

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUÍ**

LEIDIANA DIAS MORAES

**ASPECTOS RELEVANTES DA POTENCIALIDADE E DA
APLICABILIDADE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Ijuí/RS

2008

LEIDIANA DIAS MORAES

**ASPECTOS RELEVANTES DA POTENCIALIDADE E DA
APLICABILIDADE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Departamento de Tecnologia – DETEC, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Profº Dr. LUCIANO PIVOTO SPECHT

Ijuí/RS

2008

**ASPECTOS RELEVANTES DA POTENCIALIDADE E DA
APLICABILIDADE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Leidiana Dias Moraes

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado e aprovado pelo Corpo Docente do Departamento de Tecnologia – DETEC, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Luciano Pivoto Specht, Dr. - Orientador

Banca Examinadora

Cristina Pozzobon, Msc. Eng.
UNIJUÍ/DeTec

Marcelo Duarte, Msc. Eng
UNIJUÍ/DeTec

*Dedico este trabalho à minha família:
em especial a minha Mãe por ter sido a grande
incentivadora e idealizadora desta conquista.
Dedico este trabalho a ti minha Mãe com todo
meu amor e carinho!*

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu pai Vilmar Moraes, pelo amor e dedicação, por ter existido e por ter sido *Meu Pai!*

À minha mãe Janira Dias Moraes, por me deixar fazer do seu sonho à minha vida, por ser sua filha, por ter sido minha incentivadora constante, pela cumplicidade, pelo amor e dedicação e pelo exemplo de mulher inteligente e batalhadora.

A minha irmã Leonelisa, por todo amor e carinho dedicados a mim, por ter a sorte de ser sua irmã, por você existir e pela sua importante influência na minha vida.

Ao meu irmão Leonivan, pelo carinho e cuidado que sempre teve comigo, pelo exemplo de determinação e coragem e pelos ensinamentos sempre preenchidos com humor inteligente.

Ao meu marido, Sandro pela incansável paciência e contribuição na busca deste sonho, pelo amor, por existir e por estar ao meu lado.

Ao meu cunhado Gelson, pela sua admirável generosidade demonstrada em todos os momentos em que precisamos da sua ajuda.

Ao meu orientador, Professor Luciano Pivoto Specht, pela orientação, pela compreensão, pela paciência e pela notável seriedade, competência e generosidade.

Aos amigos que tenho, pela alegria de tê-los.

Aos professores que tive até hoje pela sorte de tê-los tido.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que pensaram e agiram de forma positiva para a realização deste sonho. Muito obrigada!

“Ninguém ignora tudo, ninguém sabe tudo.

Todos nós sabemos alguma coisa.

Todos nós ignoramos alguma coisa.

Por isso aprendemos sempre”.

Paulo Freire.

RESUMO

A redução no volume de resíduos produzidos, industriais, agrícolas, domésticos etc., vem se tornando uma exigência constante em todos os processos de produção. A falta de espaço físico para a disposição destes resíduos, a contaminação ambiental causada por eles, além da necessidade de preservação dos recursos naturais não renováveis e da diminuição do consumo de energia e emissão de poluentes, tornam a reciclagem e a reutilização dos resíduos uma alternativa bastante atraente. A construção civil apresenta-se como um setor bastante apto à utilização de técnicas de reaproveitamento de resíduos provenientes das mais diversas indústrias. Além de todos os benefícios ambientais, esse reaproveitamento, pela construção civil, pode gerar recursos financeiros, bem como, possibilitar a melhoria das características de alguns materiais de construção, e pode diminuir o custo de construção, fator importante, quando se avalia o déficit habitacional existente no Brasil. Os resultados desta pesquisa indicaram que dos resíduos sólidos estudados os que têm aplicabilidade e potencialidade de serem reutilizados na construção civil são de três tipos: (i) domésticos (ii) industriais, procedentes da fabricação de materiais de construção, ou outros materiais e, (ii) resíduos RCD produzidos nos canteiros de obras de construção e demolição.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Reciclagem, Construção Civil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Depósito de lixo (Lixão).....	21
Figura 2: Classificação dos resíduos sólidos em função de sua fonte geradora.....	33
Figura 3: Princípios do desenvolvimento sustentável e o manejo de resíduos	40
Figura 4: Disposição de resíduos não inertes em caçambas coletora de RCD.....	46
Figura 5: Madeira desperdiçada em obras.....	48
Figura 6: RCD em obra.	53
Figura 7 - Bloco de concreto feito a partir de RCD.	54
Figura 8: Artefato produzido com o RCD-R beneficiado na URESC	57
Figura 9: Pavimentação realizada com artefato produzido com o RCD-R beneficiado na URESC.....	57
Figura 10: Aplicação de RCD em meio-fios.....	58
Figura 11: Segmentação do mercado de termoplástico no ano de 2002	60
Figura 12: Utilização de compósito polimérico na construção civil.....	63
Figura 13: Vigas de seção I para passarelas, desenvolvido na AMIPP.	63
Figura 14: Marina construída com pilares de plástico reciclado, desenvolvido na AMIPP. ...	64
Figura 15: Dormentes de plástico reciclado produzidos pela Polywood Plastic Lumber de New Jersey.	64

Figura 16: Ponte sobre o rio Mullica construída inteiramente de plástico.....	65
Figura 17a e 18b: Paletes de plástico reciclado.....	66
Figura 18: Dormentes de plástico reciclado produzidos pela Polywood Plastic Lumber.....	67
Figura 19: Ponte sobre o rio Hudson com plástico reforçado com fibra de vidro.	67
Figuras 22a e 20b: Construção de píeres ou deques com elementos de plástico reciclado da empresa Plastic Lumber Yard (EUA).	69
Figura 21: Malha para evitar fissuração por retração.	71
Figura 22: Concretagem.	71
Figura 23: Laje nervurada com emprego de garrafa PET como elemento de enchimento.	71
Figura 24: placa reciclada de tubo de creme dental.	86
Figura 25: Depósito de pneus a céu aberto.	89
Figura 26: Partes componentes do pneu. Fonte: (http://www.rodaspneus.com.br).	90
Figura 27: Casa construída com pneus descartados na natureza.....	91
Figura 28: Paredes com feitas com pneus.....	91
Figura 29: Casa pronta feita inteiramente com pneus.....	92
Figuras 30, 31, 32: Contenção da erosão do solo com pneus.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Constituintes típicos de entulho de obras.....	45
Quadro 2 - Serviços com emprego de argamassa	51
Quadro 3 – Serviços com concreto	51
Quadro 4: composição química da escória em função da matéria prima.....	76
Quadro 5: Resumo com os principais resíduos com potencial e aplicabilidade na construção civil.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação da população brasileira rural e urbana	23
Tabela 2 – Geração de resíduos urbanos na cidade de São Paulo.....	25
Tabela 3 – Evolução da geração <i>per capita</i> em algumas cidades	25
Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos <i>per capita</i> em alguns países.....	26
Tabela 5 - Evolução da composição do lixo domiciliar da cidade de São Paulo (%).....	27
Tabela 6 – A responsabilidade atribuída pelo tipo de resíduos sólidos produzidos.....	35
Tabela 7 – Percentual de RCD em relação ao RSU de algumas cidades brasileiras (Modificado de Vieira, 2003).....	44
Tabela 8 – Provável geração total de RCD de alguns municípios brasileiros e a geração <i>per capita</i> de entulho	44
Tabela 9 - Materiais (%) no resíduo total.....	48
Tabela 10 - Materiais (%) na fração cerâmica do resíduo total	48
Tabela 11: Comparativo de concreto contendo agregado reciclado	56
Tabela 12: Composição do resíduo.	82

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT:	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
Al (OH) ₃ :	<i>Hidróxido De Alumínio</i>
Al ₂ O ₃ :	<i>Óxido de Alumínio</i>
ASTM:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CaOH ₂ :	<i>Hidróxido de Cálcio</i>
Cs:	<i>Césio</i>
C ₂ S:	<i>Silicato Dicálcico</i>
C ₃ S:	<i>Silicato Tricálcico</i>
CETESB:	<i>Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental</i>
CNEN:	<i>Comissão Nacional de Energia Nuclear</i>
CONAMA:	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
CaCO ₃ :	<i>Carbonato de Cálcio</i>
CaO:	<i>Óxido de Cálcio</i>
CO ₂ :	<i>Gás Carbônico</i>
CST:	<i>Companhia Siderúrgica de Tubarão</i>
DNER:	<i>Departamento Nacional de Estrada de Rodagem</i>
EUA:	<i>Estados Unidos da América</i>
FeO(OH):	<i>Hidróxido de Ferro</i>
FURG:	<i>Fundação Universidade Federal do Rio Grande</i>
g:	<i>Gramas</i>
GFRP:	<i>Barra de Fibra de Vidro Impregnada por Polímeros</i>
Hab:	<i>Habitantes</i>
IBGE:	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IPT:	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas</i>

Kg:	<i>Quilograma</i>
MgO:	<i>Óxido de Magnésio</i>
mm:	<i>milímetro</i>
MK:	<i>Metakolin</i>
MnO:	<i>Óxido de Manganês</i>
NaCl:	<i>Cloreto de Sódio</i>
NBR:	<i>Norma Brasileira Regulamentadora</i>
PET:	<i>Politereftalato de Etila</i>
PNSB:	<i>Pesquisa Nacional de Saneamento Básico</i>
PPR:	<i>Paletes de Plástico Reciclados</i>
%:	<i>Porcentagem</i>
RCD:	<i>Resíduos de Construção e Demolição</i>
RCD-R:	<i>Resíduos de Construção e Demolição – Reciclados</i>
RSS:	<i>Resíduo de Serviço de Saúde</i>
S:	<i>Enxofre</i>
SiO ₂ :	<i>Sílica</i>
SF:	<i>Micro-Sílica</i>
UNIJUÍ:	<i>Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul</i>
t:	<i>Toneladas</i>
TV:	<i>Televisão</i>
µm:	<i>Micrometro</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Tema da pesquisa	15
1.2 Delimitação do tema	15
1.3 Formulação da questão de estudo	15
1.4 Definição dos objetivos de estudo	15
1.4.1 Objetivo geral	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 Justificativa	16
1.6 Estrutura do trabalho	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Questão Ambiental	19
2.1.1 Lixo	20
2.1.2 Aspectos históricos: urbanização e geração de resíduos	21
2.1.3 Mudança da geração de resíduos	24
2.2 Reciclagem	27
2.2.1 Benefícios da reciclagem	28
2.2.2 Dificuldades da reciclagem	28
2.3 Reciclagem no Brasil	29
2.4 Reciclagem da indústria da construção civil	31
2.5 Resíduos sólidos	31
2.5.1 Definições e classificações	31
2.6 Utilização de resíduos na construção civil	36
2.7 Impactos da reciclagem e da reutilização de resíduos	36
2.8 Sustentabilidade na Indústria da Construção Civil	38
2.9 Desenvolvimento Sustentável	39
3 METODOLOGIA	41
3.1 Classificação do estudo	41
3.2 Planejamento da pesquisa	41
3.3 Forma de coleta de dados	41
3.4 Plano de análise de dados	42
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43

4.1 Resíduos de construção e demolição (RCD):	43
4.1.1 Composição dos RCD	45
4.1.2 O RCD e o meio ambiente	45
4.1.3 Quantidade de resíduo gerado pela construção civil	46
4.1.4 Classificação dos RCD	47
4.1.5 Centrais de reciclagem de RCD	48
4.1.6 Reciclagem dos RCD	49
4.1.7 RCD reciclados	54
4.1.8 Procedimentos de reciclagem dos RCD para uso como agregado	54
4.1.9 Outros empregos de RCD reciclado como agregados	57
4.1.10 Reciclagem dos resíduos de gesso	58
4.2 Resíduo plástico:	59
4.2.1 Importância da reciclagem dos polímeros	59
4.2.2 Polímeros reciclados	61
4.2.3 Aplicações	62
4.2.4 Outras aplicações	65
4.2.5 Brita de plástico PET	69
4.2.6 Tubulações de PET	70
4.2.7 Embalagem PET na fabricação de tintas	70
4.2.8 Ecolajes - Lajes nervuradas utilizando garrafas PET como material de enchimento	70
4.3 Reciclagem de subprodutos siderúrgicos	72
4.3.1 Escória de alto forno	72
4.3.2 Escória de acesaria	76
4.4 Cinza da queima do resíduo de casca de arroz	80
4.5 Cal de carbureto	81
4.6 Resíduo de lama da produção de estireno	82
4.7 Resíduo da produção de alumínio	82
4.8 Rejeito do jateamento de peças metálicas	83
4.9 Resíduo de lodo proveniente de lavanderia têxtil industrial	83
4.10 Resíduo cerâmico	84
4.11 Resíduo de couro curtido	85
4.12 Resíduos de tinta poliuretânica	85
4.13 Resíduos de poliestireno expandido	85
4.14 Placas e telhas de tubo de pasta de dente	85
4.15 Placa reciclada de tubo de creme dental	86
4.16 Resíduos sólidos de origem orgânica na construção civil e industrial	87
4.17 Resíduos de embalagem longa vida	87
4.18 Resíduos de areia de fundição	88
4.19 Baterias e pilhas	89
4.20 Isopor	89
4.21 Pneus	89
4.22 Avaliação do potencial de utilização, contribuição ambiental e evolução tecnológica	94
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
5.1 Conclusões	101
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa é: Reciclagem de materiais (Resíduos sólidos).

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho consiste em uma pesquisa bibliográfica relacionada ao meio ambiente e a reciclagem de resíduos sólidos, analisando suas potencialidades e aplicabilidade na construção civil.

1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

As questões que norteiam a presente pesquisa são: Quais as vantagens e desvantagens da utilização de materiais reciclados? Quais os materiais reciclados podem ser utilizados na construção civil?

1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE ESTUDO

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral identificar a potencialidade e a aplicabilidade da reciclagem de resíduos sólidos na indústria da construção civil.

1.4.2 Objetivos específicos

- ❑ Identificar as características e potencialidades dos resíduos sólidos, como os mesmos podem ser aplicados na construção civil e de que forma isto poderá ser realizado.
- ❑ Verificar vantagens e desvantagens na aplicação desses materiais.

1.5 JUSTIFICATIVA

Durante muitos anos, a população produziu lixo sem ter noção e preocupação de como ele seria destinado e de que forma seria disposto. A falsa idéia da abundância dos recursos naturais, renováveis e não-renováveis, tratados como se fossem fontes inesgotáveis, e uma população menor, principalmente no que diz respeito à sociedade consumista que se apresenta atualmente, tornavam a produção de resíduos um problema insignificante. No entanto, com o advento da industrialização, com a diversificação do consumo de bens e serviços, e com o crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos, houve um considerável aumento na industrialização de materiais. A partir de então, os resíduos se transformaram em um grave problema para toda a sociedade (ÂNGULO, 2000; JOHN, 2000; SILVEIRA *et al.*, 1997).

No modelo atual de produção, milhares de toneladas de resíduos industriais, domésticos e resíduos da construção civil são produzidos anualmente. Considerando este elevado volume de resíduos gerados, pode-se perceber que seu gerenciamento se torna oneroso e demasiadamente complexo. A escassez de espaço físico para a deposição destes resíduos apresenta-se como um dos principais problemas. A utilização de áreas urbanas, para este fim, provoca uma desvalorização das mesmas, além dos altos custos envolvidos na manutenção destes espaços e para evitar problemas quanto ao saneamento público. Por outro lado, a deposição em áreas mais afastadas e conseqüentemente, menos valorizadas, acaba se tornando inviável devido aos altos custos necessários para o transporte de resíduos. E, em ambos os casos citados, existem o custo do gerenciamento dos resíduos, para se evitar que ocorra qualquer tipo de contaminação ambiental (ÂNGULO, 2000; JOHN, 2000; MASUERO, 1997).

Não se pode, porém, interromper essa análise unicamente no que diz respeito ao incômodo que o excesso de resíduos traz a sociedade. Apesar do gerenciamento dos resíduos representar o maior dos problemas, devido aos altos custos a ele incorporados, deve-se lembrar da necessidade da preservação ambiental, como a redução das matérias-primas utilizadas nas indústrias, principalmente matérias-primas não renováveis, bem como da energia consumida em seu beneficiamento, além do cuidado com o risco de contaminação ao meio ambiente, decorrente da possível existência de substâncias agressivas contidas nos resíduos (JOHN, 2000; MASUERO, 1997).

Portanto, procurou-se encontrar soluções tanto para o problema do excesso de resíduos, quanto para a conservação ambiental, da energia e dos recursos naturais. A redução

dos custos, tanto de deposição, quanto de tratamento dos resíduos e a reciclagem, ou reutilização dos mesmos. A redução no volume produzido apresenta menores dificuldades, além de poderem gerar recursos financeiros. No entanto, o ideal é a utilização das duas soluções, de modo que a indústria deva fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e o ingresso de matéria-prima (ÂNGULO, 2000; JOHN, 2000).

Como pode ser observado, o estudo da reutilização e da reciclagem de resíduos tornou-se prioritário quanto ao aspecto ambiental. Além disso, o aproveitamento dos resíduos pode apresentar diversos benefícios técnicos, econômicos, energéticos e, é claro, ambiental, como redução do volume de extração de matérias-primas, conservação de matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menor emissão de poluentes, como o CO₂, e geração de recursos financeiros antes inexistentes (JOHN, 1997).

Neste contexto este trabalho tem como finalidade demonstrar através de exemplos práticos que a atividade da construção civil é reconhecidamente uma grande poluidora ambiental, mas oferece possibilidades diversificadas para atuar como uma grande recicladora de resíduos sólidos gerados nas obras novas, reformas, manutenção predial e demolições. Por outro lado atua amplamente na reciclagem de subprodutos e resíduos gerados em outras atividades industriais, transformando-os em materiais de construção alternativos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho consiste em um estudo bibliográfico e está organizado da seguinte forma:

1º capítulo – apresenta o tema da pesquisa junto com sua delimitação, seguida da questão de estudo, do objetivo geral e específico, justificativa e estrutura do trabalho;

2º capítulo – na revisão bibliográfica elaborou-se uma contextualização acerca da reciclagem de resíduos sólidos, onde se abordou os seguintes temas: questão ambiental, reciclagem, reciclagem no Brasil, reciclagem na indústria da construção civil, utilização de resíduos sólidos na construção civil, Impacto da reciclagem de resíduos e desenvolvimento sustentável;

3º capítulo – apresenta a metodologia, com o método escolhido para o estudo e a forma de coleta de dados;

4º capítulo – apresenta os resultados obtidos a partir de uma análise teórica das potencialidades e aplicabilidade dos resíduos sólidos na indústria da construção civil;

5º capítulo – apresenta às conclusões juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos primeiros itens são relacionadas informações gerais para facilitar o entendimento do trabalho e estabelecer um embasamento sobre reutilização de produtos descartados na natureza, objeto de estudo da pesquisa.

2.1 QUESTÃO AMBIENTAL

A questão ambiental surgiu de maneira explosiva há duas ou três décadas. Até então, apenas os aspectos sanitários do problema eram abordados, principalmente com relação à poluição da água e os conseqüentes episódios de mortalidade de peixes, à poluição do ar e as perturbações e doenças advindas. O próprio termo preservacionismo aplicava-se tão somente à proteção contra a erosão, reconhecida desde os tempos da colonização da América do Norte como causa da perda de fertilidade dos solos (BRANCO, 1999).

Historicamente pode-se dizer que o despertar de uma “consciência ecológica” iniciou-se na década de 60, pois esta foi uma década marcada pelo conflito de interesses entre preservacionistas e desenvolvimentistas. O conflito da questão ambiental prolongou-se enquanto políticas desenvolvimentistas eram definidas no sentido de incrementar a atividade humana, e a preservacionista aquela que buscava restringir tal atividade (LERÍPIO, 1999).

Para que se possa contribuir com a conservação do meio ambiente, deve ser estabelecida uma relação de harmonia e não de domínio da natureza. Nesse sentido dois princípios básicos de sustentabilidade são de fundamental importância no desenvolvimento de uma sociedade: o primeiro diz que não se devem retirar recursos da natureza além de sua capacidade de reposição. Já o segundo diz que não devem ser adicionados na natureza, resíduos em quantidade acima de sua capacidade de absorção.

Na década de 90, o grande acontecimento em termos ambientais foi a Conferência do Rio de Janeiro, conhecida mundialmente como “ECO-92” e “Rio 92” na qual se fizeram representar mais de 100 chefes de Estados, culminando com a elaboração do documento que passou a ser chamado de Agenda 21 (BEZERRA; FERNANDES, 2000).

Para Malhadas (2001), a Agenda 21 é um documento que resultou de um consenso internacional e um compromisso assumido pelos chefes de estado de 178 nações perante a ONU, apresentando as diretrizes básicas para o desenvolvimento sustentável. Organizado por grupos temáticos em 40 capítulos, no seu contexto estão inseridos os posicionamentos

anteriores das Nações Unidas e das resoluções aprovadas pela sua Assembléia Geral, e em especial, as resultantes da Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 22.12.1989, são apontados os meios de implementação de planos, programas e projetos, direcionados a melhoria da qualidade de vida e as grandes questões relativas à conservação e gestão de recursos para o desenvolvimento sustentável.

2.1.1 Lixo

Qualquer substância que não é mais necessária e que tem de ser descartada, sendo os restos de atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis (ABNT, 2004; DASHEFSKY, 1997; MICHAELIS, 1997).

Segundo Grippi (2001) o lixo é matéria-prima fora do lugar e o seu tratamento (resíduos sólidos), além de ser uma questão com implicações tecnológicas, é antes de tudo uma questão cultural.

O lixo é um dos maiores problemas ambientais do mundo na atualidade. Fruto de uma lógica de vida baseada na produção e no consumo exagerado, a enorme geração de resíduos é acentuada pela incorporação das embalagens, desperdício de matéria de prima e pouca ou quase nenhuma aplicação de tecnologias de reutilização e reciclagem. É também fonte de preocupação das administrações públicas municipais por ser, quando mal gerenciado, um foco de doenças e poluição ambiental ou, do contrário, um voraz consumidor dos recursos públicos.

O lixo também é considerado uma fonte de sobrevivência, percebendo nas sobras uma forma de garantir o sustento de milhares de pessoas e garantir um rendimento maior que o salário mínimo, criou-se um “sistema” de reaproveitamento informal paralelo ao do poder público que muitas vezes prefere não enxergar ou ainda lutar contra as iniciativas. Esse sistema é hoje juntamente com os sucateiros e as indústrias o alimentador da cadeia de reciclagem, gerando emprego e a diminuição a pressão por matéria-prima e a economia dos recursos naturais.

Até recentemente o problema do lixo deixava transparecer que passava despercebido pela humanidade, uma vez que o volumoso lixo que produzia era em muitas situações e continua sendo lançado sem grandes preocupações em mares, rios ou qualquer “área vazia” sem consciência das implicações para o meio ambiente (TAVARES; BARROS JR., 2000). Com a virada do século várias novidades com relação ao gerenciamento ambiental se

desenvolveram, principalmente quanto ao lixo, onde os espaços físicos estão ficando cada vez mais escassos para sua disposição causando sérios problemas à humanidade.

