dos RCD gerados nos municípios provêm de eventos informais, caracterizados por pequenas obras de construção, reformas e demolição, geralmente realizadas pelo próprio usuário dos imóveis. Sendo assim, todas as quatro obras estudadas fazem parte do conjunto de obras (pequenas) que geram a maior parte dos RCD.

Segundo Pinto (1999), nas grandes cidades brasileiras, as atividades de canteiros de obra (construções novas) são responsáveis pela geração de 50% dos resíduos, enquanto que as atividades de manutenção e demolição (reformas) são responsáveis pela outra metade. Em função disso, para enriquecimento das informações coletadas, foi incluída uma obra de reforma junto com as três obras de novas construções. As três obras de construção abrangeram três tipos diferentes: comercial, industrial e residencial.

Para facilitar o acompanhamento e a coleta de dados, foram escolhidas apenas obras situadas próximas à região metropolitana de Belo Horizonte (MG).

Com o objetivo de possibilitar comparações com obras semelhantes, as principais características das obras estudadas são descritas a seguir.

4.1.1 Obra comercial

Construção de um edifício comercial de dois pavimentos constituídos por duas lojas, com sobrelojas com um banheiro e uma copa em cada uma, conforme pode ser visto na Figura 9. A área total construída é de 222,50 m² e possui as seguintes características:

- fundação direta (profundidade inferior a 3 metros);
- alvenaria de tijolos cerâmicos;
- laje maciça de concreto;
- revestimento interno e externo com reboco, com exceção da fachada frontal (revestimento cerâmico);
- piso cerâmico;
- cobertura de madeira e telhas de fibrocimento.

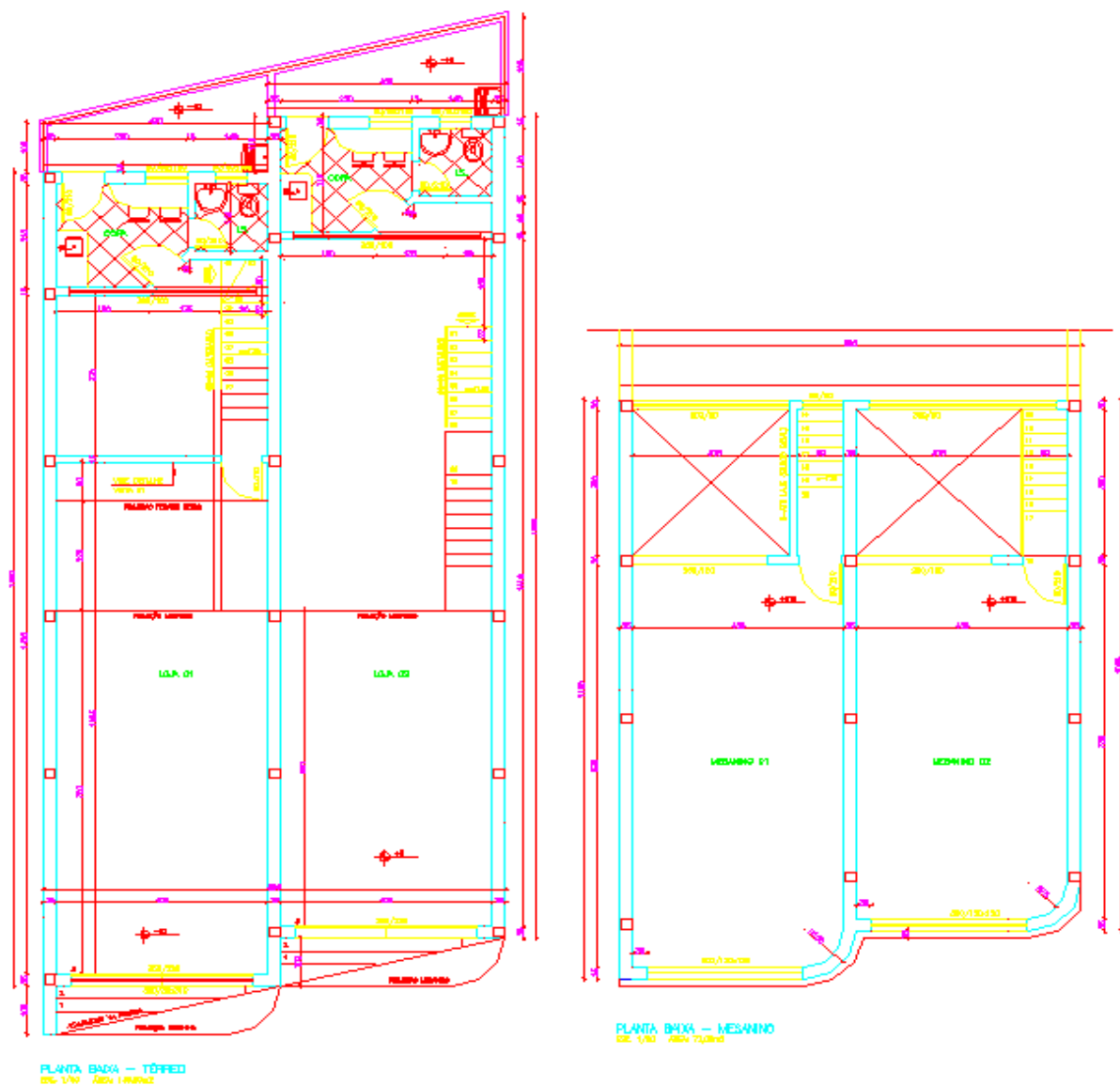


Figura 9 – Planta da obra comercial

4.1.2 Obra industrial

Construção de um galpão industrial dividido internamente com alvenaria em três ambientes, conforme pode ser visto na Figura 10. A área total construída é de 161,50 m² e possui as seguintes características:

- fundação direta (profundidade inferior a 3 m);
- alvenaria de blocos de concreto;
- revestimento interno e externo com reboco;
- piso de concreto armado;
- cobertura metálica.

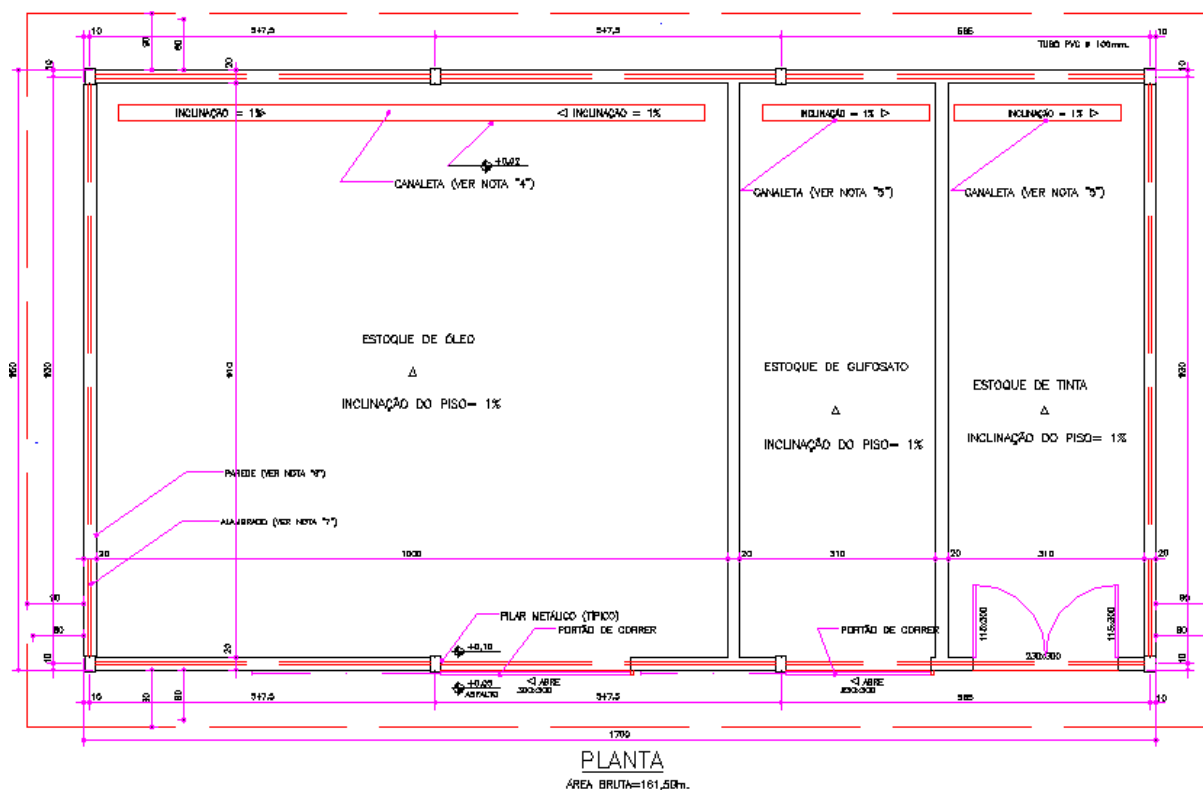


Figura 10 – Planta da obra industrial

4.1.3 Obra residencial

Construção de uma residência com 3 quartos, suíte, sala, copa, cozinha, banheiro e área de lavanderia e garagem, conforme pode ser visto na Figura 11. A área total construída é de 239,00 m² e possui as seguintes características:

- fundação direta (profundidade inferior a 3 metros);
- alvenaria de tijolos cerâmicos;
- laje pré-moldada (tipo treliçada) de concreto;
- revestimento interno e externo com reboco;
- piso cerâmico em toda a área interna ao lote;
- cobertura de madeira e telhas cerâmicas na casa, área de lavanderia e garagem.

