



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

ESTUDO DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE RESÍDUOS DE OBRA COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Fernanda Guerra Morand

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador:

Jorge Santos

Rio de Janeiro

Março 2016

ESTUDO DAS PRINCIPAIS APLCIAÇÕES DOS RESÍDUOS DE OBRA COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Fernanda Guerra Morand

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Prof. Jorge Santos, D. Sc.

Prof. Wilson Wanderley

Prof.^a Alessandra Conde de Freitas, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO de 2016

Morand, Fernanda Guerra

Estudo das Principais Aplicações dos Resíduos de Obra como Materiais de Construção / Fernanda Guerra Morand. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

XIII, 82 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Jorge Santos

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Civil, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 83 – 89.

1. Introdução. 2. Contextualização: Resíduos da Construção Civil e de Demolição. 3. Legislação Aplicável à Gestão de Resíduos. 4. Contextualização: Reciclagem de Resíduos da Construção. 5. Estudo de Caso. 6. Conclusão.
I. Jorge Santos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

Dedico esse trabalho ao meu pai, Luiz Fernando Ribeiro Morand.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família, por todo amor, carinho, companheirismo, ensinamentos e todos os momentos felizes que me foram proporcionados. Obrigada por sempre acreditarem em mim e participarem de todas as minhas conquistas. Amo vocês.

À minha mãe, Débora, agradeço por toda educação e devoção ao longo desses 25 anos. Obrigada por sempre estar presente nas horas mais difíceis, por me ensinar a nunca desistir e por ser um exemplo de mulher para mim.

Ao meu pai, Luiz, obrigada por sempre me ouvir e me ajudar. Obrigada pelas nossas conversas sentados à janela, pelas brincadeiras sem fim e por ter sido o melhor pai do mundo.

À minha irmã Tatiana, obrigada pelo amor incondicional, por todo carinho e por sempre estar ao meu lado. Obrigada por cuidar de mim e me dar força no momento em que eu mais precisei.

Agradeço às minhas amigas de longa data, Dianna Saiki, Isabel Alegria, Juliana Perdigão, Gabriela Queiroz e Victoria Menezes, por todos os momentos felizes compartilhados, todas as alegrias e risadas proporcionadas e pela amizade sincera de cada uma. Amo vocês.

A todos os novos amigos que a faculdade me proporcionou ao longo desses anos, que me ajudaram nessa trajetória e que eu levarei para vida. Sem vocês nada disso seria possível.

Aos amigos do vôlei da UFRJ, por me ensinarem o verdadeiro sentido de “trabalho em equipe”, por me ajudarem tantas vezes tanto dentro de quadra como fora dela. Obrigada por me permitirem fazer parte dessa família.

Aos professores desta escola, que contribuíram na minha formação.

Ao meu professor orientador, Jorge Santos, o meu muito obrigado, pela paciência, dedicação e atenção dada, além dos conhecimentos passados.

A todos que contribuíram de alguma forma para esta realização.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

ESTUDO DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS RESÍDUOS DE OBRA COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Fernanda Guerra Morand

Março/2016

Orientador: Jorge Santos

Curso: Engenharia Civil

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e, também, geradoras de resíduos sólidos. Este trabalho apresenta um panorama atual da situação dos resíduos no país, a importância do gerenciamento desses resíduos e as principais aplicações dos materiais reciclados, além da legislação estudada relacionada a esse tema. Atualmente é cada vez maior a preocupação com a sustentabilidade e na construção civil não é diferente. As construtoras buscam medidas alternativas de projeto, materiais e processos sustentáveis, implementando a reciclagem, reaproveitamento e procedimento de gestão de resíduos. Por fim, é apresentado um estudo de caso em uma obra em que foram reutilizados resíduos para fabricação de outros materiais.

Palavras-chave: Resíduos, Construção Civil, Reciclagem, Gestão de Resíduos, Materiais Reciclados.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

STUDY OF THE MAIN APPLICATIONS OF WORK WASTE AS BUILDING
MATERIALS

Fernanda Guerra Morand

Março/2016

Advisor: Jorge Santos

Course: Civil Engineering

The construction industry is one of the largest consumers of natural resources and also generate solid waste. This paper presents a current overview of the waste situation in the country, the importance of managing such waste and the main applications of recycled materials, beyond the studied legislation related to this topic. Nowadays, the concerning about sustainability is growing and in civil constructions is no different. Construction companies seek alternative measures design, sustainable materials and processes, implementing recycling, reuse and waste management procedure. Finally, is presented a case study in a work in which they used waste for the manufacture of other materials.

Keywords: Waste, Construction, Recycling, Waste Management, Recycled Materials

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE RESÍDUOS CLASSE A, DE ACORDO COM O CONAMA 307.....	5
FIGURA 2 - EXEMPLO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE B, DE ACORDO COM O CONAMA 307.....	6
FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DO RCD NOS EUA.....	8
FIGURA 4 - COMPOSIÇÃO DOS RCD NO BRASIL.....	9
FIGURA 5 - PROCESSO CONSTRUTIVO TRADICIONAL.....	13
FIGURA 6 - ARMAZENAMENTO DE CIMENTO EM CANTEIRO DE OBRA.....	14
FIGURA 7 - FONTE GERADORA DE RCD NO BRASIL.....	14
FIGURA 8 - INTERDEPENDÊNCIA DE DECISÕES NO PROCESSO CONSTRUTIVO.....	18
FIGURA 9 - VOLUME MÉDIO DE AGREGADO RECICLADO PRODUZIDO POR MÊS.....	23
FIGURA 10 - FORMAS DE DISPOSIÇÃO DO RCC (%).....	27
FIGURA 11 - MARGEM DESMATADA E ASSOREAMENTO DO RIO DEVIDO À EXTRAÇÃO DE AREIA.....	29
FIGURA 12 - EXTRAÇÃO ILEGAL DE AREIA EM LEITO DO RIO, NO SUL DO ES.....	29
FIGURA 13 - EXTRAÇÃO ILEGAL DE AREIA DO RIO DE CONTAS, BA.....	30
FIGURA 14 - EXEMPLOS DE ENTULHOS DESPEJADOS EM VIAS PÚBLICAS.....	31
FIGURA 15 - RCD DEPOSITADO ÀS MARGENS DOS CÓRREGO MACAMBIRA, EM GOIÂNIA.....	31
FIGURA 16 - TOTAL DE RCD COLETADO NO BRASIL E EM CADA REGIÃO.....	32
FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE RCD PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO.....	34
FIGURA 18 - ECOPONTOS PARA ENTREGA DE RESÍDUOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	40
FIGURA 19 - PROCESSO DE RECICLAGEM DOS RCD.....	47
FIGURA 20 - ESQUEMA TÍPICO DA INDÚSTRIA RECICLADORA E SEUS PRODUTOS FINAIS.....	49
FIGURA 21 - ESQUEMA ESTRUTURAL DO PAVIMENTO EM SÃO PAULO.....	55
FIGURA 22 - EXECUÇÃO DA BASE REALIZADA EM RCD.....	56
FIGURA 23 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS ESTUDADOS.....	60
FIGURA 24 - TRAÇADO DA LINHA 4 DO METRÔ.....	68
FIGURA 25 - ACESSO DE PASSAGEIROS NA ESTAÇÃO NOSSA SENHORA DA PAZ.....	69
FIGURA 26 - EXECUÇÃO DE <i>JET GROUTING</i> NA ESTAÇÃO NOSSA SENHORA DA PAZ.....	71
FIGURA 27 - <i>JET GROUTING</i>	76
FIGURA 28 - REAPROVEITAMENTO DO REFLUXO.....	77
FIGURA 29 - FORMAS PARA FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS.....	77
FIGURA 30 - TIJOLOS SUSTENTÁVEIS.....	78
FIGURA 31 - TIJOLOS UTILIZADOS NA GUARITA EM CONSTRUÇÃO.....	78
FIGURA 32 - GUARITA CONCLUÍDA.....	79
FIGURA 33 - BIBLIOTECA RUBEM FONSECA.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS COMPOSTOS DAS USINAS ESTUDADAS	11
TABELA 2 - RESPONSABILIDADE DOS AGENTES NA GESTÃO DOS RCD.....	16
TABELA 3 - QUANTIDADE DE RCD REAPROVEITADO EM PAÍSES DA EUROPA.....	21
TABELA 4 - ESTIMATIVA DE PORCENTAGEM DE RCD RECICLADO NO PAÍS	24
TABELA 5 - ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO PARA OS RCD	26
TABELA 6 - NORMAS NACIONAIS RELACIONADAS AO RCD.....	35
TABELA 7 - INSTRUMENTOS LEGAIS E NORMATIVOS DE ABRANGÊNCIA NACIONAL.....	36
TABELA 8 - GERAÇÃO, RECICLAGEM E APLICAÇÃO DE RCD EM ALGUNS PAÍSES EUROPEUS	43
TABELA 9 - USINAS DE RECICLAGEM DE RCD NO BRASIL.....	44
TABELA 10 - PRODUTOS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES	51
TABELA 11 - CASOS DE USO DO RCD EM PAVIMENTAÇÃO	56
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO COM RCD.....	57
TABELA 13 – COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE MATERIAL CONVENCIONAL E RCD.....	57
TABELA 14 - RESUMO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA	58
TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DAS MISTURAS DAS ARGAMASSAS.....	62
TABELA 16 - INFORMAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS RESÍDUOS GERADOS.....	75

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e demolição

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil

ATT – Área de Transbordo e Triagem

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology

CBCS – Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

FGV – Fundação Getúlio Vargas

FIEB – Federação das Indústrias do Estado da Bahia

HQE – Haute Qualité Enviromentale

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NATM – New Australian Tunnelling Methos

PMGRCC – Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCC – Resíduo da Construção Civil

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

SINDUSCON-SP – Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo

SMAC – Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

TBM – Tunnel Boring Machine

USGB – U. S. Green Building Council

SUMÁRIO

Conteúdo

SUMÁRIO	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Objetivo</i>	2
1.2. <i>Justificativa da escolha do tema</i>	2
1.3. <i>Metodologia Aplicada</i>	2
1.4. <i>Estrutura do trabalho</i>	2
2. CONTEXTUALIZAÇÃO: RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO	4
2.1. <i>Conceito</i>	4
2.2. <i>Características e Classificação dos Resíduos</i>	4
2.2.1. <i>Características Físicas</i>	7
2.2.2. <i>Características Químicas</i>	9
2.3. <i>Geração de RCD</i>	12
2.4. <i>Gerenciamento dos Resíduos</i>	15
2.4.1. <i>Redução dos RCD</i>	17
2.4.2. <i>Reutilização dos RCD</i>	19
2.4.3. <i>Reciclagem dos RCD</i>	21
2.5. <i>Destinação Final</i>	24
2.6. <i>Impactos Ambientais</i>	28
3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A GESTÃO DE RESÍDUOS	32
3.1. <i>Nacional</i>	34
3.2. <i>Estadual</i>	37
3.3. <i>Municipal</i>	37
4. CONTEXTUALIZAÇÃO: RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO	42

4.1.	<i>Aspectos Históricos</i>	42
4.2.	<i>Processos de Reciclagem</i>	45
4.2.1.	Quem faz?	46
4.2.2.	Como é feito?	47
4.3.	<i>Resíduos Reciclados</i>	50
4.3.1.	Principais Aplicações	52
4.3.1.1.	Preenchimento de rasgos de paredes para tubulações hidráulicas e elétricas	53
4.3.1.2.	Chumbamento de caixas elétricas e tubulações	53
4.3.1.3.	Contrapiso de interiores de unidades habitacionais	53
4.3.1.4.	Sistemas de drenagem	54
4.3.1.5.	Aterramento de valetas junto ao solo	54
4.3.1.6.	Pavimentação	54
4.3.1.7.	Agregados para Concreto	58
4.3.1.8.	Agregados para Argamassa	60
4.3.1.9.	Outras Aplicações	63
4.3.2.	Características	64
4.3.3.	Vantagens e Desvantagens	65
4.4.	<i>A Reciclagem e a Sustentabilidade</i>	66
5.	ESTUDO DE CASO	68
5.1.	<i>Processos Construtivos</i>	69
5.1.1.	O que é <i>Jet Grouting</i> ?	70
5.2.	<i>Projeto Básico Ambiental</i>	71
5.2.1.	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	72
5.2.2.	Como é feita a Gestão de Resíduos?	73
5.2.2.1.	Reutilização de Alguns Resíduos	76
5.3.	<i>Considerações Finais</i>	81
6.	CONCLUSÃO	82
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e, desde o início, foi executada gerando como subprodutos grande quantidade de resíduos minerais. Esse fato chamou atenção dos construtores já na época do Império Romano, quando já são encontrados registros de reutilização dos resíduos da construção na produção de novas obras (LEVY, 1995).

Porém, a primeira reutilização significativa dos resíduos de obra só foi registrada após a Segunda Guerra Mundial, na reconstrução das cidades Europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e seus escombros foram usados na produção de agregados visando atender a demanda da época.

Embora as técnicas de reciclagem dos RCC (Resíduos da Construção Civil) tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção que a reciclagem tenha se tornado uma ideia amplamente difundida, principalmente no Brasil.

De acordo com HEWERTON BARTOLI (2011), atual presidente da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), o Brasil desperdiça 8 bilhões de reais por ano porque não recicla seus produtos. Os números indicam que 60% do lixo sólido das cidades vêm da construção civil e 70% desse total poderia ser reutilizado.

Dados mais recentes publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Especiais (ABRELPE) no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2013 afirma que a quantidade total de RCD coletada pelos municípios no Brasil é equivalente a 0,584 Kg/hab/dia sendo este valor 4,6% maior do que o calculado no ano de 2012.

A problemática dos Resíduos da Construção Civil (RCC) é relativamente recente no Brasil. Ao contrário de países como os EUA e o Japão, aonde já existiam políticas para a questão dos resíduos desde a segunda metade do século XX, no Brasil ainda discute-se uma legislação mais abrangente sobre os resíduos (FRAGA, 2006).

Apenas em Julho de 2002, quando houve a aprovação da Resolução nº307 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), foram estabelecidas diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Aos poucos, percebe-se um avanço na busca pela minimização dos impactos causados pelos resíduos gerados em obra.

Um bom gerenciamento do RCC é necessário para garantir que sua redução, reuso e a reciclagem sejam crescentes, rumo à sustentabilidade (FERREIRA e MOREIRA, 2013).

1.1. Objetivo

O trabalho tem como objetivo geral apresentar um panorama da geração e gestão de RCD no Brasil, além dos impactos ambientais associados.

Como objetivo específico, procura-se elaborar um estudo das principais aplicações dos resíduos de construção civil e de demolição (RCD), sendo na reutilização direta em obras ou na reciclagem e transformação em novos materiais.

1.2. Justificativa da escolha do tema

O setor da construção civil destaca-se pelo consumo elevado de recursos naturais e a significativa geração de resíduos. Esses resíduos são responsáveis por diversos impactos ambientais quando recebem uma destinação final incorreta, sendo de extrema importância a elaboração de um plano de gestão para evitar a geração dos RCD e reduzir a quantidade de resíduos que será disposta em aterros ou áreas de “bota-fora”, através da reutilização e reciclagem.

A gestão de resíduos minimiza o consumo de recursos naturais e energéticos já que consiste, além de outras coisas, na reutilização dos RCD na fabricação de outros materiais. A diminuição da produção de resíduos nas diversas etapas construtivas, o menor consumo de recursos naturais e a reutilização de materiais provenientes da construção proporcionam uma economia significativa no custo total da obra.

1.3. Metodologia Aplicada

O trabalho foi dividido em duas etapas, onde a primeira representou uma revisão bibliográfica através de livros, artigos, teses e estudos sobre o assunto, e a segunda englobou o estudo de caso feito na obra da Linha 4 do metrô, que está sendo realizada no Rio de Janeiro, onde foi feita a reutilização de resíduos na fabricação de tijolos usados na própria obra.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho é composto por seis capítulos.

No capítulo um analisou-se a importância do tema, os objetivos do trabalho, as justificativas que levaram a elaboração e a metodologia adotada.

No capítulo dois foi feita uma contextualização sobre os RCD, como definição dos resíduos e sua classificação, a geração e o gerenciamento dos resíduos, assim como sua disposição final e os impactos ambientais associados.

O capítulo três apresenta as principais legislações, no âmbito municipal, estadual e federal, aplicáveis à gestão de RCD.

No capítulo quatro foi feita uma abordagem da reciclagem de RCD no Brasil, incluindo os aspectos históricos, processos de reciclagem, principais materiais produzidos e suas aplicações, além das vantagens e desvantagens dessa prática.

O capítulo cinco mostra o estudo de caso na obra da Linha 4 do metrô, onde foi feito um detalhamento da obra, apresentando seus benefícios e processos construtivos, assim como uma descrição de como foi feita a reutilização dos resíduos na fabricação de tijolos, a quantidade gerada, locais de aplicação e a economia envolvida no processo.

O capítulo seis apresenta as considerações finais que expõem as principais conclusões a que se chegaram com a elaboração dos capítulos anteriores.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO: RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO

2.1. Conceito

A Política Nacional de Resíduos Sólidos considera como resíduos de construção civil aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras, incluindo a preparação e escavação de terrenos.

Uma descrição um pouco mais detalhada dos resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) pode ser encontrada na Resolução 307 do CONAMA, que define que os resíduos da construção civil são “os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

De acordo com BLUMENSCHNEIN (2007), os RCD são aqueles gerados nos canteiros de obras e são as sobras do processo construtivo que é definido como o processo de produção de um dado edifício, desde a tomada de decisão até a sua ocupação.

2.2. Características e Classificação dos Resíduos

O desenvolvimento das cidades brasileiras aumenta a demanda por novas moradias, ao mesmo tempo em que surge a construção de novas indústrias, estradas, etc. Isso mostra a importância do ramo da construção civil no crescimento do País e a influência das construções no meio ambiente. O setor da construção civil destaca-se como maior consumidor de recursos naturais e gerador de resíduos sólidos, e a destinação final desses resíduos normalmente é feita de maneira incorreta, causando problemas sociais e ambientais.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos em geral, de acordo com a atividade que lhes deu origem e com seus constituintes. Desta forma, eles podem ser classificados como:

Classe I – Perigosos

Classe II – Não perigosos

a) Classe II A – Não inertes

b) Classe II B – Inertes

Usualmente, os resíduos da construção civil são classificados como sendo Classe II B que, de acordo com a NBR 10.004, podem ser definidos como sendo quaisquer resíduos que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Entretanto, alguns fatores podem influenciar na classificação desses resíduos, como por exemplo, a presença de tintas, solventes, óleos e outros derivados, podendo ocorrer mudança para Classe I ou II A.

Sendo assim, uma classificação mais adequada para os resíduos de construção civil é dada pela Resolução 307 do CONAMA. Após as revisões de 2004, que inseriram o amianto como material perigoso (Classe D) e 2011 que mudou a classificação do gesso (de Classe C para Classe B), a Resolução 307 fornece a seguinte classificação:

Classe A – São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;



Figura 1 - Exemplo de resíduos Classe A, de acordo com o CONAMA 307

Fonte: BARRETO, 2005

Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;



Figura 2 - Exemplo de resíduos sólidos Classe B, de acordo com o CONAMA 307

Fonte: Internet (<http://www.residuossolidos.al.gov.br>)

Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

O estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados é fundamental para a definição de possíveis utilizações dos RCDs, principalmente através da reciclagem dos mesmos. Alguns parâmetros importantes na caracterização são: a massa aparente, a composição gravimétrica, a absorção da água, a distribuição do material nos intervalos de densidade, as fases minerais presentes, a composição química e a composição física.

De acordo com SILVA (2014), os RCD são produzidos em um setor onde há diferentes técnicas e metodologias de produção e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente. Sendo assim, as características como composição e

quantidade produzida dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria de construção local (qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas da qualidade, etc.).

A caracterização do RCD e o conhecimento dos componentes do entulho se faz obrigatória para definir como e onde esse material poderá ser empregado e qual tratamento deve ser feito para garantir uma reutilização e reciclagem bem sucedida. Isso é necessário porque tanto as composições como a proporção dos materiais variam de região para região.

2.2.1. Características Físicas

Existe uma grande diversidade de matérias-primas e técnicas construtivas que afetam de modo significativo as características dos resíduos gerados, principalmente quanto à composição e à quantidade.

Os resíduos possuem características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares (SILVA, 2014).

De acordo com OLIVEIRA (2003), os resíduos de construção são mais limpos que os de demolição porque ainda não foram submetidos a pinturas ou misturados a outras substâncias de tratamento de superfícies que podem percolar pelo solo, contaminando-o.

A diferenciação da composição do RCD de acordo com seu processo gerador foi estudada pela *EPA – Environmental Protection Agency (EUA)* e os dados resultantes desse estudo podem ser vistos na figura 3.