“O lado trágico dessa história é que o lixo é um indicador curioso de desenvolvimento de uma nação”. Quanto mais pujante for a economia, mais sujeira o país irá produzir. É o sinal de que o país está crescendo, de que as pessoas estão consumindo mais. Um dos maiores problemas do lixo é que grande parte das pessoas pensa que basta jogar o lixo na lata e o problema da sujeira vai estar resolvido. Nada disso. O problema só começa aí (REVISTA VEJA 1999). A Figura 1 ilustra depósito de lixo a céu aberto.



Figura 1: Depósito de lixo (Lixão)
Fonte: Marcello Casal Jr. Agência Brasil

2.1.2 Aspectos históricos: urbanização e geração de resíduos

No início dos tempos, os primeiros seres humanos eram nômades. Moravam em cavernas, sobreviviam da caça e pesca, vestiam-se de peles e formavam uma população minoritária sobre a terra.

Durante séculos, a sociedade foi formada por pequenos grupos que produziam basicamente alimentos de fácil assimilação e decomposição e bens duradouros à base de

matérias-primas naturais (madeira, couro, lã, algodão) ou muito pouco transformadas (como a cerâmica) utilizando energia em quantidades reduzidas. Referindo-se a esses primeiros agrupamentos, Figueiredo (1995) atenta para o provável mau cheiro e sujeira existente nas habitações humanas primitivas, dadas as quantidades de detritos de restos de animais encontrados pelos arqueólogos nas cavernas onde viviam nossos ancestrais. Este fato sugere que esses detritos eram simplesmente abandonados no local, quando a comida ficava escassa eles se mudavam para outra região e os seus "lixos", deixados sobre o meio ambiente, eram logo decompostos pela ação do tempo. Até esse momento, o impacto do ser humano sobre o meio ambiente ainda se confundia com o dos outros animais, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo.

A fixação do solo representou um marco, tanto para o desenvolvimento da sociedade humana, como para o potencial de transformação da natureza. (Esse processo ocorreu durante o período Neolítico, que durou de 10.000 a 4.000 a.C; HOLANDA, SD). Segundo Holanda (SD), o início da agricultura ocorreu por volta de 8000 a.C e foi a mais importante realização humana do período. A partir do surgimento da agricultura houve um rápido crescimento da população humana e um aumento na expectativa de vida, atestados pelas descobertas arqueológicas (FIGUEIREDO, 1995). A garantia de um suprimento regular de alimentos possibilitou o estabelecimento das primeiras cidades, inicialmente com um pequeno número de indivíduos, em torno de 1.500 a 2.000 pessoas. Com essas primeiras cidades surge também um incipiente comércio.

Para Figueiredo (1995) o desenvolvimento da cerâmica e início da metalurgia são marcos da relação homem com o meio ambiente. A cerâmica foi à primeira transformação físico-química de elementos naturais feita pelo homem de forma consciente. Com a metalurgia, o homem passou a modificar as concentrações dos elementos naturais, com a purificação dos metais.

Outra mudança na relação do homem com o meio ambiente refere-se aos resíduos gerados nessas primeiras cidades. Com o crescimento da população devido às melhores condições de segurança e de alimentação, houve também um grande incremento na quantidade de resíduos. Além disso, os resíduos passaram a ser gerados e dispostos de forma concentrada aumentando o impacto de disposição.

As condições sanitárias das primeiras cidades eram péssimas, segundo Figueiredo (1995), o que, muitas vezes, obrigava cidades inteiras a se transferirem do local em que se encontravam. Como as cidades eram formadas as margens de corpos d'água, agravaram-se também os impactos sobre os recursos hídricos, com a poluição causada pelo lançamento de

dejetos e outros detritos na água. Isso contribuiu para a disseminação de doenças que se alastraram causando epidemias e matando grande número de pessoas.

Ainda segundo Figueiredo (1995), durante a Idade Média não houve nenhuma mudança qualitativa significativa na geração dos resíduos sólidos, porém o crescimento de forma desordenada e sem planejamento urbano e sanitário trouxe conseqüências catastróficas que culminou com um surto de peste bubônica, dizimando milhões de pessoas na Europa no século XIV. Durante o período histórico posterior, a Idade Moderna (1453 a 1789), o inchamento das cidades continua como conseqüência da riqueza gerada com o comércio decorrente da expansão marítima comercial. Novo surto de peste bubônica aparece no século XVIII como conseqüência da urbanização desorganizada e da falta de saneamento.

A Revolução Industrial ocorrida na segunda metade do século XVIII trouxe diversas transformações para o mundo. Os processos industriais surgidos a partir desse período necessitavam de muita mão-de-obra o que, juntamente com o empobrecimento das áreas rurais, intensificou a urbanização.

Até o início do século XX, o único país em que a população urbana predominava era Inglaterra (CIDI, 2000). A partir do século XX, essa distribuição começa a mudar. Segundo Figueiredo (1995), em 1800 apenas 3% da população mundial vivia em áreas urbanas, já em 1980 esse percentual era de 39,9% e nos países desenvolvidos chegava a 70,6%. Segundo dados demográficos da população brasileira, obtidos através do IBGE 2000 em 1940 a população (habitantes) era de 41.236.315 já no ano de 2000 a população era basicamente em sua totalidade urbana chegando a mais de 160 milhões de brasileiros vivendo em áreas urbanas.

A Tabela 1 mostra dados sobre as características demográficas da população brasileira no ano de 1940 e de 1980 a 2000.

Tabela 1 - Relação da população brasileira rural e urbana

	Ano				
População	1940 ¹	1980 ²	1990 ²	1996 ²	2000 ²
Urbana (%)	31,2	67,59	75,59	78,36	81,25
Rural (%)	68,8	32,41	24,41	21,64	18,75

Fontes: Figueiredo (1995)¹; IBGE (2000)²

CIDI, (2000) aponta que o grande fluxo da população rural para as cidades, ocorreu após a Revolução Industrial, aumentou o contingente populacional urbano sem infra-estrutura

adequada e necessária, ocasionando diversas epidemias. O crescimento progressivo dos centros urbanos e uma produção sempre maior de rejeitos deram origem a grandes níveis de poluição, bem como a necessidade de locais disponíveis para a disposição de rejeitos sólidos.

A urbanização causou não apenas mudanças na paisagem, mas também no hábito das pessoas, reforçados pela dominação do urbano sobre o rural. Urbanização e industrialização caminham juntas, trazendo suas mazelas como consequência, dentre elas a excessiva geração de resíduos sólidos. Grippi (2001) comenta que nos últimos anos, o Brasil mudou muito de lixo. O crescimento acelerado das cidades e ao mesmo tempo as mudanças de consumo das pessoas trouxeram fatores que vem gerando um lixo muito diferente daqueles que eram produzidos tempos atrás. O lixo atual é diferente em quantidade e qualidade, em volume e em composição. Uma das consequências da industrialização é a quantidade de materiais descartados assim como o aumento no consumo atrelado ao crescimento populacional gera cada vez mais lixo para ser descartado. O fato de o homem existir traz consigo a existência do lixo na mesma proporção.

2.1.3 Mudança da geração de resíduos

A industrialização foi a grande responsável pela introdução de novos materiais, não presente no ambiente natural e, com a disseminação e popularização dos produtos industriais, houve uma mudança qualitativa nos resíduos, uma vez que, citando Figueiredo (1995), “a geração de materiais artificiais implica inexoravelmente na geração de resíduos compostos por estes materiais”. Ainda segundo o autor, isso se torna um grave problema, na medida em que o surgimento de novos materiais e tecnologias não foi acompanhado de “uma reintegração destes materiais ao meio ambiente e, portanto, de um desenvolvimento tecnológico nesse sentido”.

a) Mudança quantitativa nos resíduos

A população brasileira com mais de 160 milhões de habitantes produz diariamente 240.000 toneladas de lixo. Cada brasileiro hoje gera, em média, 500 g de lixo por dia, ou seja, 100.000 toneladas correspondem ao lixo domiciliar em todo o país. (UNIJUÍ, 2002 apud MARANGON). As cercas de 6 bilhões de pessoas habitantes do planeta geram 30 milhões de toneladas de lixo por ano (MEIO AMBIENTE E CONSUMO, 2002). Este é um valor total, logicamente há grande diferença de geração de resíduos entre os países, principalmente entre

os desenvolvidos e os em desenvolvimento, uma vez que a geração de resíduos depende da população e da intensidade de consumo. Esta diferença fica evidente quando se comparam as taxas de geração *per capita* de alguns países e cidade.

Usando um comparativo apresentado pela TV cultura em 3/06/2001, o mundo gera 2 milhões de toneladas de resíduos por dia nos centros urbanos, apenas nas residências. Só em Nova York, ainda de acordo com esse programa, são geradas 12 mil toneladas por dia de resíduos de residências.

Como citado anteriormente no Brasil são geradas cerca de 240 mil toneladas diárias de resíduos sólidos.

Somente a cidade de São Paulo era responsável em 1995, pela produção de 12 mil toneladas de resíduos domésticos por dia (GODOI, 1997). Na Tabela 2 são mostrados dados comparativos, referente ao crescimento da geração de resíduos na cidade de São Paulo, do início do século XX até 2003.

Tabela 2 – Geração de resíduos urbanos na cidade de São Paulo

	Ano			
	Início do século XX	1950 ⁽¹⁾	1995 ⁽¹⁾	2003 ⁽²⁾
Quantidade (toneladas/dia)	99	1000	9100	12000

Fonte: ⁽¹⁾Godoi (1997); ⁽²⁾Orth (2004)

Na Tabela 3 – mostram-se dados da evolução da geração *per capita* em alguns países.

Tabela 3 – Evolução da geração *per capita* em algumas cidades

LOCAL	ANO			
	1975 ⁽¹⁾ (kg/hab.dia)	1985 ⁽¹⁾ (kg/hab.dia)	1995 ⁽¹⁾ (kg/hab.dia)	2003 ⁽²⁾ (kg/hab.dia)
Nova York	0,80	1,50	3,0	
São Paulo	0,50	0,80	0,91	1,14
Londres	0,60	0,85	0,90	

Fonte: ⁽¹⁾Godoi (1997); ⁽²⁾Orth (2004)

Na Tabela 4 – mostram-se dados de geração *per capita* em alguns países.

Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos *per capita* em alguns países

<i>País</i>	<i>kg/dia de resíduos</i>
EUA	3,2
Itália	1,5
Holanda	1,3
Japão	1,1
Brasil	1,0
Grécia	0,8
Portugal	0,6

Fonte: MEIO AMBIENTE E CONSUMO (2002)

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), elaborada pelo IBGE em 2000 no Brasil, a geração *per capita* de lixo varia com o porte populacional do município; para os municípios com população inferior a 200 mil habitantes e geração *per capita* varia entre 450 e 700 gramas e em municípios com população inferior a 200 mil habitantes, entre 700 e 1.200 gramas (CONSUMO SUSTENTÁVEL [...], 2005). Percebe-se assim, que as diferenças não ocorrem somente entre os países, mas também dentro deles, principalmente no caso de países em desenvolvimento como o Brasil. Ressalta-se ainda, que quanto maior a economia de um país maior o consumo da população e conseqüentemente maior produção de resíduos são descartados na natureza.

b) Mudança qualitativa nos resíduos

No Brasil ainda são escassos os dados disponíveis sobre a composição do lixo urbano nas cidades. Entretanto, segundo dados recentes, os resíduos domésticos brasileiros apresentam uma composição média de 50% de matéria orgânica, 30% de materiais descartáveis e 20% de materiais com potencial de reciclagem (NETO; LIMA, 1993, citado por NUNESMAIA, 1997). A Tabela 5 mostra a composição média dos resíduos gerados na cidade de São Paulo de 1927 a 2000. Nesta Tabela observa-se que há predominância de matéria-orgânica putrescível, porém já demonstra uma tendência à diminuição acentuada.

Tabela 5 - Evolução da composição do lixo domiciliar da cidade de São Paulo (%)

RESÍDUOS	1927	1957	1969	1976	1991	1996	1998	2000
Matéria orgânica	82,5	76	52,2	62,7	60,6	55,7	49,5	48,2
Papel e assemelhados	13,4	16,7	29,2	21,4	13,9	16,6	18,8	16,4
Embalagens longa vida	-	-	-	-	-	-	-	0,9
Plástico	-	-	1,9	5	11,5	14,3	22,9	16,8
Metais ferrosos	1,7	2,2	7,8	3,9	2,8	2,1	2	2,6
Alumínio	-	-	-	0,1	0,7	0,7	0,9	0,7
Retalhos, couro, borrachas	1,5	1,7	3,8	2,9	4,4	5,7	3	-
Pilhas e baterias	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Vidros	0,9	1,4	2,6	1,7	1,7	2,3	1,5	1,3
Terra e pedras	-	-	-	0,7	0,8	-	0,2	1,6
Madeira	-	-	2,4	1,6	0,7	-	1,3	2
Diversos	-	0,1	-	-	1,7	2,6	-	9,3

Fonte: Tenório e Espinosa (2005)

Das medidas existentes para um adequado destino final dos resíduos sólidos a mais recente e ecológica é a coleta seletiva, que consiste em separar os resíduos de acordo com sua natureza e conduzi-los a uma usina de reciclagem para transformar esses resíduos em matéria prima e encaminhar para as indústrias. De acordo com Carvalho et al. (2000) reduzir a quantidade de resíduos produzidos, eliminar a produção de resíduos tóxicos, reutilizar o que for possível, reciclar o que for reciclável são metas que os ambientalistas podem ajudar a alcançar.

2.2 RECICLAGEM

Aplicada aos objetos produzidos pelo ser humano, a reciclagem de materiais refere-se ao aproveitamento de substâncias que, já tendo sido empregadas na constituição de um produto, são novamente utilizadas (também num tempo posterior) para a fabricação de outro. Neste contexto, a reciclagem implica na aplicação de processos de transformação, sejam eles industriais ou artesanais. Como na maioria das atividades humanas, depende de uma disposição para ser realmente efetiva (PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO, 1999).

Grippi (2001) comenta que os estudiosos da reciclagem estão cada vez mais preocupados com a quantidade de lixo que diariamente é enviada desnecessariamente aos aterros sanitários tecnicamente ditos, pois, como é sabido pelas estatísticas, grande parte dos municípios brasileiros, operam com verdadeiros e vergonhosos lixões. Sabe-se efetivamente que num período médio de 15 anos ocorre à degradação total de produtos crus e degradáveis, após 15 anos, o nível de degradação é praticamente nulo e depende de fatores que não estão disponíveis no aterro sanitário para que o processo de degradação continue.

2.2.1 Benefícios da reciclagem

Os principais benefícios da reciclagem são:

- ✓ Economia de matéria-prima e de energia;
- ✓ Redução da quantidade de lixo a ser disposto;
- ✓ Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000);
- ✓ Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999);
- ✓ Redução do consumo de energia durante o processo de produção. Destaca-se a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima (co-incineração) ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000);
- ✓ Redução da poluição: por exemplo, redução da poluição gerada no processamento de fabricação da matéria-prima virgem para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999).

2.2.2 Dificuldades da reciclagem

As principais dificuldades da reciclagem são:

- ✓ Falta de organização de sistemas de coleta adequado;
- ✓ Custo mais elevado; má qualidade do material separado, por contaminação com

matéria-orgânica ou mesmo presença de constituintes do próprio material [metais pesados, corantes e outros aditivos];

- ✓ Mistura de materiais diferentes no mesmo produto [no caso do plástico, por exemplo, a mistura de resinas diferentes dificulta ou impossibilita a reciclagem];
- ✓ Falta de mercado para absorver o material reciclado. Ou seja, o fato de um material ser tecnicamente reciclável, não quer dizer que ele será efetivamente reciclado.

Lembra-se também que a reciclagem é um processo que demanda energia como outro qualquer [geralmente menos do que para a produção de matéria-prima virgem], requer insumos e, em alguns casos, grande quantidade de água para a limpeza do material. É um processo que também gera poluição.

Quanto ao custo, muitos autores mencionam serem os ganhos com a venda do material reciclável menor que os custos envolvidos nas operações para sua coleta e processamento. Contudo, como lembra Calderoni (2003), quando se usa esse argumento não se relaciona as economias com matéria-prima e energia. Segundo o autor, contabilizados esses fatores, a reciclagem é lucrativa.

Também em Leite (1997) vemos que a prática corrente de dispor os resíduos em lixões e não em aterros sanitários é logicamente mais econômico que coletar seletivamente e reciclar os materiais, e por isso, pouco empenho se dá à reciclagem. Leite (1997) ainda acrescenta que mesmo com a disposição em aterros sanitários, por enquanto, no Brasil, a disposição ainda é mais econômica. Mesmo porque, os custos de coleta são públicos e a economia com matéria-prima e energia [em termos financeiros] é privada. Por isso a necessidade de que mais enfoque seja dado ao aspecto ambiental na análise do custo benefício da reciclagem. Também a legislação que co-responsabilize as empresas pelos resíduos, pós-consumo de seus produtos pode levar a uma distribuição de custos mais justa socialmente. É importante também se considerar a necessidade de formulação de políticas públicas adequadas à prevenção de resíduos, ficando a reciclagem como indicação para os casos em que os resíduos não puderem ser evitados.

2.3 RECICLAGEM NO BRASIL

A cada dia que passa a reciclagem de materiais torna-se uma das atividades mais importantes de proteção ambiental, atribuindo valores econômicos e desenvolvimento

tecnológico. Isso ocorre devido ao aumento da produção e do consumo de produtos industrializados.

O mercado da reciclagem pode trazer, para o Brasil, reflexos sócio-econômicos relacionados diretamente com a melhoria da qualidade de vida da população. De acordo com Spinacé *et al.* (2005), cerca de US\$ 160 bilhões/ano é movimentado no setor da reciclagem, além de empregar 1,5 milhões de pessoas.

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como material de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço.

Este atraso se dá em função dos repetitivos problemas econômicos e políticos.

Recentemente o governo federal através de portaria Ministério da Indústria, Comércio e Turismo nº 92 (06 de Agosto 1998) criou um grupo de trabalho interministerial com o objetivo de elaborar proposta de Programa Brasileiro de Reciclagem que estabeleça diretrizes que permitam incrementar e valorizar a utilização como matérias-primas, de resíduos sólidos, bem como o desenvolvimento do parque industrial nacional de reciclador (MCT, 1999). Embora a portaria tenha estabelecido um prazo de 90 dias para o encerramento dos trabalhos, até o momento não se tem nenhum desdobramento prático e teme-se que a iniciativa tenha sido afetada no processo do governo federal.

Uma medida positiva foi promulgada no dia 12 de Maio de 1999 da Lei do Estado de São Paulo nº10.311, do Selo Verde, um certificado de qualidade ambiental, a ser conferido pela CETESB, a estabelecimentos sediados no Estado de São Paulo que executam programas de proteção e preservação do meio ambiente, com efetivo cumprimento das normas ambientais (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO SÃO PAULO, 1999). Apesar de não ser voltada para a identificação de produtos, trata-se de um avanço significativo.

A inexistência destas marcas de qualidade ambiental de produtos demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que eventualmente reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, apesar do consumidor, mantido o preço e a qualidade, preferir produtos com menor impacto ambiental (MORENO, 1998). Uma das causas possíveis para este aparente desinteresse é um eventual receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Esta dúvida pode ser sanada apenas através de uma pesquisa de mercado.

2.4 RECICLAGEM DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sem qualquer sombra de dúvidas a maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias de alto-forno básicas e cinzas volantes. Yamamoto *et al.*, (1997) estimam que em 1996 a indústria cimenteira brasileira ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto-forno básicas, além da calcinação de argilas e adição de *filler* calcário, reduziu a geração de CO₂ em 29% e uma economia de combustível de 28%. Adicionalmente, Marciano (1997) estimam que a indústria cimenteira economizou entre 1976 e 1995 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, entre outros. Atualmente a indústria cimenteira inicia no Brasil a prática de co-processamento, definido como calcinação de resíduos em fornos de cimento, reduzindo o consumo de energia e diminuindo o volume de resíduos em aterros.

2.5 RESÍDUOS SÓLIDOS

Neste item são descritos conceitos sobre resíduos e suas respectivas normas.

2.5.1 Definições e classificações

Segunda a norma NBR 10004/2004 resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos no estado sólido ou semi-sólido que resultam de atividade da comunidade de origem: industriais domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Ficam incluídos, nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos, instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Segunda a norma NBR 10004/2004, os resíduos podem ser classificados envolvendo a identificação do processo ou atividade que lhes der origem, de seus constituintes e características e a comparação desses constituintes com listagem de resíduos cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido, da seguinte forma:

a) Resíduos Classe I-perigosos

São aqueles que apresentam periculosidade em função das suas propriedades físicas, químicas ou infecto contagiosas que possam apresentar:

- ✓ Riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- ✓ Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Esses resíduos também são caracterizados de acordo com a sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (excetuando os gerados nas estações de tratamento de esgoto doméstico e os resíduos). Os resíduos de saúde pública são classificados conforme a norma ABNT NBR 12.808 de 1993.

b) Resíduos Classe II, não perigosos.

São os resíduos produzidos em restaurantes (restos de comida), madeira, materiais têxteis, resíduos de minerais não metálicos, areia de fundição, bagaço de cana, sucatas de metais ferrosos, resíduos de papel e papelão, resíduos de plástico polimerizado, borracha e outros materiais não perigosos.

São excluídos os resíduos contaminados por substâncias tóxicas ou que apresentem características de periculosidade.

Resíduos Classe II-A – Não Inertes

Aqueles que não se enquadram nas especificações de Classe I ou Classe II B. Podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II-B – Inertes

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a norma ABNT NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente conforme ABNT NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor, conforme o anexo da norma.

A ABNT apresenta ainda uma lista de normas relacionadas aos resíduos sólidos, entre elas:

- ✓ NBR 10.005(2004) - Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos;
- ✓ NBR 10.006(2004) - Procedimento para obtenção de extrato de solubilizado de resíduos sólidos;
- ✓ NBR 10.007(2004) - Fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos;

- ✓ NBR 12.808(1993) – Classifica resíduos de serviço de saúde quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que tenham gerenciamento adequado;
- ✓ NBR 918(1996) – Normatiza o gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos.

Outros critérios podem ser utilizados para a classificação dos resíduos. O Manual de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos do IPT/CEMRE (2000) e o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos desenvolvido pelo IBAM (2001) apresentam várias classificações dos resíduos sólidos, entre outros como a natureza física ou sua composição química e também de acordo com sua origem.