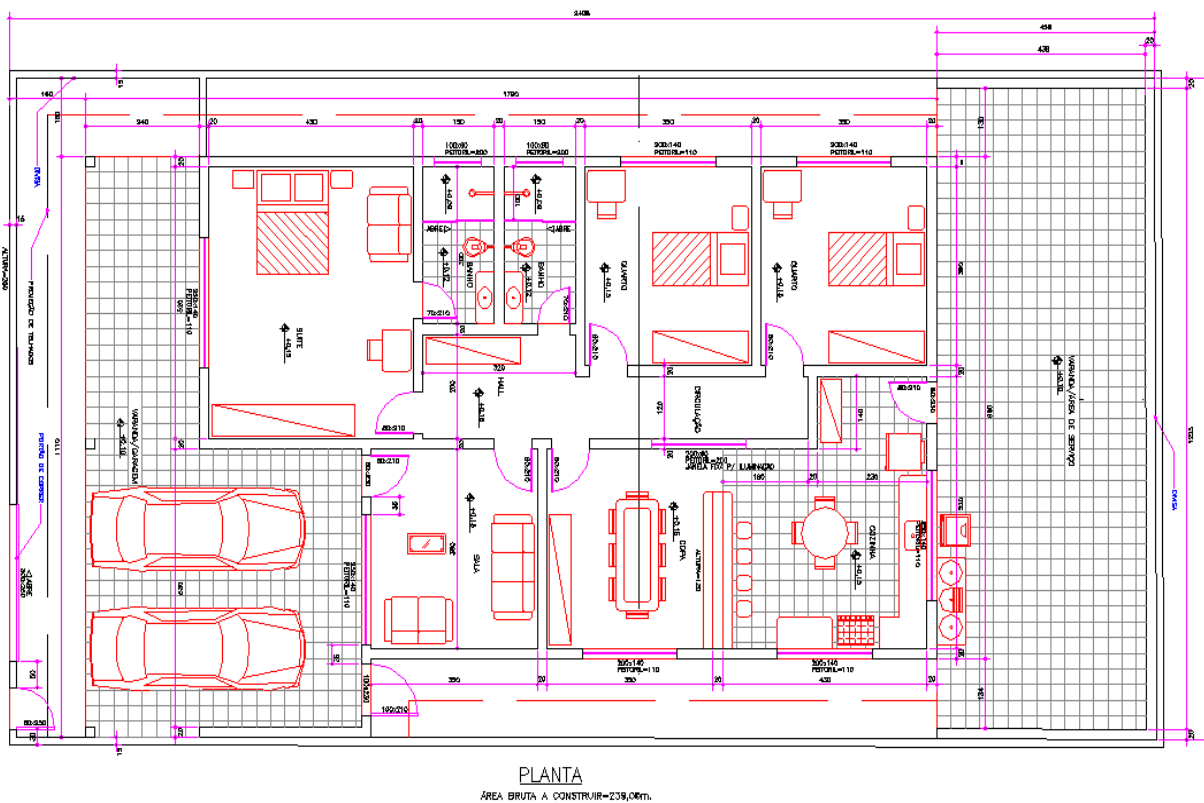


Figura 11 – Planta da obra residencial

4.1.4 Reforma

Foi selecionada e avaliada a reforma de um banheiro com área de 35 m², conforme pode ser visto na Figura 12, e com as seguintes características:

- remoção completa de revestimentos de piso e paredes;
- substituição de divisórias de alvenaria por granito entre todos os vasos sanitários;
- substituição de toda tubulação de água e esgoto;
- revestimento cerâmico nas alvenarias e no piso;
- forro de PVC.

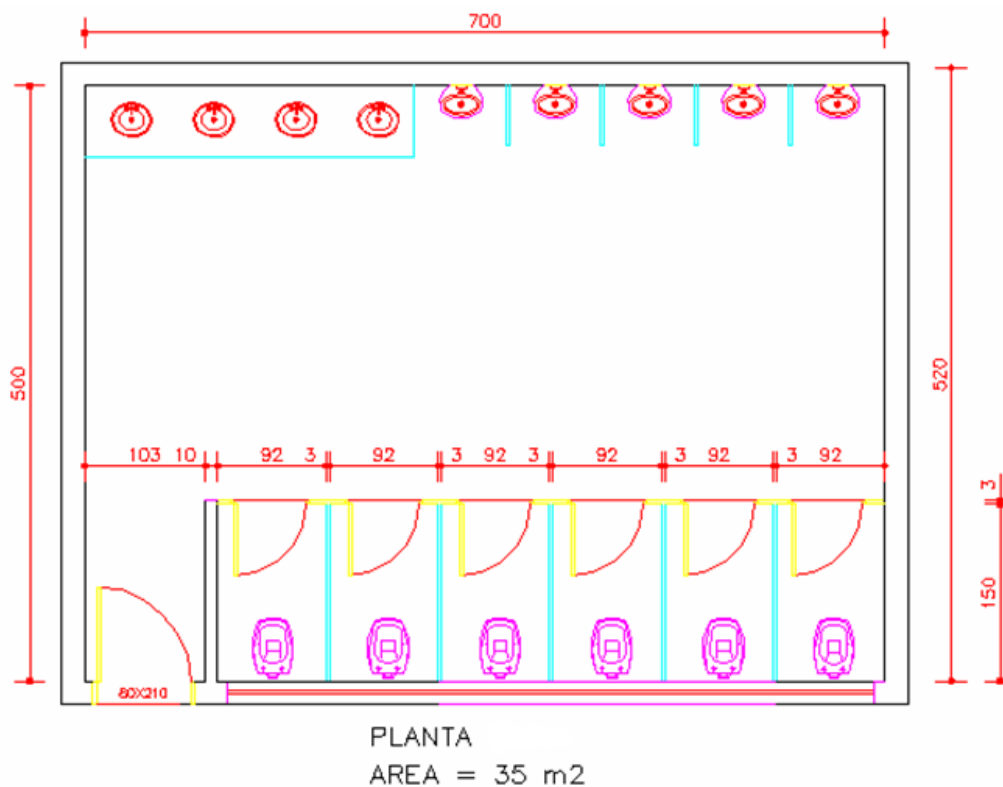


Figura 12 – Planta da obra de reforma

4.2 Implantação dos procedimentos da Resolução

4.2.1 Autorização dos proprietários / responsáveis pelas obras

Antes do início de cada obra, foi realizada uma reunião com o proprietário ou o responsável para exposição dos objetivos deste trabalho e das condições mínimas necessárias para implantação do gerenciamento dos resíduos.

Das quatro obras estudadas, duas foram executadas dentro de empresas privadas: a obra de reforma e a de construção industrial. Nestes locais a Resolução CONAMA n°. 307 já era conhecida, porém, ainda não tinha sido implantada. Os proprietários das obras de construção comercial e residencial não conheciam a Resolução e demonstraram muita preocupação com o custo do gerenciamento, com o aumento no cronograma físico e o fato de suas obras serem citadas neste trabalho. Para eles, isso poderia atrair futuramente a presença de fiscais municipais ou do órgão de fiscalização ambiental.

Mesmo após explicado que, realizando o gerenciamento conforme a Resolução CONAMA n°. 307/02, os proprietários estavam protegidos legalmente em caso de qualquer fiscalização,

ficou acertado que não seriam divulgados nomes e endereços de nenhuma das obras avaliadas. Nem mesmo o nome da cidade seria citado.

Para evitar atraso e para facilitar a separação dos custos do gerenciamento (segregação e acondicionamento), todos esses serviços seriam realizados por funcionários ociosos entre uma tarefa e outra, ou após o expediente normal de trabalho sendo que, neste último caso, o custo extra gerado para o construtor não seria repassado ao proprietário, e sim para esse autor.

