

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTUDO DE CASO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO RCD
(RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO) EM
REATERROS DE VALAS NOS PAVIMENTOS DE
PIRACICABA SP.**

JOSÉ WILSON VEDRONI

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2007**



PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **José Wilson Vedroni**, aprovada pela Comissão Julgadora em 27 de fevereiro de 2007.

Campinas, 04 de dezembro de 2007.

Prof. Dr. David de Carvalho
Presidente

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTUDO DE CASO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO RCD
(RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO) EM
REATERROS DE VALAS NOS PAVIMENTOS DE
PIRACICABA SP.**

Dissertação submetida à banca examinadora para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Agrícola na área de Construções Rurais e
Ambiência.

JOSÉ WILSON VEDRONI

Orientador: Prof. Dr. David de Carvalho

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2007

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. David de Carvalho (orientador) – Presidente - Unicamp

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Junior – UFCE

Prof. Dr. Jair Camacho – Unesp Ilha Solteira

Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva - Unicamp

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

V516e Vedroni, José Wilson
Estudo de caso sobre a utilização do RCD (resíduos de construção e demolição) em reaterros de valas nos pavimentos de Piracicaba SP / José Wilson Vedroni. -- Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: David de Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Resíduos. 2. Valas. 3. Reciclagem. I. Carvalho, David de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: I study of in case about the use of RCD (residues of construction and demolition) in earthwork of ditches in Piracicaba SP pavements.

Palavras-chave em Inglês: Residues, Ditches, Recycling.

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Ernesto Ferreira Nobre Junior, Jair Camacho e Cássio Eduardo Lima de Paiva.

Data da defesa: 27/02/2007.

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação de Mestrado a Deus, o criador supremo, por ter me dado a condição necessária para concluir este trabalho.

A Feagri – Faculdade de Engenharia Agrícola a oportunidade que me deu para desenvolver este trabalho.

A minha esposa, Silvana Bomfilio, sempre incentivadora e com muita paciência, sem reclamar do tempo que deixei de passar ao seu lado, para me dedicar a este trabalho.

Ao meu filho Fábio Henrique, pela compreensão e carinho que sempre teve comigo.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço primeiramente a Feagri pelo o acolhimento, na pessoa do Prof. Dr. David de Carvalho, por ter acreditado na importância do trabalho e ter dado todo o apoio e a orientação necessário para o êxito desta dissertação.

Agradeço a todos que de alguma forma direta ou indireta tenham ajudado para a realização deste trabalho e:

Ao meu grande amigo Antônio de Paula Madeira, sempre disponível e com energia para ajudar nos ensaios e na troca de experiências.

Ao amigo e Prof. Dr. Marcos Nogueira Eberlin, pela colaboração e sugestão nas análises dos contaminantes.

Aos Professores Drs. Paulo José Rocha de Albuquerque e Pêrsio Leister de Almeida Barros, por disponibilizar a equipe e o Laboratório de Mecânica dos Solos da FEC para realização dos ensaios necessários.

A Prof.^a Dr.^a Liedi Légi Bariani Bernuci e ao Prof. Dr. Jair Camacho pelas sugestões técnicas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Engenheiro José Augusto B. Seydel por ter sempre acreditado no sucesso da utilização de métodos inovadores para solução de velhos problemas.

Aos amigos do Laboratório de Mecânica dos Solos, Meyer, Cipriano, Edson e Reinaldo, sempre dispostos a colaborar nas realizações dos ensaios e análises de resultados.

Aos amigos Wagner Pizani Guidi e ao Antonio Tadeu de Figueiredo, pelo incentivo para o desenvolvimento desta Dissertação.

RESUMO

Estudo de caso sobre aplicação do RCD (Resíduos de Construção e Demolição), da cidade de Piracicaba São Paulo. Estes resíduos que são popularmente chamados de entulhos são os descartes dos resíduos da construção civil, da demolição de habitações, áreas comerciais e industriais.

Estima-se que a cidade de São Paulo gera cerca de dezessete mil toneladas destes resíduos diariamente, representando no Brasil de 41-70 % dos resíduos sólidos urbanos. Estes resíduos, quando não reutilizados e não gerenciados, acabam acarretando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde da população, degradando o aspecto visual das cidades, provocando enchentes com o entupimento das tubulações de águas pluviais e com o assoreamento dos rios e córregos.