Grippi (2001) acrescenta, sob uma forma específica e usual de gerenciamento de resíduos sólidos, que é mais prático e didático classificá-los como:

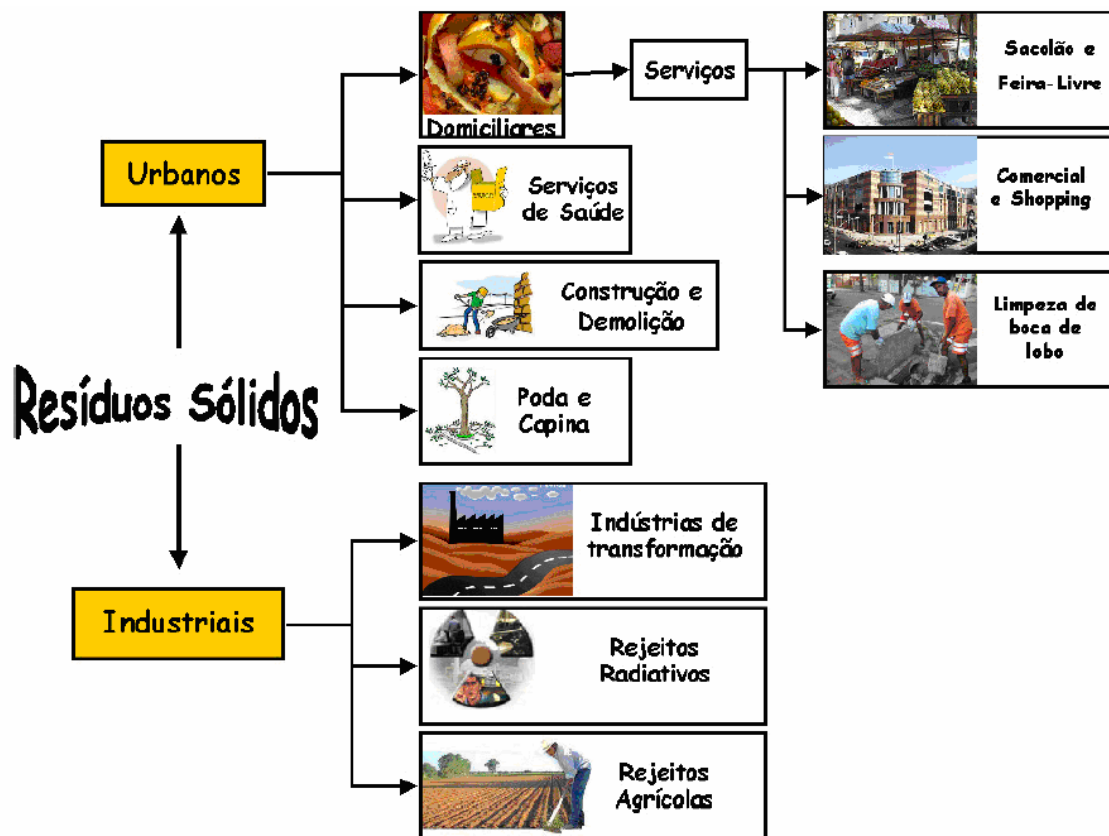


Figura 2: Classificação dos resíduos sólidos em função de sua fonte geradora.

Fonte: SCHALCH, 1992, (modificado).

Domiciliar: são os resíduos gerados na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas e embalagens, papel higiênico e fraldas descartáveis, embalagens de longa vida ou ainda uma infinidade de itens domésticos.

Comercial é aquele originado nos estabelecimentos comerciais e de serviços, como supermercados, bancos, lojas, bares, restaurantes, etc.; o lixo destes estabelecimentos tem um forte componente de papel, plástico, embalagens diversas e materiais de asseio, como papel-toalha, papel higiênico, latas de alumínio, vidros etc.

Público: são aqueles originados dos serviços de limpeza pública urbana, incluídos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, córregos e terrenos baldios, podas de árvores, etc. fazem parte ainda desta classificação a limpeza de locais de feiras livres ou eventos públicos.

Resíduos do Serviço de Saúde (RSS): Constituído de resíduos sépticos que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc. Este lixo é constituído de agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodão, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas, animais usados em teste, sangue coagulado, remédios, luvas descartáveis, filmes radiológicos, etc.

Especial: são os resíduos encontrados em aeroportos, terminais rodoviários ou ferroviários. Constituído de resíduos sépticos, pode conter agentes patogênicos oriundos de um quadro de endemia de outro lugar, cidade, estado ou país. Estes resíduos são formados por material de higiene e asseio pessoal, restos de alimentação, etc.

Industrial: são aqueles originados nas atividades industriais, dentro dos diversos ramos produtivos existentes. O lixo industrial é bastante variado e pode estar relacionado ou não com o tipo de produto final da atividade industrial. São constituídos por resíduos de cinzas, óleos, lodo, substância alcalina ou ácida, escórias, corrosivos, etc.

Radioativo: São os resíduos que emitem radiações acima do permitido pelas normas ambientais. Normalmente são provenientes da atividade nuclear em centros de pesquisa, alguns hospitais ou em usinas de geração de energia elétrica. O seu tratamento e disposição final obedecem às exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Normalmente são acondicionados em caixas de concreto fechadas, que são enterradas ou lançadas ao mar. Há certa dificuldade em encontrarem locais para armazenamento desse tipo de resíduos, pois grande parte das regiões não quer o depósito de material radioativo em seu território, nos mares, existe o problema da corrosão das caixas de concreto que, com o tempo, poderão se abrir e lançar ao mar o material radioativo.

Agrícola: são resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como, por exemplo, embalagens de adubos e agrotóxicos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. em várias regiões do mundo, este tipo de lixo vem causando preocupações crescentes,

destacando-se a enorme quantidade de esterco animal gerados nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agro-químicos diversos, em geral tóxicos, têm sido alvo de legislações específicas.

A produção, armazenamento e disposição das embalagens de agrotóxicos foram regulamentadas pela Lei Federal nº 9.974 de 06/06/00 que, dentre outras resoluções a devolução da embalagem vazia ao estabelecimento que a comercializou.

Resíduos da construção civil (RCD): a Resolução CONAMA 307, de 5 de julho de 2002, define os resíduos da construção civil como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, etc.

O entulho é geralmente um material inerte passível de reaproveitamento e de responsabilidade do gerador, porém pode conter alguns materiais tóxicos como o amianto ou solventes. O maior impacto desses resíduos é na disposição inadequada, que pode causar erosões ou assoreamento de cursos d'água.

A Tabela 6 atribui responsabilidades quanto ao destino final dos resíduos sólidos.

Tabela 6 – A responsabilidade atribuída pelo tipo de resíduos sólidos produzidos

<i>Tipos de coleta</i>	<i>Responsável</i>
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
Público	Prefeitura
Serviço de Saúde	Gerador (hospitais, farmácias, etc)
Industriais	Gerador
Especiais	Gerador
Agrícolas	Gerador
Entulho	Gerador**

(*) Quantidades muito elevadas podem ser de responsabilidade do gerador, de acordo com a legislação específica

(**) A prefeitura pode ser co-responsável por pequenas quantidades, de acordo com a legislação específica.

Fonte: IPT/Cempre – 2000

Pela Tabela, vimos que nem todo lixo gerado é de responsabilidade dos órgãos públicos. Muitas atividades (especialmente a industrial e de serviços) produzem uma quantidade muito grande de resíduos, que em muitos casos podem conter elementos nocivos e, por isso precisam encontrar uma maneira ambientalmente segura para gerenciá-los.

2.6 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Atualmente, resente-se, no Brasil, da falta de moradias para uma grande faixa da população. Tal fato, aliado aos altos custos dos materiais de construção e da mão-de-obra, faz com que todos os setores da sociedade, públicos e privados, se mobilizem em busca de soluções apropriadas, simples, práticas e avançadas, que permitam um considerável barateamento da construção (SARMIENTO; FREIRE, 1997).

A construção civil apresenta-se como um setor de grande potencial para a utilização de resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais (ÂNGULO, 2000).

A reciclagem de resíduos sólidos em materiais de construção civil é uma tendência que vem se consolidando em nível nacional. Uma série de fatores propicia esta prática. Por um lado tem-se o elevado déficit habitacional existente no país, por outro lado o custo dos materiais tradicionais é alto, para poderem ser empregados por uma grande parcela da população. Desta forma, o desenvolvimento de materiais alternativos, que apresentem desempenho similar aos tradicionais, ou de desempenho compatível ao seu uso, com custo inferior e com a vantagem de dar uma destinação ao resíduo, se mostra bastante atrativa (MASUERO *et al*, 1997; SAVASTANO, 2000).

2.7 IMPACTOS DA RECICLAGEM E DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

A reciclagem e a reutilização de resíduos sólidos em novos materiais de construção têm sido cada vez mais aplicadas em diversas linhas de pesquisas. No entanto, o reaproveitamento de RCD, materiais plásticos, papéis, borracha de pneus, etc, conta com uma abordagem voltada ao desempenho estrutural do novo produto obtido. No entanto, além do estudo voltado às características técnicas relacionadas ao desempenho estrutural, a estabilidade e a viabilidade do novo material tornam-se necessário efetuar-se uma avaliação quanto aos impactos ambientais e financeiros gerados pelo seu uso (CAVALCANTE; CHERIAF, 1997).

Ou seja, a reciclagem e a reutilização de resíduos, assim como qualquer outra atividade humana também podem 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 e prejudicial do que o próprio resíduo era antes de ser reciclado. Dependendo da sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos

podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados novamente ou a falta de tecnologia para seu tratamento. Dessa forma, o processo de reciclagem pode acarretar riscos ambientais que precisam ser adequadamente analisados e gerenciados (ÂNGULO *et al*, 2001; FLESCHE, 2004).

Em todo processo de reciclagem ou de reutilização são necessárias algumas transformações para tornar o resíduo apropriado para a sua nova utilização. Nesse processo de transformação, existe a necessidade do uso de energia e, em alguns casos, até do uso de novas matérias-primas para modificar o resíduo física ou quimicamente. Dependendo das quantidades de energia e/ou de matérias-primas utilizadas nesta etapa de transformação, a reciclagem pode representar um grande impacto ao meio ambiente (ÂNGULO *et al*, 2001; FLESCHE, 2004).

Cavalcante e Cheriaf (1997) em seus estudos também comentam o fato de a reciclagem e a reutilização de resíduos gerarem resíduos. Estes novos resíduos podem ser gerados tanto com o final da vida útil do material reciclado, quanto durante o próprio processo de reciclagem. Os resíduos podem ser, dependendo do tipo de transformação feita durante a reciclagem, mais prejudiciais ao meio ambiente do que era o resíduo inicial, antes da reciclagem. Deve-se analisar, quanto aos novos resíduos, às quantidades geradas, a possibilidade de contaminação ao meio ambiente, a disponibilidade de locais de disposição e a existência de tecnologia para efetuar-se um tratamento adequado, juntamente com os respectivos custos, e avaliar se realmente a reciclagem inicial foi viável ambientalmente e financeiramente. Também pode ser estudada a possibilidade de reciclagem e de reutilização deste novo resíduo gerado, mas sem esquecer os aspectos citados anteriormente.

Os riscos de utilização de novo produtos, gerados a partir da reciclagem ou da reutilização de resíduos, também devem ser avaliados. É necessário efetuar-se um estudo para se certificar de que este novo produto não oferece risco à saúde dos usuários, bem como dos trabalhadores responsáveis pela sua reciclagem. Até mesmo resíduos antes inertes podem sofrer algumas alterações físico-químicas durante o processo de reciclagem (ÂNGULO *et al*, 2001; CAVALCANTE; CHERIAF, 1997; FLESCHE, 2004).

Portanto, antes de se optar pela reciclagem ou pela reutilização de um resíduo, é necessária uma avaliação bastante criteriosa ponderando as vantagens que serão obtidas no processo, e o impacto que este processo vai gerar. A reciclagem não pode ser utilizada indiscriminadamente pelas indústrias, com o intuito de cumprir normas ambientais, deve ser feita com base em um estudo bastante amplo, para que não gere, futuramente, maiores custos para a sociedade e para o meio ambiente.

2.8 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sustentabilidade na construção civil hoje é um tema de extrema importância, já que a indústria da construção causa um grande impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia produtiva. Esta inclui ocupação de terras, extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais, construção de edifícios e geração e disposição de resíduos sólidos. Além disto, segundo o (CIB, 2000), a indústria da construção é um dos grandes contribuintes do desenvolvimento sócio-econômico em todos os países.

Em relação à quantidade de materiais, (SOUZA, 2005) estima-se que em um metro quadrado de construção de um edifício são gastos em torno de uma tonelada de materiais, demandando grandes quantidades de cimento, areia, brita, etc.. Ainda, são gerados resíduos devido às perdas ou aos desperdícios neste processo; mesmo que se melhore a qualidade do processo, sempre haverá perda e, portanto, resíduo; alguns levantamentos em canteiros de obra em Brasília-DF estimaram uma média de geração de entulho de 0,12 Ton/m².

Observa-se que houve um grande avanço na qualidade da construção civil nos últimos anos, obtido principalmente por meio de programas de redução de perdas e implantação de sistemas de gestão da qualidade. Não há dúvidas, porém, que nas próximas décadas, além da qualidade (implantada para a garantia da satisfação do usuário com relação a um produto específico), haverá também uma grande preocupação com a sustentabilidade, antes de tudo, para garantir o próprio futuro da humanidade.

Pode-se dizer que já há um grande movimento neste sentido, e várias pesquisas têm sido realizadas nesta área, subsidiadas por agências governamentais, instituições de pesquisas e agências privadas no mundo inteiro. No Brasil este movimento teve início após a ECO-92, realizada no Rio de Janeiro, quando foram estabelecidas algumas metas ambientais locais, incluindo a produção e a avaliação de edifícios e a busca do paradigma do desenvolvimento sustentável, obtido pela produção da maior quantidade de bens com a menor quantidade de recursos naturais e menor poluição.

Com relação à construção civil, o aproveitamento de resíduos é uma das ações que devem ser incluídas nas práticas comuns de produção de edificações, visando a sua maior sustentabilidade, proporcionando economia de recursos naturais e minimização do impacto no meio-ambiente. O potencial do reaproveitamento e reciclagem de resíduos da construção é enorme, e a exigência da incorporação destes resíduos em determinados produtos pode vir a ser extremamente benéfica, já que proporciona economia de matéria-prima e energia.

2.9 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O “Desenvolvimento Sustentável” é uma forma de desenvolvimento econômico que emprega os recursos naturais e o meio ambiente não apenas em benefício do presente, mas também das gerações futuras. A indústria da construção civil sempre foi caracterizada pela carência de qualidade em seus produtos e por uma filosofia altamente esbanjadora. Embora por questões econômicas os construtores tentem otimizar recursos e, portanto, minimizar perdas, os sistemas construtivos ultrapassados e que são de prática corrente na construção civil brasileira, nem sempre consideram os desperdícios na construção como uma variável importante no processo construtivo. Assim, uma construção sustentável deve basear-se na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso de resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte.

Para a obtenção de uma tecnologia limpa é preciso que o consumo seja sustentável, a partir daí surgiu à implantação dos 4Rs.

4R = REDUZIR + REUTILIZAR + RECICLAR + RECUPERAR.

- **REDUZIR** - repensar a forma de consumir. Comprar somente o necessário.
- **REUTILIZAR** - reaproveitar tudo o que for possível. Sobras da produção, embalagens, etc...
- **RECICLAR** - a nossa parte é separar tudo o que é possível ser reciclado e a indústria de fazer a reciclagem.
- **RECUPERAR** - quando possível, a energia de resíduos que não podem ser reduzidos, reutilizados ou reciclados. Opção para a indústria e inclui opções como a incineração, por exemplo, que através da queima controlada de resíduos produz energia elétrica.

As construções brasileiras atuais têm procurado melhorar o sistema produtivo a fim de projetar construções sustentáveis. O desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil ainda está ocorrendo lentamente no Brasil. Para acelerar esse processo é necessário que ocorra regulamentações e fiscalizações eficientes, e principalmente uma mudança cultural para o setor da construção civil. Observa-se que é preciso tomar providências para que os

profissionais da indústria da construção civil se preparem para implementação de processos, desenvolvimento de pesquisas e de ensino, que sejam capacitados a divulgar as mudanças necessárias e que estejam dispostos a derrubar os paradigmas existentes no setor da construção civil brasileira.

A necessidade de crescimento econômico do Brasil deve basear-se no conceito de desenvolvimento sustentável, que segundo a abordagem de Tamemmagi (1999), apud (Hamada, 2003) este princípio está diretamente ligado à proteção da saúde e do meio ambiente, a minimização do sacrifício das futuras gerações e a conservação, como ilustrado na Figura 3.

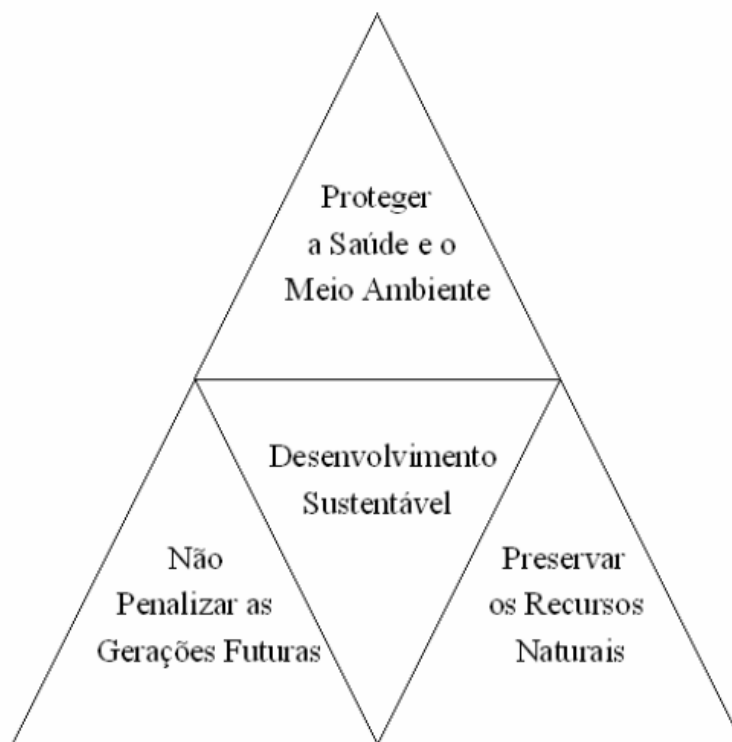


Figura 3: Princípios do desenvolvimento sustentável e o manejo de resíduos
Fonte: HAMADA, 1999

O maior desafio da construção civil sustentável é formular e executar a política de gestão ambiental com a participação da sociedade e promover o desenvolvimento ecologicamente equilibrado de forma integrada, garantindo a proteção dos recursos naturais para os presentes e futuras gerações.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Em primeiro lugar, fez-se necessário salientar as características da pesquisa em questão. Esta se apresenta como sendo descritiva e bibliográfica. Para Gil (1994), “*a pesquisa descritiva tem como objetivo primordial à descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis*”. É descritiva porque se utiliza técnicas de coleta de dados. A pesquisa bibliográfica foi elaborada de forma indireta, fundamentada em livros, teses, dissertações, periódicos, jornais, sites e publicações avulsas (LAKATOS; MARCONI, 1992).

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi planejada com as seguintes etapas:

a) Referencial teórico: dada à abrangência do tema escolhido para a pesquisa, uma extensa pesquisa bibliográfica foi necessária. Nela buscou-se relacionar as várias informações da literatura técnica como forma de subsidiar uma análise para obtenção de resultados consistentes;

b) Fichamento dos Resíduos: foram feitos fichários com descrições dos resíduos sólidos, analisando quais destes poderiam retornar à indústria da construção como matéria-prima;

c) Elaboração do trabalho: dividiu-se nos seguintes tópicos:

- Estudo da importância da reciclagem no cenário mundial;
- Estudo dos diferentes materiais (resíduos sólidos) existentes;
- Análise destes materiais, quanto a sua potencialidade e aplicabilidade;
- Viabilidade de estes materiais poderem retornar à indústria da construção civil como matéria-prima.

3.3 FORMA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi fundamentada em livros, teses, dissertações, periódicos, jornais, sites e publicações avulsas.

3.4 PLANO DE ANÁLISE DE DADOS

O plano de análise de dados contempla o fichamento de cada resíduo estudado e a montagem de um quadro resumo com os principais resíduos sólidos que têm potencial e aplicabilidade de retornarem à indústria da construção civil juntamente com suas principais aplicações nesta indústria.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos através de uma ampla pesquisa bibliográfica.

Dos resíduos sólidos estudados os que têm aplicabilidade e potencialidade de serem reutilizados na construção civil são de três tipos: (i) domésticos, (ii) industriais, procedentes da fabricação de materiais de construção, ou outros materiais e, (iii) resíduos RCD produzidos nos canteiros de obras de construção e demolição.

Para a seleção destes resíduos os principais critérios utilizados foram: a) quantidade de massa ou volume; b) oportunidade de reciclagem; c) possibilidade destes, serem reutilizados na indústria da construção civil.

4.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD):

O aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) destaca-se como alternativa vantajosa, buscando valorizar os materiais descartados nas obras de engenharia, atribuindo-lhes a condições de material nobre, em vez de simplesmente lançá-los na natureza.

Pinto (1999) aponta para o Brasil, uma porcentagem destes resíduos em torno de 50% do volume total de resíduos sólidos produzidos pelos grandes centros urbanos. Merecem, pois, uma atenção especial quanto ao seu manejo e disposição.

Nos municípios pequenos, a falta de informações sobre a quantidade de RCD resulta em uma grande dificuldade no estudo desse material. Isso se deve ao fato dos planos diretores centralizar suas ações no gerenciamento dos lixos domésticos, pois consideram esses predominantes no quadro de composição de resíduos sólidos urbanos (RSU). Dessa forma, os resíduos domiciliares são considerados críticos e a principal parcela para o esgotamento dos aterros (BORGES, 2000).

Por outro lado, as cidades de médio e grande porte costumam dar um tratamento mais elaborado a essas informações, talvez porque a presença dos RCD seja mais significativa nesses locais, chegando a um percentual 67% do total de massa dos RSU, conforme levantamento realizado por Leite (2001), na cidade de Ribeirão Preto/SP. A Tabela 7 apresenta algumas estimativas de geração destes resíduos em várias capitais do Brasil.

Tabela 7 – Percentual de RCD em relação ao RSU de algumas cidades brasileiras
(Modificado de Vieira, 2003)

Cidade	População (10 ⁶ x habitantes)	Geração de entulho (ton/dia)	% de RCD em relação ao RSU
Salvador ⁽¹⁾	2,2	1700	37
Belo Horizonte ⁽¹⁾	2,01	1200	51
Maceio ⁽²⁾	0,7	1100	45
Santo André ⁽¹⁾	0,63	1013	58
S. José dos Campos ⁽¹⁾	0,5	733	65
Ribeirão Preto ⁽¹⁾	0,46	1043	67

Fonte: (1) Leite; (2) Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió – SLUM, 1997

As estimativas a respeito de geração de RCD afirmam que no Brasil a geração *per capita* é de 510 kg/hab/ano, pela mediana de algumas cidades brasileiras (PINTO, 1999). Para uma população de cerca de 140 milhões de pessoas vivendo em meio urbano, pode-se estimar uma geração de 70 milhões de toneladas por ano. A cidade de São Paulo apresenta uma geração de 16.000 t/dia, correspondendo a 499 kg/hab/ano (SCHNEIDER, 2003). Na Tabela 8, apresentam-se estimativas para a provável geração total de RCD de algumas cidades brasileiras e a sua geração *per capita*.

Tabela 8 – Provável geração total de RCD de alguns municípios brasileiros e a geração *per capita* de entulho

Municípios	População	Ano de pesquisa	Provável geração de RCD (t/dia)	Geração por capita de RCD (kg/hab/dia)
Santo André - SP	625.564	1997	1.013	1,61
São José dos Campos - SP	486.467	1997	733	1,51
Jundiaí - SP	293.373	1997	712	2,43
Vitória da Conquista - BA	242.155	1998	310	1,28
Campinas - SP	850.000	1993	1.258	1,48
Florianópolis - SC	285.281	2000	636	2,23

Fonte: (XAVIER & ROCHA, 2001)

4.1.1 Composição dos RCD

O Quadro 1 - mostra diversos constituintes típicos de entulho de obras, de acordo com critério da USA, *EPA-Environnement Protection Agency* (1998).