4.2.2 Exposição da Resolução aos empreiteiros

Com a autorização dos proprietários, o próximo passo foi levar ao conhecimento dos construtores os interesses desta pesquisa. Foram feitas reuniões também com os funcionários dos mesmos, onde foi passado um resumo dos pontos mais importantes da Resolução CONAMA nº. 307 e das vantagens deste gerenciamento para o meio ambiente.

Todos os empreiteiros, bem como seus funcionários, demonstraram muito interesse em colaborar com a pesquisa e ficou acertado que apenas seria cobrado o custo dos funcionários que necessitassem trabalhar fora do horário normal de trabalho (ocorrência de horas extras).

Um fator importante e que facilitou a aceitação da implantação dos procedimentos desta pesquisa foi que todas as obras foram realizadas no regime de empreitada, ou seja, foi fechado um preço global para o empreiteiro entregar a obra pronta ao proprietário. No momento que o serviço foi combinado, os responsáveis pela execução já sabiam de todos os procedimentos necessários.

Com base no artigo 4º da Resolução nº 307, foi discutido no início da obra, com todos os funcionários, o objetivo principal da não geração de resíduos. Para isso, foram tomadas algumas providências:

- estudo completo de todos os projetos para encontrar possíveis dúvidas, interferências ou erros que pudessem gerar re-trabalhos com demolição;
- determinação de locais adequados para o armazenamento correto dos materiais comprados até a sua utilização;
- transporte de materiais dentro da obra com máximo de cuidado para evitar quebras ou danos;

- conferência da locação para evitar que alvenarias ficassem fora de esquadro ou de prumo, o que poderia levar a um aumento na espessura de argamassa na fase de acabamento;
- definição com os engenheiros das obras de todos os traços para os vários tipos de argamassa e concreto, evitando o uso desnecessário de cimento, areia, brita ou cal em cada situação;
- manutenção de locais apropriados para armazenamento, pelo maior tempo possível, dos resíduos gerados com o objetivo de reutilizá-los na própria obra.

4.2.3 Determinação dos locais para acondicionamento dos resíduos

Ficou acertado também com os empreiteiros os locais de segregação e armazenamento temporário dos resíduos. Esses locais foram determinados em função das particularidades de cada obra: dentro de tambores colocados ao lado da obra, conforme pode ser visto Figura 13, dentro de quartos fechados ou até mesmo em lotes vizinhos emprestados para essa função.



Figura 13 – Segregação de resíduos da obra industrial

Como os pesos e os volumes dos resíduos classe A são muito superiores aos outros resíduos gerados, ficou acertado que todo material proveniente da fundação ou demolição (no caso da obra de reforma) seria pesado e imediatamente disposto em local apropriado. Isso permitiu a quantificação em separado dos outros resíduos classe A gerados nas outras etapas das obras.

4.3 Acompanhamento das obras

Todas as obras foram acompanhadas e os resíduos gerados foram quantificados. As obras eram visitadas semanalmente e sempre que era necessário descartar um resíduo, os proprietários ou os próprios construtores alertavam para as anotações completas.

4.3.1 Quantificação dos insumos

Foi executado um controle de peso de todos os materiais que entravam no canteiro de obra o que forneceu o peso total das construções. Isso foi importante para obtenção de um índice referente ao peso do entulho gerado em relação ao peso total da obra.

Muitos materiais já possuem o peso registrado em suas embalagens o que facilita o cálculo final. Como exemplo, pode-se citar o cimento, cal, argamassa, tintas e revestimentos cerâmicos. Nestes casos multiplicou-se a quantidade utilizada pelo peso de cada unidade.

Para outros materiais que não possuem peso especificado, esse somatório foi obtido a partir de amostragens, como no caso dos tijolos, blocos, metais, louças, esquadrias (metálicas e madeira), portões e telhas, em que o peso médio foi calculado a partir da pesagem de unidades e sua multiplicação pelo número total utilizado.

No caso dos materiais mais pesados, como brita, areia e pedra, foi utilizado o peso destacado nas notas fiscais emitidas pela empresa que os forneceu. O mesmo foi feito no caso das ferragens (aço).

Para quantificar os materiais que possuem tamanhos diferentes, como vidro, granito, peças de madeira para telhado etc., foram utilizados pedaços menores que foram pesados e, posteriormente, calculado o total comprado.

Em todas as obras foram considerados apenas os materiais que ficaram incorporados nelas. Desta forma, a madeira utilizada para formas e que pode ser reaproveitada para outras obras, não foi lançada no peso total da obra. Já as suas sobras, caracterizadas por pequenos pedaços de tábuas, sarrafos, pontaletes ou madeirites, foi quantificada e anotada como resíduos de cada obra.

4.3.2 Quantificação dos resíduos gerados

Os materiais mais pesados, como os resíduos classe A, foram colocados em caçambas ou retirados por caminhões e pesados em balanças emprestadas por empresas particulares situadas próximas às obras (Figura 14). Os caminhões foram pesados primeiramente vazios, para se conhecer o seu peso próprio.

Os materiais mais leves, foram levados com caminhonete para outro local de pesagem.



Figura 14 – Pesagem de caçamba com entulho

4.3.3 Determinação do custo do gerenciamento

Procurou-se levantar o custo do gerenciamento sem considerar o custo de disposição dos materiais gerados, pois estes já seriam dispostos de qualquer forma. Foi separado como custo do gerenciamento apenas o custo extra resultante da separação dos resíduos ou o seu armazenamento temporário para posterior disposição. Para exemplificar, se uma determinada obra gerou uma quantidade de resíduos suficiente para X caçambas e após o gerenciamento precisou de X+Y caçambas, logo o custo extra gerado com o gerenciamento foi igual ao valor de Y caçambas. Com relação à mão de obra, o raciocínio foi o mesmo. Somou-se apenas os gastos extras de segregação e acondicionamento.

5 RESULTADOS

5.1 Obra comercial

Essa obra, mostrada na Figura 15, foi iniciada em outubro de 2005 e terminou em setembro de 2006 com custo final de R\$ 105.620,00 (o valor do lote não foi incluído).



Figura 15 – Obra comercial

A obra ocupou todo o lote e por isso todos os resíduos foram depositados em um lote vizinho. Foi assumido o compromisso de deixar toda a área limpa após o término da obra e que todos os resíduos armazenados seriam bem organizados, de forma a não proporcionar condições que pudessem prejudicar a saúde dos moradores da vizinhança.

Todos os recipientes plásticos foram colocados de boca para baixo para evitar o acúmulo de água de chuva. Todos os resíduos de madeira foram empilhados de forma a diminuir os espaços vazios onde insetos pudessem se alojar.

Foram listados nas Tabelas 7 e 8 todos os resultados referentes ao peso dos insumos e dos resíduos gerados nesta obra, respectivamente.

Tabela 7 – Insumos (Materiais) da obra comercial

INSUMOS (MATERIAIS) DA OBRA COMERCIAL						
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação	Peso Unitário	Unidade	Peso total (kg)
1	60	m ³	areia	1400	kg/m ³	84000
2	31	sc	argamassa	20	kg	620
3	320	ud	bloco 40x20x20	15	kg	4800
4	36	m ³	brita 1	1450	kg/m ³	52200
5	120	sc	cal	15	kg	1800
6	561	sc	cimento	50	kg	28050
7	15	m ³	concreto usinado	2300	kg/m ³	34500
8	35	m ²	esquadrias metálicas	10	kg/m ²	353
9	1	ud	ferragem	4280	kg	4280
10	7	m ²	granito espessura = 2 cm	54	kg/m ²	370
11	20	m ²	ladrilho hidráulico	40	kg/m ²	800
12	0,5	m ³	madeira (telhado, marcos e portas)	1400	kg/m ³	742
13	227	m ²	piso cerâmico 40 x 40 cm	16	kg/m ²	3725
14	25	sc	rejunte	5	kg	123
15	124	m ³	revestimento de parede	15	kg/m ²	1863
16	151	m ²	telha de fibrocimento	12	kg/m ²	1858
17	1000	ud	tijolos 30x20x10	4	kg	3900
18	5950	ud	tijolos 30x20x15	6	kg	34808
19	1	ud	tintas	261	kg	261
20	16	m ²	vidro	7	kg/m ²	117
Peso total dos insumos (kg)						259.170

Na Tabela 7 não foram lançados os insumos cujo peso máximo foi inferior a 100 kg pelo fato de representarem menos de 0,0005 (cinco décimos de milésimos) do peso total e consequentemente não influenciarem nos valores dos índices obtidos. Como exemplo destes materiais na obra comercial, pode-se citar: fechaduras, metais e louças. Outro fator que influenciou para que esses materiais mais leves não fossem incluídos no peso total dos insumos é o fato de que praticamente não geraram resíduos.