O Conselho do Meio Ambiente, baixou uma resolução denominada *RESOLUÇÃO CONAMA 307, de 5 de julho de 2002*, em que determina a responsabilidade de todos os Municípios e o Distrito Federal, proibindo o descarte do RCD em lixões, bota-foras ou em aterros sanitários exigindo a elaboração de um plano de gerenciamento integrado dos resíduos incluindo os de construção e principalmente sua reciclagem e utilização.

Este trabalho que é de cunho ambiental, faz uma abordagem sobre estes resíduos, uma breve revisão bibliográfica sobre sua dimensão e aplicação em projetos afins, estuda suas características físicas, mecânicas e químicas para verificação de possíveis contaminantes e propõe um modelo para a sua reciclagem e utilização de forma sustentável nas reabilitações dos pavimentos construídos pelas equipes de manutenção do SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba), após intervenções nas redes de água que abastecem e na que realiza o esgotamento sanitário para a população.

Desta forma este estudo de caso, pretende contribuir, como mais um procedimento que os órgãos públicos e privados, possam utilizar como meio de resolver este grave problema, que é dar uma solução segura para a utilização destes resíduos.

Palavras - chave: Entulhos, Resíduos Sólidos, RCD, Remendo, Reciclagem, Valas, Reaterros de valas.

ABSTRACT

Case study on the application of RCD (Residues of Construction and Demolition) in the city of Piracicaba, São Paulo. These residues, popularly known as dumps, are waste from civil construction, from demolition of houses, commercial and industrial areas.

It is estimated that the city of São Paulo produces approximately seventeen thousand tons of this type of residues daily. In Brazil, this accounts for 41-70 % of solid urban waste. If not reused or managed, this waste ultimately causes a negative impact on the environment and on the health of the population; it degrades urban looks and causes floods because it clogs rainwater piping. It also aggrades rivers and streams.

The Environment Council has issued a resolution, named *CONAMA Resolution no. 30, dated 5 July, 2002*, which determines the accountability of all Cities and the Federal District for waste, and forbids waste disposal in dumps or sanitary landfills. An integrated waste management plan must be developed including construction waste and particularly waste recycling and utilization.

This paper is of an environmental nature. It provides an approach to these residues, a brief review of the bibliography about its dimension and application in similar projects, it reviews its physical, mechanical and chemical characteristics to detect possible contaminants. The paper also proposes a model for sustainable waste recycling and reuse in pavement recovery carried out by maintenance teams from SEMAE (Municipal Service of Water and Sewer from Piracicaba), after intervention in water supply and sewage networks that serve the population.

In this manner this case study intends to be one more tool that public and private agencies can use as a means to solve these serious problem by providing a safe solution to use these residues.

Key words: Dumps, Solid Residues, RCD, Repair, Recycling, Ditches, Earthwork Ditches.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE QUADROS.....	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xvii
1.INTRODUÇÃO	01
1.1. Enunciado da Hipótese	03
1.2. Justificativa	03
1.3. Local do Estudo	05
1.4. Curiosidades históricas do SEMAE	10
1.5. Os serviços de intervenção	11
2. OBJETIVO GERAL	12
2.1 Objetivos Específicos	12
3. TERMINOLOGIA	13
4. ENSAIOS	21
4.1. Propriedades Químicas, Lixiviação e Solubilização	21
4.2. Propriedades Físicas	22
4.2.1 Limites de Consistência	22
4.3. Análise Granulometria	24
4.4. Ensaio de Índice de Degradação	28
4.5. CBR ou Índice Suporte Califórnia	28
4.6. Compressão Axial (RCS)	31
4.7. Cone de Penetração Dinâmica (DCP)	31
4.8. Controle de compactação método do frasco de areia	35
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
5.1 Procedimentos para fechamento de valas.....	36
5.2. Classificação dos resíduos	55
5.3. Histórico	57
5.4. Impactos causado pela construção civil	60
5.5. A geração de resíduos	66
5.6. A reciclagem	79
5.6.1 A reciclagem no Brasil	82