Quadro 1 – Constituintes típicos de entulho de obras

Frações Primárias Inertes	Asfalto, tijolo, bloco de concreto com cinza, concreto com barras / trama de arame, concreto sem armadura, telha cerâmica, vidro, solo, plástico em lâmina, tubo plástico, louça sanitária inclusive metais, metais ferrosos e não ferrosos, fiação elétrica, <i>fiber glass</i> , recipientes e <i>containers</i> de plástico.
Frações predominantemente orgânicas	<i>Containers</i> de papelão corrugado, material de isolamento com celulose, paletes, chapas de madeira prensada, feltro, <i>shingles</i> asfálticos, chapa perfurada.
Materiais compósitos	Carpete, painéis de gesso, idem com revestimento de papel decorativo, materiais elétricos (lâmpadas, metal, chaves, fusíveis, etc.), mangueiras de borracha, madeira pintada, compósitos de madeiras.

4.1.2 O RCD e o meio ambiente

O grande volume de entulho gerado nas grandes cidades tem se tornado um problema ambiental grave. Atualmente as prefeituras dos grandes centros urbanos enfrentam problemas de esgotamento dos locais e de deposição de RCD em locais inadequados. Nas cidades brasileiras a maioria dos RCD é depositada em aterros clandestinos, obstruindo córregos e sistemas de drenagem, causando enchentes que favorecem o acúmulo de água e a proliferação de mosquitos e de outros vetores. Outra prática comum é nos depararmos com caçambas ou outros recipientes metálicos colocados de maneira inconveniente nas vias públicas carregados de entulho de obra aguardando remoção para os aterros bota-fora. Como ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Disposição de resíduos não inertes em caçambas coletora de RCD.

4.1.3 Quantidade de resíduo gerado pela construção civil

Os RCD são um dos grandes responsáveis pelo esgotamento de lixões e pelo alto custo sócio–econômicos-ambientais nas cidades de médio e grande porte.

Estimativas internacionais dão conta que a geração de RCD varia entre 130 e 3000 kg/habitante/ano, JOHN e AGOGYPAN (2003), e no Brasil, feitas por Pinto (1999) apud JOHN, AGOGYPAN, entre 230 e 660 kg/habitante/ano, correspondendo à mediana de 500 kg/habitante ano, ou seja, mais do que 50% dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo ÂNGULO, a quantidade de RCD gerado no Brasil é algo em torno de $68,5 \times 10^6$ t / ano.

Tomando por base estudos de outros autores já mencionados, ARTEMARIA, AGOGYPAN *et al*, e Pinto (1997) já mencionado, a quantidade de entulho equivale, em média de (5%) – 15 % da massa do prédio estimada em 1000 kg/m^2 .

Dados norte-americanos publicados no Relatório *EPA 530-R-98-010*, da *NATIONAL ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, estimam uma produção de 136 milhões de toneladas de RCD em 1996, ou seja, da ordem de 1,4 kg / habitante / dia, sendo 43% gerado por obras residenciais e 57% por obras não residenciais.

As demolições respondem por 48% do total de RCD, as remodelações por 44% e os 8% restantes são gerados na construção de obras novas.

Análise da composição média revelou que praticamente 95 % dos RCD recebidos no aterro da cidade de Itatinga, em São Paulo, poderiam ser reciclados, ÂNGULO (2000), mas,

apenas uma pequena parcela destes resíduos é empregada como sub-base de pavimentação, uma das poucas alternativas tecnologicamente consolidadas de utilização de RCD em serviços de construção civil no Brasil.

Levy (2002), apud ANGULO, concluiu com base em observações feitas que a substituição de 20 % dos agregados convencionais por agregados reciclados não afetaria a resistência e durabilidade do concreto comparativamente a de concretos tradicionais e propiciaria a utilização de cerca de 48,8 milhões de toneladas/ano de resíduos.

Não seria ainda suficiente para absorvê-los completamente, mesmo contando com a quantidade que é empregada em pavimentação, sendo assim necessário partir para outras aplicações em argamassas, artefatos de concretos, fabricação de cerâmica, cimento, etc.

O uso de agregados reciclados em concreto estrutural requer grande confiabilidade das suas propriedades sendo, neste particular, necessária melhoria profunda na gestão dos processos de reciclagem atualmente praticados no Brasil e rigoroso controle de qualidade do produto final, ANGULO.

O mercado nacional ainda não disponibiliza agregados reciclados para concreto estrutural que satisfaçam inteiramente as especificações internacionais para este material.

4.1.4 Classificação dos RCD

Os RCDs são compostos por:

- ✓ Solos;
- ✓ Cerâmicos: rochas; concreto; argamassa de cimento e cal endurecida; cacos de cerâmica vermelha; fragmentos de tijolos e telhas, azulejos e cerâmica branca, placas de gesso; vidro;
- ✓ Metálicos: pontas de vergalhões de aço e arame para concreto, retalhos de chapas de aço, latão e alumínio, pregos e parafusos;
- ✓ Orgânicos: cavacos de madeira, natural e madeirit; plásticos; materiais betuminosos; papelão e papel de embalagem; sacaria; tintas, vernizes e adesivos; raízes e restos de vegetais da limpeza do terreno.

Aplicações da Madeira proveniente de RCD:

A madeira ocupa cerca de 10 a 15% do volume do RCD, o reuso de peças de madeira de lei pode ser usado em coberturas, marcações de obras, reprodução de chapas de madeira, etc. A Figura 5 mostram o desperdício da madeira em obras.



Figura 5: Madeira desperdiçada em obras.

Nas Tabelas 9 e 10 JOHN (1997) fornece as percentagens médias de materiais no resíduo total de obras e na fração cerâmica do resíduo total.

Tabela 9 - Materiais (%) no resíduo total

FRAÇÕES	(%)
SOLOS	32
CERÂMICOS	63
OUTROS	5

Tabela 10 - Materiais (%) na fração cerâmica do resíduo total

CONCRETO	13 %
ARGAMASSA	40 %
CERÂMICA	47 %

4.1.5 Centrais de reciclagem de RCD

Estas centrais são operadas, na sua maioria pelas Prefeituras e os agregados produzidos, em grande parte destinam-se a obras de pavimentação como sub-base ou produção de bloquetes.

As informações disponíveis indicam que a viabilidade técnica e econômica da operação destes sistemas de gestão dos RCD é possível desde que haja uma rede planejada de coleta e logística de transporte urbano destes resíduos.

Do ponto de vista financeiro, o sistema parece ser interessante para as Prefeituras porque permite a redução global dos custos, além dos ganhos ambientais associados.

Dados concluídos mostram que os custos com a implantação e operação do sistema de gestão do RCD podem ser amortizados em médio prazo e compensados: (i) pela eliminação do resíduo depositado ilegalmente em terrenos baldios ou aterros municipais e (ii) pela não aquisição de agregados naturais para consumo nas obras da municipalidade.

Até recentemente, a reciclagem de RCD realizada pelo setor privado limitava-se à produção de argamassas a partir dos resíduos dentro do próprio canteiro onde os mesmos são gerados, mas, pouco a pouco a reciclagem em escala industrial, operada em centrais, começa a atrair sua atenção.

A introdução de um novo produto no competitivo mercado de construção civil, nem sempre é fácil e demanda certo tempo de aceitação; o agregado resultante da reciclagem do RCD conquistará o mercado quando for de reconhecida vantagem comercial seu uso como material de construção alternativo.

4.1.6 Reciclagem dos RCD

Segundo John (2000) uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos. A construção civil tem grande potencial de aproveitamento de resíduos, uma vez que nela se consome cerca de 75% de recursos naturais.

A reciclagem de entulho como material de construção foi iniciado na Europa após a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, porém, encontra-se muito atrasada, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90%, como é o caso da Holanda, que já discute a certificação do produto.

Atualmente existem grupos nas universidades brasileiras estudando o aproveitamento dos resíduos sólidos industriais e de construção, seja no aspecto de redução de sua geração durante a atividade de construção, das políticas públicas para o manuseio dos resíduos ou, ainda, das tecnologias para a reciclagem. Existem também diversos municípios que já operam com sucesso centrais de reciclagem de RCD (JOHN, 2001).

Até recentemente, a reciclagem de RCD realizada pelo setor privado limitava-se à produção de argamassas a partir dos resíduos dentro do próprio canteiro onde os mesmos são gerados, mas, pouco a pouco a reciclagem em escala industrial, operada em centrais, começa a atrair sua atenção.

A introdução de um novo produto no competitivo mercado de construção civil, nem sempre é fácil e demanda certo tempo de aceitação; o agregado resultante da reciclagem do

RCD conquistará o mercado quando for de reconhecida vantagem comercial seu uso como material de construção alternativo.

Ressaltam-se ainda algumas necessidades:

- ✓ Existem ainda barreiras tecnológicas a serem vencidas para melhorar a qualidade da produção de componentes de concreto e argamassas.
- ✓ É necessário criar normas de ensaios para determinação de índices de qualidade dos RCD reciclados.
- ✓ É necessário se desenvolver um sistema de controle de qualidade do produto.
- ✓ É necessário que se estabeleça uma certificação de qualidade do produto semelhante ao *selo verde* que já existe para empresas que praticam reciclagem de resíduos.
- ✓ É importante divulgar especificações dos produtos e informações relativas às suas propriedades características, desempenho e durabilidade dos produtos para que os consumidores não os associem aos produtos de baixa qualidade.
- ✓ Obtenção de Incentivos fiscais ou abertura de linhas de crédito especiais para as empresas que se interessassem em reciclar RCD e, por parte dos construtores, obrigatoriedade de assinarem termos de ajuste de conduta pro-ambiente pelos quais se comprometeriam a utilizar o entulho de obra reciclado como material alternativo de construção ou encaminharem os RCD gerados nas suas obras para reciclagem.

4.1.6.1 Reciclagem do entulho de obra em canteiro

O entulho, em suas variadas formas, particulares a cada etapa de obra, resulta de vários fatores resumidamente assim enumerados: (i) quebra ou avaria de materiais durante sua estocagem e/ou manuseio; (ii) retrabalho em função de erros e/ou modificações de projetos ou má execução de serviços e (iii) falta de supervisão e/ou treinamento da mão de obra.

Pode ser reciclado no próprio canteiro ou importado de outras obras para diversas aplicações como mostram os Quadros, 4 e 5, GRIGOLI (2001):

Quadro 2 - Serviços com emprego de argamassa

Serviços executados com argamassa	Traços (volume)	R ₂₈ (MPa)	OBSERVAÇÕES
Assentamento de batentes; enchimento de rasgos em paredes de alvenaria; chumbamento de tubulações elétricas e hidráulicas; reparo de rebocos internos.	1:2:6	2,10	cimento, cal e RCD (fração miúda)
Assentamento de esquadrias; chumbamento de caixas de eletricidade.	1:2:5	2,40	idem

Quadro 3 – Serviços com concreto

Serviços executados com concreto	Traços (Volume)	R ₂₈ (MPa)	OBSERVAÇÕES
Contra-piso interior de unidades habitacionais; fundação de muro divisório; peças estruturais sujeitas a pequenas solicitações; áreas pavimentadas com baixo tráfego.	1:2:2:2:2	16	Cimento, RCD miúdo, areia natural média, RCD graúdo, brita 1
Concreto colocado em piso de abrigo de automóveis e veículos de carga leves.	1:3:1,5:2	20	Cimento, areia natural média, RCD graúdo, brita 1

Nos traços acima indicados, o fator água/cimento, em cada caso, foi determinado em função da trabalhabilidade da argamassa e/ou do concreto compatível com o serviço ao qual se destinava.

O entulho reciclável utilizado em argamassa possui absorção de água muito grande comparativamente com os agregados naturais. Não se deve esperar grande pozolanicidade do RCD por conta da presença de elementos cerâmicos no entulho, o que, todavia, não anula a possibilidade de contar-se com este efeito no caso de maior presença de cerâmicos na massa de entulho; somente conhecimento mais aprofundado deste material pode determinar até quanto esse efeito, ainda que pequeno, pode melhorar o desempenho das argamassas.

Hamassaki *et al* (1997), realizaram diversos ensaios de compressão com corpos de prova de argamassas e os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios indicando quadro favorável ao seu uso.

As conclusões do trabalho realizado por Hamassaki foram majoritariamente confirmadas pelos trabalhos realizados por Levy e Helene (1997), que pesquisaram o desempenho de argamassas mistas (cimento+areia+entulho), nas quais o entulho era composto basicamente de fração cerâmica (C) e de argamassa endurecida (A) em proporção variável. Foram ensaiados 8 traços de argamassa com as mesmas características das usadas em obra para assentamento e revestimento de alvenaria (Fiorito, 1994). Suas conclusões foram às seguintes:

- ✓ Na prática é remota a possibilidade de ter-se um entulho somente com ou sem material cerâmico, de modo que, na proporção 66% de material cerâmico e 34% de argamassa endurecida (Ca) ou vice-versa (cA), as argamassas preparadas não apresentaram diferenças sensíveis, donde é possível concluir que mesmo os valores mínimos obtidos para as propriedades pesquisadas (compressão e tração) são perfeitamente aceitáveis para as finalidades pretendidas.
- ✓ Os cerâmicos, entre os materiais reciclados, diferenciaram-se dos demais por terem apresentado nos ensaios: (i) maiores resistências à tração e à compressão, (ii) maior consumo de água para manter a trabalhabilidade e, (iii) argamassas mais compactas no estado fresco.
- ✓ Que a maior presença no entulho de argamassa endurecida leva a argamassas com menor consumo de cimento (3% a 5%) relativamente a argamassas mais ricas em resíduos cerâmicos.
- ✓ Que, argamassas produzidas com entulho reciclado apresentam uma redução de 30% do consumo de cimento comparativamente com resultados informados na literatura para argamassas mistas equivalentes, que, para confirmar a utilização irrestrita destas argamassas seria necessário estudo mais aprofundado da sua durabilidade.

Posteriormente, estes mesmos autores, (Levy e Helene 2000), em trabalho apresentado no III Seminário do Comitê 206 - Meio Ambiente do IBRACON, em São Paulo, considerando que a durabilidade de um concreto é função da sua capacidade de dificultar a penetração de CO₂ e de absorver água de intempéries, afirmaram que concretos produzidos com resíduos minerais procedentes de concreto e alvenaria teriam possibilidades de ser tão durável quanto o concreto convencional tomado como de referência.

O tema durabilidade de argamassas e concretos com reciclados de entulho de obra é ainda controvertido, como reconhecem os próprios autores do trabalho retro mencionado ao se referirem à conclusão atribuída a Hansen (1992) apud Levy; Helene de que a velocidade da

frente de carbonatação em concretos utilizando reciclados é maior do que nos concretos convencionais.

Foi observado em laboratório por Grigoli (2001) que a pré-molhagem dos agregados melhora o desempenho das argamassas da ordem de 32% à compressão e 63% à flexão.

Devido à porosidade do produto final, recomenda-se, no caso de peças armadas, que se aumente o cobrimento da armadura afim de melhor protegê-la contra corrosão.

A argamassa com RCD reciclado apresenta maior retração do que a argamassa contendo exclusivamente areia natural o que contra-indica seu emprego em revestimento externo, Hamassaki (1997).

Outros usos do entulho de obra seriam:

- Enchimento de vazios em geral;
- Nivelamento e regularização de terreno;
- Enchimento de contra-piso;
- Drenos de floreiras;
- Lastro para assentamento de tubulações;
- Fabricação de blocos, exemplo ilustrado nas Figuras 7 e 8.



Figura 6: RCD em obra.



Figura 7 - Bloco de concreto feito a partir de RCD.

4.1.7 RCD reciclados

De um modo geral quase todos os RCD podem ser reciclados.

(i) A fração cerâmica, aquela em que predomina o concreto e rochas, em sua totalidade: - como agregados para concreto estrutural e as frações compostas de argamassas e cerâmicos para concretos de menor resistência em blocos, contra-pisos ou argamassas para revestimento. Essa reciclagem pode ser operada em Central ou no próprio canteiro, neste caso, utilizando equipamentos móveis de pequeno porte e baixo custo;

(ii) A fração composta de solo misturado a cerâmicos é reciclada para uso em sub-base de pavimentos;

(iii) A fração metálica é vendida como sucata;

(iv) A fração gesso deve ser separada da fração de concreto devido a reações expansivas com o cimento portland, mas, o gesso, sem a presença de cimento é facilmente reciclável, podendo interessar às empresas que dominam o mercado de gesso como material de construção;

(v) As demais frações como a madeira, por exemplo, dificilmente são recicláveis por falta de tecnologia adequada.

4.1.8 Procedimentos de reciclagem dos RCD para uso como agregado

Nos EUA, estima-se que 20-30 % de RCD foram reciclados em 1996 sendo nítida a tendência de aumento deste percentual; existem, atualmente, cerca de 3500 plantas de reciclagem de concreto, asfalto e metais em plena atividade. No Brasil, a reciclagem de RCD

tem muito a avançar, relativamente ao que já se pratica em países mais desenvolvidos, onde existe normalização pertinente ao seu emprego na construção civil.

Preliminarmente devem-se distinguir dois procedimentos:

(i) realizado no canteiro da obra utilizando equipamentos móveis de pequeno porte e baixo custo disponível no mercado para triturar entulho a base concreto, argamassa endurecida e de argila obtendo-se agregado fino passível de reaproveitamento como emboço de paredes de alvenaria e revestimento em geral;

(ii) realizado em Centrais de Reciclagem por meio de equipamentos de grande porte, utilizados na separação, britagem e peneiramento dos RCD. Esta modalidade de reciclagem nada mais é do que um processo industrial de beneficiamento mineral.

Requer uma estrutura planejada para gerenciar atividades técnico-administrativas que se desenrolam dentro e fora da Central de Reciclagem, envolvendo coleta, seleção, limpeza, trituração, peneiramento, classificação granulométrica e comercialização do material produzido em escala industrial.

O uso em larga escala de RCD reciclado para concreto estrutural se dará quando as propriedades deste concreto em termos de resistência e durabilidade forem comparáveis com as do concreto fabricado com agregados naturais; caso contrário sua aplicação ficará limitada a estruturas submetidas a pequenas solicitações.

Um dos obstáculos é que a diversidade dos resíduos reciclados não permite obter uniformidade de propriedades físicas e composição dos agregados afetando a resistência e a durabilidade do concreto; este inconveniente pode ser atenuado com uso de pilhas de homogeneização (ÂNGULO, 2001).

São fatores de encarecimento, como já assinalado, o custo da britagem, graduação e homogeneização do resíduo, mas, ainda assim, o concreto com RCD reciclado pode ser um produto economicamente viável em locais onde agregados naturais são escassos e quando o custo da disposição do entulho é levado em conta na análise.

A Tabela 11, apresentada por Mehta e Monteiro (1994) mostra um comparativo entre propriedades de concreto contendo agregado reciclado (não contaminado) e concreto de controle com agregado natural de composição similar:

Tabela 11: Comparativo de concreto contendo agregado reciclado

PROPRIEDADES	COMPARATIVO
Resistência de aderência agregado - argamassa	Comparável
Resistência à compressão	64%-100%
Módulo de elasticidade	60%-100%
Resistência à flexão	80%-100%
Coefficiente linear de expansão térmica	Comparável
Retração	Comparável
Consistência (<i>slump</i>)	Comparável

A alta heterogeneidade do RCD é reconhecidamente um fator limitante do seu uso para produção de agregados a serem utilizados em concretos; na sua composição entram materiais porosos que apresentam altas taxas de absorção, e, por este motivo, exercem forte influência nas propriedades do concreto no estado fresco e no endurecido (MONICA, 2003); tal fato não acontece com os agregados naturais cuja taxa de absorção de água é desprezível.

Dae *et al.* (2002), justificam a queda de resistência do concreto com RCD reciclado como conseqüência da sua porosidade; esta, por outro lado, facilita a penetração de CO₂ (carbonatação) tornando o concreto mais vulnerável ao ataque de sulfatos.

Nestas condições realizaram uma série de ensaios com mesclas contendo metakolin (MK) e micro sílica (SF) que apresentaram resultados satisfatórios no sentido de melhorarem as propriedades dos concretos feitos com RCD procedentes de demolições.

Algumas conclusões importantes mencionadas são:

- ✓ A porosidade do concreto apresentou diferenças em função dos tipos de agregados, atribuíveis à argamassa aderida ao resíduo e quando o MK ou SF foram adicionados à mescla que continha agregado reciclado, observou-se expressiva redução dos poros;
- ✓ A resistência à compressão, absorção e resistência à infiltração de íons cloreto (esta especialmente), em concretos com agregados reciclados melhorou com uso de MK e SF;
- ✓ O uso de MK revelou-se mais eficaz do que a SF.

4.1.9 Outros empregos de RCD reciclado como agregados

Agregados mistos, (solo, concreto, pedras, argamassas, cerâmica vermelha e branca), são empregados desde o final da década de 80, em pavimentação, no Brasil.

A produção de argamassa com reciclados nos canteiros de obras, só recentemente tem sido objeto de investigação acadêmica.

A fabricação de blocos de pavimentação, meio-fios, blocos de alvenaria, não atingiu escala industrial importante sendo escassa a documentação técnica disponível para maior informação sobre esta atividade.



Figura 8: Artefato produzido com o RCD-R beneficiado na URESC



Figura 9: Pavimentação realizada com artefato produzido com o RCD-R beneficiado na URESC



Figura 10: Aplicação de RCD em meio-fios

4.1.10 Reciclagem dos resíduos de gesso

Alternativas para gestão dos resíduos de gesso.

Seriam, dentre outras, as seguintes principais:

(i) Reciclagem como aglomerante fornecendo matéria prima para indústria de gesso acartonado e fibra de papel para reciclagem, destacando-se, neste particular, como casos de sucesso, os da empresa canadense New Gypsum Recycling e da alemã Knauf, relatados por CINCOTTO e JOHN, (2003). No caso brasileiro, embora seja possível tecnicamente, sua viabilização em escala industrial está condicionada a diversos fatores, inclusive de caráter regional, como: (a) preço relativamente barato da matéria-prima e elevado do transporte para os pontos de reciclagem; (b) custo do processamento que pode vir a ser mais caro do que a produção de gesso utilizando matéria prima natural; (c) regionalmente, o volume de resíduos gerados pode ser insuficiente para justificar a estruturação de um processo de reciclagem;

(ii) Correção de solos;

(iii) Aditivo para compostagem;

(iv) Absorvente de óleo;

(v) Controle de odores em estábulos;

(vi) Secagem de lodo de esgoto.

Assim sendo é recomendável, em obediência a normas européias, que sua deposição seja feita em células isoladas de resíduos biodegradáveis.

Classificação CONAMA.

Os resíduos de gesso pertencem à classe C da Resolução CONAMA 307, sendo definidos como aqueles para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para reciclagem ou recuperação.

4.2 RESÍDUO PLÁSTICO:

A introdução dos polímeros e dos compósitos poliméricos na construção civil foi um processo muito rápido, quando comparado com o dos materiais comumente usados na indústria da construção.

Os compósitos poliméricos têm sido utilizados predominantemente nas indústrias aeroespaciais e marinhas. Entretanto, nas últimas três décadas, houve uma conscientização entre os engenheiros civis e estruturais sobre a importância das propriedades mecânicas e de serviço que esses materiais apresentam, aumentando a confiança em relação a seu potencial, utilizando-os na renovação da infra-estrutura civil, mourões, pilares, passarelas, entre outras aplicações (HOLLAWAY, 2003).