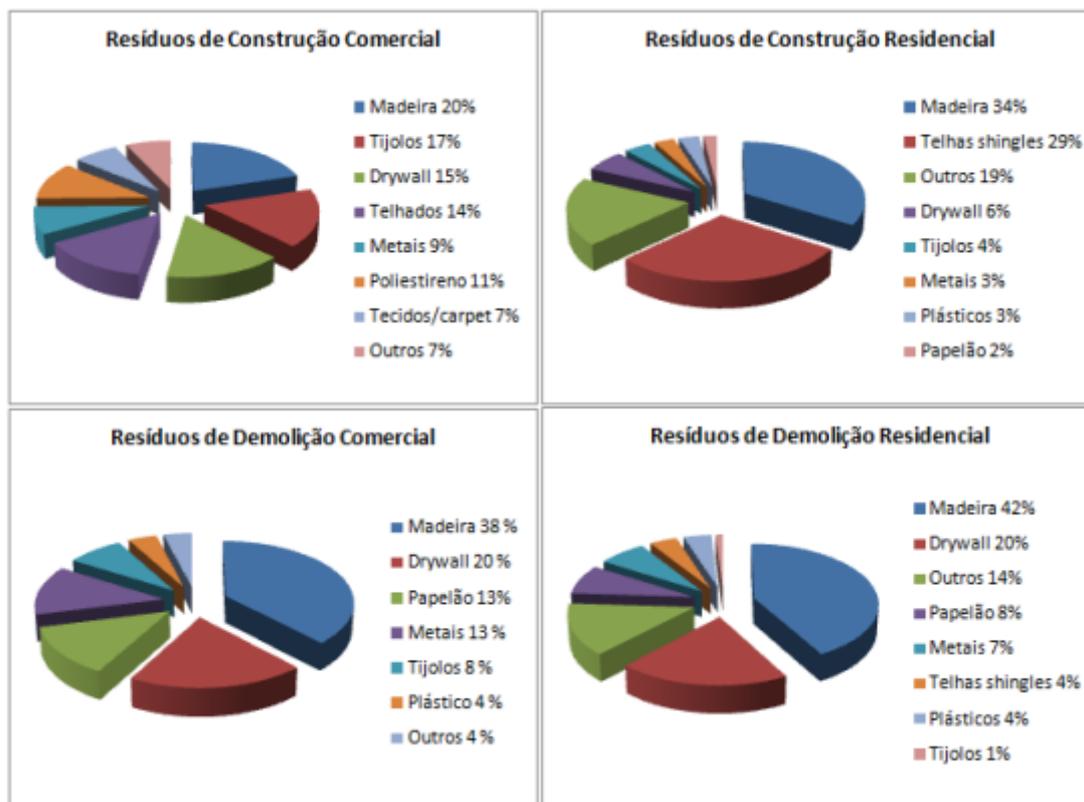


Figura 3 - Composição do RCD nos EUA

Fonte: SILVA, 2014

A geração de resíduos nos EUA é diferente do Brasil devido aos diferentes processos construtivos nos países. A utilização da madeira, por exemplo, é superior devido a grande quantidade de obras realizadas em madeira, o que não acontece com tanta frequência no Brasil. Nos países desenvolvidos, o setor da construção gera uma quantidade maior de papel, plástico e madeira provenientes de embalagens. Já em países em desenvolvimento, como o Brasil, a geração de outros materiais, como concreto e argamassa, é maior devido às altas perdas do processo.

O gráfico apresentado na figura 4 mostra a composição do RCD no Brasil, diferenciando as quantidades dos principais materiais. De acordo com a resolução 307 do CONAMA, os resíduos considerados como classe A ou B são passíveis de serem reciclados e, como é demonstrado no gráfico, quase a totalidade dos resíduos da construção civil (argamassa, tijolos e blocos) no Brasil pertence a essas classes, tornando viável a reciclagem dos RCD.

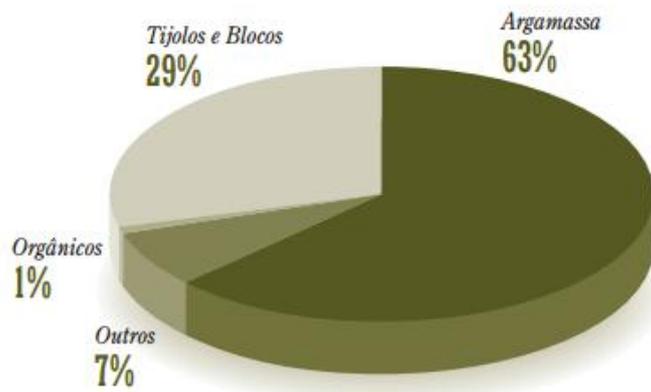


Figura 4 - Composição dos RCD no Brasil

Fonte: BLUMENSCHNEIN, 2007

2.2.2. Características Químicas

De acordo com ANGULO ET AL. (2009), estudos de caracterização química referentes a amostras de duas usinas de reciclagem no Estado de São Paulo mostram que a classificação corrente do RCD, segundo critérios visuais (tipos cinza e vermelho), não está relacionada à composição química destes, sendo esta influenciada, principalmente, pela granulometria. O autor ainda afirma que a composição química dos RCDs varia em função dos conteúdos de pasta de cimento, tipos dos agregados naturais (areia quartzosa ou granito), cerâmica vermelha e argila.

Os métodos tradicionais de caracterização de RCDs baseiam-se, majoritariamente, em determinar a composição do resíduo, visualmente, em termos da proporção de concreto, argamassa e materiais cerâmicos, porém tal avaliação não permite separar, adequadamente, concreto e argamassa, porque é difícil avaliar o teor presente de pasta de cimento ou, até mesmo, a porosidade da mesma (ANGULO, 2005). A composição química dos RCDs pode ser um dos parâmetros decisivos na avaliação da possibilidade de utilização do material reciclado em aplicações diversas. Várias pesquisas demonstram que o teor de pasta de cimento aderida, que pode ser estimada a partir da composição química, está associado à porosidade dos agregados reciclados.

O desenvolvimento de procedimentos de caracterização mais abrangentes é recomendado e necessário para maior controle da qualidade dos produtos gerados e aumento da credibilidade dos agregados reciclados, podendo, inclusive, levar ao diagnóstico de novas aplicações ou inviabilizar as aplicações desejadas. Entre os

procedimentos recomendados, consideram-se parâmetros como a composição química, mineralógica, microestrutural e a densidade.

Nos estudos feitos por ÂNGULO ET AL. (2009), as usinas de reciclagem classificam os resíduos em duas classes de acordo com a cor: cinza (materiais cimentícios) e vermelho (materiais cerâmicos). Essa classificação, apesar de ser feita sem critério tecnológico, tem aplicações preferenciais distintas. O agregado vermelho pode ser utilizado em bases de pavimentação, enquanto o agregado cinza também tem aplicação em componentes pré-fabricados à base de cimento.

Os estudos foram realizados em duas usinas (Vinhedo e Itaquera) sobre três amostras:

- a) Cinza-Itaquera
- b) Vermelho-Itaquera
- c) Vermelho-Vinhedo

A usina de Itaquera, localizada na zona leste da cidade de São Paulo, processava, na ocasião, 400 t de RCD por dia (com proporção entre agregados cinza e vermelhos de 50% cada), enquanto que a usina de vinhedo processava 40 t de RCD por dia (onde somente 25% do volume do material reciclado era classificado como cinza).

Na tabela 1 é apresentada a composição granuloquímica das três amostras compostas e é possível observar que a sílica (SiO_2) é o principal óxido constituinte do RCD, com teores entre 48 e 84%. Sua origem está associada principalmente aos agregados naturais do concreto e da argamassa. A alumina (Al_2O_3) e o óxido de cálcio (CaO) são os outros óxidos mais representativos, com teores entre 4,7 e 11% e entre 2,4 e 14%, respectivamente. A alumina está relacionada, principalmente, à presença da cerâmica vermelha e do solo e, além da presença de feldspatos e do cimento. O óxido de cálcio está associado ao aglomerante (pasta de cimento endurecida, cal, gesso, etc.) presente em componentes construtivos, já que os agregados originais não são de natureza calcária. Tal situação é específica para as amostras estudadas. O mesmo não ocorre para regiões que utilizam agregados de rocha calcária, onde as composições químicas são, significativamente, diferentes (ÂNGULO, 2009).

A perda ao fogo (PF) varia de 3,35 a 19,6%, estando, essencialmente, relacionada à liberação da água de constituição e gás carbônico dos silicatos de cálcio hidratado, cal hidratada e carbonatos, liberação de água dos filossilicatos provenientes dos solos, cerâmicas queimadas abaixo de 500°C e de outros minerais menores presentes na fração de agregado graúdo (brita derivada de rochas como granitos).

Tabela 1 - Composição granulométrica dos agregados compostos das usinas estudadas

	Fração mm	% Massa		Teores (%)								
		retida	acumul.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PF
Itaquera cinza	-25,4+19,1	15,8	15,8	65,1	9,24	9,13	3,14	1,39	1,47	2,58	0,49	7,20
	-19,1+12,7	21,8	37,6	65,6	8,89	9,21	3,22	1,41	1,38	2,36	2,36	7,16
	-12,7+9,5	9,25	46,9	67,9	8,45	8,40	2,63	1,15	1,44	2,61	2,61	8,15
	-9,5+4,8	14,0	60,9	66,1	9,28	8,68	2,71	1,27	1,32	2,62	2,62	8,22
	-4,8+2,4	9,24	70,1	66,5	8,70	8,71	2,61	1,14	1,19	2,54	2,54	9,01
	-2,4+1,2	7,51	77,6	67,7	8,14	8,18	2,45	1,06	1,00	2,42	2,42	8,40
	-1,2+0,6	7,09	84,7	71,5	7,03	7,27	2,16	0,87	0,60	2,11	2,11	6,93
	-0,6+0,3	6,24	90,9	75,7	5,75	6,01	2,00	0,69	0,37	1,63	1,63	7,84
	-0,3+0,15	4,84	95,8	68,5	7,21	7,81	2,61	0,98	0,38	1,67	1,67	10,00
	-0,15	4,23	100,0	48,0	10,80	13,90	3,50	1,79	0,48	1,81	1,81	19,60
Total	100,0		66,5	8,56	8,72	2,80	1,22	1,14	2,35	2,02	8,36	
Itaquera vermelho	-25,4+12,7	19,3	19,3	68,6	10,60	6,24	3,29	1,10	1,61	2,96	0,41	4,69
	-12,7-9,5	11,7	31,1	65,3	10,10	8,18	3,32	1,58	1,36	2,62	0,41	7,03
	-9,5+4,8	17,0	48,0	65,6	9,26	8,76	3,25	1,16	0,88	2,70	0,47	7,55
	-4,8+2,4	11,9	59,9	66,9	8,72	8,91	2,66	1,32	0,93	2,52	0,36	7,83
	-2,4+1,2	9,59	69,5	68,7	8,62	6,76	3,12	0,86	0,50	2,26	0,47	7,91
	-1,2+0,6	10,3	79,8	71,6	7,58	5,28	2,77	0,80	0,29	1,60	0,40	7,50
	-0,6+0,3	8,63	88,5	71,6	7,36	5,22	2,97	0,80	0,24	1,50	0,42	7,85
	-0,3+0,15	6,61	95,1	65,7	9,54	6,66	3,28	1,09	0,34	1,75	0,67	9,40
	-0,15	4,95	100,0	48,3	12,90	11,10	4,27	1,77	0,50	1,88	0,79	19,20
	Total	100,0		66,9	9,34	7,34	3,16	1,15	0,88	2,36	0,46	7,72
Vinhedo vermelho	-25,4+19,1	16,0	16,0	66,1	9,92	9,08	2,78	1,41	0,97	2,15	0,47	7,09
	-19,1+12,7	27,3	43,3	69,4	10,10	5,20	3,37	1,11	0,77	2,32	0,56	5,70
	-12,7+9,5	7,73	51,0	69,4	11,10	7,15	3,36	1,11	0,90	2,32	0,44	7,48
	-9,5+4,8	9,36	60,4	67,6	9,57	6,85	2,77	1,29	1,18	2,28	0,50	6,76
	-4,8+2,4	5,7	66,1	68,4	10,40	6,20	3,40	1,18	0,79	1,99	0,52	6,33
	-2,4+1,2	4,9	71,0	76,8	7,92	4,10	2,75	0,69	0,51	1,61	0,39	5,07
	-1,2-0,6	5,58	76,5	83,7	5,42	2,58	2,23	0,42	0,22	1,17	0,24	3,35
	-0,6+0,3	5,44	82,0	84,2	4,66	2,41	2,14	0,39	0,16	1,12	0,25	3,86
	-0,3+0,15	6,71	88,7	81,4	5,53	2,98	2,30	0,50	0,19	1,24	0,41	4,30
	-0,15	11,3	100,0	52,2	15,90	7,82	4,71	1,37	0,29	1,99	0,88	13,90
Total	100,0		69,5	9,81	5,98	3,14	1,07	0,68	1,99	0,51	6,76	

Fonte: ÂNGULO, 2009

A argamassa é um material de construção constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água. Podem ainda ser adicionados alguns produtos especiais (aditivos ou adições) com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

O aglomerante mais comumente utilizado na fabricação de argamassa é o Cimento Portland. Esse material é constituído de um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob a ação de água.

Os componentes principais do cimento Portland são: 60 a 67% de cal (CaO), 17 a 25% de sílica (SiO₂), 3 a 8% de alumina (Al₂O₃), 0,5 a 6,0% de óxido de ferro (Fe₂O₃), 0,1 a 6,5% de magnésia (MgO), 0,5 a 1,3% de álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₃). Os óxidos de titânio (TiO₂), de manganês (Mn₃O₄) e anidrido fosfórico (P₂O₅), são encontrados em pequena quantidade, geralmente não são determinados separadamente (PETRUCCI, 1993 apud SILVA, 2014).

2.3. Geração de RCD

Alguns fatores podem ser destacados como os maiores contribuintes para a enorme geração de RCD: a busca incessante pelo desenvolvimento econômico, o uso inadequado de tecnologias construtivas e o desordenado crescimento populacional.

ZORDAN (1997) afirma que o grande consumo de matéria-prima está diretamente ligado ao grande desperdício de material que ocorre nos empreendimentos, à vida útil das estruturas construídas e devido às obras de reparo e adaptação das edificações existentes.

Em linhas gerais, os RCD são gerados durante três etapas distintas: construção e manutenção (produção dos diversos materiais de construção e utilização desses materiais nas obras) e demolição. Desastres naturais, como furacões, enchentes, tsunamis, entre outros, também são fontes gerados de resíduos de construção.

De acordo com FRAGA (2006), o desperdício de materiais vai desde a seleção dos fornecedores; passando pela etapa de projetos com soluções inadequadas e não otimizadas, no transporte e manuseio do material, recebimento e armazenamento. Além disso, deve-se considerar o aumento dos materiais durante obra a fim de corrigir imperfeições ou erros de execução, e no pós obra com os materiais usados em reparos.

O processo construtivo relaciona-se diretamente ao planejamento, gerenciamento, projeto, construção e comercialização de um dado edifício. É o processo pelo qual materiais e componentes (terra, energia e combustível, água, máquinas, ferramentas e mão de obra) são agrupados e organizados para construção de determinado edifício ou obra de infra-estrutura (BLUMENSCHHEIN, 2007).

Diferentes organizações (proprietários de terra e/ou imóvel, empreendedores, construtores, planejadores, arquitetos, engenheiros, mão de obra, usuários, etc) fazem parte do processo de produção da construção civil. Essas organizações tem o mesmo objetivo de produzir uma obra de infra-estrutura ou um edifício de qualidade, porém são independentes, com culturas, procedimentos e objetivos específicos.

O sucesso e a qualidade deste processo dependem das relações estabelecidas entre esses participantes. Os atrasos, os altos custos e os desperdícios que potencializam as perdas e a geração dos resíduos, são resultados, principalmente, da comunicação falha entre as organizações: informação ineficiente e incompleta dos documentos técnicos; falta de planejamento, coordenação e monitoramento de decisões entre os projetos técnicos.

A figura 5 representa um processo de produção linear, tradicional. As fases trabalham desintegradas umas das outras, o que não permite a troca de informação para compatibilizar a informação técnica e as correções necessárias antes de se iniciar a edificação, evitando erros e retrabalhos.

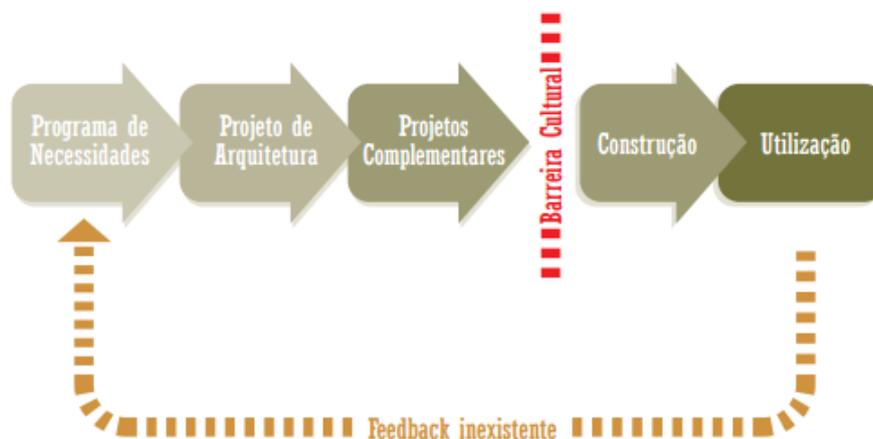


Figura 5 - Processo Construtivo Tradicional

Fonte: BLUMENSCHNEIN, 2007

De acordo com SANTOS (2015), o manuseio e estocagem de materiais podem se tornar importantes causadores de perda de material. Antes de receber um material, previamente planejado, deve-se pensar na logística deste material: onde ele irá descarregar, onde será armazenado e será utilizado. Por mais óbvio que pareça, o ideal é que ele seja armazenado próximo de onde será utilizado, de forma, a evitar seu manuseio por longas distâncias dentro da obra. O armazenamento deve ser feito de forma correta para cada tipo de material, a fim de minimizar as perdas.

A figura 6 representa um estoque de cimento. Este deve estar em ambiente seco, sobre pallets (sem contato com o chão) e em pilhas de até 10 sacos.



Figura 6 - Armazenamento de cimento em canteiro de obra

Fonte: Internet (www.getninjas.com.br)

Em países desenvolvidos, as obras de demolição são mais recorrentes que as obras de construção e, em consequência, gera um maior número de resíduos, tendo em vista ser comum as obras de reforma, renovação e infra-estrutura.

No Brasil, também há uma maior geração de RCD nas etapas de reformas e demolições. Em suas análises do mercado brasileiro, o SINDUSCON SP chegou à seguinte conclusão:

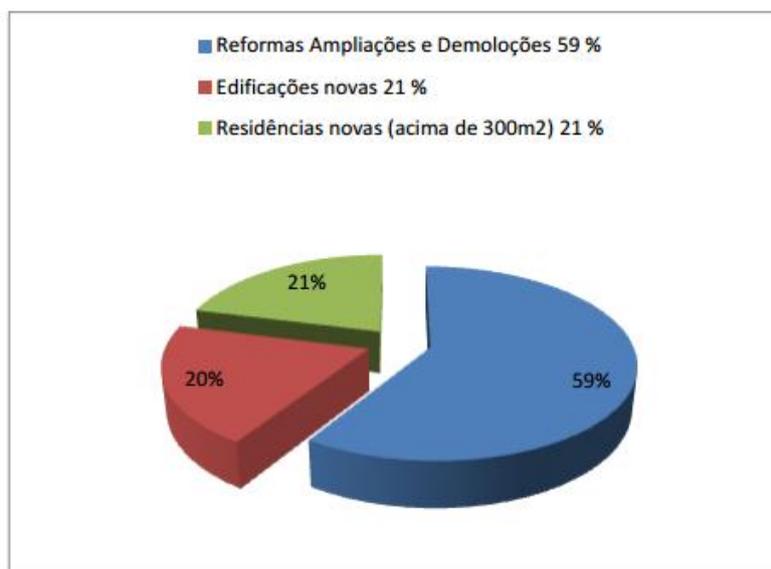


Figura 7 - Fonte geradora de RCD no Brasil

Fonte: SINDUSCON, 2005

2.4. Gerenciamento dos Resíduos

Segundo a Resolução 307 do CONAMA, gerenciamento dos resíduos consiste no sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

A gestão de RCD tem como objetivo a melhoria da limpeza urbana, redução dos custos, facilidade de disposição de pequenos volumes gerados e os descartes dos grandes volumes gerados, preservação ambiental, incentivo às parcerias e à redução da geração de resíduos nas atividades construtivas, bem como na preservação do sistema de aterros para a sustentação do desenvolvimento (SANTOS, 2008).

A gestão responsável dos resíduos gerados em canteiros de obras requer uma compreensão das complexidades do processo de construção de um edifício e as dificuldades em combinar as formas de disposição dos resíduos.

Esta complexidade requer uma combinação adequada das formas de disposição. Em primeiro lugar a não geração do resíduo, ou seja, a redução da geração do resíduo na fonte. Segundo, uma vez que o resíduo foi gerado sua reutilização deve ser considerada. A terceira forma de disposição possível é a reciclagem. A quarta alternativa é a recuperação de energia, ou seja, a incineração. E finalmente, a quinta forma de disposição é o aterro sanitário. Considerando que a legislação pertinente, que proibiu desde julho de 2004 o encaminhamento dos resíduos sólidos da construção a aterros sanitários e domiciliares, e considerando ainda, o potencial de reciclagem do resíduo da construção, o foco da gestão dos resíduos da construção deve ser na redução, na reutilização e na reciclagem dos resíduos gerados nos canteiros de obra.

A tabela 2 resume as principais responsabilidades e agentes relevantes à gestão dos resíduos oriundos de processos construtivos. Essas exigências nem sempre são realizadas pelos agentes, principalmente na questão da fiscalização.

Tabela 2 - Responsabilidade dos agentes na gestão dos RCD

Agente	Responsabilidades
Estado	<p>Introdução de instrumentos de regulamentação direta e econômica visando à regulamentação do gerenciamento da coleta;</p> <p>Transporte e fiscalização de disposição;</p> <p>Estabelecimento de padrões de fiscalização e a utilização de entulho para aterramentos;</p> <p>Busca do fortalecimento das atividades recicladoras;</p> <p>Estabelecimento de metas para redução do uso de recursos naturais escassos;</p> <p>Incentivos ao uso de resíduos oriundos de construção e demolição;</p> <p>Proibição da extração de areia e cascalho;</p> <p>Fortalecimento da produção de agregados reciclados;</p> <p>Estabelecimento de áreas legais de disposição de resíduos sólidos.</p>
Geradores	<p>Redução das perdas e da geração de resíduos através da adoção de métodos construtivos mais racionais;</p> <p>Gerenciamento de resíduos sólidos durante o processo construtivo;</p> <p>Conscientização da necessidade de utilizar materiais reciclados, de viabilizar as atividades de reciclagem, e de assegurar a qualidade dos resíduos segregados;</p> <p>Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento.</p>
Clientes, empreendedores, arquitetos, engenheiros e consultores.	<p>Estabelecimento de critérios de especificação que visem à utilização de materiais reciclados e adoção de princípios de sustentabilidade;</p> <p>Exigir a adoção de sistema gestão de resíduos em canteiros de obras;</p> <p>Definição de critérios de racionalização e padronização na definição dos métodos construtivos visando a produzir edifícios flexíveis e de fácil demolição.</p>
Transportadores	<p>Exigir o exercício da atividade de transportar de maneira consciente e responsável, levando os resíduos às áreas destinadas oficialmente pelo município;</p> <p>Conscientização de seus motoristas sobre os impactos causados por resíduos dispostos irregularmente;</p> <p>Contribuição para os programas de controle e fiscalização do volume e características do resíduo produzido.</p>
Processadores dos resíduos	<p>Assegurar a qualidade dos agregados reciclados.</p>
Universidades e Instituto de Pesquisa	<p>Implementação de laboratórios, desenvolvimento de pesquisa aplicada, assessoria parlamentar, cursos, consultoria, integração de agentes, entre outros.</p>

Fonte: BLUMENSCHIN, 2007

2.4.1. Redução dos RCD

A principal forma de se ter uma política de redução dos RCD é um planejamento adequado de cada passo da obra evitando-se os desperdícios pelo retrabalho e/ou falta de previsão de uma determinada etapa (SANTOS, 2008).