Tabela 8 – Resíduos gerados na obra comercial

RESÍDUOS GERADOS NA OBRA COMERCIAL			
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação
1	14449	kg	entulho classe A (fundação)
2	6300	kg	entulho classe A (obra)
3	169	kg	papel / papelão
4	139	kg	metais
5	99	kg	madeira
6	19	kg	plástico
7	9	litros	verniz, thinner, selador
8	6	kg	vidro
21.190			Peso total dos resíduos (kg)

Na Figura 16 pode ser vista a pesagem de parte dos resíduos gerados nesta obra.



Figura 16 – Medição de resíduos de madeira da obra comercial

Os resíduos gerados eram depositados no lote vizinho, em locais separados. Após o horário normal de trabalho, um funcionário os separava e os organizava. Para isso foram gastas dezesseis horas extras. Para se chegar ao valor citado na Tabela 9, dobrou-se o número de horas, pelo fato da hora extra custar o dobro da hora normal e chegou-se a um total de trinta e duas horas trabalhadas, que equivale a quatro dias de trabalho.

Os resíduos classe A foram retirados no fim da obra com carregadeira e caminhões. Estes últimos foram pesados em balança de uma empresa particular do próprio município. Os resíduos classe B foram pesados em separado. Não foram encontrados resíduos classe C e os

resíduos classe D, resumidos a restos de tinta e thinner, foram separados e doados ao empreiteiro da construção para utilização em outras obras.

Para atendimento à legislação, todos os resíduos que pertenciam a classe B, deveriam ser dispostos de forma a permitir sua utilização ou reciclagem futura. Sendo assim, seriam necessárias três caçambas para dispor todos os resíduos classe B. Os papéis poderiam ser dispostos juntamente com o vidro (menor volume), os metais, juntamente com os plásticos e a madeira, em caçamba separada. Isso geraria um custo extra de R\$ 75,00 (em setembro de 2006). Esse foi o valor computado nesta pesquisa (Tabela 9), mas não foi a realidade da obra, pois, como não existe uma política para reciclagem neste município e todos os materiais seriam destinados para o mesmo local, foi utilizada somente uma caçamba para sua disposição.

O custo para o gerenciamento de resíduos gerados nesta obra está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Custo do gerenciamento na obra comercial

CUSTO DO GERENCIAMENTO NA OBRA COMERCIAL						
Item	Função	Serviço Executado	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Servente	Segregação / Disposição Final	4	dia	R\$ 46,20	R\$ 184,80
2	Transportador	Transporte de resíduos	3	verba	R\$ 25,00	R\$ 75,00
Custo total do gerenciamento						R\$ 259,80

Observação:

- 1- O custo do dia trabalhado do servente inclui todos os encargos trabalhistas, alimentação, uniformes e EPI's, conforme informações do construtor e dados do TCPO 2000.
- 2- No item 2 está lançado apenas o custo extra de transporte, originado com o gerenciamento implantado, que foi de três caçambas.

5.2 Obra industrial

Essa obra, mostrada na Figura 17, foi iniciada em Agosto de 2006 e terminou em Outubro de 2006 com custo final de R\$ 95.100,00 (o valor do lote não foi incluído).



Figura 17 – Obra industrial

A empresa proprietária exigiu que os resíduos armazenados durante a obra fossem estocados em locais sinalizados. Os resíduos classe A, provenientes da escavação de fundação e os gerados durante as outras etapas da obra foram colocados em caçambas que foram pesadas antes da disposição final. Foram separados tambores para colocação dos resíduos classe B e D. Esses tambores foram colocados ao lado da obra e lá permaneceram até sua quantificação em balança. Não foram encontrados resíduos classe C.

Foram listados nas Tabelas 10 e 11, todos os resultados referentes ao peso dos insumos e dos resíduos gerados nesta obra, respectivamente.

Tabela 10 – Insumos (Materiais) da obra industrial

INSUMOS (MATERIAIS) DA OBRA INDUSTRIAL						
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação	Peso Unitário	Unidade	Peso total (kg)
1	32	m ³	areia lavada grossa	1400	kg/m ³	44800
2	10	m ³	brita 1 e pedra de mão	1450	kg/m ³	14500
3	2100	ud	bloco concreto 40x20x15 cm	13	kg	26376
4	70	sc	cal	15	kg	1050
5	135	sc	cimento	50	kg	6750
6	38	m ³	concreto usinado	2300	kg/m ³	87400
7	1	ud	estrutura metálica	2872	kg	2872
8	1	ud	ferragem (barras e telas)	1899	kg	1899
9	350	ud	tijolo 30x20x10	4	kg	1365
10	1	ud	tintas	164	kg	164
Peso total dos insumos (kg)						187.176

Tabela 11 – Resíduos gerados na obra industrial

RESÍDUOS GERADOS NA OBRA INDUSTRIAL			
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação
1	10500	kg	entulho classe A (fundação)
2	5390	kg	entulho classe A (obra)
3	217	kg	metais
4	56	kg	madeira
5	49	kg	papel / papelão
6	11	kg	plástico
7	8	litros	esmalte, thinner e tinta
16.231		Peso total dos resíduos (kg)	

Na Figura 18, pode ser vista a pesagem de parte dos resíduos gerados nesta obra.



Figura 18 – Medição dos resíduos de madeira da obra industrial

Nesta obra os sacos de cimento não foram queimados. Como também aconteceu nas obras comercial e residencial, eles foram pesados e dispostos juntamente com os resíduos classe A, uma vez que não poderiam ser reciclados.

O custo para o gerenciamento de resíduos gerados nesta obra está apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Custo do gerenciamento na obra industrial

CUSTO DO GERENCIAMENTO NA OBRA INDUSTRIAL						
Item	Função	Serviço Executado	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Servente	Segregação/Disposição Final	3	dia	R\$ 46,20	R\$ 138,60
2	Transportador	Transporte Disposição Final	2	verba	R\$ 45,00	R\$ 90,00
Custo total do gerenciamento						R\$ 228,60

Observação:

- 1- O custo do dia trabalhado do servente inclui todos os encargos trabalhistas, alimentação, uniformes e EPI's, conforme informações do construtor e dados do TCPO 2000.
- 2- No item 2 está lançado apenas o custo extra de transporte, originado com o gerenciamento implantado, que foi de duas caçambas.

Conforme pode ser visto na Tabela 12, para segregação dos resíduos desta obra foram gastos três dias de servente. Este número foi alcançado através do somatório de todas as doze horas extras gastas pelo funcionário para a manutenção do gerenciamento. Como o custo de doze horas extras equivalem a vinte e quatro horas normais, foram lançados três dias trabalhados.

O custo extra de transporte para disposição final, gerado no item 2 da Tabela 12, foi equivalente a duas caçambas utilizadas para retirar os resíduos classe B e D, no final da obra. Nesta cidade, o preço da caçamba em outubro de 2006 era de R\$ 45,00.

5.3 Obra residencial

Essa obra, mostrada na Figura 19, foi iniciada em Setembro de 2006 e terminou em Setembro de 2007, com custo final de R\$ 146.950,00 (o valor do lote não foi incluído).



Figura 19 – Obra residencial

Esta obra também ocupou todo o lote e por isso todos os resíduos classe A foram depositados no passeio do lote vizinho. Em junho de 2007, o fiscal da prefeitura municipal da cidade solicitou que todos os resíduos fossem retirados para liberação do passeio que estava ocupado. Imediatamente, foi providenciada a remoção e pesagem de todos os materiais com carregadeira e caminhões.

Os resíduos classe B, foram armazenados dentro da obra (próximo aos muros das divisas) para evitar que fossem levados. Não houve geração de resíduos classe C (gesso) e os resíduos classe D foram separados pelo proprietário para utilização em manutenções futuras no imóvel.

Foram listados nas Tabelas 13 e 14, todos os resultados referentes ao peso dos insumos e dos resíduos gerados nesta obra, respectivamente.