4.2.1 Importância da reciclagem dos polímeros

A importância da reciclagem se dá pelo fato de ter ocorrido um aumento muito grande na produção e no consumo dos produtos industrializados. Esse fato pode ser comprovado por meio da quantidade de artigos plásticos consumidos e descartado pela população. Em 2002, segundo Gorni (2006), do total de 3,97 milhões de toneladas (3,97Mt) de plásticos consumidos no Brasil, 1,58Mt foi usada na forma de embalagens e 0,46Mt como outros tipos de produtos descartáveis, ou seja, mais de dois milhões de toneladas de plásticos foram lançados nos lixões, que correspondem a 51,3% do plástico consumido no país. Nos países desenvolvidos, como Japão, a situação é mais crítica. De 11 milhões de toneladas de resinas plásticas consumidas em 2001, 86,4% foram descartadas.

Assim como nos países desenvolvidos, o mercado de reciclagem das embalagens plásticas pode trazer, para o Brasil, reflexos sócio-econômicos relacionados diretamente com a melhoria da qualidade de vida da população. De acordo com Spinacé *et al.* (2005), cerca de US\$ 160 bilhões/ano é movimentado no setor da reciclagem, além de empregar 1,5 milhões de pessoas.

Segundo Agnelli (2005), em 2002 foram reciclados cerca de 13 mil toneladas de plásticos por mês, em toda a grande São Paulo. As resinas termoplásticas foram destinadas para: embalagens (39,73%), construção civil (13,67%), descartáveis (11,55%), componentes técnicos (8,04%), agrícolas (7,67%), utilidades domésticas (4,72%), outros (14,62%), conforme ilustrado na Figura 12.

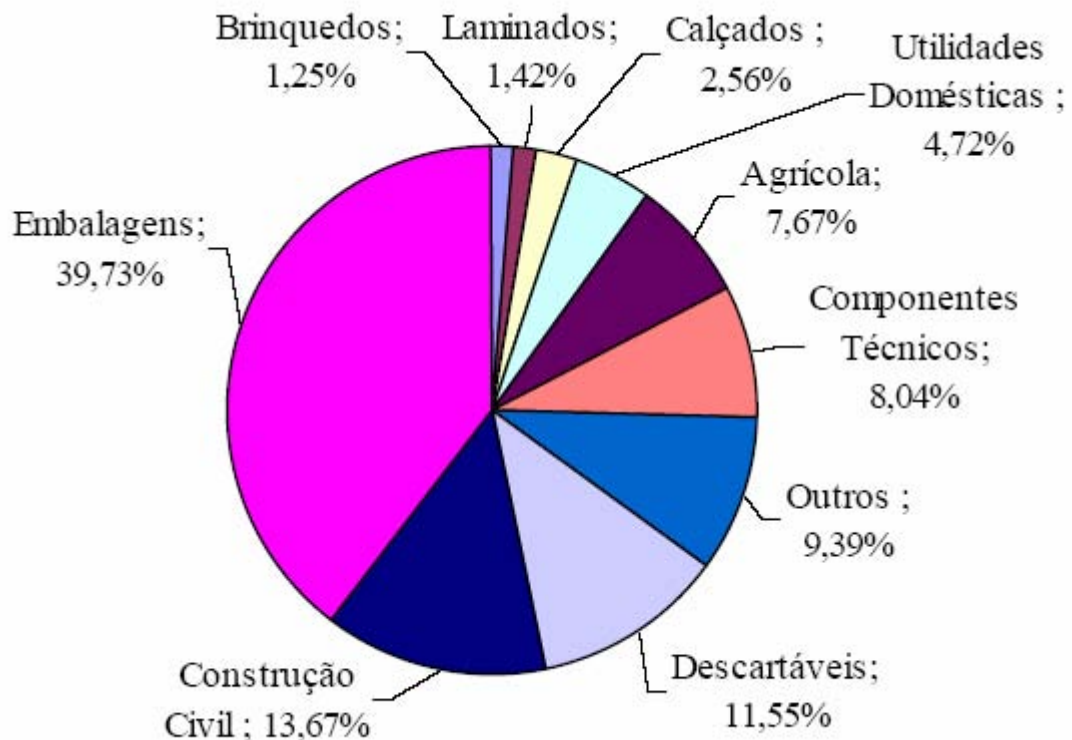


Figura 11: Segmentação do mercado de termoplástico no ano de 2002

Fonte: Agnelli (2005)

Pode-se perceber que a indústria da construção civil é a segunda maior consumidora de plásticos do mercado mundial. Porém, seu uso é mais freqüente em componentes não estruturais para revestimento, iluminação, isolamento térmico e acústico, impermeabilização, adesivos e acessórios.

4.2.2 Polímeros reciclados

Um bom exemplo de reciclagem, que vem ganhando terreno, diz respeito aos plásticos em suas diversas formas, obtendo-se, dessa reciclagem, uma série de produtos, entre os quais, embalagens de segunda linha, recipientes diversos, moirões, sinalizadores de estradas etc.

No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), normatizou os símbolos que classificam os tipos de plásticos, portanto o grupo dos plásticos foi dividido em 7 subgrupos:



PET:

O Polietileno Tereftalato é um poliéster utilizado principalmente na indústria têxtil e na fabricação de garrafas plásticas.



PEAD:

PEAD ou Polietileno de Alta Densidade é um termoplástico que é usado principalmente na fabricação de embalagens.



PVC:

O PVC (Policloreto de Vinila) é um plástico muito versátil, portanto é usado com bastante frequência de várias maneiras.



PEBD:

O plástico PEBD ou Polietileno de Baixa Densidade como o próprio nome diz é um plástico leve, pois tem baixa densidade. O PEBD geralmente é usado em embalagens como sacos e em frascos.



PP:

O PP (Polipropileno) é a resina que mais cresce em produção no mundo e a terceira que é mais vendida. É plástico que suporta altas temperaturas, e resistentes a produtos químicos, ele também não deixar proliferar colônias de fungos e bactérias nocivas ao homem.



PS:

É o termoplástico poliestireno. É um polímero resistente que pode se chamar também pelo nome de poliestireno cristalino. Por sua alta resistência ao calor ele é utilizado em aparelhos que operam em altas temperaturas.



Especiais:

São resinas plásticas diferentes das anteriores. Plásticos especiais utilizados para fazer eletrodomésticos, peças automotivas, peças de computador, etc.

4.2.3 Aplicações

Durante a década de 70 e início dos anos 80, foram erguidos notáveis edifícios com polímeros reciclados no Reino Unido, como a escola Morpeth, em Londres, casa Mondial, ao lado norte de Tamisa em Blackfriars, Londres, edifício Expresso Americano, em Brighton, e o Covent Garden Flower Market, em Nine Elms, Londres, este ilustrado na Figura 13.

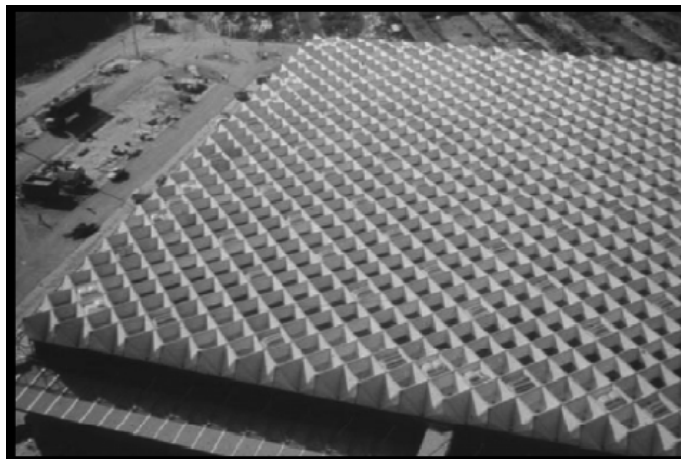


Figura 13: Covent Garden Flower Market, Reino Unido. Fonte: Hollaway (2003).

Essa obra foi construída a partir de um sistema de esqueleto, utilizando vigas e pilares de concreto armado e/ou aço e GFRP (barra de fibra de vidro impregnada por polímero), usado como unidade de suporte de carregamentos, a fim de preencher os espaços entre vigas e pilares. As fibras de vidro nos componentes de GFRP eram dispostas aleatoriamente.

A Figura 12 ilustra a evolução dos compósitos poliméricos na construção civil.

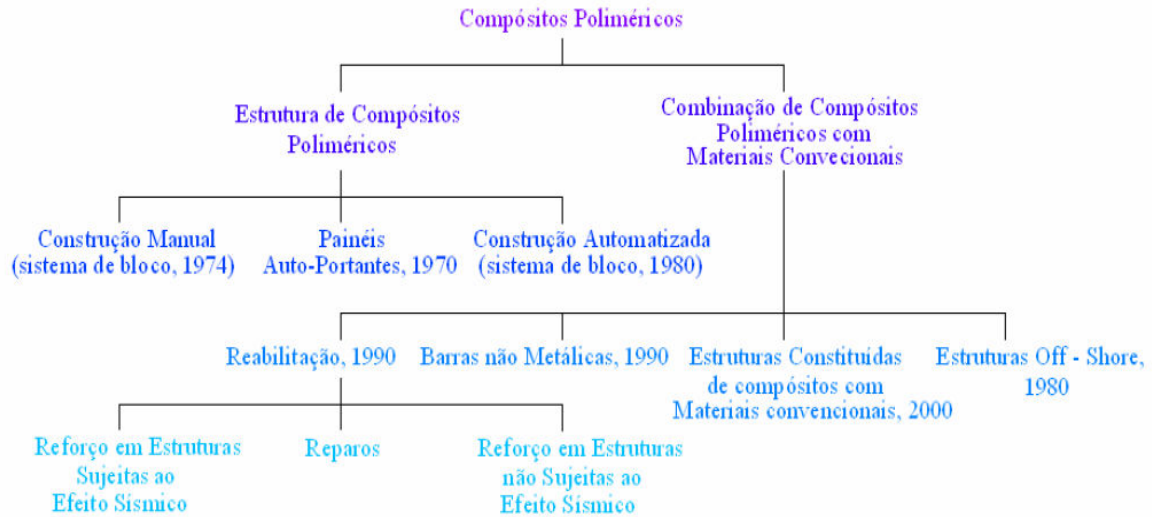


Figura 12: Utilização de compósito polimérico na construção civil
Fonte: Hallaway (2003)

Nosker e Renfree, pesquisadores da AMIPP (2008), Centro de Materiais Avançados via Processamento de Polímeros Imiscíveis, da Universidade Rutgers em Nova Jersey (Estados Unidos), vêm desenvolvendo materiais estruturais a partir de blendas poliméricas, como PEAD/OS, descoberta em 1988, combinada com outros materiais como cerâmicas e metais. O campo de aplicação desses compósitos varia de vigas de seção I, ilustrada na Figura 15, pilares de plástico, Figura 16, dormentes para ferrovias, que estão sendo fabricados por diversas empresas, como Tietek, U.S Plastic Lumber, Polywood, Cogumelo, Figura 13.

a)



b)



Figura 13: Vigas de seção I para passarelas, desenvolvido na AMIPP.
Fonte: AMIPP

a)



b)



Figura 14: Marina construída com pilares de plástico reciclado, desenvolvido na AMIPP.
Fonte: AMIPP.

a)



b)

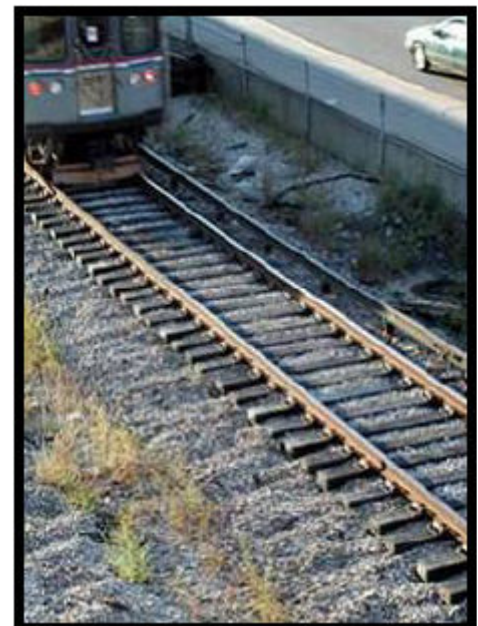


Figura 15: Dormentes de plástico reciclado produzidos pela Polywood Plastic Lumber de New Jersey.
Fonte: Schut (2004).

Sullivan et al. (1999) desenvolveram um componente polimérico emborrachado, a partir de plástico reciclado, e um componente de preenchimento contendo mica, que por sua vez, podem ser aplicados em dormentes, meio fio de estacionamentos e estacas em marinas. Outra vantagem desses materiais é a combinação de resistência mecânica e baixo peso, além do fácil processamento, por montagem ou por extrusão.

A Figura 16 ilustra uma ponte construída sobre o rio Mullica, Nova Jersey, com vão de 14m, largura de 3,5m e um consumo de 14000 kg de polietileno de alta densidade e poliestireno. Essa obra foi concluída em outubro de 2002, pelos pesquisadores da AMIPP, sendo constituída inteiramente de plásticos – guarda-corpos, vigas de sustentação e plataforma, com exceção dos pilares de madeira, que foram aproveitados da estrutura anterior. No vão principal, foram utilizadas em torno de 250.000 garrafas plásticas (PEAD) – PEAD ou Polietileno de Alta Densidade é um termoplástico que é usado principalmente na fabricação de embalagens e mais de 750.000 copinhos de café (PS) - é o termoplástico poliestireno. É um polímero resistente que pode se chamar também pelo nome de poliestireno cristalino. Por sua alta resistência ao calor ele é utilizado em aparelhos que operam em altas temperaturas.



a)



b)

Figura 16: Ponte sobre o rio Mullica construída inteiramente de plástico.

Fonte: Guterman (2003).

4.2.4 Outras aplicações

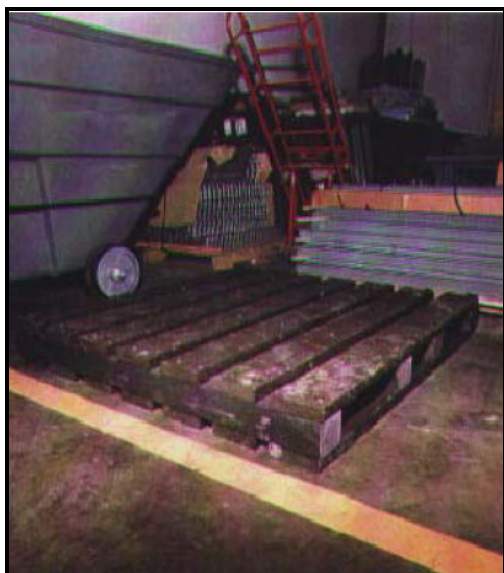
Krishnaswamy et al. (1997), a pedido do Departamento de Recursos Naturais de Ohio, nos Estados Unidos, realizaram ensaios em paletes de plástico reciclado (PPR). No relatório que descreve desde a concepção da forma do paleta, a sua comparação com outros materiais, a análise do comportamento mecânico e o estudo de viabilidade econômica, Krishnaswamy et al. obtém as seguintes conclusões:

- ✓ Os PPR'S são uma opção viável e, dependendo da capacidade de carga requerida no projeto, podem ser dimensionados para casos particulares;
- ✓ Os desempenhos dos PPR'S em laboratório e em campo alcançam e até excedem a de paletes de madeira e de aço galvanizado disponíveis no mercado.

A integridade estrutural e as características de durabilidade dos paletes projetados são excelentes e as análises da vida útil viabilizam a implementação dos PPR'S, os tornando comercialmente aceitáveis.

As Figuras 17 e 18 ilustram os paletes de plástico reciclado utilizados nos ensaios de laboratório e em campo.

a)



b)



Figura 17a e 18b: Paletes de plástico reciclado

A empresa Polywood Plastic Lumber, de New Jersey/EUA, está utilizando a tecnologia desenvolvida pela AMIPP, na fabricação de dormentes e de outros elementos estruturais. A Figuras 19 mostra os dormentes produzidos pela empresa.



Figura 18: Dormentes de plástico reciclado produzidos pela Polywood Plastic Lumber.

Krishnaswamy et al. (2001a) desenvolveram um compósito polimérico, projetaram e constituíram uma ponte sobre o rio Hudson, em Nova York/EUA. O comprimento total e largura da ponte são, respectivamente, 9m e 3,35m. O projeto consumiu um total de 5.000kg de plástico (polietileno de alta densidade) reforçado com fibra de vidro e 2.500kg de aço para as conexões e tirantes utilizados (Krishnaswamy et al. 2001b). As Figuras 20 e 21 mostram a ponte já construída.



Figura 19: Ponte sobre o rio Hudson com plástico reforçado com fibra de vidro.

O monitoramento da ponte sob ação das cargas de projeto é feito continuamente, por meio de dez pontos de observação. Utilizando uma referência fixa, são medidos os

deslocamentos, por meio de uma estação total, com GPS (Sistema de Posicionamento Global) KRISHNASWAMY et. al. (2001b).



Figura 21: Outra vista da ponte sobre o rio Hudson (Nova York/EUA).

A construção com elementos de plástico reciclado é uma realidade, principalmente nos Estados Unidos e, em menor escala, no Canadá e na Inglaterra. A tecnologia desenvolvida nas universidades já ultrapassou a escala experimental de laboratório e chegou aos pátios das fábricas, com a produção em grande escala. A Figura 22a e 23b apresenta uma amostra do que está sendo feito no mundo, comercialmente, e indica um cenário que não deve ser ignorado, o dos elementos estruturais de material plástico reciclado.

a)



b)



Figuras 22a e 20b: Construção de píeres ou deques com elementos de plástico reciclado da empresa Plastic Lumber Yard (EUA).

4.2.5 Brita de plástico PET

É um produto para construção civil, estável, atóxico, inerte, não suscetível a fungos e que não atrai roedores. Podem parecer muitos adjetivos, mas quem trabalha com construção sabe da importância dessas propriedades, pois são elas que possibilitam aos concretos e argamassas características especiais para diversos usos.

A brita de PET pode ser utilizada na confecção de mobiliários e equipamentos urbanos e em infra-estrutura (redes de drenagem, esgoto, calçamento, escadas, canaletas, meio-fios etc.), além de também poder ser utilizada em blocos estruturais de concreto para habitações populares, escolas, etc.

O material traz várias vantagens para a construção - como a diminuição da carga estrutural (devido a sua baixa densidade), um custo baixo, funciona como isolante térmico, e para a sociedade, já que economiza matéria-prima natural evitando a exploração de pedreiras e leitos dos rios, e preserva o meio ambiente utilizando plástico vindo diretamente de lixões, aterros sanitários ou áreas urbanas de grande concentração populacional. A brita plástica guarda em comum com a brita natural a possibilidade de ser reciclado indeterminadamente, como o resíduo de obra normal (COUTINHO).

4.2.6 Tubulações de PET

É um produto ecologicamente correto produzido a partir do PET reciclado. É destinado à construção civil e instalações sanitárias, possuindo uma qualidade testada e aprovada para este segmento. Os tubos são fabricados com base nas especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e atendem às exigências da norma NBR 5688-99, sem qualquer falha (COUTINHO).

4.2.7 Embalagem PET na fabricação de tintas

As garrafas usadas de PET são utilizadas na fabricação de tintas. Os flocos de PET se transformam em resina alquídica, usada como insumo na produção de esmaltes e vernizes. Cada galão reutiliza seis garrafas de PET.

4.2.8 Ecolajes - Lajes nervuradas utilizando garrafas PET como material de enchimento.

O processo de fabricação destas lajes nervuradas como emprego de garrafas PET como elementos de enchimento não difere daquele quando se utilizam os materiais convencionais (blocos de cimento cerâmicos ou EPS).

Para a fabricação da laje nervurada as vigotas são dispostas espaçadas conforme projeto estrutural. As garrafas, devidamente tapadas, então, são colocadas entre nervuras (Figura 24). Segue-se à colocação da malha para controlar a eventual fissuração devido a retração do concreto (Figura 25) e finalmente é feita a concretagem das nervuras e da capa da compressão, conforme se observa na (Figura 26). Com a finalidade de evitar em maior consumo de concreto, utiliza-se às garrafas com formato cilíndrico, deve-se evitar as cônicas. Na (Figura 30) pode-se observar uma laje com vão livre de 3 metros construída no Campus da CIDAO, em Sobral – CE, como resultado do estudo desenvolvido pelo Professor Doutor Coelho, 2006.



Figura 24: Colocação das garrafas entre as nervuras.



Figura 21: Malha para evitar fissuração por retração.



Figura 22: Concretagem.



Figura 23: Laje nervurada com emprego de garrafa PET como elemento de enchimento.

Durante o processo de execução da laje, as garrafas não passam por nenhum processo de transformação. Elas apenas são tapadas. No momento da colocação das mesmas é importante verificar se selas não contem algum furo que permita a entrada de pasta de cimento no seu interior.

4.3 RECICLAGEM DE SUBPRODUTOS SIDERÚRGICOS

Os principais resíduos gerados pela siderurgia são: - a *escória de alto forno*, cerca de 6,4 milhões de toneladas/ano e a *escória de acearia*, cerca de 3,2 milhões de toneladas/ano, segundo estimativa apresentada em JOHN (1999) e reforçada por ÂNGULO, ZORDAM, JOHN *et al.* (2001).

Não existe melhor alternativa de aproveitamento destes milhões de toneladas de subprodutos siderúrgicos do que sua aplicação na construção civil:

- (i) na fabricação de cimento portland modificado;
- (ii) como agregado do concreto ou;
- (iii) em subleito rodoviário ou lastro da via permanente ferroviária.

Apresentando a escória propriedade cimentante pode ser misturada ao clínquer na fabricação de cimentos ou substituir parcialmente cimento na fabricação de concreto, caso em que é lançada diretamente na betoneira; ambas as aplicações representam significativa economia de energia e material não renovável.

Por outro lado, a estocagem destes resíduos no solo, além de esgotar a capacidade dos aterros causaria enorme poluição atmosférica, enquanto seu despejo em lagoas liberaria metais tóxicos geralmente presentes na sua composição.

A Resolução 264 da CONAMA em seu artigo 8º considera para fins de co-processamento em fornos de produção de clínquer, resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria prima e ou combustível.

4.3.1 Escória de alto forno

É um subproduto do guza, da primeira etapa da fabricação do aço, apresentando três tipos:

- Escória resfriada ao ar, ou pelotizada, obtida por resfriamento lento resultando um produto inerte utilizado mais comumente como agregado leve; quando moído finamente, apresenta propriedade cimentante satisfatória.

- Escória expandida, obtida por resfriamento rápido pela aplicação de água em quantidade controlada, ar e vapor, resultando um agregado graúdo.
- Escória granulada, obtida por resfriamento brusco, sendo previamente fragmentada por jato d'água e posteriormente resfriada em tanque com água; o produto possui estrutura cristalina e se apresenta no estado de agregado graúdo úmido, tornando-se, pois, necessário secá-lo e moê-lo em partículas menores do que 45 μm (corresponde praticamente a 500 m^2/kg de finura Blaine); nesta condição adquire boa propriedade cimentante podendo ser usado como adição ao clínquer portland.