Para isso, é necessário analisar o processo construtivo que é constituído de cinco fases básicas:

- d) **Inicial** (que inclui o planejamento e a análise de viabilidade do empreendimento);
- e) **Elaboração de projeto;**
- f) **Construção** (execução);
- g) **Utilização** (que implica na utilização da edificação e na realização de manutenção e reformas);
- h) **Demolição** (em geral ocorre quando acaba a vida útil da edificação).
Ressalta-se que todos os participantes envolvidos nas diversas fases têm responsabilidades de prevenir e reduzir a geração de resíduos.

A redução da geração do resíduo está diretamente ligada ao processo construtivo como um todo, em todas as fases, as quais, devidamente integradas, reduzem o nível de perdas, diminuindo a geração de resíduos.

A figura 8 mostra a interdependência das decisões tomadas em cada fase do processo de projeto, produção, utilização e demolição de uma construção.

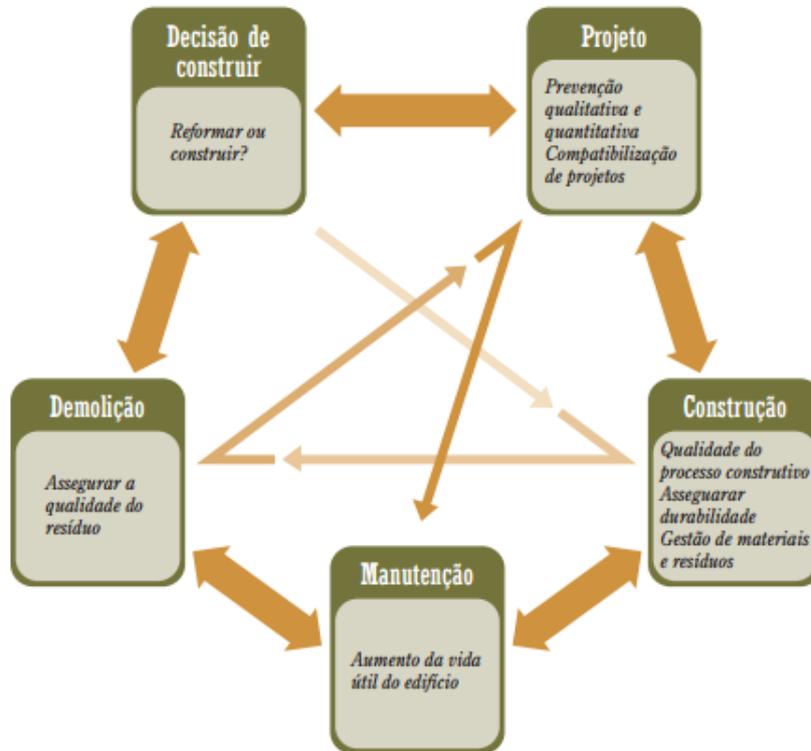


Figura 8 - Interdependência de decisões no processo construtivo

Fonte: BLUMENSCHNEIN, 2007

No Brasil, é incipiente a quantidade de empresas de construção civil que fazem a gestão de resíduos em canteiros de obras e desenvolvem ações planejadas para a redução de sua geração. A segregação, acondicionamento e disposição final dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas dos canteiros, vindo a interferir em questões relacionadas à competitividade sustentável (FIEB, 2013).

Por outra parte, JOHN E AGOPYAN (2003) identificaram algumas ações que direcionam para a menor geração de RCD: aperfeiçoamento de projeto, capacitação de pessoal, uso de ferramentas adequadas, melhor gestão de processos e medidas de controle de disposição. Indicam, ainda, que o reaproveitamento e a reciclagem devem ser tratados como soluções intermediárias, quando a redução da geração de RCD não for alcançada.

Atualmente, as empresas investem na racionalização da construção, como objetivo de garantir a otimização do processo (aumento da produtividade, rentabilidade e qualidade) através da aplicação de alguns princípios de economia. A racionalização acontece com ações simples e pequenas alterações na rotina de trabalho dos

operários que economizam tempo, material e mão de obra, além de promover a redução da geração de resíduos.

De acordo com MENEZES ET AL. (2011), o resíduo gerado durante a fase de construção é todo aquele material que não se incorpora à obra. O material que se incorpora à obra em excesso é um desperdício sem haver resíduo, por exemplo, um revestimento feito com espessura maior do que a prevista para corrigir defeitos de execução (alinhamento, prumo, etc.) de paredes de alvenaria/tijolos. A redução de resíduos nas fases de manutenção e demolição será tanto maior quanto menor for o desperdício de material resultante do excesso de sua incorporação à obra a fase de execução.

O autor ainda afirma que, nas reformas, a redução da geração de resíduos depende da maior ou menor facilidade de desmontagem dos componentes da construção, sendo assim função da concepção de projeto. Já as demolições devem ser seletivas, utilizando técnicas de beneficiamento para obter resíduos mais homogêneos. O processo de demolição seletiva consiste na desmontagem de componentes que serão diretamente reutilizados (telhas, esquadrias, madeiramento do telhado, etc.) sucedendo-se a demolição da obra por etapas: fundação, estrutura, alvenaria, etc.

De acordo com REGGIO E OHASHI (2008), em artigo publicado pela ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil), atualmente temos que a quantidade de municípios que faz a gestão de RCD é irrisória, se comparada com os mais de 5000 municípios existentes no Brasil, porém vale observar que as cidades de maior peso demográfico fazem parte dessa relação.

Mesmo conhecendo a necessidade de se reduzir a geração de resíduos, percebe-se ainda uma tímida reação, tanto por parte do setor público como do setor privado, no sentido de buscar saídas eficazes para solucionar o problema. Há dificuldade por parte das empresas e governos municipais em criar mecanismos de gerenciamento eficazes capazes de nortear um uso mais inteligente dos materiais nas frentes de trabalho, visando com isso uma redução no volume de material a ser descartado mais tarde (OLIVEIRA E MENDES, 2008).

2.4.2. Reutilização dos RCD

De acordo com a Resolução 307 do CONAMA, a reutilização de resíduos consiste no processo de reaplicação do resíduo, sem que ocorra a transformação do mesmo.

A reutilização hoje se torna de fundamental importância tendo em vista a escassez de matéria-prima cada vez maior no planeta. Além disso, segundo CARNEIRO ET AL. (2001), é uma alternativa de controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de subprodutos de atividades urbanas e rurais.

A reutilização de materiais, elementos e componentes se torna possível a partir da escolha dos sistemas e tecnologias de construção durante a fase de projeto. Os resíduos produzidos numa obra podem ser reutilizados desde que sejam utilizados procedimentos adequados. Na busca de mais racionalização, procura-se especificar materiais e equipamentos com maior durabilidade e maior número possível de utilizações.

Quanto ao processo de demolição, quando este for imprescindível, seja pelo fim da vida útil total do edifício, ou por motivos de forças maiores como, por exemplo, na ocorrência de incêndio, ou outro fenômeno, deve-se tentar proceder ao desmonte mantendo as partes intactas e/ou separadas para futuras reutilizações, seja em novos edifícios, seja em reciclagem. Observa-se que este objetivo será mais facilmente alcançado quanto maior for a racionalização definida na fase de projeto (uso de elementos padronizados e pré-fabricados) (BLUMENSCHNEIN, 2007).

Aterramento, base e sub-base de pavimentação são alguns dos mais usuais procedimentos de reutilização dos RCD.

Os dados presentes na tabela 3 mostram que, apesar dos RCD terem um alto potencial de recuperação, apenas uma pequena parcela é efetivamente recuperada. A nível internacional, os países da União Europeia destinam mais de 70% dos resíduos produzidos para aterros. No entanto, alguns países como Holanda, Bélgica e Dinamarca, atingiram taxas de reaproveitamento superiores a 80%.

No Brasil, ainda não há muita informação sobre a quantidade de resíduos reutilizados especificamente. Fala-se muito sobre a reciclagem de modo geral e da dificuldade de se estimar corretamente as quantidades de RCD para as possíveis destinações finais.

Tabela 3 - Quantidade de RCD reaproveitado em países da Europa

País	Entulho (mil ton/mês)	% Reutilização	% Depositado em aterros
Alemanha	59	17	83
Inglaterra	30	45	55
França	24	15	85
Itália	20	9	91
Espanha	3	< 5	> 95
Holanda	11	90	10
Bélgica	7	87	13
Áustria	5	41	59
Portugal	3	< 5	> 95
Dinamarca	3	81	19
Grécia	2	< 5	> 95
Suécia	2	21	79
Finlândia	1	45	55
Irlanda	1	<5	> 95
Média Total	18	28	72

Fonte: Adaptado de Celzo Luchezi (2012)

2.4.3. Reciclagem dos RCD

O CONAMA também define a reciclagem de resíduos na Resolução 307 como sendo o processo de reaproveitamento, após estes terem sido submetidos à transformação.

A nova utilização de um material ou componente implica uma série de operações, em geral de coleta, desmonte e tratamento, podendo voltar ao processo de produção. Quando os resíduos são selecionados, graduados e limpos adequadamente, tornam-se um agregado secundário, cuja utilização, em função da origem e tratamento, cobrem desde um aterro até um concreto.

O principal obstáculo na reciclagem estava na crença de que um material secundário não pode ter constância na qualidade. A produção de materiais secundários de alta qualidade é possível, porém, comparado com os materiais primários, apresentam maior custo na produção.

Na Holanda, Alemanha, Dinamarca e Bélgica as primeiras usinas de reciclagem entraram em serviço há 15 anos. No reino unido, França e Espanha a experiência ainda não cumpriu uma década (CARNEIRO et al, 2001).

No Brasil, existem aproximadamente 13 usinas de reciclagem de RCD. A primeira, inaugurada em 1991, denominada usina de entulho de Itainga, localizada na zona sul de São Paulo, e outra como as de Londrina no Paraná e as de Belo Horizonte em Minas Gerais (ZORDAN, 1997).

A reciclagem se fundamenta em princípios de sustentabilidade, implicando a redução do uso de recursos naturais (fontes de energia e matéria-prima primária) e na manutenção da matéria-prima no processo de produção o maior tempo possível.

De acordo com FRAGA (2006), os agregados são produtos de mineração de baixo valor, sendo que 2/3 dos custos são relativos às despesas de transporte. Como os RCD são gerados dentro das cidades, pode existir uma grande vantagem competitiva dos agregados reciclados com relação aos naturais.

Ainda segundo o autor, pode-se criar uma percepção de que a reciclagem do RCD é item fundamental para a consolidação do gerenciamento de entulho nas grandes cidades, porém, é importante deixar claro que esta não é a única solução, pois ainda existem problemas de viabilidade econômica e social a serem ultrapassados para que realmente possa se falar em reciclagem de RCD como forma de minimizar os impactos gerados pela geração de entulho.

Em 2015, o Professor Leonardo Miranda realizou uma pesquisa setorial para ABRECON com os objetivos de levantar informações atualizadas a respeito da atividade de reciclagem de resíduos no país, interpretar as informações obtidas e apresentar uma proposta de ação para melhoria e ampliação do setor. Foi feito um levantamento das usinas brasileiras e preparado um questionário para obtenção do máximo de informações sobre o sistema de reciclagem de RCD no país. Foram obtidas 105 respostas de diferentes empresas, o que representa cerca de 33% do total de empresas relacionadas à reciclagem de RCD. Para o cálculo das estimativas, foi considerado o valor de geração de RCD de 500 kg/hab.ano e uma massa específica de 1200 kg/m³.

Sabe-se que o estado de São Paulo é o que possui maior número de usinas instaladas, seja pela maior atividade de construção, ou por outros fatores, como o preço mais elevado dos agregados naturais ou maior fiscalização quanto à destinação dos RCD. Entretanto, comparativamente com o ano de 2013, houve um decaimento da representatividade do estado de São Paulo de 58% para 54%, enquanto o estado de Rio de Janeiro aumentou de 3% para 7%.

A pesquisa revelou que a maioria das usinas brasileiras possui uma capacidade instalada de produção entre 5000 a 10000 m³/mês, porém observa-se que o volume

médio produzido mensalmente é bem inferior a esse valor, onde 52% das usinas produzem menos de 3000 m³/mês.

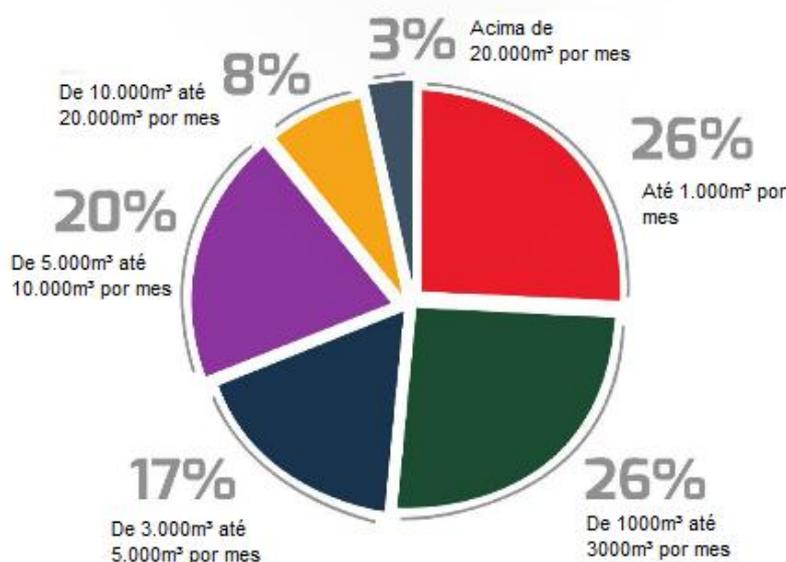


Figura 9 - Volume médio de agregado reciclado produzido por mês

Fonte: ABRECON, 2015

De acordo com PINTO (1999), o Brasil apresenta uma produção média anual de RCD de 500 kg/hab. Considerando que, pelo IBGE, o país possuía em 2014 202.032.670 habitantes e que a massa unitária de RCD é de 1200 kg/m³, estima-se que a geração anual de RCD seja de 84.180.696 m³.

Das 105 usinas entrevistadas, 93 apresentaram respostas relativas à produção atual e à capacidade máxima de produção (em função da capacidade de produção horária do britador). Os resultados indicam que essas 93 usinas juntas estão produzindo, em média, 431.500 m³ de agregados reciclados por mês, enquanto a capacidade máxima instalada é de 958.000 m³ por mês. Com esses valores e considerando que são conhecidas ao menos 310 usinas no país, é apresentada na tabela 4 uma estimativa do percentual de RCD reciclado no país, considerando a produção atual e a produção em sua capacidade máxima.

Tabela 4 - Estimativa de porcentagem de RCD reciclado no país

	Produção atual		Produção em capacidade máx.	
	2015	2013	2015	2013
Para 93 usinas	6%	6%	14%	13%
Proporcional para 310 usinas	21%	19%	46%	42%

Fonte: Adaptado de ABRECON, 2015

2.5. Destinação Final

No que diz respeito ao transporte dos resíduos gerados nas obras da cidade e utilizados em outras obras, sabe-se que sua coleta e transporte dependem da quantidade de resíduos gerados. Os pequenos geradores são aqueles que acumulam 2m³ por indivíduo e esses devem respeitar o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) (SANTOS, 2015).

De acordo com o PMGRCC, para remoção de RCD de pequenas obras residenciais, desde que os resíduos estejam acondicionados em sacos plásticos de 20 litros, pode ser solicitado o apoio do município no seu recolhimento.

Esse Programa tem como objetivo melhorar a limpeza urbana, reduzir os impactos ambientais e responsabilizar os pequenos geradores. Para isso são determinados pontos de coleta onde são instaladas caçambas de entulho que posteriormente serão trocadas pelo órgão responsável. Na cidade do Rio de Janeiro, estes pontos são identificados como ECOPONTOS e a coleta e destinação dos resíduos, são de responsabilidade da COMLURB, empresa municipal responsável pela coleta de toda a cidade.

De forma a facilitar a remoção dos resíduos da obra, estes devem estar acondicionados de forma adequada. O mais comum é a utilização de caçambas que tem sua localização previamente definidas, facilitando a remoção feita por caminhões.

Os grandes geradores, que superam os 2m³ por gerador, são obrigados a desenvolver e apresentar os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil por empreendimento. O transporte deve ser realizado pelo próprio gerador ou transportador credenciado/licenciado pelo Poder Público.

De acordo com o CONAMA, a implementação das diretrizes presentes na Resolução 307 é necessária para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos da construção civil. Sabendo que a disposição dos resíduos em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental, foi discriminada a destinação correta de cada tipo de resíduo de acordo com a sua classificação.

Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. Eles devem ser destinados, após a triagem, da seguinte forma:

I - Classe A – Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduo classe A de reservação de material para usos futuros.

II - Classe B – Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

III - Classe C – Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D – Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

O SINDUSCON – SP elaborou uma tabela com algumas alternativas para disposição dos resíduos da construção para auxiliar na organização do canteiro e orientar quanto à destinação adequada.

Tabela 5 - Alternativas de destinação para os RCD

TIPOS DE RESÍDUO	CUIDADOS REQUERIDOS	DESTINAÇÃO
Blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, concreto, tijolos e assemelhados	Privilegiar soluções de destinação que envolvam a reciclagem dos resíduos, de modo a permitir seu aproveitamento como agregado.	Áreas de Transbordo e Triagem, Áreas para Reciclagem ou Aterros de resíduos da construção civil licenciadas pelos órgãos competentes; os resíduos classificados como classe A (blocos, telhas, argamassa e concreto em geral) podem ser reciclados para uso em pavimentos e concretos sem função estrutural.
Madeira	Para uso em caldeira, garantir separação da serragem dos demais resíduos de madeira.	Atividades econômicas que possibilitem a reciclagem destes resíduos, a reutilização de peças ou o uso como combustível em fornos ou caldeiras.
Plásticos (embalagens, aparas de tubulações etc.)	Máximo aproveitamento dos materiais contidos e a limpeza da embalagem.	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
Papelão (sacos e caixas de embalagens) e papéis (escritório)	Proteger de intempéries.	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
Metal (ferro, aço, fiação revestida, arames etc.)	Não há.	Empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam estes resíduos.
Serragem	Ensacar e proteger de intempéries.	Reutilização dos resíduos em superfícies impregnadas com óleo para absorção e secagem, produção de briquetes (geração de energia) ou outros usos.
Gesso em placas cartonadas	Proteger de intempéries.	É possível a reciclagem pelo fabricante ou empresas de reciclagem.
Gesso de revestimento e artefatos	Proteger de intempéries.	É possível o aproveitamento pela indústria gesseira e empresas de reciclagem.
Solo	Examinar a caracterização prévia dos solos para definir destinação.	Desde que não estejam contaminados, destinar a pequenas áreas de aterramento ou em aterros de resíduos da construção civil, ambos devidamente licenciados pelos órgãos competentes.
Telas de fachada e de proteção	Não há.	Possível reaproveitamento para a confecção de bags e sacos ou até mesmo por recicladores de plásticos.
EPS (poliestireno expandido – exemplo: isopor)	Confinar, evitando dispersão.	Possível destinação para empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam, reciclam ou aproveitam para enchimentos.
Materiais, instrumentos e embalagens contaminados por resíduos perigosos (exemplos: embalagens plásticas e de metal, instrumentos de aplicação como broxas, pincéis, trinchas e outros materiais auxiliares como panos, trapos, estopas etc.)	Maximizar a utilização dos materiais para a redução dos resíduos a descartar.	Encaminhar para aterros licenciados para recepção de resíduos perigosos.

Fonte: SINDUSCON – SP, 2005

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, tem-se que 71% dos municípios brasileiros prestam serviço de coleta de RCD, o que não garante, porém, que o mesmo seja destinado aos locais adequados, estabelecidos pelo CONAMA.

Considerando apenas a parcela coletada de RCC em centros urbanos, ou seja, a coleta dos resíduos de construção civil e demolição de obras sob responsabilidade municipal e os lançados em logradouros públicos, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) publicou em 2011 que foram coletados 106.549 t/dia de RCC pelos municípios do Brasil, que com uma população total de 162.318.568 gera um per capita de 0,239 t/hab.ano.

Segundo Júnior (2011) citado por Ferreira e Moreira (2013), mais de 50% do total de entulho gerado diariamente na cidade do Rio de Janeiro é gerado basicamente por

pequenas obras e reformas, entulho este considerado um resíduo heterogêneo, ou seja, misturado com diversos outros resíduos.

Devido ao fato de que a Prefeitura tem a responsabilidade pela gestão de resíduos gerados pelos pequenos geradores de Entulho, a COMLURB iniciou, em meados da década de 90, uma atividade chamada de “Remoção Gratuita”. Através de uma ligação telefônica, o cidadão solicita a remoção de entulho ou bens inservíveis de sua casa e a COMLURB vai buscá-lo com agendamento, num prazo de atendimento de 72 horas.

A figura 10 apresenta as formas de disposição do RCC em 2008, tendo-se como principal destinação os vazadouros, que misturados com outros resíduos representam a pior forma de disposição final.