Tabela 13 – Insumos (Materiais) da obra residencial

INSUMOS (MATERIAIS) DA OBRA RESIDENCIAL						
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação	Peso Unitário	Unidade	Peso total (kg)
1	88	m ³	areia	1400	kg/m ³	123200
2	38	sc	argamassa	20	kg	760
3	68	ud	bloco 40x20x20	15	kg	1020
4	55	m ³	brita 1	1450	kg/m ³	79750
5	137	sc	agrofilito	18	kg	2466
6	645	sc	cimento	50	kg	32250
7	1	ud	esquadrias metálicas/madeiras	1165	kg	1165
8	1	ud	ferragem	1622	kg	1622
9	6	m ²	granito espessura = 2 cm	56	kg/m ²	336
10	6	m ³	madeira (telhado, marcos e portas)	1400	kg/m ³	8400
11	304	m ²	piso cerâmico 40 x 40 cm	17	kg/m ²	5244
12	39	sc	rejunte	1	kg	39
13	121	m ³	revestimento de parede	15	kg/m ²	1821,9
14	4030	ud	telha cerâmica	3	kg/m ²	12090
15	1	ud	materiais hidráulicos	262	kg	262
16	3425	ud	tijolos 30x20x15 cm	6	kg	20550
17	175	m ²	laje pré-moldada	75	kg/m ²	13125
18	1	ud	tintas	474	kg	424
19	15	m ²	vidro	7,5	kg/m ²	115,2
Peso total dos insumos (kg)						304.690

Tabela 14 – Resíduos gerados na obra residencial

RESÍDUOS GERADOS NA OBRA RESIDENCIAL			
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação
1	12.980	kg	entulho classe A (fundação)
2	9920	kg	entulho classe A (obra)
3	55	kg	metais
4	138	kg	madeira
5	166	kg	papel e papelão
6	14	kg	plástico
7	14	kg	vidro
8	19	litros	verniz, thinner, selador e tinta
23.306			Peso total dos resíduos (kg)

Na Figura 20 pode ser vista a pesagem de parte dos resíduos gerados nesta obra.



Figura 20 – Medição dos resíduos de plástico da obra residencial

O custo para o gerenciamento de resíduos gerados nesta obra está apresentado na tabela 15.

Tabela 15 – Custo do gerenciamento na obra residencial

CUSTO DO GERENCIAMENTO NA OBRA RESIDENCIAL						
Item	Função	Serviço Executado	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Servente	Segregação / disposição final	4	dia	R\$ 46,20	R\$ 184,80
2	Transportador	Transporte disposição final	3	verba	R\$ 30,00	R\$ 90,00
Custo total do gerenciamento						R\$ 274,80

Observação:

- 1- O custo do dia trabalhado do servente inclui todos os encargos trabalhistas, alimentação, uniformes e Epi's, conforme informações do construtor e dados do TCPO 2000.
- 2- No item 2 está lançado apenas o custo extra de transporte, originado com o gerenciamento implantado, que foi de três caçambas.

O trabalho de segregar e acondicionar os resíduos classe B e D nesta obra, foi realizado por um funcionário após o horário normal de trabalho. Para isso foram gastas dezesseis horas extras. Para se chegar ao valor citado na Tabela 15, dobrou-se o número de horas, pelo fato da hora extra custar o dobro da hora normal e chegou-se a um total de trinta e duas horas trabalhadas, que equivale a quatro dias de trabalho.

Assim como no caso da obra comercial, foi levantado o custo para disposição como se o município tivesse um local preparado para separar e reutilizar os resíduos classe B. Para esta obra residencial, seriam necessárias três caçambas para os resíduos classe B. Uma caçamba seria destinada para as madeiras, outra caçamba para os metais e plásticos e, finalmente, uma caçamba para os papéis e vidros. Isso geraria um custo extra de R\$ 90,00 (preço de setembro de 2007). Esse foi o valor computado na Tabela 15, mas, na realidade estes resíduos foram pesados e, posteriormente dispostos dentro de uma única caçamba, no mesmo local dos resíduos classe A.

5.4 Obra de reforma

Essa obra foi iniciada em Julho de 2006 e terminou em Outubro de 2006 com custo final de R\$ 23.332,00 (Figuras 21 e 22).



Figura 21 – Obra de reforma (sanitários)



Figura 22 – Obra de reforma (mictórios)

A empresa proprietária exigiu que os resíduos armazenados durante a obra não ficassem expostos e destinou um cômodo onde os resíduos classe B foram estocados. Não foram encontrados resíduos classe C e D.

Os resíduos classe A, provenientes da demolição e da obra foram colocados em caçambas que eram retiradas após seu enchimento. Essas caçambas foram pesadas e seus dados coletados.

É importante destacar que na reforma avaliada houve demolição completa de todos os revestimentos (piso e azulejos), demolição de algumas alvenarias e troca completa das instalações hidro-sanitárias, o que elevou muito o índice de resíduos por m² construído.

Foram listados nas Tabelas 16 e 17, todos os resultados referentes ao peso dos insumos e dos resíduos gerados nesta obra, respectivamente.

Tabela 16 – Insumos (Materiais) na obra de reforma

INSUMOS (MATERIAIS) DA REFORMA						
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação	Peso Unitário	Unidade	Peso total (kg)
1	3	m ³	areia lavada grossa	1400	kg	4200
2	2	m ³	areia lavada fina	1400	kg	2800
3	23	sc	argamassa	20	kg	460
4	78	m ³	azulejo 30 x 40 cm	15	kg/m ²	1171
5	1	m ³	brita 0	1400	kg	1400
6	15	sc	cal	15	kg	225
7	39	sc	cimento	50	kg	1950
8	23	m ²	granito espessura = 2 cm	54	kg/m ²	1245
9	1	ud	esquadrias	92	kg	92
10	35	m ²	piso cerâmico 40 x 40 cm	17	kg/m ²	601
11	1	ud	louças	223	kg	223
12	1	ud	material de pvc / acrílico	90	kg	17
13	350	ud	tijolos 30x20x15	6	kg	2048
Peso total dos insumos (kg)						16.505

Tabela 17 – Resíduos gerados na obra de reforma

RESÍDUOS GERADOS NA REFORMA			
Item	Quantidade	Unidade	Discriminação
1	21790	kg	entulho classe A (demolição)
2	1800	kg	entulho classe A (reforma)
3	151	kg	madeira
4	102	kg	metais
5	67	kg	plástico
6	30	kg	papel / papelão
23.940			Peso total dos resíduos (kg)

Na Figura 23 pode ser vista a pesagem de parte dos resíduos gerados nesta obra.



Figura 23 – Medição dos resíduos de papel / papelão da obra de reforma

O custo para o gerenciamento de resíduos gerados nesta obra está apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Custo do gerenciamento da obra de reforma

CUSTO DO GERENCIAMENTO NA OBRA DE REFORMA						
Item	Função	Serviço Executado	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Servente	Segregação/Disposição Final	2	dia	R\$ 46,20	R\$ 92,40
2	Transportador	Transporte Disposição Final	1	verba	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Custo total do gerenciamento						R\$ 122,40

Observação:

- 1- O custo do dia trabalhado do servente inclui todos os encargos trabalhistas, alimentação, uniformes e Epi's, conforme informações do construtor e dados do TCPO 2000.
- 2- No item 2 está lançado apenas o custo extra de transporte, originado com o gerenciamento implantado, que foi de uma caçamba.

Dentro da empresa proprietária desta obra de reforma, existe uma outra empresa, terceirizada, responsável pela coleta de todos os resíduos recicláveis. Assim, todos os resíduos classe B foram destinados para lá, com exceção dos sacos de papel contaminados com produtos cimentícios (sacos de cimento e argamassa). Estes foram dispostos em caçambas juntamente com os resíduos classe A. Essa condição facilitou o transporte dos resíduos classe B, que se resumiu a uma única caçamba, conforme pode ser visto no item 2 da Tabela 18.

5.5 Índices obtidos nas obras avaliadas

A Tabela 19 apresenta os valores das quantidades de resíduos gerados em cada obra analisada em relação à área construída. Pode-se destacar o elevado índice de geração de resíduos por m² na obra de reforma (valor mais de seis vezes maior que os índices de construções novas).

Tabela 19 – Índice de resíduos gerados / m² construído

ÍNDICE DE RESÍDUOS GERADOS / M² CONSTRUIDO				
Item	Obra	Área (m ²)	Resíduos Gerados (kg)	Resíduos / Área (kg/m ²)
1	Comercial	222,5	21.190	95,24
2	Industrial	161,5	16.231	100,50
3	Residencial	239,0	23.306	97,51
4	Reforma	35,0	23.940	684,00

Os valores de resíduos (kg/m²) obtidos nas obras de novas construções deste estudo (comercial, industrial e reforma) se aproximaram muito dos valores obtidos em outras pesquisas:

Picchi (1993) – obra com 7.619 m² = 95,0 kg/m².

Picchi (1993) – obra com 7.982 m² = 107 kg/m².

Levy e Helene (1997) = obras de construções novas = 102 kg/m².

As Tabelas 20 e 21 apresentam os índices de resíduos gerados em relação aos insumos da obra e do custo do gerenciamento em relação ao custo da obra, respectivamente.