A indústria cimenteira ao praticar a reciclagem maciça de escória de alto forno granulada, substituindo parcialmente o carbonato de cálcio (CaCO_3) obteve, segundo Yamamoto *et al.*, (1997), apud ÂNGULO economia de 28 % de óleo combustível e 29 % de redução de geração de CO_2 ; outros autores, Marciano; Khiara, (1997), apud ÂNGULO estimam que de 1976 até 1995 a indústria de cimento economizou 750 mil toneladas de óleo combustível queimando outros resíduos como cinzas volantes, casca de arroz, serragem, pó de carvão vegetal, casca de babaçu, etc.

O co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento, constitui prática corrente na indústria cimenteira brasileira, estando regulamentada pela Resolução CONAMA no. 264 de 26 de agosto de 1999 Esta atividade, no Estado do Rio de Janeiro, é desenvolvida em parceria com cimenteiras pela TRIBEL na Estação de Tratamento de Resíduos Industriais localizada em Belfort Roxo, Antonio *et al.* (2004).

A resolução CONAMA 01 / 99 define co-processamento como a “técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento destes como substitutos parciais de matéria prima e / ou combustível no sistema de forno de produção de clínquer na fabricação do cimento”. A atividade de co-processamento requer licença ambiental conforme artigo 6º da resolução CONAMA 01 / 99, MARCIO, (2004).

✓ **Principais aplicações da escória de alto forno:**

1. Cimento de alto forno, tipo CPIII.

A escória pode ser usada de várias maneiras:

(i) colocando a escória granulada moída com água na betoneira sob forma de pasta juntamente com o cimento portland e os agregados; a moagem úmida comparada com o procedimento a seco, aumenta sua finura com menor consumo de energia. Uma variante

denominada *slagcemet*, muito usada nos EUA, Reino Unido, Canadá, etc., consiste em colocar na betoneira a escória moída e seca, substituindo parcialmente o cimento de modo que o cimento de alto forno passa a ser preparado no próprio canteiro de obra. O mercado brasileiro, ao que consta, ainda não disponibiliza escória moída para mistura em betoneira, contrariando tendência internacional que é a de formação de empresas associadas a fortes grupos construtores que comercializam escória moída para mistura em betoneira e para uso como agregado leve;

(ii) A escória granulada seca é colocada juntamente com clínquer portland num moinho adicionando-se gesso, (controle da pega), para fabricar o cimento de alto-forno, conhecido nos EUA como do tipo *IS – ASTM 595-79*, na Alemanha como *eisenportland* (até 35 % de escória), ou *hochofen* (36% a 85 % de escória), na França como *ciment metallurgique mixte* (50% de escória) ou *ciment a haut fourneau* (65% a 75% de escória) e, no Brasil, como cimento portland de alto forno ou cimento metalúrgico tipo CP-III podendo conter 35 a 70% de escória (NBR 5735).

(iii) Telhas onduladas, fabricadas a partir de fibras vegetais e escória de auto-forno.

Este cimento, que representa o segundo maior uso da escória, Neville (1982) e cujas principais propriedades são sua maior resistência ao ataque de sulfatos e baixo calor de hidratação, resulta da mistura e moagem homogênea do clínquer portland e escória, esta adicionada em percentagem variável entre 25% a 65% (NBR 5735) de peso do clínquer.

Durante muitos anos o cimento Tupy foi o único cimento metalúrgico fabricado no Brasil, em Volta Redonda, mas, recentemente, o cimento Mizu passou a ser produzido pela CST-Companhia Siderúrgica de Tubarão, que está capacitada a produzir cerca de 700 mil toneladas/ano para o abastecimento do mercado interno e de exportação, principalmente o oriental.

Observe-se que o impacto ambiental deste tipo de cimento é menor do que o gerado pelo portland comum porque é obtido com menor consumo de matéria prima, proporcionando ao concreto maior resistência ao ataque de águas sulfatadas e, conseqüentemente, aumento da durabilidade e economia de custos de manutenção.

✓ Vantagens da utilização da escória de alto forno

Observa-se que o impacto ambiental deste tipo de cimento é menor do que o gerado pelo portland comum porque é obtido com menor consumo de matéria prima, proporcionando ao concreto maior resistência ao ataque de águas sulfatadas e, conseqüentemente, aumento da durabilidade e economia de custos de manutenção.

2. Cimento composto CPII-E.

A escória é usada como matéria prima, juntamente com o calcário na fabricação de cimento portland convencional. Neste cimento, de acordo com a NBR 11578, a percentagem de escória adicionada varia de 6% a 34% em peso do clínquer.

3. Cimentos nacionais e estrangeiros de baixos custos.

Constituídos de misturas de cimentos diversos com resíduos inertes, escória e outros, com resistências menores que as do portland comum, estes cimentos são empregados para assentamento de tijolos, cantaria e blocos de concreto; no Brasil onde é pouco utilizado é conhecido por *cimento de alvenaria* (NBR 10907), na França recebe a denominação de *ciments a maçonner ou liants à maçonner* e nos Estados Unidos da América do Norte a de *slag cements* ou *masonry cements*, com dois tipos normalizados pela ASTM, dos quais, um deles pode ser usado em concreto estrutural de menor importância ou mesmo concreto massa no qual a resistência é fator secundário. A cal hidráulica resultante do cozimento de calcário e argila convenientemente proporcionados pode, também, incorporar escória para melhorar algumas de suas propriedades.

4. Fabricação de tijolos.

São fabricadas pela USIMINAS em Ipatinga, MG, sendo produtos de baixo custo que apresentam boa resistência à compressão, não absorvendo calor e umidade em excesso; dispensam reboco e pintura.

Entram na sua composição:- escória (50% -70%), argila e pequena quantidade de cimento para acelerar as reações de pega.

5. Agregados.

Ao contrário de outros países, no Brasil existe ainda pouco conhecimento sobre a utilização de escória como agregado leve em concretos estruturais.

Os agregados são obtidos peletizando a escória por um processo que utiliza uma roda dentada interceptadora; a escória líquida é resfriada e sai na forma de pequenos grãos de tamanhos variáveis – os menores são utilizados na produção de cimento e os maiores como agregado leve.

6. Blocos de concreto.

Estudos realizados por Cincotto *et al* (1992), demonstraram a possibilidade de utilizar escória granulada de alto forno para fabricar blocos de concreto substituindo a areia natural; as resistências à compressão obtidas foram similares às das amostras comparativas.

7. Pavimentação.

A escória granulada pode ser usada como ligante no assentamento de bloquetes e paralelepípedos em pavimentação de elevada capacidade de suporte e também como material de enchimento para pavimentação do tipo macadame hidráulico.

8. Indústria cerâmica.

É utilizada como matéria prima alternativa do óxido de cálcio (CaO) e sílica (SiO₂), com a finalidade de reduzir custos de fabricação.

9. Indústria de vidro.

Substitui areia (SiO₂) igualmente para reduzir custos de fabricação.

10. Outros usos da escória.

Mencionam-se os seguintes: fabricação de isolantes (lã de rocha), lastro ferroviário, o qual é muito utilizado pela Cia Vale do Rio Doce na sua via permanente e a produção de telhas asfálticas (*shingles*), de uso corrente no mercado norte-americano.

4.3.2 Escória de acesaria

A escória de acesaria é o subproduto composto, predominantemente, por óxidos básicos, resultante da produção do aço nos fornos conversores Linz-Donawitz (LD), ou de arco elétrico (HEA), sendo, portanto o resultado da agregação de elementos cuja presença não interessa ao aço.

A composição química da escória é função da matéria prima, da tecnologia de produção do aço e até mesmo do revestimento do alto forno. Como mostra a tabela 14:

Quadro 4: composição química da escória em função da matéria prima

Tipo		Composição (%)							
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeT	MgO	S	MnO	TiO ₂
Escória de convertedor (LD)		13.8	44.3	B1.5	17.5	6.4	0.07	5.3	1.5
Escória de Forno elétrico	Esc. Oxidada	19.0	38.0	7.0	15.2	6.0	0.38	6.0	0.7
	Esc. Reduzida	27.0	51.0	9.0	1.5	7.0	0.50	1.0	0.7

✓ Aplicações da escória de acearia

A escória de acearia apresenta como fator limitante de utilização sua expansibilidade sendo recomendável investigação prévia do seu comportamento seguida, em alguns casos de tratamento prévio para eliminar CaO livre e MgO reativo, substâncias que aumentam de volume ao se hidratarem; casos desastrosos já ocorreram em função do seu uso indiscriminado.

O tratamento da escória consiste em armazená-la a céu aberto por períodos variáveis de 4 a 6 meses, irrigando periodicamente as pilhas, podendo assim o material ser empregado em diversas aplicações na construção civil.

1. Como agregado para concreto

Há interesse nessa aplicação, inclusive por motivo de ordem econômica, mas, devem ser levadas em conta limitações do seu uso como agregado de concretos estruturais devidas a sua densidade ser maior do que a da brita, à sua heterogeneidade, alto teor de cal livre e expansibilidade; seu uso como concreto não estrutural, não prescinde da prévia eliminação da cal livre a fim de garantir sua estabilidade volumétrica.

São produzidos em Volta Redonda alguns artefatos de concreto como placas, meio fios e bloquetes que apresentam satisfatória resistência.

2. Como material de pavimentação.

Essa é a sua principal destinação; se a expansibilidade da escória for inferior a 2,5 % não haverá perda de resistência do pavimento e o DNER desenvolveu normalização específica para seu emprego no Brasil, como cascalho para melhorar as condições de tráfego de rodovias não pavimentadas ou como material destinado à capa superficial de rodovias sujeitas a tráfego pesado, aproveitando sua elevada resistência à abrasão.

3. Como lastro ferroviário

Nesta aplicação a escória apresenta algumas vantagens em relação à brita:- menor custo, (não requer explosivos), maior densidade, estrutura vesicular (que favorece a drenagem da via permanente) e formato cúbico dos grãos que favorece sua melhor acomodação e alívio de tensões devidas ao impacto produzido na circulação dos trens.

4. Na fabricação de cimento Portland

A escória, como revela sua composição química, possui expressivo teor de silicato dicálcico, ($C_2 S$) e silicato tricálcico, ($C_3 S$), resultados de sua queima, de modo que, a substituição parcial do clínquer por escória é vantajosa do ponto de vista de economia de matéria prima do cimento portland e de energia calórica para formação do clínquer, diminuindo por outro lado, a emissão de CO_2 .

5. Como adição ao concreto

Neste caso permanecem válidas as recomendações quanto ao estudo prévio de expansibilidade das escórias, levando em conta que, dependendo do processo de fabricação do aço é grande a diferenciação entre elas.

Resultados de ensaios realizados no CPGE / NORIE da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Masuero *et al* revelam ganho de até 30% da resistência do concreto com adição de escória e diminuição de consumo de cimento.

6. Sílica Ativa (pó de sílica, microsílica ou fumo de sílica).

A sílica ativa é um produto finamente moído de cor cinza variável que resulta como subproduto da fabricação de ferro silício em forno de arco elétrico, sendo composto de partículas esféricas vitrificadas de superfície específica da ordem de $25 \text{ m}^2 / \text{kg}$ com diâmetro médio de $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, Mehta, Monteiro; comparada ao cimento Portland e à cinza volante, a microsílica apresenta distribuição granulométrica duas ordens de grandeza mais finas o que explica sua notável atividade pozolânica; a finura do material dificulta seu manuseio e requer maior consumo de água para fabricação do concreto.

A sílica ativa é empregada para obtenção de concretos de alta resistência, ($R_{28} \geq 40 \text{ MPa}$); combina-se com a cal hidratada (Ca OH_2) para formar silicatos de cálcio hidratados que são os agentes de cimentação. Seus efeitos sobre o concreto são:

- ✓ No concreto fresco: torná-lo menos sujeito à segregação e mais facilmente bombeável.
- ✓ No concreto endurecido: maior resistência, maior compacidade (impermeabilidade), menor expansibilidade, maior durabilidade.

A experiência tem demonstrado que concretos com sílica ativa dão excelente proteção à armadura contra corrosão – a comparação entre este concreto com concreto convencional de igual teor de cimento mostra que o uso de sílica ativa aumenta a impermeabilidade do concreto, a impenetrabilidade à penetração de íons cloreto, sua resistividade elétrica e sua resistência em atmosfera marinha, ANQI, (1999).

7. Sucata de aço.

O setor siderúrgico é grande fornecedor de materiais de construção – perfis, chapas, tubos, vergalhões, cabos, arame, parafusos, cordoalhas, pregos e, ao mesmo tempo, um tradicional reciclador de resíduos procedentes da fabricação destes materiais.

Vergalhões para concreto armado, em grande parte, são fabricados em fornos de arco elétrico que utilizam como matéria-prima quase exclusivamente sucata; a reciclagem dessa sucata possibilita significativa economia de recursos naturais não renováveis, como

demonstram dados do ano de 1997 compilados por JOHN segundo os quais, no referido ano, foram economizados 6 milhões de toneladas de minério de ferro, evitada a geração de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e de 11 milhões de toneladas de CO₂.

8. Cinzas volantes (*fly ashes*)

As cinzas volantes constituem resíduos da queima do carvão mineral notadamente nas centrais, termoelétricas, estimando-se que a produção brasileira atinja cerca de 1,4 milhões de toneladas/ano.

As cinzas apresentam propriedade pozolânica e, conforme sua composição química é classificada em duas categorias:

- ✓ As resultantes da combustão de carvão de antracito ou carvão betuminoso que contêm menos de 10% de CaO e são menos reativas.
- ✓ As que resultam da combustão de lignito e contêm de 15% a 30% de CaO, sendo mais reativas porque o cálcio se apresenta como compostos cristalinos tais como C₃A, CS e C₃AS.

A distribuição granulométrica revela que as partículas da cinza variam de $\leq 1 \mu\text{m}$ a 100 μm de diâmetro, com mais de 50% menores do que 20 μm . A mistura da cinza volante em percentual variável de 20% a 40% do peso de cimento como adição mineral ao concreto na betoneira traz benefícios às suas propriedades, notadamente o aumento da sua durabilidade e redução da sua fissuração.

✓ **Aplicações das cinzas volantes**

- As cinzas volantes são muito utilizadas na construção civil brasileira. O uso da cinza volante no concreto reduz o calor de hidratação do cimento, sendo, muito recomendável em concretagem a temperaturas elevadas ou em grandes volumes; seu emprego é ainda recomendado para concretos bombeados de excepcionalmente alta resistência e para concretos resistentes ao ataque de sulfatos KEN, (1993).

✓ **Componente do concreto**

Segundo Malhotra *et al.* (1991), é comum a substituição de 15% a 25 % em peso do cimento por cinza volante de baixo teor de cálcio, ASTM Classe F.

Ensaio de longo prazo realizado pelo CANMET, Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, possibilitaram o desenvolvimento de um tipo de concreto denominado *high - volume fly ash concrete*, contendo cinza na proporção de 56% a 58% em peso de cimento, com fator água / cimento igual a 0,32 e elevada trabalhabilidade (“*slump*”) obtida com adição de superplastificante.

Este concreto apresenta altas resistências iniciais e finais e excelente durabilidade, caracterizada pelas seguintes conclusões dos ensaios:

- Alta resistência sob ação alternada de gelo e degelo;
- Alta resistência à penetração de CO₂ e cloretos;
- Satisfatória estabilidade volumétrica;
- Baixa susceptibilidade à reação alkali-agregado.

Segundo Nayac (1997):

- A incorporação de cinza volante ao concreto proporciona menor calor de hidratação e maior trabalhabilidade;
- Tijolos fabricados com uso de cinza volante apresentam menor absorção e maior resistência;
- A cinza volante quando usada como substituto parcial do cimento economiza recursos naturais, energia, óleo combustível e reduz a poluição ambiental.
- ✓ Cimentos pozolânicos.

A incorporação de 15% a 50% de cinzas volantes ao clínquer portland fornece um cimento mais resistente a ataques de agentes agressivos (CO₂, cloretos, águas sulfatadas, etc.) sem prejudicar-lhe as propriedades, trazendo, por outro lado, economia de custos decorrentes da substituição parcial do CaCO₃.

- ✓ Blocos de concreto

Na fabricação destes blocos utiliza-se, geralmente 85% de cinza volante e 15% de cal hidráulica.

- ✓ Agricultura

Registra-se, de passagem o emprego na agricultura, combinada com adubo orgânico e fertilizante químico para melhorar as características do solo.

4.4 CINZA DA QUEIMA DO RESÍDUO DE CASCA DE ARROZ

É o subproduto (carapaça) de baixo peso específico (95-100 kg / m³), produzido em grandes volumes (200 kg de casca / tonelada de arroz), resultante do beneficiamento do arroz.

A preocupação de evitar impacto ambiental e o crescente interesse na conservação de energia e recursos naturais banuiu a queima a céu aberto e as tradicionais práticas de disposição deste resíduo, justificando sua reciclagem por muitas razões dentre as quais se mencionam as seguintes, Mehta, (1992):

- Nos países produtores de arroz o volume de casca é tão grande que somente a

indústria da construção terá condições efetivas de absorvê-lo; a nível mundial estima-se que um volume de 100 milhões de toneladas / ano de resíduo terá que ser manejado;

- O custo de disposição é consideravelmente elevado, considerando o baixo valor econômico do resíduo;
- O material é altamente resistente a biodegradação, possui superfície rugosa abrasiva e não tem qualquer valor nutritivo sequer para animais;
- Produz elevada quantidade de cinza ao ser queimado (40 kg de cinza / 200 kg de resíduo).

Se a queima for feita a céu aberto ou em fornos industriais, sem controle de temperatura, a cinza resultante irá conter grande proporção mineral de sílica não reativo e, para que possa desenvolver alguma propriedade pozolânica, necessita ser finamente moída.

Contudo, se a combustão for feita de forma controlada, a sílica é mantida na forma vítrea e adquire propriedade altamente pozolânica sendo de grande utilidade para fabricar concretos de alto desempenho.

Outra aplicação da cinza de casca de arroz seria como componente da argamassa utilizada para fabricação de tijolos refratários empregados, em abóbadas de fornos, (SHREVE, 1980 apud ELIANE, 2001).

4.5 CAL DE CARBURETO

Cal residual da produção de acetileno constituída basicamente de cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que pode ser utilizada como componente de argamassas, dependendo de prévia análise laboratorial de suas propriedades.

Ensaio realizados por Cincotto *et al*, (2000) com argamassas preparadas com índice de consistência 230 ± 10 mm, de acordo com a NBR 07215, (MB 1/79), revelaram que a resistência à compressão da cal carbureto é inferior à da cal industrial tomando por base a idade de 28 dias e que ocorre perda de reatividade da cal em função do seu tempo de armazenamento, o que, recomenda seu emprego logo depois de produzida.

A cal carbureto pode ser ainda utilizada juntamente com materiais pozolânicos na estabilização de solo. Foram promissores os ensaios realizados com tijolos; estes, contudo, devem ficar protegidos do intemperismo para terem durabilidade comparável à dos tijolos convencionais.

4.6 RESÍDUO DE LAMA DA PRODUÇÃO DE ESTIRENO

O resíduo se apresenta em forma de pasta, com teor de umidade de 76,1 % e pH da suspensão aquosa igual a 4,3 %, sendo proveniente da produção de etil-benzeno. De acordo com os ensaios realizados no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, Cincotto, (2000) o resíduo é constituído de hidróxido de alumínio Al(OH)_3 , (gipsita e bayerita), de hidróxido de ferro [goethita , FeO(OH)] e de cloreto de sódio NaCl , (halita), nas seguintes proporções descritas na tabela 13:

Tabela 12: Composição do resíduo.

Al(OH)_3	24,70%
FeO(OH)	2,73%
NaCl	1,96%
CaCl_2	0,84%

Quando misturado à cal hidratada cálcica e ao cimento em base seca, ambas as misturas apresentam pega e endurecimento com adição de água. Em qualquer aplicação, o teor de cloretos deve ser controlado, de maneira a evitar riscos de corrosão de peças metálicas em contato com o produto.

4.7 RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO

A transformação da bauxita em alumínio requer enorme consumo de energia elétrica é gerado grande volume de um rejeito denominado *lama vermelha*, a qual é constituída de silicatos de ferro e alumínio, se apresentam sob forma de partículas muito finas, embebidas em solução de elevada causticidade o que faz com que sua deposição seja problemática devido ao seu alto grau de agressividade ambiental.

A Alunorte Alumina do Brasil S.A. (PA) recebeu o Prêmio Finep de Inovação Tecnológica (2004), por ter iniciado em agosto de 2003 a reciclagem do resíduo consistindo em misturá-lo com argila caulínica sedimentar resultando matéria prima alternativa à argila natural para as cerâmicas regionais, fabricação de blocos maciços destinados a calçamentos de vias públicas e elementos pré-moldados: divisórias e paredes externas de habitações de baixo custo.

4.8 REJEITO DO JATEAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS

Ensaio realizados no Centro Tecnológico da Faculdade Federal Fluminense no Rio de Janeiro indicam, pelos resultados obtidos, a possibilidade de emprego deste rejeito como agregado miúdo ou substituindo parcialmente cimento na produção de bloquetes e meio-fios utilizados em pavimentação, desde que o fator localização não eleve o custo de transporte inviabilizando economicamente sua utilização PIRES, (2001).

4.9 RESÍDUO DE LODO PROVENIENTE DE LAVANDERIA TÊXTIL INDUSTRIAL

Pesquisadores do Departamento de Engenharia Química e do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Professor Bitencourt, *et al*, (2002), realizaram ensaios com argamassas de cimento incorporando às mesmas, lodo procedente de uma lavanderia têxtil industrial, que é um resíduo impróprio para disposição *in natura*, devendo ter como destinação final um aterro industrial.

Como a cidade de Maringá não possui este tipo de aterro, o lodo é transportado por via rodoviária até Curitiba, situada a cerca de 400 quilômetros acarretando custos elevados.

Suas conclusões são as seguintes:

- As lavanderias industriais têxteis geram resíduo na forma de lodo que apresenta composição química variada devido aos produtos utilizados nos processos de tingimento e lavagem dos tecidos; a análise química deste lodo revelou presença de alumínio.
- A incorporação deste lodo até 25 % em peso (base cimento + lodo) na argamassa reduziu-lhe as resistências, devido possivelmente à presença de matéria orgânica no lodo, mas não invalida seu aproveitamento substituindo parcialmente cimento na argamassa de fabricação de blocos, como demonstram os valores de resistência obtidos, a 7 e 28 dias, respectivamente: $R_7 = 6,97 \text{ MPa}$ e $R_{28} = 10,48 \text{ MPa}$.

Os autores da pesquisa ressaltam que a resistência do produto não é o único parâmetro a ser verificado para a utilização do resíduo, sendo necessário avaliar impactos ambientais que possam causar, recomendando ensaios adicionais para determinar a lixiviação do material dos blocos e se a matéria orgânica e metais do lodo ficaram efetivamente inertes.

Vale à pena investir nestes ensaios, pois, se aprovada esta utilização do lodo, resultaria significativa economia de custo com seu transporte, além da diminuição de riscos de impacto ambiental decorrentes de acidentes rodoviários no longo percurso até Curitiba.

4.10 RESÍDUO CERÂMICO

Guilherme *et al*, (2001), relata ensaios realizados no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense para avaliar a influência da adição de um resíduo mineral de cerâmica vermelha tratada (RTM) na resistência de argamassas e concreto de cimento portland.

O objetivo do trabalho foi o de viabilizar uma técnica de recuperação dos resíduos da indústria de cerâmica do Município de Campos dos Goytacazes que, após reciclagem, poderiam ser utilizados na construção civil como componentes de argamassa e concreto.