5.7. Características do resíduo no Brasil	88
5.8. Processo de triagem e gestão dos resíduos	90
5.9. Processo de reciclagem do RCD	98
5.10. Caracterização física do agregado reciclado	105
5.11. Viabilidade Econômica	114
5.12. Uso do RCD (reciclado) em camadas de base e sub-base de pavimentos	118
6. MATERIAIS E MÉTODOS	133
6.1. Materiais.....	133
6.2. Ensaio Realizados	139
6.2.1. Ensaio de CBR (Califórnia Bearing Ratio)	139
6.2.2. Resistência a Compressão Simples (RCS)	141
6.2.3. Análise Granulometria	142
6.2.4. Índice de Degradação	143
6.2.5. Limite de Liquidez e Plasticidade	144
6.2.6. Ensaio de DCP (Cone de Penetração Dinâmica)	144
6.2.7. Determinação do grau de compactação – Método do frasco de areia	145
6.2.8. Lixiviação e Solubilização	146
6.3. Resultados	147
6.3.1. Ensaio de CBR (Califórnia Bearing Ratio)	147
6.3.2. Resistência a Compressão Simples (RCS)	148
6.3.3. Análise Granulometria	150
6.3.4. Índice de Degradação	151
6.3.5. Limite de Liquidez e Plasticidade	152
6.3.6. Ensaio de DCP (Cone de Penetração Dinâmica)	152
6.3.7. Lixiviação e Solubilização	154
7. MÉTODO DE APLICAÇÃO.....	157
8- ANÁLISE DOS RESULTADOS	162
9. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	164
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
11. LEIS CITADAS	176
ANEXO I RESOLUÇÃO CONAMA 307	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Cidade de Piracicaba no Estado de SP	06
Figura 2: Mapa de localização do Município de Piracicaba e seu entorno	07
Figura 3: Localização da rede de água e esgoto sob o leito das ruas	11
Figura 4: Corte esquemático de um pavimento manual do DNIT (2005)	15
Figura 5: Comportamento da consistência do solo (mudança de fases)	22
Figura 6: Escala granulométrica da ABNT	25
Figura 7: Graduação dos solos, extraído de BAESSO et al. (2003).....	26
Figura 8: Tipo de curva granulométrica e como se obtém d ₁₀ , d ₃₀ , d ₆₀	27
Figura 9: Curva CBR pressão versus penetração sem e com correção	30
Figura 10: Aparelho de DCP com ponteira de 30°	32
Figura 11: Resultado típico do ensaio DCP	34
Figura 12: Vigas do sistema SOPAC - da Sabesp.....	41
Figura 13: Modelo esquemático do sistema SOPAC da SABESP SP.....	42
Figura 14: Seção - Tipo alternativo à reposição do pavimento danificado por abertura de valas.....	47
Figura 15: Deposição irregular em áreas de proteção permanente em Indaiatuba SP,	62
Figura 16: Deposição de resíduos próximos a mananciais em Indaiatuba SP	63
Figura 17: Deposição irregular em logradouros públicos em Indaiatuba SP	63
Figura 18: Deposição irregular prejudicando o aspecto visual da cidade em Indaiatuba SP	64
Figura 19: Bota-fora de resíduos de construção em Piracicaba	64
Figura 20: População regional segundo tabela 4.1 do IBGE (2003)	68
Figura 21: Projeção da população tabela 1.10 – IBGE	68
Figura 22: Percentual da população, PIB e geração de resíduos sólidos por região	69
Figura 23: Distribuição dos resíduos da construção em relação aos RSU em Limeira.....	72
Figura 24: Porcentagens dos resíduos sólidos de Piracicaba SP	76
Figura 25: Características dos agentes geradores de RCD em Piracicaba	77
Figura 26: Origem do RCD em algumas cidades Brasileiras	88
Figura 27: Tipos de resíduos removidos porcentagem em massa, PINTO (1999)	89
Figura 28: Características dos resíduos de construção da Cidade de Salvador	90
Figura 29: Localização do ponto de entrega na bacia de captação	92
Figura 30: Desenho sugerido para ponto de entrega	92
Figura 31: Área de triagem e reciclagem	95
Figura 32: Sistema de reciclagem do RCD- METSO.....	101
Figura 33: Britador de impacto	101
Figura 33A: Britador de mandíbulas	103
Figura 33B: Foto da boca do britador de mandíbulas usina de Vinhedo.....	103
Figura 33C: Câmara de impacto da usina de reciclagem de Vinhedo.....	104