Tabela 20 – Índice de resíduos gerados / insumos (materiais)

ÍNDICE DE RESÍDUOS GERADOS / INSUMOS (MATERIAIS)				
Item	Obra	Resíduos gerados (kg)	Insumos (kg)	Resíduos / Insumos
1	Comercial	21.190	259.170	0,082
2	Industrial	16.231	187.176	0,087
3	Residencial	23.306	304.690	0,076
4	Reforma	23.940	16.505	1,450

Tabela 21 – Custo do gerenciamento (CG) / custo da obra (CO)

ÍNDICE DO CUSTO DO GERENCIAMENTO (CG) / CUSTO DA OBRA (CO)				
Item	Obra	CG	Custo da obra (CO)	Índice CG / CO
1	Comercial	R\$ 259,80	R\$ 105.620,00	0,25%
2	Industrial	R\$ 228,60	R\$ 95.100,00	0,24%
3	Residencial	R\$ 274,80	R\$ 145.790,00	0,19%
4	Reforma	R\$ 122,40	R\$ 23.332,00	0,52%

5.6 Representatividade do valor da mão de obra no custo do gerenciamento

Todo o trabalho de gerenciamento dos resíduos dentro das obras foi feito após o horário normal de trabalho para evitar atrasos nos cronogramas e para facilitar a separação deste custo com o objetivo de não alterar o orçamento final. Isso gerou um custo de mão de obra com 100% de acréscimo, devido às horas extras.

A Figura 24 mostra a representatividade do custo da mão de obra em relação ao custo total do gerenciamento, onde pode ser visto que se os trabalhos de gerenciamento fossem executados durante o horário normal de trabalho, os custos de gerenciamento poderiam ser ainda menores (o custo da mão de obra representou mais de 60% do custo total do gerenciamento em todas as obras estudadas).

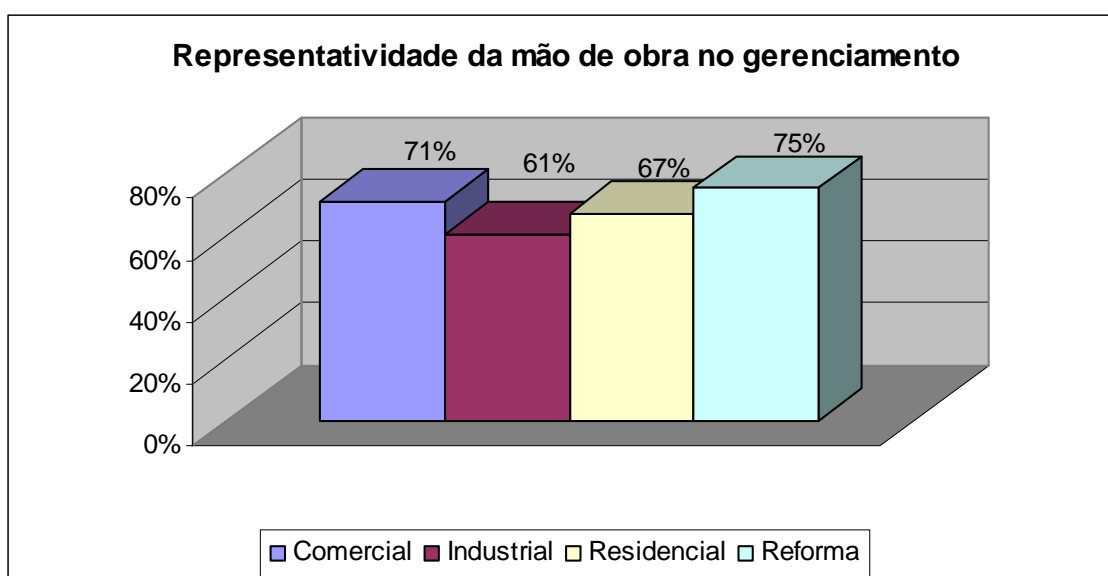


Figura 24 – Representatividade da mão de obra no custo do gerenciamento

5.7 Representatividade dos resíduos classe A

Em todas as obras estudadas os resíduos classe A representaram a quase totalidade dos resíduos gerados (em peso). Isso foi identificado tanto nas obras de construção quanto na obra de reforma.

A Tabela 22 e a Figura 24 mostram os dados dos resíduos classe A (RCA) das obras estudadas.

Tabela 22 – Representatividade dos resíduos classe A (RCA)

Item	Obra	RCA gerados na fundação (kg)	RCA gerados na demolição (kg)	RCA gerados nas outras etapas (kg)	Total de RCA (kg)	Total de resíduos gerados (kg)	RCA fundação ou demolição / Total de RCA (%)	RCA / Total de resíduos gerados (%)
1	Comercial	14.449	-	6.300	20.749	21.190	69,64	97,92
2	Industrial	10.500	-	5.390	15.890	16.231	66,08	97,90
3	Residencial	12.980	-	9.920	22.900	23.306	56,68	98,26
4	Reforma	-	21.790	1.800	23.590	23.940	92,37	98,54

Representatividade dos RCA

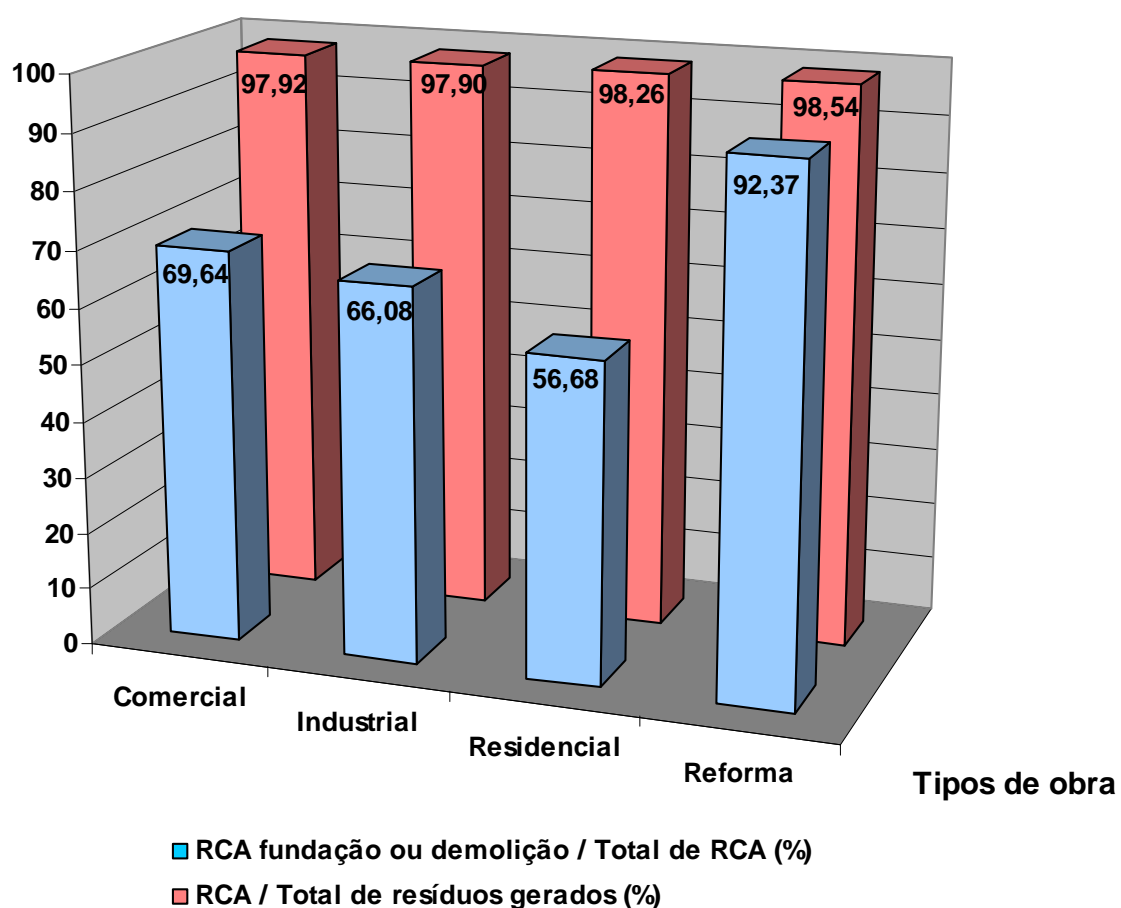


Figura 25 – Representatividade dos resíduos classe A

Em todas as obras de construção (comercial, industrial e residencial) e na obra de reforma verifica-se que os valores dos RCA gerados na etapa de fundação ou demolição representam mais da metade de todos os resíduos gerados.