O autor chegou às seguintes conclusões:

- Que a substituição parcial do cimento pelo RTM propiciou melhora significativa das propriedades de concretos e argamassas não só pelo efeito *filler* que aumenta a compacidade da mistura, mas também pelo efeito pozolânico do RTM consumindo parte da cal hidratada produzida na hidratação do cimento; por outro lado, essa substituição, em torno de 15% em peso do cimento nos traços de argamassa e concreto, representa apreciável economia de recursos não renováveis e de custo dos produtos finais.
- Que a utilização do RTM oferece uma boa solução ambiental para a região onde se situa a indústria cerâmica, visto que esta não dispõe de locais específicos para deposição dos resíduos.

Salustiano *et al*, (2001) chegou praticamente às mesmas conclusões ensaiando material de cerâmica vermelha procedente do município de Santa Rita no Estado da Paraíba misturado com cimento CII F 32 da CIMEPAR, situada no município de João Pessoa:

- Que o índice de atividade pozolânica correspondente a 75% da resistência da argamassa de controle foi atingido com teores de utilização de 45% de resíduo na mistura e, nestas condições, o uso dos resíduos ensaiados como material de substituição do cimento pode gerar benefícios ecológicos resultantes da redução do consumo de cimento, da emissão de CO₂ e energia utilizada na sua fabricação.

Kim *et al*, (2002) cita ensaios realizados com resíduo cerâmico mineral com propriedade similar à cinza volante, composto de SiO₂ e Al₂O₃, produzido em Yeojoo, Ichon e Kwangju, na Korea. As propriedades do concreto utilizando estes resíduos como agregado miúdo e gráudo foram estudadas experimentalmente e os resultados indicam que o resíduo cerâmico pode ser utilizado como agregado gráudo ou miúdo para concreto.

4.11 RESÍDUO DE COURO CURTIDO

Pesquisadores da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul realizaram ensaios misturando fibras alongadas de resíduo de couro proveniente de Indústrias de Artefatos de Couro com pasta de cimento e observaram ser viável fabricar com este compósito, placas de espessura variável de 5 mm a 20 mm para uso como placas de sinalização viária, placas de forro e telhas onduladas (RECENA *et al*, 2001),

Resta avaliar a durabilidade dos produtos, uma vez que fibras de natureza orgânica, com o tempo, podem degenerar-se devido à alcalinidade do meio em que se encontram embebidas.

4.12 RESÍDUOS DE TINTA POLIURETÂNICA

Este resíduo é um subproduto dos setores de pintura das indústrias localizadas no Distrito Industrial de Manaus, Mauro *et al*, (2001). Recebido com grande teor de umidade foi necessário, primeiramente, secá-lo e depois triturá-lo em moinho de bolas passando na peneira ABNT nº 16 (1,2 mm), NBR 05734. Diversos traços com cimento CP-32 AF e areia média foram ensaiados e os resultados levaram à conclusão de que este material alternativo é viável para execução de argamassas para assentamento de alvenarias, preenchimento de juntas de dilatação e blocos.

4.13 RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Fabiana *et al*, (2001), cita em sua pesquisa realizada na FURG, Rio Grande, RS objetivando avaliar o aproveitamento deste resíduo reciclado, proveniente de embalagens, como componente de concreto leve na fabricação de elementos da construção civil tais como brises, enchimentos de lajes nervuradas, blocos de alvenaria e outros.

Na primeira etapa da pesquisa desenvolveu-se um método mecânico simples para soltar as pérolas de poliestireno obtendo-se assim um agregado leve; nos traços foram utilizados, além do resíduo reciclado, cimento pozolânico CP 32 e areia fina.

Os resultados de resistência à compressão foram comparados com a de um concreto leve com poliuretano expando encontrado no mercado e revelaram-se excelentes, sendo que o preço do produto reciclado é 70% menor do que o tradicionalmente vendido.

4.14 PLACAS E TELHAS DE TUBO DE PASTA DE DENTE

A tecnologia para fabricar as telhas e placas com tubo de pasta de dente existe há cerca de uma década. O processo de produção consiste basicamente na limpeza, secagem e

trituração dos tubos (que são feitos de totalmente de plástico ou plástico com alumínio) e resultam em um material 100% reciclado (25% alumínio e 75% plástico). Nenhum aditivo químico é usado para aglutinar o material o que representa um ganho ambiental, e o resultado é um produto semelhante na forma às telhas de fibro-cimento, mas com qualidades técnicas superiores.

O telhado de tubo de pasta de dente pode deixar a casa até 25% mais fresca no verão. Além disso, o produto ecológico também é mais leve (o que significa economia no transporte das telhas) e permite uma estrutura de sustentação do telhado menos robusta. O material também demonstra uma grande resistência que pode agüentar até granizo. O tubo de creme dental é um desses produtos considerados problemáticos para o meio ambiente. Depois de usado, praticamente não encontra interessados em reciclá-lo e, de um modo geral, acaba entulhando ainda mais os lixões e aterros sanitários das cidades. Mas, ao invés de ir para o lixo, agora já há uma opção de destinação ambientalmente correta para o tubo (COUTINHO 2008).

4.15 PLACA RECICLADA DE TUBO DE CREME DENTAL

Material obtido em forma de chapas, a partir de produto de reciclagem de tubos de pasta de dente.



Figura 24: placa reciclada de tubo de creme dental.

Fonte: mateco.wordpress.com/2008/04/08/placa-reciclada-de-tubo-de-creme-dental/

A composição é feita a partir de aparas de tubos de creme dental de pré-consumo, são comercializadas chapas de 2,20×1m nas espessuras de 6, 8 e 10 mm, possuem características sensoriais rígidas, com brilho, leve textura. característica técnica impermeável, isolante térmico e acústica, não propaga chamas, altamente resistente a agentes químicos e suporta até 130 kg por m³, processabilidade de corte, pintura acrílica, aceita pregos e parafusos e diversos

acabamentos e suas principais aplicações construção civil, arquitetura, decoração. Indústria naval e indústria de embalagens.

4.16 RESÍDUOS SÓLIDOS DE ORIGEM ORGÂNICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL E INDUSTRIAL

Exatamente pelos aterros de resíduos sólidos urbanos receberem lixos procedentes de muitas fontes, eles apresentam agentes que são fonte de inúmeros microorganismos patogênicos, além de gases como o metano que, por serem nocivos aos seres vivos e ao meio ambiente, deram subsídios para a pesquisa sobre a possibilidade de transformação desses resíduos em tijolos, blocos para pavimentação, agregados plásticos e materiais para isolamento termo-acústico. Para tal produção, os principais insumos são os resíduos sólidos de origem orgânica, processados, higienizados e estabilizados química e fisicamente.

O processo caracteriza-se por dois aspectos: o primeiro é pela produção de artefatos (tijolos, blocos, placas), podendo ser confeccionados através reciclagem e moldagem. O segundo aspecto é a mistura ternária de baixo custo produzida. Pela forma com foram estruturados os processos, as produções poderão ocorrer nos próprios locais dos lixões, com objetivo de utilizar os recursos humanos que já trabalham nestes locais (melhorando a renda e a qualidade de vida dessa população que retira dos lixos suas fontes de sustento), e reduzindo as poluições diretas e indiretas geradas nos inúmeros sumidouros (ROBERTO COUTINHO).

4.17 RESÍDUOS DE EMBALAGEM LONGA VIDA

Essa embalagem, produzida pela empresa sueca Tetrapark, sediada em Campinas, São Paulo, é constituída de papel (75%), plástico (20%) e alumínio (5%).

Até bem pouco tempo, a reciclagem da embalagem só reutilizava a fração papel para fabricação de papelão ondulado e caixas; o plástico e alumínio restantes iam para aterros sanitários, ocupando espaços e gerando custos industriais para transportá-lo. Ciente de que a mistura de plástico e alumínio poderia gerar um material resistente, a empresa desenvolveu um projeto para prensar essa mistura e transformá-la em placas rígidas. Assim nasceram as primeiras telhas, testadas no IPT - São Paulo, que apurou ser o material mais resistente do que fibrocimento e capaz de reter 70% de calor incidente.

Hoje já são dez as fábricas produzindo a partir deste reciclado e a tecnologia da fabricação das telhas está sendo exportada para outros países como China, Argentina e Paraguai.

A Ecofuturo é uma destas fábricas localizadas em Campinas e seu diretor em entrevista concedida ao jornal Valor Econômico, Françoise (2004), informou que sua produção de 3000 telhas mensais é toda vendida; o investimento foi da ordem de R\$ 300 mil e na sua fábrica trabalham 10 funcionários; cada telha custa R\$ 16,00 sendo 30% mais barata do que as similares encontradas no mercado.

Porém o grande desafio, agora, é aumentar a coleta de matéria prima.

4.18 RESÍDUOS DE AREIA DE FUNDIÇÃO

Este caso foi relatado pela CETESB, (2003) e refere-se à FEMAQ- Fundação, engenharia e máquinas Ltda., que é uma empresa do ramo metalúrgico, localizada em Piracicaba, São Paulo, cuja principal atividade é a produção de peças fundidas de aço, ferro e alumínio para aplicações diversas.

Modelos de isopor das peças são enviados pelos clientes e posicionados em caixas de moldagem envolvida por uma mistura de areia e aglomerante constituído de cimento e melaço de cana.

O metal fundido, vazado no interior do molde, sublima o isopor e toma a forma da peça; depois do resfriamento a peça é retirada, a caixa desmontada e a areia removida em torrões constituindo Resíduos Classe II (não inertes), MARCIO, (2004) devido à presença do aglomerante.

Consciente dos problemas ambientais causados pela deposição do resíduo, a empresa decidiu estudar a possibilidade de sua reutilização no processo de fundição e, alternativamente, para fabricação de blocos destinados à alvenaria e pavimentação, (bloquetes) de baixo custo (cerca de 15% menor que os convencionais).

Desde 2002, os grãos mais grossos, depois de isentos do aglomerante, retornam à fundição e os mais finos são encaminhados à fabricação dos blocos onde entram na composição da argamassa substituindo parcialmente areia natural.

Os principais benefícios ambientais / econômicos resultantes das medidas adotadas foram:

- ✓ Eliminação da deposição de 1500 t /mês de areia de fundição que permitiu a redução de 80% do consumo de areia utilizada na fundição.
- ✓ Economia anual média de R\$ 500 mil na aquisição de areia.
- ✓ Economia média de R\$ 240 mil relativas ao transporte e deposição do resíduo.
- ✓ Receita anual média de R\$ 50 mil correspondentes à comercialização dos reciclados.

O prazo de retorno do investimento de R\$ 950 mil ficou em cerca de 17 meses.

4.19 BATERIAS E PILHAS

Os metais pesados zinco, mercúrio, cádmio e chumbo são aproveitados para a retirada de pigmentos usados pela indústria de vidro e pisos cerâmicos.

4.20 ISOPOR

Com beneficiamento industrial, pode ser transformado em concreto leve e utilizado, na construção civil, no lugar da pedra britada.

4.21 PNEUS

Pneus descartados tem sido um problema de disposição e continua sendo acumulado em todo o mundo de hoje. Nos Estados Unidos, em particular, mais de 279 milhões de pneus descartados tem sido adicionados a aproximadamente 2 bilhões atualmente acumulados por todo o país. Os aterros de pneus produzem criadouros de mosquitos que podem espalhar doenças e frequentemente constituem perigos de incêndios (JANG, 1998). A Figura 28, mostra a quantidade de pneus descartados na natureza.



Figura 25: Depósito de pneus a céu aberto.

Atualmente, o Brasil produz cerca de 45 milhões de pneus por ano. Quase um terço disso é exportado para 85 países e o restante roda nos veículos nacionais (CEMPRE, 2008). De acordo com o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2008), em 1999, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a resolução 258, estabelecendo regras para a destinação final de pneus fabricados no Brasil ou importados. A partir de janeiro de 2002, para cada quatro pneus, as empresas fabricantes ou importadoras terão de dar destinação final

adequada a um pneu que não sirva mais, seja colocando-o em depósitos específicos ou submetendo-o a processo de reciclagem ou reaproveitamento.

Em 2003, para cada dois pneus novos colocados no mercado, deverá ser dada destinação final a um pneu inservível.

O Brasil atinge 70% da frota de transporte de carga de passageiros, é uma fonte que contribui em grande número para o acúmulo desse tipo de resíduo.

Pesquisas vêm sendo realizadas a fim de desenvolver novas tecnologias para a reutilização da borracha na forma inteira ou como combustível. A forma inteira da borracha é representada pelas carcaças de pneus, estas são utilizadas em larga escala na construção civil, seja nas contenções das margens de rios para evitar desmoronamentos, na construção de recifes artificiais para criação de peixes, na construção de quebra-mares, blocos de concreto, contenção de erosão de solos, massa asfáltica, muros de arrimo e parede de depósitos, construção de casas, componente solo cimento, substituo da areia e pedrisco na argamassa e no concreto ou mesmo na construção de equipamentos para parques infantis. Já como combustível, seria utilizada por indústrias de celulose, usina termelétrica e em fornos de cimento. A Figura 29 mostra as partes que compõem um pneu na qual os resíduos de borracha vulcanizada são obtidos.

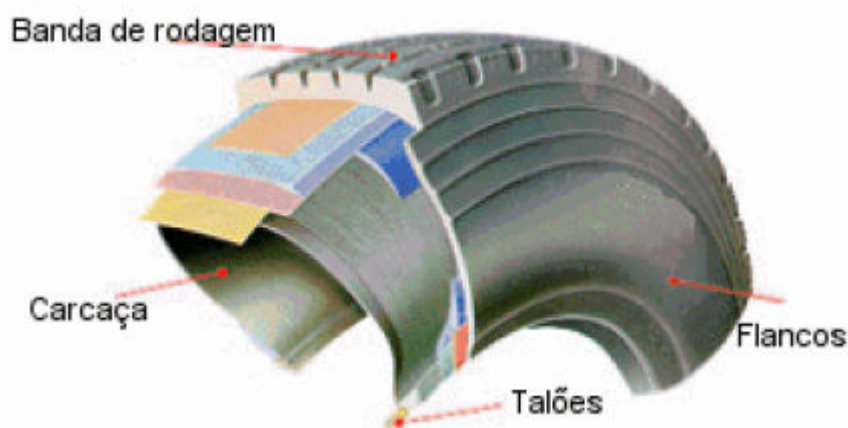


Figura 26: Partes componentes do pneu. Fonte: (<http://www.rodaspneus.com.br>).

Outra forma de utilização da borracha de pneus é a forma de fibras. Por este motivo, estudos vêm sendo feitos a fim de analisar a resistência à compressão em concretos e argamassas acrescidos de borracha.

Toutanji (1996), conclui que a incorporação de resíduo de borracha de pneu no concreto causa uma perda nas resistências à compressão e à tração por flexão, sendo que a resistência à compressão sofre o dobro da redução em relação à resistência à tração. Segundo

Fattuhi *et. al* (1996), este decréscimo na resistência está possivelmente relacionado a ação da borracha absorver pouco o carregamento em relação aos outros componentes e ao mesmo tempo possibilitar maior deformação lateral levando a ruptura.

A perda de resistência existente entre a argamassa controle e a constituída de resíduo podem estar ligadas a menos capacidade de carga que a borracha oferece quando comparada a areia e a aderência entre a pasta e a fibra: quanto maior a quantidade de resíduo, menor é a área de contato entre os componentes da argamassa e a própria fibra, existindo assim, mais vazios que influencia significativamente na resistência.

Como há uma queda na resistência a compressão, sugere-se que o material seja utilizado para fins onde a resistência não seja a principal característica requerida. Portanto, o uso da argamassa com adição de borracha torna-se viável em situações onde a resistência mecânica não é a principal característica desejada. (Workshop “Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”, feito por alunos da Universidade Estadual Paulista).

As Figuras 30 e 31 mostram alguns exemplos de utilizações de pneus na construção civil. Fonte: www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-1/ecovilas/parede_pneus.htm.



Figura 27: Casa construída com pneus descartados na natureza



Figura 28: Paredes com feitas com pneus

✓ **As vantagens da construção com pneu reciclado:**

- Saúde pública: a disposição de pneus velhos é de interesse e importância para a saúde, especialmente em áreas tropicais onde os pneus rapidamente podem criar ambientes favoráveis para proliferação de mosquitos. Incorporando os pneus na construção, este problema será totalmente evitado.

- Contaminação da atmosfera: um método comum de disposição dos pneus é a queima dos mesmos. Esta prática não é oficialmente permitida por causa da contaminação severa da atmosfera, entretanto ainda é uma prática comum, pois evita a criação de mais habitat de mosquitos, especialmente em áreas onde a Febre Amarela e a Dengue apresentam sérios problemas de saúde. Novamente, o uso de pneus dentro das paredes de edifícios evitará tal problema.

- Baixo custo: sendo feito essencialmente de terra e material que normalmente será jogado fora, a estrutura principal da casa será eficiente e de baixo custo. Entretanto, o método exigirá trabalho intensivo. Uma solução ideal para comunidades com baixo acesso de recursos.

- Estruturalmente forte e flexível: as paredes grossas são compostas de pneus enchidos com terra e socadas até que os pneus comecem a se deformar. Camadas subsequentes moldam esta deformação, formando um cadeado mecânico poderoso. Além do mais o peso das paredes criará uma estrutura forte e estável. Paredes retas são fáceis de construir, mas com este método de construção, paredes circulares ou curvas serão igualmente simples e fáceis de construir. Figura 32, casa feita inteiramente com pneus inservíveis.



Figura 29: Casa pronta feita inteiramente com pneus.

✓ Outros tipos de materiais reciclados podem ser agregados a casa.

Podem-se fazer muros de arrimo com pneus velhos, ou até mesmo paredes de depósitos, excelente isolante acústico e térmico.

Papelão pode fazer paredes de vedação, paredes armadas com tela e cimento, telhados de papelão, tratados com manta e resina;

Embalagem de PET, cortando os fundos e a boca, depois ao meio, vira uma telha, colando em fileiras tem-se um telhado transparente e colorido;

Calha de PET com o mesmo corte da telha pode-se utilizar como calha.

Garrafas de vidro, para colocar nas paredes e melhorar a iluminação ou no piso.

4.21.1 Telhas fibroasfálticas

A fabricação de telhas ecológicas (telhas fibroasfálticas) para comercialização vai de encontro com uma nova tendência do mercado de materiais para a construção civil. A telha ecológica é produzida a partir de uma "pasta" composta por fibras vegetais (papelão) e betume asfáltico. Cada telha exige 1,5 quilos de papelão, o que significa reutilizar um dos tipos de materiais mais coletados.

Além de ser ótimo isolante térmico, a telha é também excelente redutor sonoro, extremamente leve e flexível, e chega a fazer cobertura em arco parabólico. Suas dimensões são 1,60m de comprimento por 0,60m de largura, com 3 mm de espessura. O peso de cada telha é de 3 kg e tem coloração variada.

Mesmo com todas essas qualidades, as telhas ecológicas têm um baixo custo face às já existentes no mercado (COUTINHO 2007).

4.21.2 Placas de raspas de pneus para piso

São produtos confeccionados artesanalmente, a partir de raspas de pneus, coloridos, e quando finalizados possuem uma aparência orgânica. Além de fazer uso de pneus velhos, outro ponto de grande importância para melhoria do meio ambiente é que sua utilização em vasos e canteiros também elimina a comercialização de xaxim (planta ameaçada de extinção por sua grande exploração comercial), troncos de árvores, raspas de madeira em projetos paisagísticos.

As cascas de pneu são ideais para forração de playgrounds, canteiros, vasos caminhos ou ladeando piscinas. São duráveis e não necessitam de manutenção. Não se decompõem e não perdem a cor, com conseqüente economia.

Este produto é de fácil drenagem e não cria fungos.

O material é atóxico e antialérgico e cada 5kgs cobre aproximadamente 1 m² x 1,5cm espessura (COUTINHO 2007).

4.21.3 Contenção de erosão do solo: pneus inteiros associados a plantas de raízes grandes podem ser utilizados para ajudar na contenção da erosão do solo. Como se mostra nas Figuras 33, 34, 35.



Figura: 33



Figura: 34



Figura 35

Figuras 30, 31, 32: Contenção da erosão do solo com pneus.

Fonte: Baroni, (2006)

4.22 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO, CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL E EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

São inúmeras as aplicações de resíduos sólidos na construção civil e para tanto se fez uma avaliação quanto: ao seu potencial, contribuição ambiental e evolução tecnológica, esta avaliação se deu a partir do embasamento adquirido ao longo desta pesquisa, utilizou-se para tanto a escala A, M, e B

cujas denominações são altas médias e baixas respectivamente. No quadro 5 está apresentado o resultado de tal avaliação e foi elaborado a partir de uma análise dos principais resíduos sólidos com potencial e aplicabilidade na indústria construção civil.