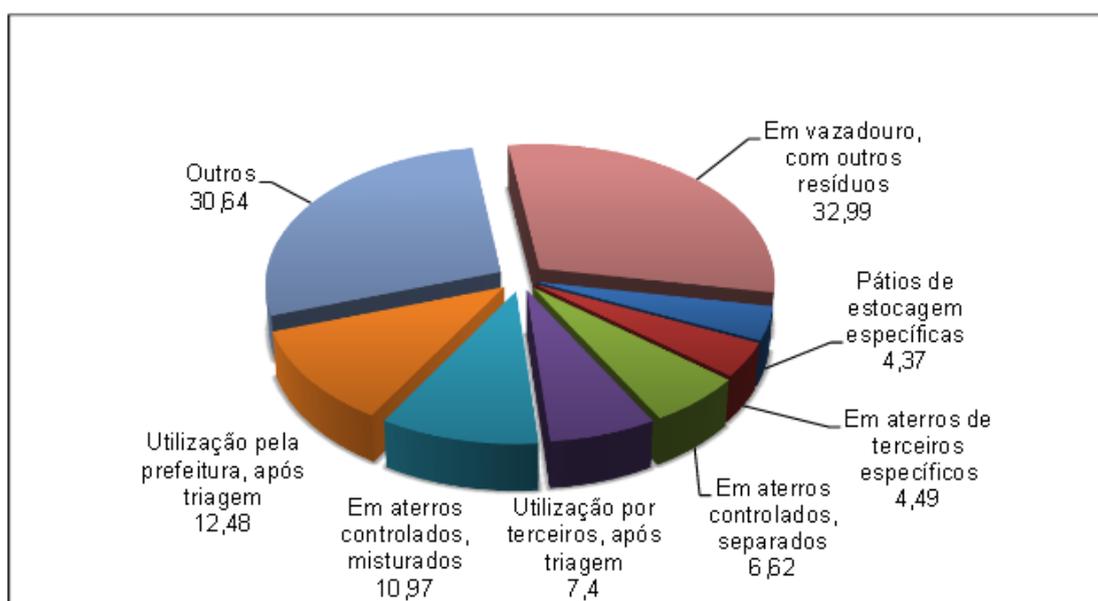


Figura 10 - Formas de disposição do RCC (%)

Fonte: FERREIRA E MOREIRA, 2013

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2011 indica que, considerando a quantidade de unidades de processamento de RSU dos municípios participantes da pesquisa, os locais corretos de triagem, transbordo e disposição de RCC representam apenas 5% do total.

Esses 5% se referem a 110 unidades destinadas ao processamento de resíduos de construção civil (ou resíduos de construção e demolição), embora possam não ser exclusivas para este tipo de resíduo, sobretudo no caso das áreas de transbordo e

triagem. Enquadram-se neste bloco as citadas ATTs (áreas de transbordo e triagem) com 46 unidades, os aterros de construção civil com 44 unidades (embora haja em que se confundam com os antigos “bota-foras”) e as estações de reciclagem de RCC que somam 20 unidades.

2.6. Impactos Ambientais

De acordo com a Resolução CONAMA nº01 de 1986, pode-se considerar impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente a qualidade dos recursos ambientais.

O grande desperdício de materiais na construção civil tem como consequência o esgotamento dos recursos naturais e a maior geração de resíduos. Além disso, outros impactos ambientais podem ser identificados no setor da construção civil como emissão de gases poluentes, gasto de energia, contaminação da água por lavagem de matéria prima extraída, tornando necessária a incorporação da sustentabilidade em suas atividades.

A formação de áreas degradadas tem início já na fase de extração de recursos naturais. A retirada de matéria prima pode resultar na extinção e escassez de fontes e jazidas, alterações na flora e fauna do entorno destes locais de exploração, reconfiguração das superfícies topográficas, aceleração do processo erosivo, modificações de cursos d’água, interceptação do lençol freático, aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar, aumento de ruídos e propagação de vibrações no solo (SANTOS, 2015).

A mineração de materiais de uso imediato na construção, como areia, brita e argila, aliada a outras formas de uso e ocupação do solo, vem gerando uma diminuição das jazidas disponíveis para o atendimento das demandas das principais regiões do país, em especial no Sul e Sudeste. Segundo JOHN (2000), em São Paulo, por exemplo, o esgotamento das reservas próximas da capital faz com que a areia natural já esteja sendo transportada de distâncias superiores a 100 km, resultando em significativo aumento no consumo de energia e geração de poluição.

Na figura 11 a área degradada é um rio já assoreado, resultado da extração de minerais, utilizados na construção civil como agregados naturais, por exemplo, a areia.



Figura 11 - Margem desmatada e assoreamento do rio devido à extração de areia

Fonte: SANTOS, 2015

Além dos impactos causados por empresas mineradoras, também ocorre degradação através de extrações ilegais de recursos naturais.



Figura 12 - Extração ilegal de areia em leito do rio, no sul do ES

Fonte: Internet (www.g1.globo.com)



Figura 13 - Extração ilegal de areia do Rio de Contas, BA

Fonte: Internet (www.g1.globo.com)

Além do esgotamento dos recursos naturais, a geração de RCD também causa impactos ambientais devido à saturação de espaços disponíveis na cidade para descarte desses materiais. Para FERREIRA E MOREIRA (2013), as soluções normalmente empregadas para o RCC (aterros e lixões) possuem vários inconvenientes ambientais e se tornam cada vez mais caros em função da diminuição de seu espaço útil. Somado a isso, a simples disposição inadequada do entulho desperdiça um material que pode ter um destino mais nobre através da reutilização e reciclagem. O reaproveitamento deste resíduo é uma alternativa econômica vantajosa, na medida em que introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso para diferentes fins.

Outros impactos causados por disposição irregular de RCD são o comprometimento da paisagem (poluição visual), comprometimento do trânsito de pedestre e veículos nas vias, interferência no sistema de drenagem, focos e proliferação de vetores de doenças, redução da vida útil dos aterros sanitários, afeta ainda as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, a qualidade dos recursos naturais, a biota e as atividades sociais e econômicas, entre outros.

O entulho é responsável por altos custos sócio-econômicos e ambientais nas cidades em função das deposições irregulares. Por exemplo, na cidade de São Paulo,

estes gastos são na ordem de R\$ 45 milhões/ano para coleta-transporte-deposição destes resíduos (ANGULO et al., 2002 apud FRAGA, 2006).



Figura 14 - Exemplos de entulhos despejados em vias públicas

Fonte: MAIA E GAIA, 2012



Figura 15 - RCD depositado às margens dos córrego Macambira, em Goiânia

Fonte: CAVALCANTE E FERREIRA, 2007

3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A GESTÃO DE RESÍDUOS

No Brasil, há um crescente aumento do volume de RCD gerado devido à elevação do nível de vida, o aumento da densidade demográfica e o desenvolvimento tecnológico. De acordo com a ABRELPE (2013), uma importante fonte na geração de RCD são os geradores informais, para os quais dados estatísticos estão indisponíveis e podem representar uma parcela importante dos RCD gerados em um município. Porém, em algumas grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador, têm estimativas específicas. Observa-se na figura 16 o crescimento da geração de RCD em cada região no período de 2010 a 2013.

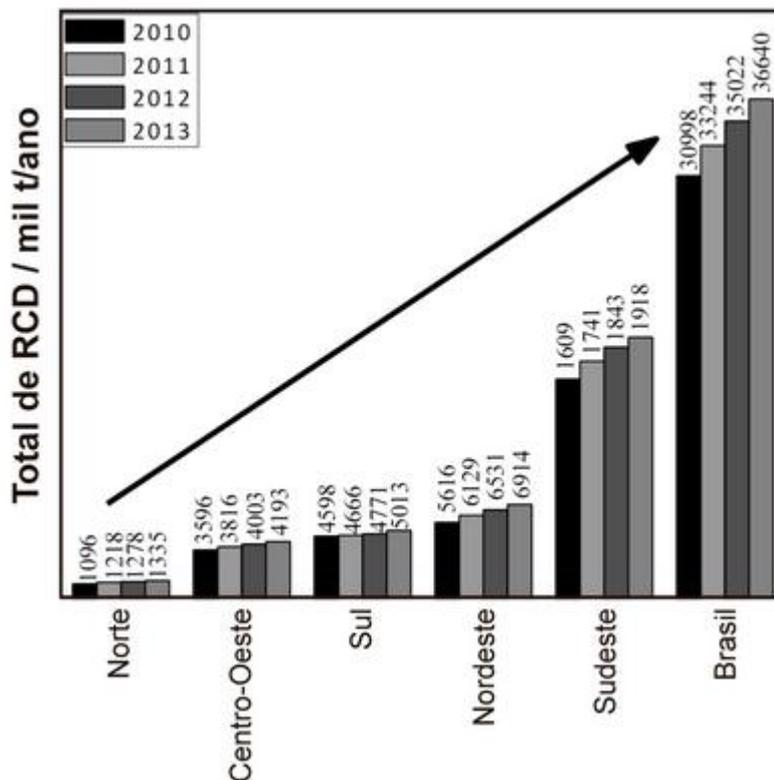


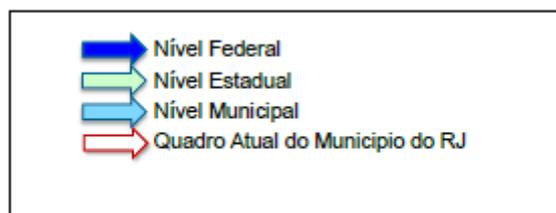
Figura 16 - Total de RCD coletado no Brasil e em cada região

Fonte: ABRELPE, 2013

Esse aumento da geração de RCD torna necessária a criação de leis e normas, com o objetivo de orientar e direcionar os agentes geradores de resíduos. Os marcos regulatórios operam em três níveis: Federal, Estadual e Municipal, sendo que o nível municipal deve ser igual ou mais restritivo que o estabelecido nos níveis estadual e federal.

No Brasil, as legislações referentes aos RCD ainda são pouco expressivas, no entanto, a resolução nº 307 do CONAMA (2002), juntamente com a Lei 12.305/10 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (2010), são de extrema importância, pois regulamentam definições nos aspectos que tangem os RCD, atribui responsabilidades aos geradores, transportadores e gestores públicos, estabelecendo ainda, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, assim como as ações necessárias à minimização dos impactos ambientais. A PNRS propõe ainda a prática de hábitos de consumo sustentável e contém instrumentos variados para propiciar o incentivo à reciclagem e à reutilização dos resíduos sólidos, bem como a destinação ambientalmente adequada dos dejetos.

Para ilustrar a evolução no cenário da legislação no três níveis de governança ambiental que influenciam na gestão do município do Rio de Janeiro, FERREIRA E MOREIRA (2013) elaboraram um esquema apresentado na figura 17. As cores identificam os níveis de abrangência das normas, decretos, leis e resoluções, conforme a legenda.



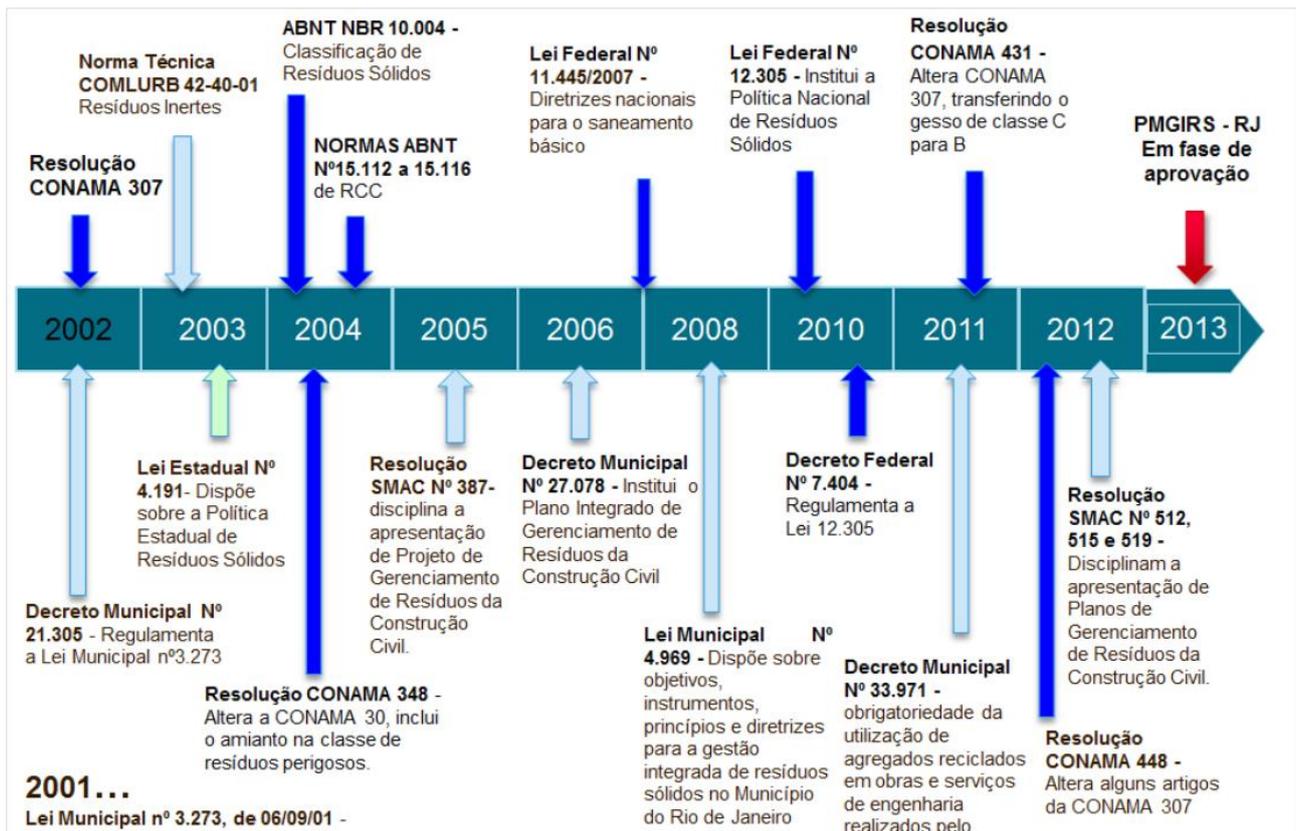


Figura 17 - Evolução da legislação de RCD para o município do Rio de Janeiro

Fonte: FERREIRA E MOREIRA (2013)

3.1. Nacional

Como já foi dito anteriormente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece, na Resolução nº307, aprovada em 2002, diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Nessa Resolução é possível encontrar definições, classificações dos resíduos e as disposições corretas para cada tipo. A partir desta publicação, a responsabilidade pela gestão dos RCC passa da administração pública para os geradores.

Em 2004, foram publicadas as primeiras normas nacionais relacionadas aos RCD. As especificações da ABNT podem ser vistas na tabela 6.

Tabela 6 - Normas nacionais relacionadas ao RCD

NORMA	TÍTULO
NBR 10004/04	Resíduos Sólidos – Classificação
NBR 15112	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15114	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem– Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos
NBR 15116	Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Fonte: A AUTORA

A Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Essa Política objetiva a reciclagem de lixo e o correto manejo dos produtos usados com alto potencial de contaminação. Nesta lei está inclusa a criação da logística reversa para determinados materiais como agrotóxicos, pilhas, baterias, eletroeletrônicos, pneus, lâmpadas e óleos lubrificantes. Além da determinação de que cidadãos separem o lixo doméstico nas cidades onde existe coleta seletiva, a lei prevê subsídios da União para catadores de lixo e a indústria da reciclagem. Também está contemplada nesta lei, a proibição da criação de lixões onde os resíduos são despejados a céu aberto assim como moradia e criação de animais nesses locais (SANTOS, 2015).

A Lei estabelece uma diferenciação entre resíduo e rejeito num claro estímulo ao reaproveitamento e reciclagem dos materiais, admitindo a disposição final apenas dos

rejeitos. A coleta seletiva deve ser entendida como um fator estratégico para a consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em todas as suas áreas de implantação. No tocante ao serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos deverá se estabelecer, no mínimo, a separação de resíduos secos e úmidos e, progressivamente, se estender à separação dos resíduos secos em suas parcelas específicas segundo as metas estabelecidas nos planos de gestão de resíduos sólidos.

A responsabilidade compartilhada faz dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos. A lei visa melhorar a gestão dos resíduos sólidos com base na divisão das responsabilidades entre a sociedade, o poder público e a iniciativa privada.

Todos têm responsabilidades segundo a PNRS: o poder público deve apresentar planos para o manejo correto dos materiais (com adoção de processos participativos na sua elaboração e adoção de tecnologias apropriadas); às empresas compete o recolhimento dos produtos após o uso e, à sociedade cabe participar dos programas de coleta seletiva (acondicionando os resíduos adequadamente e de forma diferenciada) e incorporar mudanças de hábitos para reduzir o consumo e a consequente geração.

A tabela 7 destaca os principais instrumentos legais em âmbito nacional relacionado à gestão e gerenciamento dos RCC:

Tabela 7 - Instrumentos legais e normativos de abrangência nacional

Documento	Descrição
Decreto nº 7.404/2010	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências.
Lei Federal nº 12.305/2010	Institui a PNRS, altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
Lei Federal nº 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº8.036, de 11 de maio de 1990, nº8.666, de 21 de junho de 1993 e nº8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
Resolução nº 348/2004	Altera a Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
Resolução nº 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC.
Lei Federal nº 10.257/2001	Estatuto das Cidades: regulamenta os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
Lei Federal nº 9.605/1998	Lei de Crimes Ambientais: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei Federal nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Fonte: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (IPEA) (2012)

3.2. Estadual

Em 30 de Setembro de 2003, foi promulgada a Lei nº 4.191 que consiste na Política Estadual dos Resíduos Sólidos. Essa Lei reforça algumas definições, princípios e objetivos da Resolução 307 do CONAMA além de avançar no que diz respeito à fiscalização, educação ambiental e licenciamento. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro.

Foi determinado que as atividades geradoras de quaisquer tipos de resíduos ficam obrigadas a cadastrarem-se junto ao órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental, para fins de controle e inventário dos resíduos sólidos gerados. Dentro do pedido de licenciamento deve constar o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos onde a geradora descreve o empreendimento e suas atividades, caracteriza e quantifica seus resíduos, e suas ações de segregação, acondicionamento, transporte, reutilização/reciclagem e destinação.

Ainda de acordo com a Lei nº 4.191, todos os municípios do Rio de Janeiro devem incluir em seus diagnósticos ambientais e planos diretores a previsão de áreas passíveis de licenciamento pelo órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental, para efetivação da destinação final de seus resíduos sólidos urbanos industriais e/ou não industriais, no prazo de (01) um ano.

A Política Estadual dos Resíduos Sólidos não difere os resíduos urbanos dos resíduos gerados pela construção civil, porém, qualquer obra pode ser considerada uma “atividade geradora” devendo obedecer às obrigatoriedades contidas na legislação.

3.3. Municipal

No âmbito municipal, existe o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) que engloba todo e qualquer resíduo (não somente os de construção) e tem como objetivo estabelecer procedimentos para a coleta dos resíduos, o transporte e para as possíveis destinações finais.

O PGRS possui algumas normas e legislações que devem ser seguidas:

- a) PI-PR-039 – Gerenciamento de Resíduos Sólidos

- b) CONAMA 275/01 – Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva
- c) CONAMA 307/02 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil
- d) NBR 10004/04 – Classificação de Resíduos Sólidos
- e) NBR 11174/90 – Armazenamento de Resíduos Classe II – Inertes e III – Não Inertes
- f) NBR 12235/92 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos

Dentro do PGRS estão discriminadas as responsabilidades das áreas de gerência, além das responsabilidades do próprio plano.

O gerente de contrato, por exemplo, deve cumprir os requisitos legais e contratuais (cabe ao gerente facilitar e viabilizar o cumprimento dos requisitos da licença ambiental, ou seja, deve criar o setor de meio ambiente, fazer a contratação das empresas prestadoras de serviço, etc), garantir a manutenção do PGRS, fornecer os recursos necessários para que o setor de meio ambiente possa atender os requisitos (providenciar caçambas e construção de baias para armazenamento de resíduos quando necessário, por exemplo), entre outros.

Dentro das responsabilidades do PGRS em si estão, a identificação das fontes geradoras dos resíduos sólidos, classificação dos resíduos produzidos pelo empreendimento, estimar a quantidade produzida de cada tipo de resíduo e identificar as estruturas disponíveis nas comunidades próximas ao empreendimento (locais próximos para destinação de resíduos).

A classificação dos resíduos em obra é feita primeiramente de acordo com a NBR 10004/04, ou seja, os resíduos são classificados em Classe I ou II e posteriormente são classificados de acordo com a resolução 307 do CONAMA (Classe A, B, C ou D).

Mais especificamente para a construção civil, o Decreto Municipal nº27.078, de 27 de setembro de 2006, institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no município do Rio de Janeiro. Entre outras coisas, esse decreto considera a Resolução nº307 do CONAMA quando este afirma que todos os geradores, pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem resíduos na construção civil, deverão ter como objetivo prioritário a sua não geração e, secundariamente, a redução, reutilização e reciclagem e destinação final adequada.

A gestão dos resíduos da construção civil, no âmbito do município do Rio de Janeiro deve obedecer ao decreto nº27.078, ficando regulamentados:

- I – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil relativo à implantação e operação de pontos de entrega para pequenos volumes;
- II – Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil relativos ao licenciamento municipal de obras;
- III – Uso de agregados reciclados em obras e serviços públicos e privados.

Nos termos do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, os resíduos devem ser destinados em áreas indicadas, visando à triagem, reutilização, reciclagem, reservação ou destinação mais adequada, conforme a Resolução 307 do CONAMA.

O decreto ainda define agregado reciclado como sendo “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos da construção civil de natureza mineral, designados como classe A, que apresenta características técnicas adequadas para aplicações em obras civis conforme especificação das normas brasileiras”.

É feita a diferenciação da quantidade de resíduos gerados pelos agentes e a correta destinação para cada uma. Pequenos volumes de resíduos são aqueles de até 2m³/semana para cada gerador individualmente e esses devem ser encaminhados aos ECOPONTOS (Ponto de Entrega Voluntária para Pequenos Volumes).

Os ECOPONTOS são equipamentos públicos destinados ao recebimento de pequenos volumes de RCC gerados e entregues pelos municípios. Os resíduos podem ainda ser coletados e entregues por pequenos transportadores, desde que não motorizados, contratados pelos geradores.



Figura 18 - Ecopontos para entrega de resíduos na cidade do Rio de Janeiro

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro

Os geradores de grandes volumes de RCC (ou seja, agente que produzem uma quantidade superior à 2m³/semana para cada gerador individualmente), públicos ou privados, devem implementar Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, em conformidade com as diretrizes da Resolução 307 do CONAMA, estabelecendo os procedimentos específicos da obra para o manejo e destinação adequados dos resíduos.

Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem contemplar as seguintes etapas:

- I – Caracterização:** Etapa em que o gerador deve identificar e quantificar os resíduos de construção e demolição gerados no empreendimento;
- II – Triagem:** Deve ser realizada preferencialmente pelo gerador na origem ou ser realizada nas áreas de destinação regularizadas, respeitadas as classes dos resíduos;
- III – Acondicionamento:** O gerador deve garantir o confinamento dos resíduos desde a geração até a etapa de transporte, assegurando, em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e reciclagem;
- IV – Transporte:** Deve ser realizado pelo próprio gerador ou por transportador cadastrado pelo Poder Público, respeitadas as etapas anteriores e as normas técnicas vigentes para transporte de resíduos;

V – Destinação: Deve ser prevista e realizada em áreas de destinação regularizadas e estar documentada com Notas de Transporte de Resíduos (NTR).

Quanto as áreas de destinação para grandes volumes, são constituídas as Áreas de Transbordo, Triagem, Reciclagem e Reservação Temporária de RCC (ATTRs). Podem ser implantadas e operadas por órgão público ou particular, sendo necessário nesse caso, apresentar um projeto de empreendimento em conformidade com a Resolução da CONAMA e também o Plano de Controle de Recebimento de Resíduos previsto na NBR 15.112/2004 e 15.114/2004 a fim de garantir o licenciamento.

Segundo o estudo feito pela COMLURB em dezembro de 2011, era coletado por dia 10.815t de lixo, onde cerca de 12% dele é de resíduos da construção civil. O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos menciona os RCC e garante todas as obrigatoriedades feitas por Decretos Municipais e Resoluções da SMAC. Além disso, afirma que com o encerramento do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho o novo destino final das ATTs é o Centro de Tratamento de Resíduos do Rio em Seropédica.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO: RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO

4.1. Aspectos Históricos

Os processos de reciclagem dos resíduos de construção podem ser vistos desde a época dos romanos, onde foram encontrados registros da utilização de alvenaria britada para produção de concreto. Porém, a primeira utilização significativa de resíduos de construção e demolição data da época do fim da Segunda Guerra Mundial. Milhares de escombros ficaram espalhados pelas cidades e, a necessidade de matéria prima para reconstrução dos centros urbanos e a falta de local de destino do grande volume de resíduos, fizeram com que estes fossem reaproveitados.

Com o fim da Segunda Guerra a quantidade de entulho nas cidades alemãs era de aproximadamente 400 a 600 milhões de metros cúbicos. As estações de reciclagem produziram cerca de 11,5 milhões de metros cúbicos de agregado reciclado de alvenaria e 175000 unidades foram construídas (LEITE, 2001).

Segundo AFFONSO (2005), várias foram as motivações para desenvolver pesquisas sobre esse tema. A escassez de materiais e a falta de espaço para a disposição final dos resíduos na Europa e Japão, por exemplo. Desastres naturais como terremotos e tsunamis também geram uma grande quantidade de resíduos que podem ser reaproveitados. Estimativas realizadas por FONSECA (2005) mostram que um terremoto na cidade de Marmara, na Turquia, gerou, em 20 segundos, 13 milhões de metros cúbicos de resíduos. Outro exemplo é a tsunami que atingiu a Indonésia em 2005, destruindo diversas construções e gerando algo em torno de 80 milhões de metros cúbicos de resíduos.

Os países desenvolvidos, que apresentam uma elevada porcentagem de resíduos efetivamente reciclados, possuem uma política ambiental rigorosa e leis que punem a disposição irregular de resíduos, além disso, premiam as iniciativas que visam o reaproveitamento e reciclagem desses materiais.

A tabela 8 apresenta o panorama em alguns países europeus quanto à reciclagem de RCD. É possível ver que o reaproveitamento dos resíduos se dá, predominantemente em agregados para concreto.

Tabela 8 - Geração, reciclagem e aplicação de RCD em alguns países europeus

País	Produção anual (x10 ⁶ t)	Reciclada %	Aplicação da porcentagem reciclada	
Bélgica	7,0 (1990)	87%	Agregados para concreto: 19,5%	Estradas: 80,5%
França	24,0 (1990)	15%	Agregados para concreto: 10%	Estradas: 54,5%
				Contenções e aterros: 35,5%
Reino Unido	30,0 (1999)	45%	Agregados para concreto: 4,5%	Estradas: 20%
				Contenções e aterros: 75,5%
Espanha	38,5 (2003)	10%	Bases e sub-bases de rodovias: 30%	Base de solos: 35%
				Aterros: 35%

Fonte: CORREA et al., 2009.

A reciclagem de RCC no Brasil pode ser dividida em três fases principais: Antes da Resolução CONAMA 307/2002, entre sua publicação e a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e após a regulamentação da PNRS (FERREIRA E MOREIRA, 2013).

Antes da Resolução 307 do CONAMA, observam-se tentativas pontuais de reciclagem. A reutilização dos resíduos de construção tinha como objetivo apenas economizar com os gastos de matérias-primas. Além dessas iniciativas de empresas privadas, houve a tentativa de alguns municípios em estimular a reciclagem, como é o caso da prefeitura de Itatinga, em São Paulo, que em 1991 montou uma central de reciclagem. A operação foi inviabilizada devido à falta de gestão sustentável de RCC, já que não foi considerada a logística de todo o processo.

Outras usinas foram construídas em diferentes municípios, porém a única cidade que conseguiu inicialmente implantar uma gestão de RCC, com programas de prevenção de deposições clandestinas e de promoção de reciclagem, foi Belo Horizonte.

Segundo FERREIRA E MOREIRA (2013), até o ano de 2002, o país contou com 16 usinas, em média três usinas inauguradas por ano. A partir da homologação da Resolução CONAMA 307/02, observa-se um grande incentivo à reciclagem, visto que os grandes geradores passaram a ter que desenvolver e implantar um plano de gestão de RCC, visando sua destinação ambientalmente correta, com foco na reutilização e reciclagem.

Na tabela 9, estão apresentadas algumas usinas de reciclagem de RCD no Brasil construídas até o ano de 2004.

Tabela 9 - Usinas de reciclagem de RCD no Brasil

	LOCAL	INÍCIO DE ATIVIDADE	TIPO DE BRITADOR
1	SÃO PAULO – CAPITAL – SP	1991	IMPACTO
2	RIBEIRÃO PRETO – SP	1996	IMPACTO
3	SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – SP	1996	IMPACTO
4	PIRACICABA – SP	1997	MANDÍBULA
5	VINHEDO – SP	2001	MANDÍBULA
6	GUARULHOS – SP	2002	IMPACTO
7	RIBEIRÃO PIRES – SP	2002	IMPACTO
8	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP	2004	IMPACTO
9	BELO HORIZONTE – ESTORIL-MG	1995	IMPACTO
10	BELO HORIZONTE – PAMPULHA-MG	1996	IMPACTO
11	LONDRINA – PARANÁ	1994	MOINHO
12	BRASILIA - JÓQUEI - DISTRITO FEDERAL	2001	IMPACTO
13	BRASILIA - CEILÂNDIA - DISTRITO FEDERAL	2001	IMPACTO
14	MACAÉ – RIO DE JANEIRO	2000	MOINHO
15	SÃO GONÇALO - RIO DE JANEIRO	2004	MOINHO
16	RIO DE JANEIRO - CAPITAL –R.J.	2003	MANDÍBULA

Fonte: NUNES, 2004

A Imic, empresa que atua na produção de equipamentos e instalações de beneficiamento define os britadores como sendo: o Britador de Impacto é a máquina recomendada para alta redução de material e melhoria em sua forma, dando um formato cúbico ao produto final. Seu processo interno de britagem é formado por um rotor central que lança as partículas de material contra sua câmara de britagem, que é revestida pelo próprio material beneficiado. As partículas lançadas em sua câmara de britagem tendem a chocar entre si, gerando um material mais uniforme, tanto em faixa granulométrica, como em formato. Os Britadores de Mandíbulas são utilizados principalmente em britagens primárias e secundárias, possibilitando a fragmentação de material de grandes dimensões reduzindo-os para os processos seguintes. Os Moinhos são constituídos de uma carcaça cilíndrica de metal giratória, revestida internamente com placas de aço ou borracha, contendo no interior uma carga solta de barras ou esferas de metálicas.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos alavancou mais ainda a reciclagem, duplicando o cenário de usinas contabilizadas em dois anos. Segundo LEITE (2014), a ABRECON foi criada no início de 2011, em São Paulo, motivada pelo PNRS. A ideia era introduzir a questão da reciclagem de RCC e RDC no debate público e criar unidades de empresas recicladoras no país.

De acordo com a ABRECON, a implantação de britadores, móveis ou fixos, e de outros equipamentos para formatar usinas de reciclagem de resíduos de construção, cresceu mais de 20% nos últimos anos. Atualmente, o setor de reciclagem de RCD é constituído por 310 usinas, classificadas em pequenas e médias empresas. O Brasil gera anualmente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção e demolição. No último ano, as 310 usinas reciclaram cerca de 17 milhões de metros cúbicos. O restante seguiu para aterros sanitários ou tiveram outra destinação.

4.2. Processos de Reciclagem

Após a redução dos resíduos gerados, o próximo passo seria a reutilização dos materiais sem qualquer tipo de beneficiamento. Como essa solução nem sempre é possível e há a necessidade de solucionar o problema da grande quantidade de RCC, da demanda de matéria-prima, dos problemas de gerenciamento dos resíduos e do impacto ambiental causado, deverá ser feita a reciclagem do material. Para isso, é necessário fazer algum tipo de beneficiamento para que possam ser utilizados.

O beneficiamento dos RCD envolve a coleta, transporte, separação, britagem, peneiramento e estocagem para uso posterior. O beneficiamento dos resíduos não difere muito do tratamento dado aos agregados naturais e muitos equipamentos podem ser utilizados para ambos os casos.

Podem ser considerados dois tipos básicos de reciclagem, que são a reciclagem primária e a reciclagem secundária. A reciclagem primária acontece quando o resíduo é reciclado dentro do mesmo processo do qual se originou. Por outro lado, a reciclagem secundária acontece quando o resíduo é reciclado em um processo diferente daquele do qual se originou (JOHN, 2001).

Na reciclagem primária, pode-se destacar o uso de pequenos moinhos em obras de edificações. Essa técnica começou a ser implantada no Brasil na década de 80 e consiste na moagem de resíduos menos resistentes, como os provenientes de argamassa e alvenaria, e a reutilização desse material durante a obra. A reciclagem

secundária consiste no beneficiamento dos resíduos em centrais próprias para esse fim, para onde fluem os volumes de RCC.

4.2.1. Quem faz?

O processo de beneficiamento dos resíduos e produção dos agregados reciclados é feito nas usinas de reciclagem. A usina de reciclagem nada mais é, do que uma britagem adaptada para triturar entulho e possui equipamentos como britadores, peneiras, transportadores de correia, etc.

Para a implantação de uma usina, é necessário conhecer o mercado da construção civil da região e ter conhecimento de três pré-requisitos básicos: o volume gerado de RCD possível de ser reciclado, o tipo de material e a aplicação que se pretende para o mesmo, local disponível para instalação da unidade recicladora.

O local adequado de instalação das usinas é muito importante para o sucesso do processo de reciclagem. O ideal é que as usinas estejam próximas às fontes geradoras e dos locais de uso, porém não devem se situar em áreas predominantemente residenciais para não atrapalhar o tráfego na região. Desse modo, o mais aconselhável é que sejam instaladas mais próximas a aterros, onde toda a infra-estrutura necessária já existe, facilitando o transporte, diminuindo os custos, além de contribuir para que os coletores de resíduos atuassem de forma benéfica para o bom funcionamento do programa de reciclagem.

Uma alternativa interessante é a distribuição de pontos de coleta deste resíduo, estrategicamente espalhados pela cidade, o que dará suporte ao sistema, facilitando a eliminação de grandes distâncias de transporte e de pontos de descarte clandestinos (LEITE, 2001).

Mesmo sendo implantadas de forma correta, as usinas de reciclagem devem dispor de itens que eliminem ou minimizem os possíveis impactos ambientais causados pela emissão de poeira e ruídos. Alguns exemplos são:

- a) a plantação de cerca viva no entorno da usina, com objetivo de ajudar a conter a poeira e o ruído, além de melhorar a imagem do local;
- b) realização do cobrimento do piso da usina com material reciclado, que quando compactado ajuda a diminuir o pó com o tráfego dos caminhões;
- c) revestimento do britador com manta anti-acústica e aos locais de impacto com manta de borracha para redução do ruído;

- d) redução das alturas de descarga dos materiais nos pontos de transferência;
- e) instalação de aspersores nos pontos de entrada e saída de materiais para redução da emissão de pó.

4.2.2. Como é feito?

Após o recebimento do entulho gerado nas obras, as usinas de reciclagem devem seguir alguns passos para a geração de agregado reciclado, que consiste no material granular proveniente do beneficiamento dos RCD.

Primeiramente, deve-se fazer a avaliação e separação dos resíduos, diferenciando os materiais não recicláveis dos entulhos de construção, como plásticos, metais, papelão, trapos, entre outros. Os resíduos classe A, que são passíveis de serem beneficiados e reciclados como agregados, são então limpos e descontaminados para então iniciar o processo de britagem, peneiramento e estocagem do material. A figura 19 mostra de forma simplificada esse processo.



Figura 19 - Processo de reciclagem dos RCD

Fonte: NUNES e MAHLER, 2009

O processo de britagem ou trituração é a etapa principal do beneficiamento dos resíduos, podendo ser feita uma ou mais vezes, dependendo da dimensão e granulometria desejados.

Ao serem projetadas, as centrais de reciclagem podem apresentar diferentes portes e complexidades, dependendo da quantidade e dos tipos de resíduos a serem beneficiados, além da quantidade de dos tipos de agregados reciclados a serem produzidos.

Na reciclagem de entulho são utilizados equipamentos diversos como pá-carregadeira, alimentador vibratório, britador, eletroímã para separação das ferragens, peneiras, mecanismos transportadores e eventualmente sistemas para eliminação de contaminantes (SILVA, 2007).

Na figura 20 é mostrado um esquema típico da indústria recicladora de RCD e seus produtos finais.

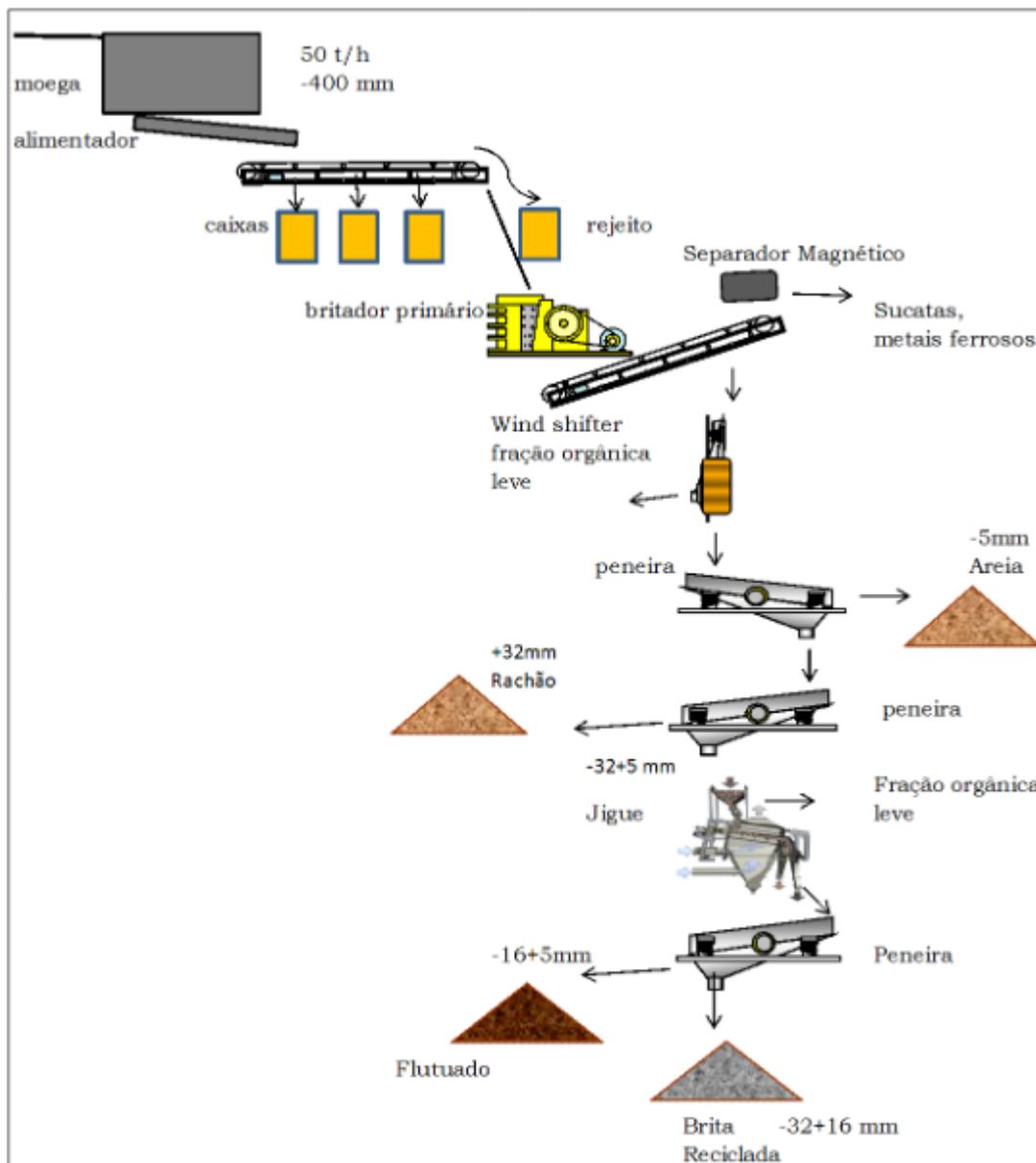


Figura 20 - Esquema típico da indústria recicladora e seus produtos finais

Fonte: LIMA, 2013

A separação do RCC na fonte geradora dos resíduos favorece muito a reciclagem e é indispensável para a obtenção de reciclados com melhor qualidade. Isto se deve ao fato dos principais condicionantes do processo de reciclagem ser a necessidade de gerar produtos homogêneos e de características adequadas, a partir de resíduos heterogêneos e de origem bastante diversificada (FERREIRA e MOREIRA, 2013).

4.3. Resíduos Reciclados

Muitos materiais de construção possuem potencial de reciclagem como o vidro, plásticos, metais, concreto, tijolo e madeira. Estes geralmente formam a grande parte dos materiais que compõem uma construção. O processo de fabricação destes materiais pode facilmente incorporar resíduos. Vidro, plástico e metal podem ser transformados por meio de calor. Concreto ou tijolos podem ser triturados e usados como agregado em alvenaria nova. A madeira pode ser serrada e utilizada como painéis prensados. Entretanto, ressalta-se novamente a importância de uma avaliação de sustentabilidade multicritérios, pois a utilização desse tipo de insumo para a fabricação de um novo produto não deve comprometer a sua qualidade e durabilidade (OLIVEIRA, 2015). O CBCS (2009), Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis, levanta algumas questões a serem consideradas a respeito dos problemas da reciclagem e do uso de conteúdo reciclado:

- a) O processo de reciclagem pode ter elevado impacto ambiental;
- b) A vida útil do produto reciclado pode ser reduzida em comparação a do original;
- c) O produto com conteúdo reciclado pode apresentar risco ambiental por contemplar resíduo perigoso.

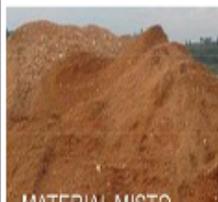
Além disso, se o conteúdo reciclado não contribui com as suas propriedades para o desempenho do produto final, não é possível afirmar que o produto é sustentável, pois está evitando somente o descarte antecipado.

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

Através da reciclagem de materiais, a energia incorporada do material é preservada. A energia utilizada no processo de reciclagem para a maioria dos materiais é muito menor do que a energia necessária para a produção original. Exemplifica o caso do alumínio reciclado que utiliza somente de 10 a 20% da energia necessária para transformar o minério bruto em produto final.

Atualmente, a utilização de agregados alternativos aos de origem natural vem crescendo bastante. A tabela 10 apresenta um resumo das diferentes características e aplicações dos agregados reciclados.

Tabela 10 - Produtos reciclados e suas aplicações

Imagem	Produto	Características	Uso recomendado
	Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
	Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
	Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
	Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
	Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: ABRECON, 2016

Os resíduos reciclados de alvenaria são, em geral, menos resistentes e mais porosos que os de concreto, sendo necessário aumentar o consumo de cimento em 20% na produção do concreto novo para que este apresente a mesma resistência do concreto convencional.

Os resultados do trabalho de LEVY, HELENE (1996), citado por SILVA (2014), evidenciam vantagens econômicas na utilização da reciclagem do entulho para a produção de argamassa, tanto no consumo de cimento como no de cal. Seus resultados apresentaram ainda, um crescimento de resistência à compressão para um aumento do teor de materiais cerâmicos nas argamassas, e esse aumento foi mais acentuado quanto mais rico foi o traço. O mesmo aconteceu na resistência à tração da

argamassa, porém o aumento não foi tão acentuado para o traço mais rico, como na resistência à compressão.

Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados na substituição de agregados convencionais por agregados oriundos de reciclagem quanto à qualidade do resíduo que dá origem ao material reciclado, uma vez que via de regra estes são constituídos pela mistura de diversos materiais cerâmicos como concretos, argamassa, tijolos, telhas, azulejos, etc. Dessa forma, é sempre necessária a realização de ensaios para caracterização do agregado reciclado e estudo dos traços para a determinação do consumo de aglomerante e agregados que não prejudiquem as características mecânicas do concreto e argamassa.

4.3.1. Principais Aplicações

No Brasil, por não haver um bom processo de separação dos resíduos na fonte (canteiros de obra, demolições e reformas) e por ser feito o beneficiamento em instalações simples, os agregados reciclados não apresentam homogeneidade de suas características, dificultando seu emprego. Independente da aplicação que se queria dar ao resíduo reciclado, de um modo geral, quando mais adequado às normas técnicas, maiores serão suas possibilidades de utilização.