A obra residencial possuiu o menor valor de RCA gerado em comparação com a quantidade total de RCA desta obra. Isso ocorreu, entre outros fatores, pelo fato do proprietário ter feito a opção de elevar um pouco o nível da construção em relação ao lado externo da casa. Logo, uma parte do material escavado foi utilizado no aterro compactado que foi feito no interior da residência durante a construção, reduzindo a quantidade de sua disposição.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/02 os RCA não contaminados não deveriam ser dispostos juntamente com os resíduos sólidos urbanos, o que aconteceu em todas as obras estudadas.

6 CONCLUSÕES

Todas as obras estudadas possuem particularidades que as diferem de outras construções semelhantes, porém, fornecem dados que podem auxiliar em comparações com obras equivalentes.

Os funcionários responsáveis pelas atividades de segregação e disposição final apresentaram grande receptividade às diretrizes da Resolução CONAMA nº. 307/02, além de fácil entendimento dos requisitos exigidos.

O acondicionamento dos resíduos durante a obra foi um problema observado durante este trabalho, pelo fato de duas obras serem executadas dentro de empresas privadas. Mesmo os resíduos estando separados de forma organizada e limpa, existe uma cultura de que os mesmos devem ser descartados imediatamente após a sua geração. Isso incentiva o modelo muito comum nos construtores em atividade no Brasil de se “jogar tudo dentro da caçamba”. Verificou-se que quando isso é feito, ocorre uma mistura completa dos resíduos o que dificulta muito, ou elimina, qualquer chance de separação posterior e promove uma contaminação completa dificultando também o reaproveitamento ou reciclagem dos mesmos.

Conforme citado por Carneiro *et al.* (2001) verificou-se que os resíduos recicláveis para outras destinações (classe B = metais, papel, madeira etc.) representam uma porcentagem muito pequena em relação ao peso total dos resíduos gerados: 2,01% no caso da obra comercial, 2,05% na obra industrial, 1,66% na obra residencial e 1,46% na obra de reforma. Conseqüentemente, fica muito mais fácil separá-los antes da mistura com o material classe A (que representa mais de 97,5% do peso total de resíduos em todas as obras avaliadas).

No caso da reforma do banheiro industrial, a geração de entulho foi muito elevada devido à substituição das alvenarias divisórias entre os vasos por pedras de granito. Foi encontrado um índice seis vezes maior de geração de resíduos em relação às construções novas. Isso confirma os dados de Pinto (1999) informando que apesar do número de construções novas ser maior do que o de reformas ou manutenções, nas grandes cidades brasileiras, a geração de resíduos entre elas é equivalente: 50%.

Na avaliação do custo do gerenciamento não foi considerado o valor que já seria gasto para remoção dos entulhos, caso o gerenciamento não estivesse sendo adotado, nem os trabalhos de pesagem dos resíduos, bem como seu transporte até esse local. Dessa forma foi calculado somente o valor extra referente à segregação e disposição final. Em todos os casos os valores foram muito baixos, representando aproximadamente 0,24% do custo final nas obras de construção e 0,50% na obra de reforma. Esses valores ainda poderiam ser menores caso os serviços fossem executados em horários normais. Em todas as obras, o serviço de gerenciamento foi feito em horas extras, o que dobrou o custo final da mão de obra.

Todas as obras avaliadas foram executadas em regime de empreitada global, isto é, preço fechado com o empreiteiro construtor e em nenhuma delas houve atraso representado pelo trabalho de segregação dos resíduos. Não houve também nenhuma reclamação por parte dos empreiteiros, que pelo contrário, demonstraram grande empenho e boa vontade em todas as etapas alegando que o procedimento proporcionou uma melhora significativa na organização da obra e nas condições de higiene e segurança do trabalho.

Com relação aos resíduos classe B, sua reutilização também é fácil, principalmente no caso da madeira, plástico, papelão e metais que são facilmente negociados. Em muitos casos, houve a procura por tais resíduos dentro da própria obra. O poder público deve criar condições e políticas que incentivem sua reciclagem.

Foi encontrada uma certa dificuldade com relação aos sacos de papel contaminados com produtos cimentícios (sacos de cimento, argamassa etc.). Estes resíduos não podem ser reaproveitados pelas empresas de reciclagem de papel e ocupam um volume muito grande na obra quando são estocados. Em todos os casos eles foram dispostos nas caçambas juntamente com os resíduos classe A ou foram queimados.

Para que os resíduos classe A sejam reciclados é necessária uma atuação mais forte do poder público através da criação de centrais de reciclagem e de locais (aterros) para seu armazenamento temporário de forma a permitir sua utilização futura para outros fins.

Com o trabalho verificou-se que o custo financeiro da aplicação da Resolução CONAMA nº. 307/02 em canteiros de obras é muito baixo e ela ainda proporciona melhoria nas condições de trabalho. Se ela é viável técnica e economicamente, o fato dela ainda não estar efetivamente sendo aplicada nos canteiros de obra pode estar relacionado com a sua pequena divulgação e pela omissão dos órgãos públicos em criar mecanismos reguladores e

econômicos que responsabilizem os geradores, desincentivando práticas agressivas e estimulando aquelas econômica e ambientalmente sustentáveis.

Em trabalhos futuros relacionados com o tema dessa dissertação, poderiam ser pesquisados:

- os quantitativos de resíduos gerados, separados em cada etapa das obras (fundação, estrutura, alvenaria e acabamento);
- a relação entre o peso e o volume dos resíduos gerados;
- representatividade dos resíduos classe A em relação ao resíduos totais gerados nas obras em relação ao volumes dos mesmos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, F.J.A. *Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro. 2005. 161 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.wp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2005/Teses/AFFONSO_FJA_05_t_M_int.pdf. Acesso em 26 mai. 2007.

AGOPYAN, V. *Números do desperdício*. Revista Técnica, São Paulo: Editora PINI, n. 53, Agosto, 2001.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. *Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra*. In: FORMOSO: Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Coletânea HABITARE, v.2). Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/104.pdf>. Acesso em 25 jun. 2006.

ANDRADE, R. C. *Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: PUCRS, 26 a 28 de outubro de 1998.

ANGULO, S. C. *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados*. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V.M. *Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil*. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2001, São Paulo. Anais... São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.

ARAÚJO, J. M. A. *Caçambas metálicas nas vias públicas para a coleta de resíduos sólidos inertes e riscos à saúde pública: um enfoque para a gestão ambientalmente adequada de resíduos sólidos*. [monografia on-line]. 2000. Disponível em <URL:http://www.ciesp.org.br/bolsa/outros_textos/detalhes_texto. Acesso em 26 jun. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004. *Resíduos sólidos - classificação*. 1998. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.112. *Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação*. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.113. *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação*. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.114. *Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação*. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.115. *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos*. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.116. *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos*. 2004. São Paulo, Brasil.

AZEVEDO, G.O.D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L.R.S. *Resíduos da Construção Civil em Salvador: Os caminhos para uma gestão sustentável*. Artigo. – Revista Eng. Sanitária e Ambiental. Vol.11, no.1. Rio de Janeiro. Março, 2006.

BIDONE, F.R.A.; SOARES, S.R. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final*. 2001. Rio de Janeiro. 240 p. 1ª edição. Projeto PROSAB.

BIOCYCLE. Initiating change in C&D management, Emmaus. p. 44–48, jan. 1996.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº. 01 de 23 de Janeiro de 1986 . Brasília

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana – SEPURB-MPO. Projeto BRA/92/017 Gestão e Tecnologias de Tratamento de Resíduos. (cópia interna). SEPURB/MPO, SMA/SP, Projeto BRA-093/013 e Projeto BRA-092/017. Brasília, Agosto de 1996.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução nº. 307*, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de Agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução nº. 348*, de 16 de Agosto de 2004. Diário Oficial da União, de 17 de Agosto de 2004, seção I, nº. 158.

BRITO FILHO, J. A. *Cidades versus entulho*. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 1999. São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON: CT 206 – Meio Ambiente, 1999.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. *Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção*. Projeto entulho bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CHENNA, S. I. M. *O manejo e a reciclagem de entulho em Belo Horizonte*. In: Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil: Materiais reciclados e suas aplicações. 2001. São Paulo. Anais. São Paulo.

COLLINS, R. Recycled aggregates in readymix. materials review. Concrete Engineering International, p. 49-54, Mar., 1998.

CONCRETE. *Concrete re-cycled. Crushed concrete as aggregate*, London, v. 27, n. 3, p. 9-13, May/ Jun. 1993.

COUTO NETO, A. G. *Construção Civil Sustentável: avaliação da aplicação do modelo de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - um estudo de caso*. 2007. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte.

CMRA - Construction Materials Recycling Association. *Economical good sense*. 2006. Disponível em www.concreterecycling.org. Acesso em 10 de fev. 2006.