Quadro 5: Resumo com os principais resíduos com potencial e aplicabilidade na construção civil

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Resíduos (RCD) de construções e demolições. Entulho de obra	Cerâmica- Concreto de menor resistência (blocos); - Contra-pisos; -Argamassas para revestimento	M	A	B
	Solo misturado à cerâmica - Sub-base de pavimentos	A	A	A
	Agregado	A	M	M
	Emboço de paredes de alvenaria	B	B	B
	Blocos de pavimentação	A	A	A
	Meio-fio	A	B	B
	Blocos de alvenaria	A	M	B
	Assentamento de batentes	B	B	B
	Enchimento de rasgos ou paredes	M	M	B
	Chumbamento de tubulações elétricas e hidráulicas	B	B	B
	Reparo de rebocos internos	B	B	B
	Assentamento de esquadrias	B	B	B
	Chumbamento de caixas de eletricidade	B	B	B
	Contra-piso	A	M	B
	Fundação de muro divisório	B	B	B
	Peças estruturais sujeitas a pequenas solicitações	B	B	B
	Áreas pavimentadas com baixo tráfego	A	M	M

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Resíduos (RCD) de construções e demolições. Entulho de obra	Concreto colocado em piso de abrigo de automóveis e veículos de carga leves	A	M	M
Resíduo plástico	Moirões	M	M	B
	Sinalizadores de estradas	A	B	B
	Vigas de seção I	A	M	M
	Pilares de plástico	A	M	M
	Dormentes	A	M	M
	Meio fio de estacionamentos	A	B	B
	Estacas em marinas	A	M	M
	Ponte	A	M	M
	Paletes de plástico reciclado (PPR).	M	B	B
	Brita de plástico PET	M	B	B
	Tubulações de PET	M	B	B
	Embalagem PET na fabricação de tintas	M	B	B
	Lajes nervuradas	M	M	B
	Calha de PET	M	B	B
	Telha	M	B	B
Escória de alto forno	Fabricação de cimento portland modificado	A	M	M
	Sub-leito rodoviário	A	M	M
	Lastro da via permanente ferroviária	A	M	M
	Cimento portland de alto forno ou cimento metalúrgico, tipo CP-III	A	M	M
	Cimento composto CPII-E.	A	M	M
	Cimentos nacionais e estrangeiros de baixos custos c/ adição de escória- assentamento de tijolos	A	M	M
	Fabricação de tijolos	A	A	M

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Escória de alto forno	Agregados	A	A	M
	Blocos de concreto	A	A	M
	Pavimentação	A	A	M
	Indústria cerâmica	A	M	M
	Indústria de vidro	A	M	M
	Fabricação de isolantes (lã de rocha),	M	B	B
	Telhas asfálticas (shingles)	A	M	B
	Fabricação de cimento portland modificado	A	A	A
Escória de acearia	Agregado do concreto	A	A	M
	Sub-leito rodoviário	M	M	M
	Lastro ferroviário	M	M	M
	Cimento composto CII-E.	A	A	M
	Como material de pavimentação	M	M	M
	Como adição ao concreto	A	A	A
	Vergalhões para concreto armado	M	B	B
Sucata de aço	Tijolos	M	M	B
Cinzas volantes	Cimentos pozolânicos	M	M	B
	Blocos de concreto	M	M	B
	Agricultura	A	M	B
	Concretos de alto desempenho	M	M	B
Cinza da queima do resíduo de casca de arroz	Tijolos refratários	M	M	B
	Abóbadas de fornos	M	M	B
	Componente de argamassas	M	B	B
Cal carbureto	Estabilização de solo	M	B	B
	Tijolos	M	M	B
	Misturado à cal hidratada cálcica	B	B	B

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Cal carbureto	Misturado com argila caulínica sedimentar para fabricação as cerâmicas regionais	B	B	B
Resíduo da produção de alumínio	Blocos maciços a calçamentos	M	M	B
	Divisórias e paredes externas de habitações de baixo custo	M	B	B
	Agregado miúdo	M	M	B
Rejeito do jateamento de peças metálicas	Substituído parcial cimento na produção de bloquetes e meios-fios utilizados em pavimentação	M	M	M
	Argamassa de fabricação de blocos	M	B	B
Resíduo de lodo proveniente de lavanderia têxtil industrial	Concretos e argamassas	A	M	M
Resíduo cerâmico	Como agregado graúdo ou miúdo para concreto	A	M	M
	Placas de sinalização viária	M	B	B
Resíduo de couro curtido	Placas de forro	M	B	B
	Telhas onduladas	M	B	B
	Argamassas para assentamento de alvenarias	M	B	B
Resíduo de tinta poliuretânica	Preenchimento de juntas de dilatação e blocos	M	B	B
	Brises	M	B	B
Resíduo de poliestireno expandido	Enchimentos de lajes nervuradas	M	B	B
	Blocos de alvenaria	M	B	B
	Placas	M	B	B

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Tubo de pasta de dente	Telhas	M	B	B
	Tijolos	A	M	M
Resíduos sólidos de origem orgânica na construção civil e industrial	Blocos para pavimentação	A	M	M
	Agregados plásticos e materiais para isolamento termo-acústico	A	M	B
	Telhas - placas rígidas	A	B	B
Resíduo de embalagem longa vida	Blocos destinados à alvenaria e pavimentação	A	M	B
Resíduo de areia de fundição	Bloquetes	M	B	B
	Retirada de pigmentos usados pela indústria de vidro e pisos cerâmicos	M	A	B
Baterias e pilhas	Concreto leve	M	A	B
Isopor	No lugar pedra britada	M	A	B
	Incorporação de resíduo de borracha de pneu no concreto	A	A	M

Resíduo	Aplicação	Potencial	Contribuição Ambiental	Evolução Tecnológica
Pneus	Contenção/erosão do solo	A	A	M
	Massa asfáltica	A	A	M
	Muro de arrimo	A	A	M
	Parede de depósitos	A	A	M
	Construção de casas	A	A	M
	Componente solo-cimento	A	A	M
	Substituto da areia e pedrisco na argamassa e concreto	A	A	M
	Telhas ecológicas	A	M	B
	Placas de raspas de pneus para piso	M	M	B
	Playgrounds	M	B	B
	Canteiros	M	B	B
	Vasos caminhos ou ladeando piscinas	M	B	B

Partindo da abordagem de diversos autores, verificou-se que a inserção do resíduo na construção civil é uma forma sustentável de diminuir o impacto no meio ambiente e a quantidade de resíduos nos aterros sanitários, conseqüentemente, uma redução de custo, na manutenção e na construção civil, devido às amplas possibilidades de uso e facilidade de acesso. O uso destes materiais reciclados gera a redução de resíduos e traz uma alternativa de uso de materiais convencionais, os quais geram um impacto maior no ambiente devido a todo o seu processo de fabricação.

É preciso considerar os resíduos pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados fechando assim um ciclo. Seguir um conceito onde se busca o menor impacto ambiental leva a resultados onde a união do material reciclado mais baixo consumo de energia se mostra eficaz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A reciclagem e reaproveitamento de resíduos é uma das muitas condições para aumentar a sustentabilidade da economia uma vez que a geração destes é inevitável. Somente a partir das últimas décadas é que as pessoas envolvidas com a atividade da construção civil passaram a se preocupar seriamente com questões ambientais.

A atividade da construção civil causa um impacto ambiental gigantesco, sendo inclusive uma das maiores consumidora de matérias-primas naturais e ainda uma grande geradora de resíduos da sociedade. A construção civil vê-se obrigada a aderir ao conceito do *desenvolvimento sustentável*, provavelmente a única alternativa que resta às futuras gerações, para continuarem, como a nossa, usufruindo os recursos e fontes de energia naturais, cujas reservas são limitadas, algumas próximas de esgotamento.

Os exemplos mostram que, de um lado, a construção civil é uma indústria altamente poluidora do meio ambiente e, por outro lado, oferece amplas possibilidades de reciclar seus próprios resíduos, assim como utilizar materiais alternativos obtidos por reciclagem de outros resíduos procedentes de diferentes processos industriais.

Diversos são os benefícios resultantes da reciclagem e do aproveitamento, considerado como procedimento voltado para a sustentabilidade do desenvolvimento: redução de consumo de matérias e fontes naturais não renováveis, redução de geração de resíduos, economia de áreas de deposição, não poluição ambiental, etc., mas, nem sempre, a reciclagem é possível, pois a transformação de um resíduo em produto com valor comercial pode, em alguns casos, ser economicamente inviável ou representar riscos para a saúde de trabalhadores e usuários envolvidos.

Relevante é o papel desempenhado pela indústria cimenteira na reciclagem da escória de alto forno e da escória de acearia, geradas como subproduto da fabricação do aço, sendo de lamentar-se, neste particular, a inexistência de oferta no mercado brasileiro de escória moída para mistura em betoneira, contrariando uma tendência universal de valorização deste resíduo.

Um grande passo para incentivar o emprego de produtos reciclados na construção civil, seria a criação de selos verdes que os identificassem como produtos aptos a serem empregados nas obras e a obrigatoriedade de seu uso em obras públicas, complementado por campanhas de educação ambiental.

Incentivos fiscais e créditos concedidos às empresas interessadas na reciclagem de RCD e de outros resíduos industriais é uma atividade que já começa a atrair a atenção da

iniciativa privada seria outra medida de grande alcance as multas sobre práticas reconhecidamente poluentes.

Em termos de reciclagem de resíduos da construção existe ainda enorme espaço para os que quiserem se dedicar a esta atividade, estando neste caso os seguintes resíduos: resíduos industriais, reciclagem de subprodutos siderúrgicos escória de azeite, escória de alto forno, sucata de aço, cinza da queima de resíduo de casca de arroz, cal de carbureto, areia de fundição, resíduos de embalagens plásticas, RCD, pneus entre outros, para os quais, a tecnologia de reciclagem existente é ainda incipiente ou necessita de aperfeiçoamento.

Porém estes resíduos oferecem enormes possibilidades de serem reciclados em escala industrial, considerando o atual estágio da construção civil e o importante papel por ela desempenhado para o desenvolvimento sustentável da sociedade e como uma grande receptora de resíduos reciclados que tornam a ser transformado em matéria prima.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para dar continuidade a esta pesquisa.

- a) Pode-se fazer uma análise quantitativa da geração de resíduos sólidos.
- b) Verificar a disponibilidade de locais de disposição e a existência de tecnologia para efetuar-se um tratamento adequado, juntamente com os respectivos custos.
- c) Avaliar se realmente a reciclagem inicial é viável ambientalmente e financeiramente.
- d) Podem-se avaliar os riscos da utilização de novos produtos, gerados a partir da reciclagem ou da reutilização de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ABNT) e atendem às exigências da norma NBR 5688-99.

(ABNT, 2004^a; DASHEFSKY, 1997; MICHAELIS, 1997).

AGNELLI, J.A.M. Verbetes em polímeros. Departamento de Engenharia de Materiais – UFSCar., 2005.

AGNELLI, J.A.M.. **Verbetes em polímeros**. Departamento de Engenharia de Materiais – UFSCar., 2005

AGOGYPAN, V. *et al.* **Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: FINEP, ITQC, Escola Politécnica da USP, 1998.

ALMEIDA, Marcio de Souza S. **Gestão de Resíduos e reciclagem**. Apostilha do M.B.E. COPPE / UFRJ 12^a Turma, Rio de Janeiro, 2004.

ALVES, Salustiano *et al.* Desenvolvimento De Argamassas E Concreto Com Resíduos De Cerâmica Vermelha Moída. In: IBRACON, **ANAIS V SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2002.

ANDRADE, Artemaria; AGOPYJAN, Vahan *et al.* Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2001.

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

ÂNGULO, Sergio C.; ZORDAM, Sergio E.; JOHN, Vanderley M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2001.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli et al. Desenvolvimento de novos mercados para reciclagem massiva de RCD. In: IBRACON, **ANAIS V SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206- Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

ANGULO, Sérgio Cirelli, et al. Desenvolvimento de Novos Mercados Para Reciclagem Massiva de RCD. In: IBRACON, **ANAIS V SEMINÁRIO**. Desenvolvimento Sustentável e a

Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

ANQI, L. et al. **Study on Corrosion Prevention in Reinforced Concrete Containing Codensed Sílica Fume and its Application in Durability Of Concrete Second International Conference- Montreal, Canadá, Vol I, 1991.**

ARQUITETO ROBERTO COUTINHO. **Viabilidade em diversas etapas do processo de construção, utilizar materiais reciclados como substitutos aos tradicionais.** (Disponível em: <<http://www.reciclasa.com/materiais.jsp>>).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5688-99. **Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

BEZERRA, M. C. L.; FERNANDES, M. A.. Cidades Sustentáveis: subsidio a elaboração da Agenda 21 brasileira 2000: Brasília, 2000. Disponível na internet <<http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21bra/doctematicos.html>>.

BIOCYCLE. **Canada targets C&D debris.** v. 32, n. 1, jan. 1991.

BITENCOURT, Michely P. *et al.* Estabilização / Solidificação - E/S - De Efluentes Líquidos De Uma Lavanderia Têxtil Para Reaproveitamento Como Material De Construção: Estudos Preliminares Para Maringá – PR. In: IBRACON, **ANAIS V SEMINÁRIO - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2002.**

BRANCO, S. M. **O meio ambiente em debate.** 30. ed. São Paulo, Moderna, 1999.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo.** São Paulo: Humanitas editora/FFLCH/USP, 2003.

CARVALHO, Aloma Fernandes de et al. **Jovens em ação!** São Paulo: Companhia. Melhoramentos, 2000.

CAVALCANTI, JR.R.; CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle de materiais com resíduos incorporados. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil, 1996, São Paulo, Anais.** São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

CEMPRE. **Pneus – O mercado pra Reciclagem.** Disponível em: <<http://http://www.cempre.org.br/fichas/ficha8.html>>. Acessado em 21 de outubro de 2008).

CIB. Agenda 21 para a construção sustentável. Tradução de: Agenda 21 on sustainable construction. **CIB Report Publication 237**. EDUSP-USP, São Paulo, Materials, Guildford, v.10, n.4, 2000.

CIDI. **O processo de urbanização**. Inter-American Council for Integral Development Organization of American States, 2000. Disponível em: <<http://www.cidi.oas.org/melloii.htm>>.

CINCOTTO, Maria Alba. **Cal Carbureto**. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

CINCOTTO, Maria Alba. **Lama da Produção de Estireno**. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

COELHO, FRANCISCO C. A. Professor Doutor. Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual Vale Do Acaraú, Sobral – Ceará 2006.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, - Resolução nº 307 de 5.06.2002.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: manual de educação. Brasília, Consumers International/MMA/IDEC, 2005.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; VAILLANT, João Marcos M. et al. Resíduo cerâmico como aditivo mineral ao concreto. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206. Meio Ambiente, 2001.

COUTINHO Roberto. **A Construção de Novas Soluções**. Disponível em: www.reciclase.com

DAY, Ken W. **Concrete Mix Design, Quality Control and Specification**. 1.st ed, Chapman and Hall, London, UK., 1993.

DASHEFSKY, H. Steven.; MICHAELIS Tech (1997). Dicionário de ciência ambiental. Edição do Autor.

FATTUHI et al.. Cement-based materials containing shredded scrap truck tire rubber. Construction and Building.

FEMAQ - Fundação, engenharia e máquinas Ltda. Reuso de areia de fundição e reciclagem de resíduos da recuperação. In: **CASOS DE SUCESSO**, CETESB, São Paulo, 2003.

FIGUEIREDO, P. J. M. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. 2.ed. Piracicaba: Inimep, 1995.

FINEP- **Prêmio Finep De Inovação Tecnológica 2004.** Disponível em: <<http://www.finep.gov.br>>.

FIORITO, Antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo: Pini, 1994.

FLESCHE, L.A. **Utilização de resíduos sólidos na construção civil.** Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – Comitê Pardo. Boletim Informativo N° 10/Ano VI – Outubro / 2004.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 1994.

GODOI, M. G. **Origem e destino dos resíduos sólidos domiciliares em São Paulo, 1997.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

GRIGOLI, Ademir S. Entulho em canteiro de obra utilizado como material de construção – uma alternativa inadiável. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2001.

GRIGOLI, Ademir S. Molhagem dos agregados de entulho de obra para a execução de argamassa - melhora do desempenho. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2001.

GRIPPI, Sidney. **Lixo, reciclagem e sua história:** guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

GUTERMAN, L.. One World: plastic – a group of researchers defies wisdom with polymer blends. **The Chronicle of Higher Education**, 2003.

HAMADA, Márcia Orie de Sousa; BARROS, Márcia Nazaré Rodrigues; BARIANI. Pesquisa e Sustentabilidade, 1999. In: IBRACON, **ANAIS II SEMINÁRIO.** Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2006.

HAMASSAKI, Luiz T. *et al.* Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL - Anais**, Núcleo de Desenvolvimento de pesquisas POLI / UPE – PCC / USP , São Paulo, SP, 1997 p 11-19.

HOLANDA, S.B.(SD). **História da civilização.** São Paulo, Companhia Editora Nacional.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/pnsb-censo>> 2000 - Cidades. IBGE: Disponível em<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>

JANG, J. W. et al. **Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea**. Resources, Conservation and Recycling, 1998.

JOHN, V.M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil**, 1996, São Paulo. **Anais**. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

JOHN, Vanderley M. **Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar**. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

JOHN, Vanderley M.; CINCOTTO, Maria Alba. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. Contribuição apresentada á discussão da reformulação da Resolução 307. CONAMA, relativa á gestão do gesso, São Paulo, julho 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

JOHN, W.M., ÂNGULO, Sergio; AGOGYPAN, V. **Sobre a necessidade de metodologia de pesquisa e desenvolvimento para reciclagem**, Fórum das Universidades Públicas Paulistas – Ciência e Tecnologia em Resíduos, Lindóia, São Paulo, 2003.

JOHN, Wanderley M.; AGOPYAM, Vahan. Reciclagem de resíduos na construção. In: **Seminário de resíduos sólidos domésticos**, p.1-13, São Paulo, SP, 2000. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br>>

KI, Hyung Kim et al. A Research On The Recycling of Ceramic Waste As An Aggregate For Concrete. In: **Proceedings of Vietnam Third Conference On Non Conventional Materials and Technologies**.

KRISHNASWAMY, P. **Feature - recycle plastic lumber standards**. 2001a. Disponível em: <http://www.astm.org/SNEWS/DECEMBER_2001/>

KRISHNASWAMY, P.; MCLAREN, M. G.; ASSIS, G.; PENSIERO, J.; MELEWSKI, P. M.; LASHWAY, K. F.. **Introducing to the first recycled plastic bridge in the world**. 2001b. Disponível em: <<http://www.maclaren.com/IBC%20Paper.htm>>.

KRISHNASWAMY, P.; MIELE, C. R.; FRANCINI, R. B.; YURACKO, K.; YERACE, P.. **Field Evaluation of recycled plastic lumber pallets**. Departamento de Recursos Naturais De Ohio. Comlumbus: Battelle, 1997.

LAKATOS, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

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

LEITE, Mônica B; MOLIN, Denise C.C. Dal. Influência da taxa de absorção do agregado no concreto reciclado. In: 1º. IAC - NOCMAT, João Pessoa, Pb, ABMTENC, 2003.

LEITE, W.C.A. **Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI-5) como referência.** 1997. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

LERIPIO, A. A. Gestão da qualidade ambiental. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

LEVY, Salomon; HELENE, Paulo. Durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais de construção civil. In: IBRACON, **ANAIS III SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2000.

LEVY, Salomon; HELENE, Paulo. Reciclagem do entulho em canteiro de obra, influência do material cerâmico na qualidade de novas argamassas. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL - Anais**, Núcleo de Desenvolvimento de pesquisas POLI / UPE – PCC / USP, São Paulo, SP, 1997, 1997 p 44-55.

MALHADAS, Z. Z. Dupla ação. Conscientização e ambiental para a sustentabilidade: agenda 21 vai à escola. Curitiba: NIMAD 2001.

MALHOTRA, V.M. et al. Some Aspects Of Durability Of High Volume ASTM CLASS F (Low Calcium) Fly Ash Concrete in Durability Of Concrete. In: **Durability Of Concrete Second International Conference- Montreal**, Canada, v.I, 1991.

MARANGON, Ederli. **Aspectos do comportamento e da degradação de matrizes de concreto de cimento Portland reforçados com fibras provenientes da reciclagem de garrafa pet.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2004.

MARCIANO, E.; KHIARA, Y. **Looking green.** World Cement. April, 1997.

MARQUES, Mauro N. Mello *et al.* Argamassa e blocos de cimento portland com adição de resíduo de tinta poliuretana. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206- Meio Ambiente, 2001, p 125-132.

MASUEIRO, A.B.; DAL MOLIN, D.C.; VILELA, A. Resíduo da indústria coureira: caracterização e potencialidade de uso da cinza de serragem cromada. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil**, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

MASUERO, Ângela Borges; DAL Molin, Denise et al. **Emprego de escórias de aciaria elétrica como adição a concretos**, CPGEC/NORIE - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001p 1-18.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO Paulo J. - **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, Pini. São Paulo, 1994.

MEHTA, P.K. Rice Husk Ash. **A Unique Supplementary Cementing Material in Advance In Concrete Technology**, CANMET, 2th ed. V.M.Malhotra, 1992.p 419-430.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 258**, de 26 de agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Publicado em 2003.

MORENO, H. O foco ambientalista da construção civil. In: Seminário Materiais & Design – Interface no desenvolvimento do produto. **Anais**, São Carlos, 1998. FIESP, URSCAR, SEBRAE, 1998.

NAYAC, J.C. **Prospects of use of fly ash in manufacture of bricks in Índia in proceedings of vietnam third conference on non conventional materials and technologies**, 2002, p.242-52.

NBR 05734, 1988 - **Peneiras para Ensaio**.

NBR 07215, 1991- **Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão**.

NBR 10907, 1989 – **Cimento de Alvenaria**.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. Pini, São Paulo, 1982.

NUNESMAIA, Maria de Fátima da Silva. **Lixo: Soluções alternativas – projeções a partir da experiência UEFS**. Feira de Santana – BA: Universidade Estadual de Feira de Santana, 1997.

OLIVEIRA, Fabiana G. *et al.* **Poliestireno expando reciclado: material alternativo para construção civil e naval**. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO** - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206- Meio Ambiente, 2001.

ORTH, M. Coord. **Avaliação da situação dos resíduos sólidos no Brasil, no estado de São Paulo, na região metropolitana de São Paulo e no município de São Paulo**. São Paulo, Proema, 2004.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil situação atual**. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL - **Anais**, Núcleo de Desenvolvimento de pesquisas POLI / UPE – PCC / USP, São Paulo, SP, 1997.

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

PIRES, Eliane F. C. **Comportamento do concreto utilizando o rejeito de jateamento de peças metálicas recém – forjadas**. Dissertação (Mestrado) submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, [s.n], 2001.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Metodologias e Técnicas de Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: ABS – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

PROGRAMA EXIBIDO PELA TV CULTURA EM 2003.

RECENNA, F. Piazza *et al.* A utilização de resíduo de couro curtido á base de cromo na produção de componentes para a construção civil. In: IBRACON, **ANAIS IV SEMINÁRIO - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil**, Comitê Técnico CT 206-Meio Ambiente, 2001, p 99-109.

RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais**. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

Reportagem Revista Veja 17 de março de 1999.

SARMIENTO, C. S. R.; FREIRE, W. J. Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar visando sua utilização para fins de material de construção. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil**, 1996, São Paulo. **Anais**. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica – USP. São Paulo, 2000.

SCHNEIDER, D. M. **Deposição irregular de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

SCHUT, J.H.. **They've been working on the railroad**. 2004. Disponível em: <<http://www.plastictechnology.com.br/article/200404fa3.html>>.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Governo do estado institui Selo Verde para produtos que respeitem a natureza.** Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov/not2105c.htm>>.

SEMINÁRIO. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil**, Comitê Técnico CT 206, Meio Ambiente, 2001.

SILVEIRA, A. A.; FERREIRA, A.; DAL MOLIN D. C. C. A cinza da casca de arroz como adição mineral. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil**, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

SOUZA, U. E. L. **Como reduzir perdas nos canteiros**: Manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005.

SPECHT, P.L.; BARONI, M.. **Utilização de pneus para construção de um muro experimental**, 2006.

SPINACÉ, M.A.S., PAOLI, M.A.. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química Nova, v.28, n.1. São Paulo Jan./Feb. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S000-40422005000100014&script=sci_arttext>.

SULLIVAN, H.W.; WOLFGANG, A.M.. **Polymeric compositions and methods for making construction materials from them.** United States Patent. Patent Number: 5.886.078., 1999.

TAVARES, C. R. G.; BARROS JUNIOR, C. A situação do resíduo sólido urbano da cidade de Maringá. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS (4: 2000: Recife). **Anais...** Recife: ABES, 2000.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; ELIASSEN, R. **Solid wastes**: Engineering principles and management issues. New York, 1977.

TERZIANI, Françoise. Embalagens longa vida se transformam em telha. In: **Jornal Valor Econômico**, Ano 5, 5.09.2004.

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R.. ICTR-2004 Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável.

THE U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Municipal And Industrial Solid Waste Division Report No. EPA 530-R-98-010**, p.1-94. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>

TOUTANJI, H. A.. **The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates.** Cement and Concrete Composites, Barking, 1996.

UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Grupo Interdepartamental de pesquisa sobre Educação em Ciências – **Geração e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Provenientes das Atividades Humanas** / GIPEC. Ijuí: Unijuí, 2002.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2003. UFRS.

XAVIER, L.C.; ROCHA, J.C. (2001) Diagnóstico do resíduo da construção civil – início do caminho para uso potencial do entulho. In: **VI Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção civil**, 2., São Paulo, 2001 anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON).

YAMAMOTO, J.K. et al. Environmental Impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil. **Environmental Geosciences**, v.4, n. 4, 1997.