A utilização dos materiais reciclados pode ser feita em diversas áreas como, por exemplo:

- a) Preenchimento de rasgos de paredes para tubulações hidráulicas e elétricas;
- b) Chumbamento de caixas elétricas e tubulações;
- c) Contrapiso de interiores de unidades habitacionais;
- d) Sistemas de drenagem (deve possuir alta permeabilidade para coletar e transportar os efluentes gerados em uma velocidade maior que a de produção);
- e) Aterramento de valetas junto ao solo;
- f) Pavimentação;**
- g) Agregados para o concreto;**
- h) Agregados para a argamassa.**

Sendo os três últimos, as principais aplicações dos resíduos reciclados.

4.3.1.1. Preenchimento de rasgos de paredes para tubulações hidráulicas e elétricas

Na instalação de tubulações elétricas, telefônicas, hidráulicas e sanitárias, procede-se o corte da parede e após este corte, sua devida instalação, com posterior cobrimento e regularização com argamassa de cimento, cal e areia. Esta argamassa de cobrimento e regularização colocada após a instalação das tubulações pode ser substituída por argamassa cujo agregado miúdo seja agregado miúdo reciclável e, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos (GRIGOLI, 2002).

4.3.1.2. Chumbamento de caixas elétricas e tubulações

Segundo GRIGOLI (2002), as caixas elétricas, de uma construção, normalmente são assentadas em paredes de alvenaria com argamassa de cimento, cal e areia. Da mesma forma que a argamassa de cobrimento e regularização utilizada no preenchimento de rasgos de parede, esta argamassa pode ser plenamente substituída por argamassa cujo agregado miúdo seja agregado miúdo reciclável e, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos.

O autor afirma ainda que durante a implantação dos sistemas elétrico, telefônico, hidráulico e sanitário de uma edificação, determinadas prumadas não se consegue embuti-las na espessura original das paredes de alvenarias e, portanto optando-se por uma alternativa de embonecamento. Este embonecamento, normalmente se utiliza de blocos cerâmicos e argamassa de cimento, cal e areia para a sua viabilização física no canteiro. Tanto os blocos cerâmicos, quanto a argamassa, podem ser substituídos respectivamente por entulhos (pedaços grandes) de blocos cerâmicos e argamassa de agregado miúdo reciclável.

4.3.1.3. Contrapiso de interiores de unidades habitacionais

Nos interiores de unidades habitacionais, antes da colocação do piso de acabamento, existindo a necessidade de uma regularização de nível, procede-se a execução do contrapiso. Este contrapiso pode ser executado com um concreto a base de entulho reciclável, onde o agregado graúdo tem que ter dimensão máxima característica adequada à espessura que o contrapiso que será executado. Em casos onde o contrapiso tem que ser executado com espessura superior a 6,00cm,

incorpora-se no local da aplicação, pedaços de entulho cerâmico para alcançar os volumes desejados. Após o lançamento deste concreto, executa-se um capeamento definitivo e regularizador com argamassa desempenada com funções anti-abrasiva, preparada para a receber a colagem ou o assentamento do piso definitivo (GRIGOLI, 2002).

4.3.1.4. Sistemas de drenagem

Dadas as características de resistência mecânica dos entulhos, podem ser usados com segurança em obras de drenagem como lastro, para assentamento de tubos, envelopamento de galerias e como camadas drenantes, sendo para esta última, com ausência de finos. Pátios de estacionamento onde não existe pavimentação, e devidamente instaladas existem redes de drenagem, os agregados graúdos que envolvem as tubulações de drenagem, são substituídas por agregados graúdos recicláveis sem presença de finos e de torrões de argamassa (GRIGOLI, 2002).

4.3.1.5. Aterramento de valetas junto ao solo

Segundo GRIGOLI (2002), durante a execução de uma edificação, existe uma fase em que ocorrem escavações na forma de valetas junto ao solo, para o lançamento de tubulações elétricas, telefônicas e hidro-sanitárias. Ao término da alocação destas tubulações, promove-se a recolocação do solo devidamente compactado para o preenchimento da valeta executada. O entulho de obra pode ser utilizado para o aterramento destas valetas, utilizando-o misturado ao solo da própria valeta. Esta operação evita a saída do entulho de obra como "bota fora" e, o solo retirado da valeta permanece na obra podendo ser utilizado em serviços de jardinagens.

4.3.1.6. Pavimentação

De acordo com a ABRECON, a pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário), na forma de brita corrida ou ainda em misturas do agregado reciclado com o solo, é forma mais simples da reciclagem do entulho exigindo menor utilização de tecnologia, o que implica menor custo do processo. Esse processo permite ainda a utilização de todos os componentes minerais do entulho sem a necessidade de separação de nenhum deles, economia de energia no processo de moagem,

possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido e uma maior eficiência do resíduo quando adicionado a solos saprolíticos em relação à mesma adição feita com brita.

De acordo com LEITE (2007), a primeira via pavimentada com resíduo da construção civil foi na cidade de São Paulo no ano de 1984, localizada na zona oeste da cidade, caracterizada por um baixo volume de tráfego e recebeu o RCD em sua camada de reforço de subleito. A construção teve acompanhamento executivo e de desempenho pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e na época apresentou bom desempenho. Na figura 21 apresenta-se o esquema estrutural deste pavimento, onde se percebe que as camadas de reforço do subleito e sub-base foram construídas com agregados reciclados.

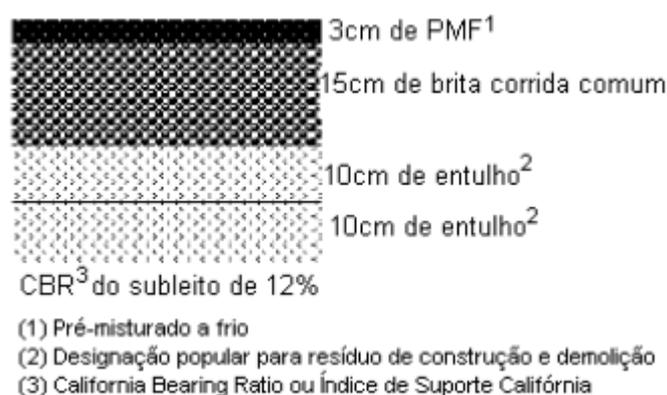


Figura 21 - Esquema estrutural do pavimento em São Paulo

Fonte: HORTEGAL et al., 2009

O emprego dos agregados na produção de componentes usados na pavimentação vem sendo intensificado nos últimos anos e embora as pesquisas realizadas, indiquem um bom potencial para utilizar agregados reciclados para esse fim, o seu uso é relativamente pequeno, sendo que uma das maiores dificuldades para a aplicação do agregado reciclado é sua variabilidade (SILVA et al., 2015).

No seu processo de produção, o entulho deve ser processado por equipamentos de britagem ou trituração até alcançar uma granulometria desejada. O solo que será utilizado na mistura deve ser classificado e os resultados dos ensaios de dosagem da mistura solo-entulho devem ser avaliados, bem como as variações da capacidade de suporte, da massa específica aparente máxima seca, da umidade ótima e da expansão.

ZORDAN (1997), LEITE (2001), entre outros autores, avaliaram a viabilidade técnicas da utilização desses materiais em relação as propriedades mecânicas e concluíram que agregados reciclados podem sim ser utilizados na pavimentação.

Tabela 11 - Casos de uso do RCD em pavimentação

Locais	Tipo	Uso	Resultados
Belo Horizonte (Av. Raja Gabaglia e Av. Mário Werneck)	Flexível	Camadas de reforço do sub-leito, sub-base e base da pavimentação	Similaridades nas estruturas dimensionadas com agregados reciclados e convencionais
Manaus	Flexível	Retirada do seixo (agregado graúdo) da mistura asfáltica e substituição por agregados reciclados	As misturas com agregado reciclado precisam de uma maior quantidade de ligante, pois estes materiais apresentam maior porosidade que os convencionais
Espanha	Flexível	Agregado reciclado de RCD em troca do agregado graúdo no concreto asfáltico	Vantagens econômicas para obras e minimização dos impactos socioambientais que os resíduos causam
New Jersey (EUA)	Rígido	Emprego de agregados reciclados de concreto em base e sub-base de pavimentos	Amostras de agregados reciclados de concreto e as misturas de agregados reciclados de concreto com BGS apresentam resultados de módulo de resiliência superiores ao da BGS

Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2015

Outro exemplo de utilização do RCD na pavimentação ocorreu no Parque Tecnológico do Rio de Janeiro, localizado na Ilha do Fundão. O Parque Tecnológico é formado por uma área de aproximadamente 110 mil m², sendo que a área a ser pavimentada é de 12.772 m². Na construção das camadas de base e sub-base dos pavimentos, foram usados os resíduos da demolição do Hospital Universitário do Fundão.



Figura 22 - Execução da base realizada em RCD

Fonte: CORREIA, 2014

Segundo CORREIA (2014), a demolição de parte do Hospital Universitário do Fundão gerou um montante de 137 mil toneladas de resíduo que foi leiloadado, sendo

vencedora a empresa Britex Soluções Ambientais, com sede em São Paulo. A empresa construiu uma mini usina com britadores móveis capazes de produzir materiais como brita corrida, pedras brita e pó de pedra. O RCD gerado pela demolição de parte do Hospital Universitário foi analisado em laboratório em um trabalho desenvolvido por Freitas (2011). Inicialmente foi feita a identificação da composição do resíduo, em seguida foi determinada a granulometria e o ISC (índice de suporte Califórnia) do material.

A tabela 12 apresenta as características da estrutura de pavimento com material de RCD estudado por Correia (2014).

Tabela 12 - Características da estrutura do pavimento com RCD

Camada	Material	Espessura (cm)	ISC
Capa	CBUQ	5,0	-
Base	Brita corrida	20,0	82,0%
Sub-base	Pó de pedra	20,0	26,7%
Reforço do subleito	Selec. CBR > 10	60,0	3,0%
Subleito	Terraplenagem	-	-

Fonte: CORREIA, 2014

O autor analisou ainda os custos envolvidos no processo tanto com o uso de materiais convencionais como com o uso dos resíduos de demolição.

Tabela 13 – Comparativo de custo entre material convencional e RCD

Material	Brita corrida	Pó de pedra	Transporte	Total
Convencional	R\$ 104.870,90	R\$ 99.717,39	R\$ 56.206,89	R\$ 260.795,18
RCD	R\$ 63.860,00	R\$ 63.860,00	R\$ 12.040,37	R\$ 139.760,37
Diferença	R\$ 41.010,90	R\$ 35.857,39	R\$ 44.166,52	R\$ 121.034,81
RCD/ Convencional	60,9%	64,0%	21,4%	53,6%

Fonte: CORREIA, 2014

A partir dos resultados obtidos na tabela 13 pode-se verificar que existe uma diferença no custo total de R\$ 121.034,81, sendo que a estrutura de pavimento com RCD é bem mais barata do que a estrutura com material convencional.

4.3.1.7. Agregados para Concreto

Outro uso para os RCD são os agregados para o concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (brita e areia). Além de também utilizar todos os componentes minerais do entulho, economizar energia no processo de moagem e possibilitar a utilização de maior parcela dos resíduos produzidos, o uso desse material como agregado de concreto também possibilita melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.

ASSIS (2015) realizou um estudo comparativo de resistência do concreto utilizando materiais convencionais e agregados reciclados. As amostras de RCD foram coletadas de uma Usina de Reciclagem e eram compostas principalmente de resíduos de concreto, argamassa e material cerâmico. As amostras foram secas em estufas, peneiradas e separadas em agregados miúdos e graúdos, para produção de dois traços de concreto.

Tabela 14 - Resumo do ensaio de compressão dos corpos de prova

Id. CP	Agregado	Idade (dias)	Tensão Ruptura (Mpa)	Carga Ruptura (kgf)
01	Natural	7	7,3	5.850
02	Natural	7	6,2	4.950
03	Natural	7	7,5	6.000
07	RCD - Graúdo	7	9,6	7.680
08	RCD - Graúdo	7	8,4	6.730
09	RCD - Graúdo	7	9,5	7.630
13	RCD - Miúdo	7	8,7	6.960
14	RCD - Miúdo	7	8,4	6.750
15	RCD - Miúdo	7	7,4	5.890
04	Natural	28	10,2	8.180
05	Natural	28	9,1	7.320
06	Natural	28	10,2	8.200
10	RCD - Graúdo	28	12,1	9.700
11	RCD - Graúdo	28	13,7	11.010
12	RCD - Graúdo	28	13,7	10.990
16	RCD - Miúdo	28	13,5	10.850
17	RCD - Miúdo	28	13,4	COLUNAR
18	RCD - Miúdo	28	14,6	COLUNAR

Fonte: ASSIS, 2015

ASSIS (2015) observou que utilizando 100% de agregado reciclado miúdo a maior resistência a compressão alcançada aos 7 dias foi 8,7 MPa. LEITE (2001) em seu estudo experimental, utilizando 50% de agregado reciclado miúdo, obteve resistência média aos 7 dias de 17,7 MPa, o que comprova que utilizando em menores proporções, o agregado reciclado miúdo pode apresentar melhores resistências a compressão. Utilizando 50% de agregado graúdo reciclado e relação água/cimento de 0,6, LEITE (2001) obteve 18,5 MPa de resistência a compressão média aos 7 dias de cura dos corpos de prova. Os resultados obtidos no estudo de ASSIS (2015) expostos na tabela 13, utilizando 100% de agregado reciclado graúdo e relação água/cimento também de 0,6, chegaram a pouco mais de 9 MPa aos 7 dias.

NOGUEIRA (2013) também realizou um estudo do uso de agregados reciclados na fabricação de concreto, visando um caso prático que poderia ser utilizado em uma construção de um edifício no Distrito Federal. Também foi feito um estudo comparativo com três tipos diferentes de concreto. O primeiro foi elaborado com RCD, tanto a brita como a areia, sem lavagem prévia dos mesmos e cimento CP III. No segundo tipo, seguiu-se os mesmos passos do primeiro, para fins de comparação, porém com agregados naturais e cimento CP II. Já no terceiro tipo de concreto, também foi utilizado agregado reciclado e cimento CP III, porém houve uma mudança no traço e foi realizado o processo de pré-lavagem dos agregados graúdos.

Os resultados do estudo realizado por NOGUEIRA (2013) mostram que o concreto ensaiado do primeiro tipo apresentou uma resistência de 30 MPa em seus 28 dias, mas a resistência característica foi de 19,3% abaixo do esperado. No caso prático da obra estudada, a fundação do edifício foi projetada com um concreto de resistência de 25 MPa e mediante os resultados encontrados, concluiu-se que era possível substituir o concreto convencional pelo sustentável.

Na figura 23, estão apresentadas as resistências dos três tipos de concreto. Apesar de não se notar uma discrepância muito grande no resultado ao final dos 28 dias, o concreto do tipo 3 não atingiu a resistência esperada de 30 MPa.

Este resultado pode ser explicado pela lavagem dos agregados antes da confecção do concreto tipo 3, tendo em vista que a maior parte dos materiais finos presentes no RCD é cimento e este pode contribuir positivamente para a resistência do concreto (NOGUEIRA, 2013).

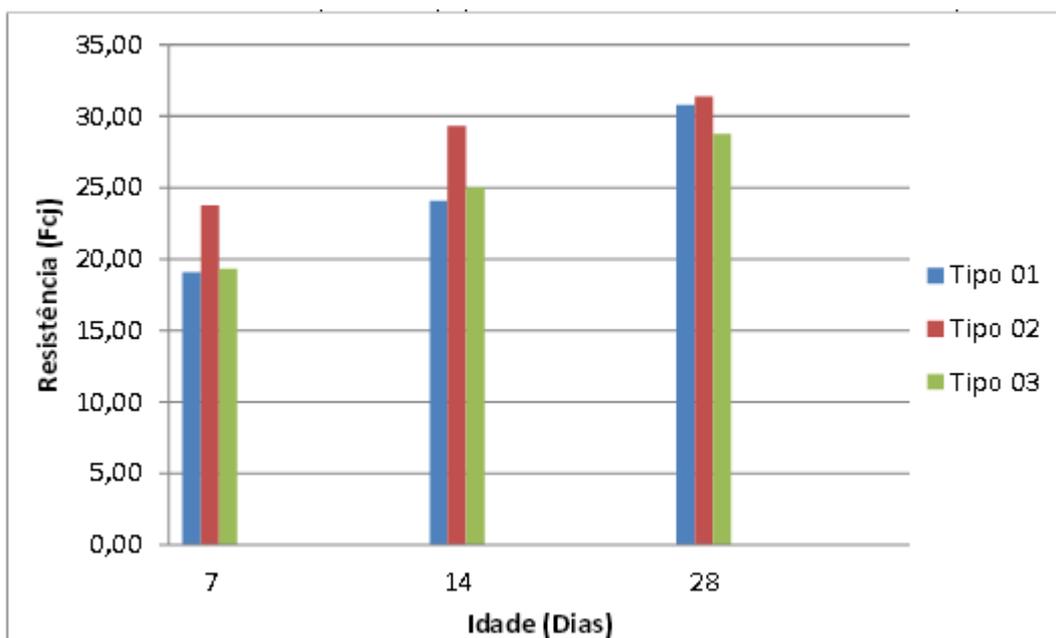


Figura 23 - Resistência à compressão dos concretos estudados

Fonte: NOGUEIRA, 2013

4.3.1.8. Agregados para Argamassa

Além dessas aplicações, os RCD podem ainda ser processados por equipamentos denominados "argamasseiras", que moem o entulho na própria obra, resultando em grãos com dimensões semelhantes aos da areia, para serem utilizados como agregado para argamassas de assentamento e revestimento.

Entretanto, para dissipar o uso do RCD em obras de engenharia são necessários parâmetros que controlem a produção e a aplicação dessas argamassas, reduzindo a variabilidade das propriedades, ocasionada pela heterogeneidade do material e para garantir um bom desempenho dos revestimentos de paredes e tetos com RCD, quanto ao aparecimento de patologias, como fissuras e descolamentos (MIRANDA E SELMO, 2004 apud JOCHEM, et al. 2013)

Em geral, a produção de agregado reciclado graúdo de RCD gera uma quantidade importante de elementos finos. ANGULO, et al. (2009) mostram em seu estudo que a fração menor que 4,8 mm representa 50%, em peso, da produção do agregado reciclado graúdo.

Alguns estudos têm mostrado a viabilidade da substituição parcial da areia natural por cerâmica vermelha britada, na produção de argamassas. JOCHEM ET AL. (2013) realizaram um estudo para avaliar o efeito das propriedades das argamassas de

revestimento com substituição total do agregado natural pelo agregado reciclado de RCD e pela adição de finos (dimensão inferior a 0,15 mm) no esqueleto granulométrico. Comparou-se o agregado reciclado com o agregado de britagem.

Os agregados reciclados beneficiados em usinas de beneficiamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) apresentam maior porosidade do que os agregados artificiais, oriundos de rochas britadas. A porosidade influencia na resistência mecânica, nas propriedades físicas, na absorção de água e na massa específica aparente dos concretos e argamassas produzidos com estes agregados. Uma maior porosidade do RCD é atribuída às parcelas de concreto, argamassa, material cerâmico e rocha, presentes em sua composição. Entretanto, a segregação dos componentes do agregado reciclado não é tecnologicamente viável como operação de controle para assegurar a qualidade do agregado reciclado tendo em vista o seu comportamento nas aplicações de concretos e argamassas (JOICHEM et al., 2013).

Os autores concluíram ainda que as argamassas produzidas com o agregado reciclado apresentam características apreciáveis para a utilização como argamassas de revestimento, com melhores resultados em algumas propriedades, como resistência à compressão, resistência à tração na flexão e absorção capilar, quando comparadas as argamassas com agregado de britagem.

Outras vantagens desse processo são que o entulho é utilizado no local gerador, o que elimina custos com transportes, além de ocorrer redução no consumo do cimento e cal.

Em um estudo mais detalhado realizado por CALCADO (2015), foram moldadas 12 misturas com três distintos traços e fator água/cimento e foram classificadas como argamassa rica, mediana e pobre. A argamassa rica possuía traço 1:2 e fator água/cimento de 0,45; a mediana possuía traço 1:4 e fator água/cimento de 0,68 e a pobre 1:6 e 1,05.

Para cada uma dessas classificações foram definidas diferentes porcentagens de substituição, baseadas no volume de cimento, do agregado natural (AGN) pelo reciclado (AGR): 0% (sem substituição do agregado natural), 15%, 25% e 50%. A tabela 15 apresenta a classificação, a nomenclatura e a proporção dos agregados que foram adotados para as misturas de argamassa produzidas e serão citados nos resultados dos ensaios.

Tabela 15 - Classificação das misturas das argamassas

Classificação	Nomenclatura	% Agregados
Argamassa rica	M1	100% AGN
	M1-15%	85% AGN + 15% AGR
	M1-25%	75% AGN + 25% AGR
	M1-50%	50% AGN + 50% AGR
Argamassa mediana	M2	100% AGN
	M2-15%	85% AGN + 15% AGR
	M2-25%	75% AGN + 25% AGR
	M2-50%	50% AGN + 50% AGR
Argamassa pobre	M3	100% AGN
	M3-15%	85% AGN + 15% AGR
	M3-25%	75% AGN + 25% AGR
	M3-50%	50% AGN + 50% AGR

Fonte: CALCADO, 2015

A autora concluiu que em relação ao ensaio de resistência à compressão, o empobrecimento do traço das argamassas ocasiona uma perda de até 85% nas misturas de referência. Em todas as misturas de argamassa rica com agregado reciclado ocorreu redução da resistência à compressão; enquanto na argamassa mediana apenas a mistura com 50% de substituição apresentou redução. Já na argamassa pobre foi observado que a mistura com 25% de substituição apresentou acréscimo nesta propriedade. Desta forma, pode-se concluir que a substituição do agregado natural pelo reciclado na argamassa pobre até 50% e na argamassa mediana até 25% não prejudica a resistência à compressão das argamassas.