DORSTHORST, B.J.H; *Re-use of construction and demolition waste in the EU*. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.

ELETOBRAS Procel. Disponível em www.eletobras.gov.br/procel/. Acesso em 10 nov. 2006.

ELIAS-OZKAN, S. T. *Recycling rubble into aggregates: a model for local governments*. Habitat International, Oxford, v.25, n.4, p.493-502, 2001.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States*. USA, 1998. Disponível em: www.epa.gov/epaoswer. Acesso em 15 mar. 2007.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Buildings Savings: Strategies for Waste Reduction of Construction and Demolition Debris from Buildings*. USA, 2000. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw>. Acesso em 10 set. 2006.

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

HENDRIKS, Ch. F. *Re-use of construction and demolition waste in the EU*. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.

HILL, R.C.; BERGMAN, J.; BOWEN, P. A. *A framework for the attainment of sustainable construction*. In: CIB TG16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa. Flórida, November 6-9, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Nacional de Saneamento*. 2000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica>. Acesso em 10 fev. 2006.

I&T. Informações e Técnicas em Construção Civil Ltda. *Relatório informativo das atividades do estudo de viabilidade técnico-econômica da reutilização de resíduos de Santo André*. São Paulo, I&T. 1990.

I&T. Informações e Técnicas em Construção Civil Ltda. *Manual de uso dos resíduos de construção reciclados*. São Paulo: I&T, 1995.

JADOVSKI, I. *Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição*. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: www.Reciclagem.pcc.usp.br/ftp/ (Trabalho de conclusao versao 2006 HomologadaIuri.pdf. Acesso em 05 abr. 2007.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. *Reciclagem de resíduos da construção*. In: Seminário reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. 2000. São Paulo. Anais eletrônico. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br. Acesso em: 05 abr. 2007.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.*, 2000. 102f. Tese de livre docência – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KILBERT, C. *Establishing principles and a model for sustainable construction*. In: CIB TG16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa. Florida. November, 6-9, 1994.

LAURITZEN, K. RILEM. Buletin. In. International Rilem Symposium on Demolition na Reuse of Concrete and Masonry. Odense. Denmark. 1994.

LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/TeseMonicaLeite.pdf>. Acesso em 05 abr. 2007.

LEVY, S. M. *Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos*. 1997. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LEVY, S. M.; HELENE, P.R.L. *Origem e produção de entulho*. Artigo. São Paulo: PCC-EPUSP, 1997. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>. Acesso em: 30 abr. 2006.

LEVY, S. M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. 2002. 194f. Tese (doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/teseSALOMON.pdf>. Acesso em 30 abr. 2006.

LIDDLE, B.T. *Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry*. In: CIB TG16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa. Flórida, November 6-9, 1994.

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

LINDSEY, A., CAMPBELL, B.J. *Pollution Prevention – U.S. Environmental Policy*. In. Waste Materials in Construction. Goumans, Van der Sloot, Aalbers Eds. Elsevier, London, 1991.

MIRANDA, L. F. R. *Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado*. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Dissertação_LEONARDO_miranda.pdf.

MARQUES NETO, J. C. *Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil*. São Carlos: RIMA, 2005. 162 p.

NUNES, K.R.A. *Avaliação de Investimentos e de Desempenho de Centrais de Reciclagem para Resíduos de Construção Civil e Demolição: Estudo de Caso para o Município do Rio de Janeiro*. 2004. 276 p. Tese (Doutorado). Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.sage.coppe.ufrj.br/teses_Katia.html. Acesso em 22 abr. 2006

ONU. *Agenda 21*. 1982. THE FLETCHER SCHOOL Library Resources Multilateral Projects. Disponível na internet www.tufts.edu/fletcher/multi/chrono.html. Acesso em 25 mar. 2006.

PBQP-H. *Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat*. 2000. Disponível em <URL:[http:// www.pbqp- h.gov.br/](http://www.pbqp-h.gov.br/). Acesso em 22 abr. 2006.

PERA, J. *State of the art report - use of waste materials in construction in Western Europe*. In: *Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil*. (Workshop). 1996. *Anais*. São Paulo, EPUSP/ANTAC.

PICCHI, F. A. *Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios*. 1993. 462 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/btpcc104.pdf>. Acesso em 22 abr. 2006.

PINTO, T.P. *Utilização de resíduos de construção - estudo do uso em argamassas*. 1986. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Planejamento, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PINTO, T.P. *Perda de materiais em processos construtivos tradicionais*. 1989. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

PINTO, T. P. *De volta a questão do desperdício*. Construção. São Paulo, 1995. Pini, n.2491.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p. São Paulo.

PINTO, T. P. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do Sinduscon/SP*. 2005. Publicação Sinduscon/SP, 48p. São Paulo.

PINTO, T. P. *Panorama dos resíduos da construção civil – Estado de São Paulo – 7º Seminário Regional sobre Resíduos Sólidos*. 2005. Ministério das Cidades. Recife.

PINTO, T. P. *De volta a questão do desperdício*. Construção. São Paulo, 1995. Pini, n.2491.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. *Perspectivas del Médio Ambiente Mundial 2000: panorama general*. Nairobi, 1999. 20 p. Disponível em: <<http://www.unep.org/>. Acesso em 02 mar. 2007.

RECYCLING opportunities for demolition debris. BioCycle Magazine, p. 42-44, Nov., 1989.

SANTANA, M. J. A.; SAMPAIO, T. S.; CARNEIRO, A. P. *Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento*. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S.

Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: Projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.8, p.262-299.

SCHNEIDER, D. M. *Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo*. 2003. Tese mestrado – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 130p. São Paulo. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Schneider_Deposições_IrregularesdeResíduosdaConstrução.pdf. Acesso em 26 mai. 2006.

SICEPOT-MG. Sindicato da Indústria da Construção Pesada. 2005. Núcleo de Construção e Cidadania. Disponível em <http://www.sicepot-mg.com.br/nucleoconstrucao.html>. Acesso em 10 mar. 2007.

SIMONS, B.P.; HENDERIECKX, F. *Guidelines for demolition with respect to the reuse of building materials: guidelines and experiences in Belgium*. In: Internatioal Rilem Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Odense. 1994.

SINDUSCON-MG. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil*. 2ª. Edição. 2005. 68p. Belo Horizonte.

SJOSTROM, C. *Durability and sustainable use of building materials*. In: Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.

SLU-BH. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Relatórios internos. Belo Horizonte: PBH, 1993.

SLU-BH. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Relatórios internos. Belo Horizonte: PBH, 2005.

SLU-BH. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Relatórios internos. Belo Horizonte: PBH, 2007.

SOUZA, U.E.L.; AGOPYAN, V.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. *Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito*. Qualidade na Construção, v.2, n.13, p.10 -15, 1998. Disponível em: www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas_arquivos/Módulo%20VI%20Produtividade/Perdas%20Revista%20Qualidade.pdf. Acesso 10 mar. 2005.

SWANA. The Solid Waste Association of North America. *Construction waste and demolition debris recycling... a primer*. Maryland: SWANA, 1993.

TCPO 2000. *Tabelas de Composições de Preços para Orçamento*. São Paulo: Editora Pini, 2000.

TCHOBANOGLIOUS, G. *Solid wastes engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill Inc., 1997.

VALVERDE, F. M. Balanço Mineral Brasileiro 2001 – Agregados para Construção Civil. 2001. 15 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/BalançoMineral2001/agregados.pdf>. Acesso em 26 mar. 2006.

VÁZQUEZ, E. *Utilización de residuos em la C.E.E.: aspectos políticos y ambientales. Estado del arte y normalización*. In: Reciclagem na Construção Civil, alternativa econômica para proteção ambiental. 1997, São Paulo. Anais. São Paulo: PCC – USP, 1997.

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

ZORDAN, S. E.; PAULON, V. A. *A utilização do entulho como agregado para o concreto*. In: Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído. 1998. Anais: ANTAC, 27 a 30 de abril de 1998, p.923-932. Florianópolis.

ZORDAN, S. E. *Entulho na indústria da construção*. Artigo. PCC-EPUSP, 2002. São Paulo. Disponível em : [http://www. Reciclagem.pcc.usp.br/](http://www.Reciclagem.pcc.usp.br/). Acesso em 20 set. 2006.

ZWAN, J.T. *Application of waste materials – a success now, a success in the future*. In: Waste materials in constructions: putting theory into practice. Great Britain, 1997. Proceedings. Great Britain, 1997. p.869-81.

YAMAMOTO, J. K. *Environmental impact reduction on the production of blended Portland Cement in Brazil*. Environmental Geosciences, v. 4, nº 4,1997.