Segundo CALCADO (2015), apesar do avanço das pesquisas realizadas sobre o uso de resíduos de construção e demolição como agregados, ainda há pouco conhecimento sobre a influência dos agregados reciclados na produção de argamassa. A aplicação prática desse processo ainda é incipiente e, apesar de ser viável em alguns casos, há desafios tecnológicos e comerciais a serem vencidos para que o produto possa gradativamente conquistar o mercado consumidor, como uma opção ambientalmente correta, tanto do ponto de vista da reciclagem quanto da durabilidade das construções.

4.3.1.9. Outras Aplicações

Em aplicações não estruturais, o agregado reciclado deve ser empregado conforme a sua maior ou menor qualidade. Por exemplo, em estradas com tráfego intenso deve-se empregar materiais com melhores características, enquanto que em estradas ou vias com pouco tráfego, obras de urbanização, lastro para fundações e aterros simples se empregará materiais com menor qualidade.

Outra aplicação possível dos resíduos da construção é a fabricação de tijolo solo-cimento ou tijolo ecológico. O tijolo de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial.

Segundo OLIVEIRA (2015), além do benefício ambiental por não ter o processo de queima, o tijolo ecológico é autotravado, ou seja, dispensa a argamassa, necessitando apenas de cola, reduzindo em até 50% o tempo de execução. Sua aparência lisa permite que o tijolo seja aplicado sem reboco, reduzindo ainda mais o uso de material. Além disso, possui resistência à compressão semelhante à do tijolo tradicional, porém a qualidade final é superior com dimensões regulares e faces planas.

A autora ainda afirma que é possível utilizar resíduos de concreto nos tijolos ecológicos, que a partir de ensaios laboratoriais, concluiu-se que o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento dos resíduos de concreto, possibilitando a adição de 60% de resíduos em relação à massa de solo, sem prejuízos para as características do solo-cimento. Nos ensaios foram constatados que todos os traços com adição de resíduos atenderam plenamente às especificações das normas brasileiras, mostrando haver possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção dos tijolos.

Em entrevista feita com a diretora-presidente do Grupo Baram (indústria gaúcha de equipamentos para construção civil), Josely Rosa, para uma reportagem do jornal O Globo em abril de 2011, informou que é possível transformar 28 toneladas de entulho em uma casa de 52 m², com dois quartos, sala, cozinha e banheiro. Mais do que livrar o meio ambiente de tais detritos, a tecnologia criada pela empresa representa ainda economia de 40% no preço final do imóvel, que sai a R\$45 mil.

O primeiro passo foi dado com o lançamento de uma máquina capaz de moer os materiais, de restos de concreto a pisos e cerâmicas. Em seguida, a empresa

desenvolveu um maquinário capaz de transformar esse material em tijolos e blocos. No total, foram investidos cerca de R\$6 milhões em três anos.

Segundo ROSA (2011), a grande vantagem do projeto é o aproveitamento do entulho em todas as etapas de produção, das paredes ao contrapiso. Atualmente, em capitais como São Paulo e Porto Alegre são jogados no lixo, a cada hora, 1,8 mil e 242 toneladas de entulho, respectivamente. Com esses volumes, é possível construir 334 casas por dia em São Paulo e 85 na capital gaúcha.

4.3.2. Características

Os resíduos de construção e demolição se apresentam na forma sólida e, dependendo do seu processo gerador, podem variar suas características físicas, tendo dimensões e geometrias semelhantes ao dos materiais de construção convencionais (areia e brita) ou até possuindo em sua composição, grãos com formatos e dimensões irregulares.

Para se garantir o potencial de reciclagem, o entulho deve apresentar homogeneidade e pureza na composição. Ao analisar os empregos dos agregados reciclados, deve-se primeiro conhecer as características desse material. Basicamente, as características mais importantes a serem estudadas são:

- a) Composição da mistura;
- b) Resistência contra intempéries;
- c) Tamanho e forma dos grãos;
- d) Resistência de carga;
- e) Permeabilidade;
- f) Ausência de contaminação (por óleos ou substâncias diversas).

A qualidade dos agregados reciclados está diretamente ligada à essas características, podendo até ser empregados em peças estruturais quando o material for de boa qualidade. Para esse fim, os agregados provenientes da demolição de peças de concreto são os mais indicados.

Os materiais reciclados do concreto são caracterizados pela maior absorção de água e perda das propriedades mecânicas se comparados aos agregados naturais. Isso se dá devido à alta porosidade das camadas exteriores dos grãos por causa da argamassa aderida.

BARBOSA ET AL (2011) citado por OLIVEIRA (2015), por meio de ensaios em laboratório, afirmam que o concreto com agregado alternativo (rejeito) alcançou melhor

desempenho que o convencional (fabricado com areia de rio e agregado britado), sendo portanto uma solução viável o emprego desses rejeitos em conjunto. No que se refere às propriedades mecânicas, constatou-se que houve um ganho no resultado final do concreto fabricado com os rejeitos. Outra vantagem verificada foi a substituição aos materiais tradicionais (areia de rio e brita) para a produção de concreto que possibilita além da proteção do meio ambiente a redução do custo do material de construção. Porém, também apresentou menor fluidez, afetando sua trabalhabilidade e redução do módulo de elasticidade, produzindo maior tendência à formação de microfissuras.

4.3.3. Vantagens e Desvantagens

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição, independente da finalidade, representa vantagens econômicas, sociais e ambientais. De acordo com FERREIRA E MOREIRA (2013), a primeira e mais notória vantagem é a preservação dos recursos naturais, já que mesmo em locais de abundância de matéria-prima este fato representa um ganho visto que qualquer extração gera impactos locais.

Outras vantagens que podem ser vistas com a reciclagem dos entulhos são a economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, e a diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos

O uso dos agregados reciclados também apresenta vantagens para os materiais produzidos. ZORDAN (1997), afirma que as argamassas produzidas com entulho apresentam uma redução de 10 a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal e, de 15 a 30% no consumo de areia. Miranda (2003) afirma que é desnecessário utilizar cal em argamassas com areia reciclada de RCD que tenha elevado teor de materiais pulverulentos, porque a presença de materiais finos nesse tipo de agregado garante a boa trabalhabilidade da argamassa.

Do ponto de vista social, temos que a reciclagem do entulho gera empregos e aumenta a competitividade da economia. Segundo estudo realizado na Carolina do Norte (EUA), para cada 100 empregos criados na reciclagem, apenas 13 são perdidos na indústria do lixo.

Apesar das inúmeras vantagens da reciclagem dos resíduos de construção e demolição, esse processo ainda apresenta algumas desvantagens, principalmente pela falta de incentivo e pesquisas feitas nessa área, no Brasil. A variabilidade das

propriedades físicas de determinadas espécies minerais (por exemplo, partículas de cerâmica), a composição heterogênea do material e a falta de conhecimento, por parte das construtoras, da correta utilização dos agregados reciclados, acaba dificultando seu emprego na produção de novos materiais.

4.4. A Reciclagem e a Sustentabilidade

Atualmente se fala muito em sustentabilidade, graças à necessidade de preservação do meio ambiente que tem sido cada vez maior. Ao conjunto de ações, técnicas e correto manuseio dos recursos disponíveis visando a preservação ambiental, dá-se o nome de sustentabilidade ou do uso sustentável dos recursos disponíveis.

A sustentabilidade se baseia em três ações: reduzir, reutilizar e reciclar. Essas são ações práticas que visam estabelecer uma relação mais harmônica entre o consumidor e o meio ambiente. Adotando estas práticas, é possível diminuir o custo de vida (reduzir gastos, economizar), além de favorecer o desenvolvimento sustentável (desenvolvimento econômico com respeito e proteção ao meio ambiente).

Como já foi definido anteriormente, a reciclagem consiste, basicamente, em aproveitar aquilo que seria descartado e refutado como lixo, mas que através de um processo adequado pode voltar a ter utilidade.

Um dos fatores atuais que estimulam o uso de materiais de construção mais sustentáveis em edificações são as certificações ambientais para construções. Explica-se pelo contexto de preocupação ambiental compartilhado na construção civil, e principalmente, devido ao status que uma edificação certificada ganha a partir do aumento de seu valor agregado e da boa recepção pela população (OLIVEIRA, 2015).

A certificação LEED foi desenvolvida pela USGB (*U.S. Green Building Council*), Instituição americana que busca promover edifícios sustentáveis e de ambiente agradável para os usuários. Consiste em um sistema internacional de certificação e orientação ambiental de construções, presente em mais de 130 países.

O sistema AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é uma certificação brasileira, adaptada do *Haute Qualité Enviromentale* (HQE), originado da França. Seu processo de certificação é totalmente independente dos órgãos franceses, passando por auditorias presenciais, que transcorrem exclusivamente no Brasil.

O Selo Casa Azul Caixa foi o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos ofertado no Brasil. Consiste em um instrumento de

classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno (CAIXA, 2010).

Esses e outros certificados, como o Selo Qualiverde e BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*), são importantes aliados na busca do desenvolvimento sustentável e todos possuem a gestão e reciclagem de resíduos de construção e demolição como um dos princípios para certificação.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso utilizado nesse trabalho trata-se da obra da Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro, que ligará a Barra da Tijuca à Ipanema. Essa obra é um importante legado que a cidade ganhará com as Olimpíadas 2016, porque planeja transportar, em média, 300 mil pessoas por dia, além de retirar 2 mil carros das ruas por hora/pico, de acordo com estudo da FGV. Além disso, trará melhorias no trânsito nas principais vias de acesso nos bairros beneficiados, diminuição da poluição produzida pelos veículos, integração dos bairros e regiões da cidade e diminuição do tempo de deslocamento.

A construção da Linha 4 do metrô carioca está sendo executada por dois consórcios. Um deles é será denominado neste trabalho de “Consórcio A”, que está construindo o trecho Oeste, entre o Jardim Oceânico e a Gávea, numa extensão de aproximadamente 12 km. O segundo consórcio será denominado de “Consórcio B”, e este está responsável pela obra entre Ipanema e Gávea, na Zona Sul da cidade.

O projeto conta com 6 novas estações: Jardim Oceânico, São Conrado, Gávea, Antero de Quental, Jardim de Alah e Nossa Senhora da Paz, em uma extensão de aproximadamente 16 quilômetros. A nova linha entrará em execução em julho de 2016, após passar por uma fase de teste.

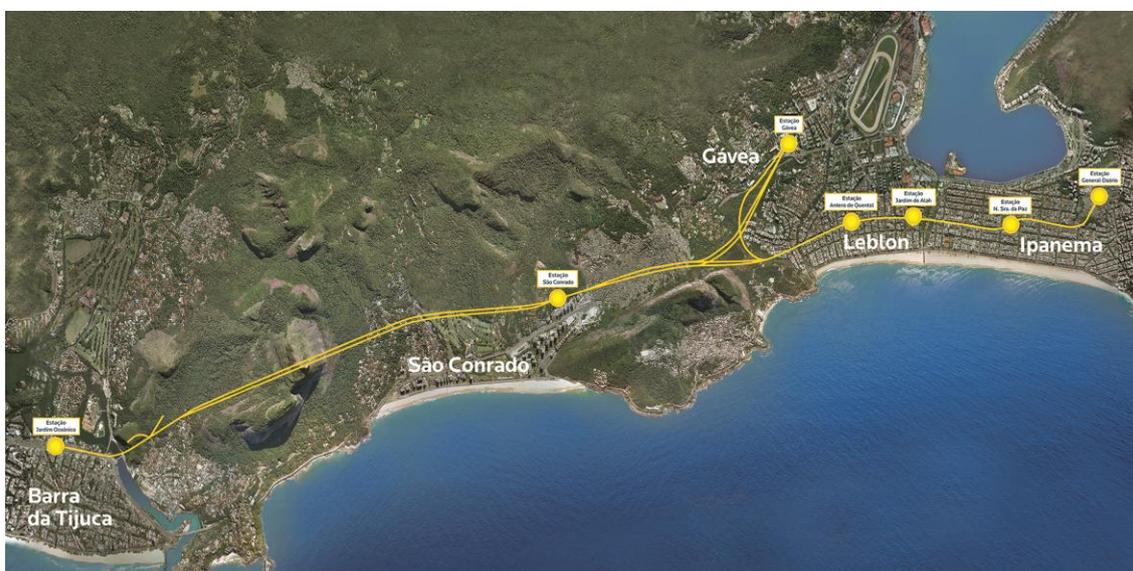


Figura 24 - Traçado da Linha 4 do metrô

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)

Dos 16 quilômetros de túneis, mais de 15 já estão completamente abertos, faltando agora pouco mais de 200 metros. Os trilhos também estão sendo instalados e

somam mais de 20 quilômetros de extensão nos dois sentidos da linha. As estações já estão em fase de acabamentos e as obras civis da ponte estaiada, na Barra da Tijuca, já estão concluídas.

As estações Nossa Senhora da Paz, em Ipanema, Antero de Quental, no Leblon, São Conrado e Jardim Oceânico, na Barra, já têm acessos de passageiros montados, pastilhas decorativas e painéis artísticos instalados, além de piso de granito e até escadas rolantes e elevadores em testes. Na Estação Jardim de Alah, o piso de granito está sendo colocado no nível de acesso dos passageiros, e a estrutura da entrada pela Avenida Ataulfo de Paiva, próximo à Rua Almirante Pereira Guimarães, já foi montada. Nesta estação, as plataformas e vias permanentes, por onde os trens vão passar, estão em finalização.

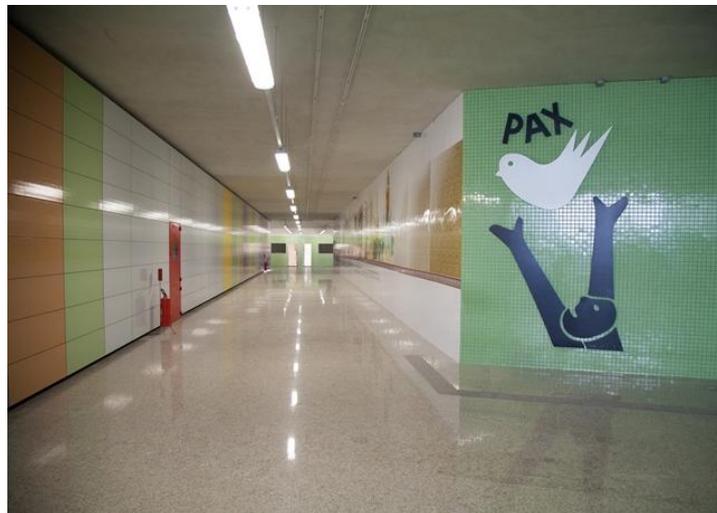


Figura 25 - Acesso de passageiros na estação Nossa Senhora da Paz

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)

5.1. Processos Construtivos

As obras da Linha 4 avançaram em várias frentes simultaneamente, tendo sido adotados diferentes métodos construtivos. Isso se deu devido a grande variedade de tipos de solo encontrados no traçado da nova linha, o que implicou em tratamentos diferenciados para cada trecho.

No trecho entre Gávea e Jardim Oceânico, a escavação dos túneis foi feita com o New Austrian Tunnelling Method (NATM) – Drill and Blast, que consiste em detonações controladas em rocha, não oferecendo risco às edificações do entorno. O plano de fogo definiu a realização de três detonações diárias: uma na frente de trabalho Barra, em direção a São Conrado; outra na frente São Conrado, na direção

contrária, rumo à Barra, para encontrar com a primeira seção no meio do caminho; e uma terceira em São Conrado em direção à Zona Sul. Cada uma dessas frentes leva em média de 700 kg a 1 tonelada de explosivos por detonação, o que assegura avanço médio de 4,5 metros por dia, por frente, dependendo da qualidade da rocha. Quanto mais estabilizada a rocha, mais rápido o processo, já que são desnecessárias as medidas de contenção.

Nas estações foram utilizadas paredes diafragma como contenção e *Jet Grouting* nas juntas dessas paredes para evitar vazamento. As escavações do corpo das estações foram feitas pelo método *cut-and-cover* e também foi utilizado o *Jet Grouting* no fundo, onde o solo apresentava menor resistência, para que o pé da parede não se fechasse quando as escavações fossem iniciadas. O refluxo do *Jet Grouting*, ou seja, a água que volta do serviço com restos de areia e cimento, é reutilizado na fabricação de alvenarias utilizadas na própria obra.

Na Barra foi necessário promover o rebaixamento do lençol freático (antes encontrado a cerca de 1,60 metro para 23 metros de profundidade) e devido ao elevado nível de salinidade da água no local, na Estação Jardim Oceânico, optou-se por utilizar um revestimento com manta impermeabilizante especial.

Já na Zona Sul, as dificuldades estão no tipo de solo (mistura de rocha, areia e água) e na grande densidade populacional da região. Nesse trecho, foi utilizado o Tunnel Boring Machine (TBM), mais conhecido no Brasil como “Tatuzão”, que ao mesmo tempo que escava o solo instala aduelas (anéis de concreto que revestem o túnel). Com o equipamento foi possível construir 5,7 km de túneis subterrâneos em uma região onde se situam alguns dos imóveis mais valorizados da região, sem fazer detonações ou abrir valas na superfície ao longo das ruas e avenidas, minimizando assim os impactos das obras na vida da população.

5.1.1. O que é *Jet Grouting*?

O *Jet Grouting* é uma técnica que consiste na injeção de um jato de calda de cimento com alta pressão e velocidade, formando colunas de solo-cimento que servem para melhorar a resistência de solos fracos. Outras vantagens apresentadas por esse método é a rapidez de execução e a versatilidade que o *Jet Grouting* oferece.

De acordo com um artigo publicado pela revista *Técne*, em novembro de 2013, a tecnologia permite melhoria e reforço do solo através das colunas, que são executadas com perfuração, jateamento e desagregação do solo com calda de

cimento a altas velocidades (da ordem de 800 km/h) e grandes impactos. As colunas podem ser feitas em qualquer direção e é aplicável a qualquer tipo de solo, sem restrições granulométricas, entretanto é mais indicada para solos fracos, moles e de baixa resistência.

A primeira etapa do *Jet Grouting* é fazer o furo, por meio de uma perfuratriz, até a cota final estipulada pelo projeto. Uma vez atingida esta cota, inicia-se o desmonte hidráulico do maciço, de baixo para cima, com jato de calda de cimento, associado a movimentos rotativos e ascendentes na haste. O jateamento da calda acontece por meio de uma motobomba (com tamanho aproximado de um contêiner de 20 pés) que bombeia a calda de cimento a uma pressão de aproximadamente 350kgf/cm², formando colunas cilíndricas com diâmetros que podem ultrapassar 2 m.



Figura 26 - Execução de *Jet Grouting* na estação Nossa Senhora da Paz

Fonte: Grupo Brasfond

5.2. Projeto Básico Ambiental

Antes do início da construção é elaborado o Projeto Básico Ambiental (PBA) para que então seja possível solicitar o licenciamento prévio da obra. Esse licenciamento prévio é concedido pelo IBAMA e aprova a viabilidade ambiental do projeto, além de autorizar sua localização e concepção tecnológica. Além disso, estabelece as condições a serem consideradas no desenvolvimento do projeto executivo.

Essas condicionantes englobam desde aspectos legais e burocráticos, como documentações necessárias a obra, até procedimentos que devem ser seguidos na execução de serviços, como por exemplo: eliminar métodos de trabalho em ambientes

propícios à proliferação de vetores; acondicionar os resíduos sólidos gerados no canteiro em sacos plásticos, conservar em recipiente com tampa e fazer o recolhimento por empresa licenciada.

Dentro desse Projeto Básico Ambiental, há uma série de procedimentos e planos que devem ser seguidos. O PBA solicita que a obra tenha 18 programas ambientais, entre eles, o Programa de Gestão Ambiental, Programa Ambiental da Construção, Programa de Monitoramento do Ar, de Ruído, do Lençol, de Recalque, de Fauna e Flora, etc. Dentro do Programa de Gestão Ambiental existe uma parte destinada aos resíduos sólidos que consiste no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

5.2.1. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

No PGRS da obra estão identificadas as fontes geradoras de resíduos. Toda e qualquer atividade gera resíduo e, por se tratar de uma obra grande, esses materiais podem ser de qualquer tipo, desde matérias orgânicas, ou papéis e plásticos até grandes quantidades de entulho de obra e material de escavação. Foi feito no início da obra uma estimativa das quantidades geradas de cada resíduo, porém estes são documentos antigos e não foi possível obter esses valores.

Os principais resíduos gerados são o solo/rocha proveniente da escavação dos túneis, resíduos de construção (entulho), madeira, papel/papelão, plástico e metais.

A tabela X apresenta as informações referentes aos resíduos gerados na obra.

Tabela 16 - Informações referente aos resíduos da obra

Resíduos	Fonte Geradora	Classificação	Disposição Final
Solo / Rocha	Escavação dos túneis	Classe II / Classe A	Aterro de resíduos
Entulho	Sobras e desperdícios da construção das estruturas dos túneis, das estruturas e acabamentos das estações, da construção e desmobilização do próprio canteiro, etc.	Classe II / Classe A	Aterro de resíduos
Madeira	Confecção de formas, pallets, carretéis de cabos de aço, sobras do tampão, construção do canteiro, etc.	Classe II / Classe B	Incorporação
Papel / Plástico / Vidro / Metal	Embalagens, papéis e plásticos utilizados no próprio escritório da obra, forros de piso e material de proteção (evitar sujeira), sobras de ferro de armadura, etc.	Classe II / Classe B	Reciclagem

Fonte: A AUTORA

As possíveis destinações finais que o PGRS engloba são: reutilização, reciclagem, compostagem (resíduos orgânicos), recuperação (recuperar e revender possíveis materiais como, baterias e pneus), aproveitamento energético e outras destinações admitidas pelos órgãos competentes.

Os resíduos de construção e escavação foram previstos para serem despejados em aterros de resíduos e, em sua grande maioria, realmente tiveram essa destinação. Poucas exceções aconteceram como é o caso do refluxo do *Jet Grouting* que foi reutilizado na própria obra. No caso da madeira, sua destinação prevista sempre foi a incorporação, tendo sido uma parte reaproveitada na própria obra e o restante levada a outra empresa que também faria a reutilização desse material. Da mesma forma, os papéis/papelões, plásticos e metais foram destinados à reciclagem, como estava definido no PGRS.

A documentação inicial do PGRS da obra, ou seja, todas as previsões e especificações feitas no início, não foram fornecidas pela empresa por se tratar de documentos antigos e de difícil localização. Os dados apresentados são relativos apenas aos principais resíduos, que possuem relatórios mais atuais.

5.2.2. Como é feita a Gestão de Resíduos?

A gestão dos resíduos sólidos é feita desde sua geração na obra até a disposição final. Todo processo deve ter uma rastreabilidade, ou seja, deve ser possível especificar onde o resíduo foi gerado, quem transportou e qual foi sua destinação final. As empresas envolvidas nesse processo também possuem um potencial poluidor e, por isso, emitem uma licença ambiental especificando os serviços que irão realizar, as atividades poluidoras e as diferentes condicionantes. As empresas transportadoras de resíduo, por exemplo, tem um potencial poluidor pela frota (poluição atmosférica) e pelos resíduos em si, que podem poluir em casos de acidente, tombamento do caminhão, etc.

Para garantir a rastreabilidade dos resíduos, são necessários registros que comprovam que a obra está cumprindo os requisitos dos planos e procedimentos. Esses registros são o Manifesto dos Resíduos (documentação necessária a nível nacional) e a Planilha de Movimentação e Armazenamento de Resíduos (documentação interna da obra em questão).

O Manifesto dos Resíduos é um documento emitido *online* pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente), após o cadastramento da empresa no *site*. Como a obra

estudada é uma obra de grande porte e possui uma quantidade muito grande de resíduo gerado (nas fases de escavação dos túneis eram emitidos cerca de 8000 manifestos por semana), seria inviável e sobrecarregaria o *site* para a geração desses documentos. Por isso, foi emitida uma carta para o INEA solicitando autorização para o uso de formulário de Manifesto de Resíduo para preenchimento *in loco*.

O Manifesto é feito em 4 vias, sendo a primeira via para o gerador, a segunda via para a transportadora, a terceira via para o receptor e a quarta via volta para o gerador após o recebimento do resíduo para comprovar que o resíduo chegou no local de disposição.

O primeiro campo do Manifesto a ser preenchido é referente aos resíduos e consiste em:

- a) Tipo de Resíduos
- b) Número de Resíduo (de acordo com a CONAMA)
- c) Quantidade de Resíduo (em m³)
- d) Estado Físico
- e) Origem
- f) Acondicionamento
- g) Procedência
- h) Tratamento (incorporação, reciclagem, aterro, etc.)

O segundo campo do Manifesto deve ser preenchido com os dados do gerador:

- a) Razão Social
- b) Endereço
- c) Município
- d) Telefone
- e) Numero da Licença
- f) Responsável pela Emissão do Manifesto
- g) Data de Saída
- h) Assinatura e Carimbo

O terceiro campo deve ser preenchido com os dados da transportadora:

- a) Razão Social
- b) Endereço
- c) Município
- d) Telefone

- e) Numero da Licença
- f) Responsável Legal
- g) Nome do Motorista
- h) Placa do Caminhão
- i) Certificado do Caminhão
- j) Data
- k) Assinatura do Motorista

O quarto campo é preenchido pelo receptor com os mesmo dados do primeiro campo. Essas informações todas são necessárias para que seja possível fazer o rastreamento do resíduo em caso de algum imprevisto.

Outro documento necessário para realizar a gestão de resíduos é a Planilha de Movimentação e Armazenamento de Resíduos. Esse documento é de uso interno da obra e serve para controlar a quantidade total e mensal de resíduo gerada, a destinação final, além de outros aspectos.

Essa obra gera todo tipo de resíduo e em grandes quantidades. Na tabela 16 estão apresentadas algumas informações dos principais tipos de resíduos. As quantidades presentes nessa tabela são os valores totais gerados na obra, desde seu início até fevereiro de 2016.

Tabela 17 - Informações sobre os principais resíduos gerados

Tipo de Resíduo	Quantidade Gerada (m³)	Destinação Final
Papel/Papelão	3.595	Reciclagem
Plástico	2.345	Reciclagem
Metal	6.591	Reciclagem
Material de Escavação	1.777.219	Aterro (CTR Nova Iguaçu)
Entulho	21.145	Aterro (CTR Nova Iguaçu)
Madeira	21.358	Incorporação

Fonte: Fornecido pela Obra

Os papéis, plásticos e metais foram encaminhados às empresas recicladoras, não tendo sido feita a reciclagem na própria obra.

5.2.2.1. Reutilização de Alguns Resíduos

A obra da Linha 4 do metrô conta com várias iniciativas sustentáveis implementadas nas estações para minimizar os impactos ambientais como: projetos arquitetônicos valorizando a iluminação e ventilação naturais nas áreas de circulação de passageiros, construção de telhados verdes para promover um isolamento térmico no subsolo e garantir um diferencial estético e ambiental, projetos de conscientização da população quanto à importância da preservação do meio ambiente, reaproveitamento de água, reciclagem de materiais , além da reutilização de resíduos que, a princípio, seriam descartados.

Um exemplo do reaproveitamento de resíduos está nos tijolos feitos a partir do refluxo do Jet Grouting. A água que sobra desse serviço é composta de cimento e areia e, ao invés de descartar esse material, são fabricados tijolos de solo-cimento.

De acordo com o Engenheiro Enrico Pedroso, da Estação Antero de Quental, a fabricação dos tijolos é feita a partir da coleta dos últimos 3 metros de injeção. Esse material coletado é depositado em formas de madeira e, após seu endurecimento, é cortado como tijolos.



Figura 27 - Jet Grouting

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)



Figura 28 - Reaproveitamento do Refluxo

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)



Figura 29 - Formas para fabricação dos tijolos

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)

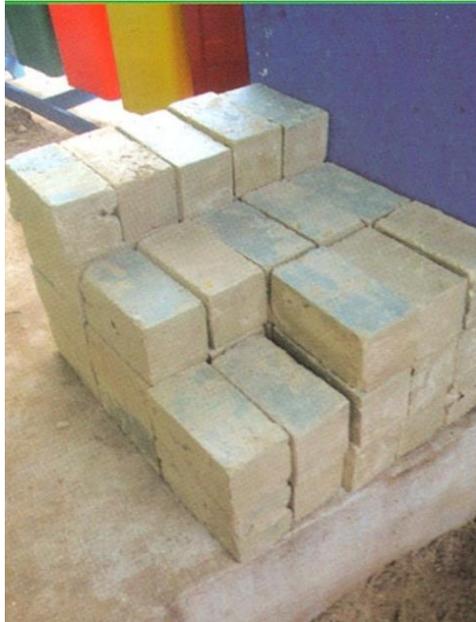


Figura 30 - Tijolos sustentáveis

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)

As formas produzem 152 tijolos por dia, utilizando 0,3m³ por dia de refluxo. Esses tijolos foram utilizados no canteiro para pavimentação, alvenaria aparente, na construção das guaritas de segurança, contenções de áreas para estacionamento, etc.



Figura 31 - Tijolos utilizados na guarita em construção

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)



Figura 32 - Guarita concluída

Fonte: Acervo da autora

Além da utilização na própria obra, foi inaugurada no canteiro da Praça Antero de Quental, no Leblon, a Biblioteca Rubem Fonseca, construída pelos próprios operários com materiais reciclados da obra da Linha 4. Os tijolos foram feitos pelo mesmo método dos utilizados nas estações (com o refluxo do *Jet Grouding*), as cadeiras de leitura e venezianas foram feitas com madeira reaproveitada e, para diminuição da poeira dentro do canteiro e nos arredores, foi utilizada água proveniente do rebaixamento do lençol freático. A biblioteca atende a 250 funcionários que trabalham diariamente no local.



Figura 33 - Biblioteca Rubem Fonseca

Fonte: Internet (www.metrolinha4.com.br)

O engenheiro da obra estima que cerca de 3000 tijolos foram produzidos para o uso na estação Antero de Quental e na construção da biblioteca, ou seja, cerca de 6m³ de refluxo foram reaproveitados. O restante foi encaminhado por caminhões bota fora até um aterro sanitário na zona oeste do Rio de Janeiro.

Além da questão ambiental envolvida nesse processo, já que o material que seria despejado em um aterro sanitário, causando impactos ao meio ambiente, foi reutilizado na própria obra de maneira prática e rápida, não sendo necessário encaminhar a usinas de reciclagem, há também um apelo econômico para a obra, já que, segundo o engenheiro responsável, houve uma economia de R\$26,75 por metro quadrado construído. Ou seja, além de aproveitar um material que seria jogado fora, também houve diminuição dos custos com a compra de blocos de concreto usinados.

Outro local onde foi cogitado utilizar os tijolos fabricados foi na construção de uma ciclovia, porém, nesse caso, o material precisava ter uma resistência mínima maior do que para o uso em paredes (necessária para suportar o transporte de pessoas e bicicletas). Foi feito um longo estudo e muitas tentativas para aumentar a resistência dos blocos, mas esse projeto foi iniciado após algum tempo, e como o *Jet Grouting* é utilizado apenas no início da obra, não houve tempo suficiente para o projeto ser colocado em prática.

Outro material que foi reutilizado foi a madeira, para fabricação de mesas e cadeiras utilizadas nas áreas de vivência, na biblioteca, etc. Esse material foi gerado em muita quantidade e por mais que não tenha sido aproveitado inteiramente na própria obra, o restante foi encaminhado à uma empresa de fabricação de materiais cerâmicos para alimentar o forno de cimenteira.

Além da reutilização desses materiais, uma importante iniciativa sustentável na obra foi a reutilização da água. No canteiro de Igarapava, foi construída uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) onde toda água contaminada proveniente do *Jet Grouting* era tratada e reutilizada no próprio processo. Esse efluente era conduzido da frente de serviço até a ETE através de caminhões e era tratado por um processo de floculação e decantação. Nesse caso, as partículas sólidas presentes nesse efluente são agrupadas formando partículas maiores que ficam pesadas e decantam, fazendo a separação da parte sólida da parte líquida. A água então era conduzida até o final do tratamento, onde era carregada em caminhões que devolviam essa água para a própria atividade de *Jet Grouting*. Com esse processo, foi possível economizar e reaproveitar cerca de 100.000 litros de água por dia, gerando uma grande economia.

5.3. Considerações Finais

De acordo com as informações estudadas, o Consórcio apresenta preocupação ambiental, já que possui iniciativas de construção sustentável e de diminuição dos impactos ambientais. O procedimento de Gestão de Resíduos está de acordo com a legislação e é executado diariamente, garantindo uma obra limpa e organizada. A destinação final é feita de forma correta com destinatários com documentação em dia, assim como os transportadores.

Porém, apesar de ser possível notar várias iniciativas sustentáveis, a reutilização de resíduos como materiais de construção ainda é pequena se comparada com a quantidade de resíduos gerada. O material proveniente de escavação e os entulhos somam 1.798.364m³ de resíduos destinados ao CTR - Nova Iguaçu. Apesar da quantidade de material proveniente de escavação ser muito grande e isso dificultar a reutilização na própria obra (não existe demanda para tanto material e, conseqüentemente, grande parte ainda seria destinada ao aterro) poderia ter sido feito um estudo desse material e então destinado a outras obras para reutilização.

Os outros tipos de resíduo tem uma destinação final mais adequada, como é o caso dos resíduos sólidos destinados à reciclagem (papel/papelão, plástico, metais) e à incorporação (madeira), porém esses resíduos somados (33.889 m³) não chegam a 2% do total (1.832.253 m³). Vale ressaltar que os valores apresentados na tabela 15 são referentes apenas a uma parcela dos tipos de resíduos gerados, mas como se trata dos principais resíduos (com maiores quantidades geradas), esse valor não está muito longe do real, já que o volume de material escavado possui uma ordem de grandeza muito superior aos demais.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria fazer um levantamento de análise financeira da reutilização de resíduos. Pode ser estudada também a viabilidade de implementação de uma rede de informações, com dados dos resíduos gerados nas obras e possíveis locais para esse material ser encaminhado para reutilização (outras obras).

6. CONCLUSÃO

Como foi apontado ao longo do trabalho, o setor da construção civil é um grande responsável pela geração de resíduos e consequentemente pela degradação do meio ambiente, principalmente devido à falta de uma cultura bem consolidada de gerenciamento de RCD.

Foram encontradas variadas fontes de pesquisa no que diz respeito aos resíduos gerados, principalmente em escala internacional. Esse estudo foi muito importante para entender os principais pontos que devem ser mudados para que o setor da construção civil minimize os impactos ambientais.

Apesar de existirem normas e leis abrangendo esse tema, como é o caso da Resolução 307 do CONAMA e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, ainda falta um comprometimento maior por parte das empresas na questão da gestão de resíduos. Poucas medidas são tomadas para reduzir a geração desses materiais e, com o aumento da densidade demográfica e do nível de vida, esse volume acaba crescendo ano após ano.

Por outro lado, poucos dados foram encontrados sobre a reutilização de resíduos, sendo estes mais generalizados e na maioria das vezes incluídos em valores estatísticos dos materiais reciclados. É importante ressaltar que a reutilização e a reciclagem de materiais são processos distintos e, por isso, é uma indicação para novos trabalhos a busca por informações mais específicas, assim como a importação de tecnologias de reutilização e ferramentas capazes de reduzir a quantidade de resíduos e diminuir os impactos.

Existem muitas aplicações possíveis e muita área para o crescimento da utilização dos materiais reciclados. O Brasil gera uma quantidade muito grande de resíduos, porém ainda não tem uma cultura de reutilização e reciclagem. Isso pode ser visto no estudo de caso, onde uma obra de grande magnitude, realizada por empresas conceituadas, tem como principal disposição final o aterro de resíduos. A prática da reciclagem de resíduos sólidos como papel, plástico e metal, já pode ser notada com mais recorrência, porém a reciclagem de entulho da construção ainda é incipiente.

A existência de materiais de construção reciclados possibilita que as construções se tornem mais ambientalmente corretas. Ainda há uma barreira a ser vencida na utilização desses materiais e muitos estudos ainda devem ser feitos para melhorar suas propriedades, mas esse setor da construção vem crescendo no Brasil e as iniciativas em prol do meio ambiente vem se tornando mais recorrentes.

O estudo de caso mostrou que a utilização dos resíduos de obra como materiais de construção, mesmo que em menor escala, é uma prática que só traz benefícios, sejam eles ambientais, econômicos ou sociais. Mostrou também a importância de se realizar um Plano de Gerenciamento de Resíduos para que estes, mesmo que não sejam destinados à reciclagem, possam ter uma disposição final adequada, garantindo a minimização dos impactos ambientais causados pela construção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, Fernando José de Andrade. Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufri.br/teses/mestrado/inter/2005/Teses/AFFONSO_FJA_05_t_M_int.pdf>. Acesso em 15 fev. 2016

ANGULO, Sergio Cirelli. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos. Tese de doutorado apresentado à Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18112005-155825/pt-br.php>>. Acesso em 01 mar. 2016

ANGULO, Sergio Cirelli; ULSEN, Carina; KAHN, Henrique; JOHN, Vanderley Moacyr. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. São Paulo. 2009. p. 721-730. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000200019>. Acesso em 01 mar. 2016

ASSIS, Allison da Silveira. Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na produção de concretos. Apresentado no Congresso Técnico de Engenharia e Agronomia – CONTECC, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.confec.org.br/media/Civil_utilizacao_de_residuos_de_construcao_e_demoliacao_rcd_como_agregados_na_producao_de_concretos.pdf>. Acesso em 15 mar. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em 07 jan. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em 08 jan. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acesso em 07 jan. 2016

ASSOCIAÇÃO DOS ATERROS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Legislação. Disponível em: <<http://assaerj.org.br/index.php/legislacao>>. Acesso em 02 fev. 2016

BLUMENSCHNEIDER, Raquel Naves. Manual técnico: Gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras. Brasília: SEBRAE/DF, 2007. 48p. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/services/e-books/>>. Acesso em 10 jan. 2016

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2013. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em 07 mar. 2016

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil. Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Ceará (SINDUSCON-CE). 2011. Disponível em: <<http://www.sinduscon-ce.org/ce/downloads/pqvc/Manual-de-Gestao-de-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em 15 jan. 2016

CALCADO, Gabrielle Christina da Silva. Influência da adição de agregados reciclados de resíduos da construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento Portland. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013017.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2016

CARNEIRO, Alex Pires; CASSA, José Clodoaldo Silva; BRUM, Irineu Antônio Schadach. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção – Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/raphaelcava/livro-entulho-bom>>. Acesso em 15 jan. 2016

CORREA, Marcio Roberto Silva; BUTTLER, Alexandre Marques; RAMALHO, Márcio Antonio. Revista Técnica, nº 152, novembro de 2009.

CORREIA, Rodrigo da Silva. Estudo da viabilidade econômica para o uso de resíduos da construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009433.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2016

DALPINO, Carlos Eduardo Ruiz. Utilização de resíduos da construção civil para produção de concreto. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-08/civil-09.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2016

Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 23 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>.

Acesso em 03 fev. 2016

Decreto nº 27.078, de 27 de setembro de 2006. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e dá outras providências. Prefeitura do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 28 set. 2006. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/DLFE-262099.pdf/DECRETOMUNICIPALN2.7..0.7.8.DE2.7.DESETEMBRODE2.0.0.6..pdf>>.

Acesso em 02 fev. 2016

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA. Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem. Projeto Competir. 2013. Disponível em: <http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/Livro-Gestao-de-Residuos_id_177_xbc2901938cc24e5fb98ef2d11ba92fc3_2692013165855_.pdf>

Acesso: 01 mar. 2016

FERREIRA, Aline Ribeiro Lessa; MOREIRA, Hélinah Cardoso. Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10008292.pdf>>.

Acesso em 10 jan. 2016

FONSECA, Ana Cláudia. Revista Época, Rio de Janeiro, nº 346, janeiro de 2005.

FRAGA, Marcel Faria. Panorama da geração de resíduos da construção civil em Belo Horizonte: medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006. Disponível em: <http://www.lumeambiental.com.br/pos_marcel.pdf>. Acesso em

07 jan. 2016

GRIGOLI, Ademir Scobin. O uso de entulho de obra na própria obra como parâmetro de organização de canteiro e redução de custos. Apresentado ao IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, 2002. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1351_1362.pdf>.

Acesso em 16 mar. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 13 fev. 2016

JOCHEM, Lidiane Fernanda; ROCHA, Janaíde Cavalcante; CHERIAF, Malik. Estudo comparativo entre argamassas de revestimento com agregado reciclado de RCD e com agregado de britagem. Apresentado no Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/ELECS2013/978-85-89478-40-3-a041.pdf>>.

Acesso em 16 mar. 2016

JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar. Texto técnico. 2001. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm>. Acesso em 10 fev. 2016

JOHN, Vanderley Moacyr; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/publicacoes?pag=42>>. Acesso em 22 fev. 2016

Lei nº 4.191, de 30 de setembro de 2003. Dispõe sobre a Política Estadual dos Resíduos Sólidos e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 01 out. 2003. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/cf0ea9e43f8af64e83256db300647e83?OpenDocument>>. Acesso em 02 fev. 2016

Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 03 fev. 2016

LEITE, Fabiana da Conceição. Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-09012008-162141/pt-br.php>>.

Acesso em 14 mar. 2016

LEITE, Mônica Batista. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf>. Acesso em 14 fev. 2016

LEITE, Suellen Rodrigues da Paixão. Estudo das práticas de gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil do Rio de Janeiro. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009300.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2016

MENEZES, Mayco de Souza; PONTES, Fernanda Veronesi Marinho; AFONSO, Júlio Carlos. Panorama dos resíduos da construção e demolição. Artigo Técnico. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina17-Panorama-dos-Residuos-de-Construcao-e-Demolicao.pdf>>. Acesso em 02 mar. 2016

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 17. jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 07 jan. 2016

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, estabelecendo nova classificação para o gesso. Brasília, DF: *Diário Oficial da União*, 25 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em 07 jan. 2016

MIRANDA, Leonardo. Relatório de Pesquisa Setorial 2014/2015. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON.

Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/index.php/relatorio-pesquisa-setorial-20142015/>>. Acesso em 07 mar. 2016

NOGUEIRA, Luis Gustavo da Silva. Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável. Projeto de graduação apresentado a Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6363/1/20916233.pdf>>. Acesso em 15 mar. 2016

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga; MENDES, Osmar. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA. Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2008. Disponível em: <<http://pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/>>. Acesso em 02 mar. 2016

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014837.pdf>>. Acesso em 08 mar. 2016

Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos – PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro. Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3035089/DLFE-247507.pdf/Plano_Gestao_Integrada_Residuos.pdf>. Acesso em 05 fev. 2016

REGGIO, Alfredo; OHASHI, Toshihiko. Novo panorama para resíduos de construção e demolição (RCD). Artigo para Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil – ANEPAC, 2008. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/05/Revista44.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2016

REVISTA TÉCNICA, nº 200, Novembro de 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/200/artigo301307-1.aspx>>. Acesso em 17 mar. 2016

SANTOS, Almai do Nascimento. Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE). Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Católica de Pernambuco ao curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em:

<http://www.unicap.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=679>. Acesso em 16 jan. 2016

SANTOS, Isabela da Rocha. Medidas para redução dos impactos ambientais gerados pela construção civil. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014319.pdf>>. Acesso em 05 jan. 2016

SILVA, Alex Fabiane Fares. Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a CONAMA 307/2002: Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte. Tese de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/249M.PDF>>. Acesso em 17 jan. 2016

SILVA, Margarete Bernal de Lima. Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais PIPE, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/259.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2016

SILVA, Wanderson; JUNIOR, Edilson Soares Melo; COELHO, Glauber Tulio Fonseca; PEREIRA, Daniel Rocha. Utilização de agregados dos resíduos da construção e demolição (RCD) em pavimentação. Apresentado no Congresso Técnico Científico de Engenharia e Agronomia – CONTECC, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.confec.org.br/media/Civil_utilizacao_de_agregados_do_residuos_da_construcao_e.pdf>. Acesso em 14 mar. 2016

TROCA, José Roberto. Reciclagem de RCD de acordo com a Resolução 307 do CONAMA. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/131/artigo287525-1.aspx>>. Acesso em 10 jan. 2016

ZORDAN, Sérgio Eduardo. A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <<http://meioambienteconstrucao.com.br/downloads/pesquisas-academicas/materiais->

[ecologicos-sustentaveis/entulho-como-agregado-concreto.pdf](#)>. Acesso em 17 jan.
2016