Figura 34: Diferentes tipos de agregados produzidos em uma usina de reciclagem	105
Figura 35: Características do RCD da Cidade de Salvador Projeto Entulho Bom	106
Figura 36: RCD de concreto e cerâmica antes e após a britagem	107
Figura 37: Curvas granulométricas das amostras dos agregados reciclados (Goiana)	109
Figura 38: Tendência de variação dos valores de CBR (Goiana).....	110
Figura 39: Composição do RCD da PMSP estudo por MOTTA (2005)	111
Figura 40A: Curvas gran. do solo Laterítico, do agregado reciclado miúdo e suas misturas,	124
Figura 40B: Curvas gran. do solo Saprolítico, do agr. reciclado miúdo e suas misturas.....	124
Figura 41: Curvas granulométricas do agregado reciclado graúdo e suas misturas com os solos e o agregado reciclado miúdo	125
Figura 42: Resultados de CBR e expansão dos solos laterítico e saprolítico e das respectivas misturas com entulho miúdo	125
Figura 43: Seções-tipo projetadas e construídas no campus da USP – Leste	126
Figura 44: Compactação de camada de RCD	127
Figura 45: Espalhamento de camada de brita graduada	127
Figura 46: Estrutura do trecho experimental em Goiânia	130
Figura 47: Materiais estudados para utilização em bases e sub-bases a partir do RCD	131
Figura 48: Execução do trecho experimental com RCD.....	132
Figura 49: Composição do RCD de Piracicaba	134
Figura 50: Caçambas metálicas para recolher os resíduos de construção	134
Figura 51: Poliguindaste para remoção de caçambas metálicas	135
Figura 52. ATT de Piracicaba.....	136
Figura 53. Esquema da célula do aterro de inertes.....	137
Figura 54. Usina de reciclagem de Piracicaba	138
Figura 55: Detalhe do sistema de peneiras, bica corrida e areia do RCD	138
Figura 56: Curvas de compactação e CBR dos agregados reciclados graúdos (bica corrida).....	140
Figura 57: Corpo de prova na prensa de CBR..	141
Figura 58: Curvas granulometria nos agregados reciclados miúdos.....	142
Figura 59: Curvas granulométricas do material reciclado (bica corrida) do RCD.....	143
Figura 60: Curva da distribuição gran. da bica corrida do RCD antes e após a compactação	144
Figura 61: Localização do ensaio de DCP, na vala após intervenção	145
Figura 62: Localização do ensaio de DCP, na segunda intervenção.	145
Figura 63: Realização do ensaio do frasco de areia	146
Figura 64: Curva de crescimento da resistência da bica corrida + CP II em massa.....	149
Figuras 65: Gráfico do resultado do ensaio DCP na primeira intervenção, nos pontos de 1 a 5.....	152
Figuras 66: Gráfico do resultado do ensaio DCP na segunda intervenção, nos pontos de 1 a 5.....	153
Figuras 67: Corte típico do método proposto para fechamento de vala.....	157

Figura 68: Fechamento da vala após substituição da tubulação que fornece água	160
Figura 69: Fechamento da vala em camadas de 20 cm com bica corrida.....	160
Figura 70: Realização da camada de base com cimento 6 % de cimento em massa	161
Figura 71: Aplicação da camada final com CBUQ, faixa C do DER SP	162
Figura 72: Pirâmide invertida sobre o gerenciamento dos resíduos, Fonte: CIMM	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho das partículas	25
Tabela 2. Correlações do CBR obtido do ensaio de DCP	35
Tabela 3. Tipo alternativo a reposição do pavimento danificado por abertura de valas.....	48
Tabela 4: Responsabilidade pelo gerenciamento do resíduo	53
Tabela 5. Classificação dos resíduos sólidos	57
Tabela 6. Impactos gerados pela atividade da construção civil, modificado de Jassen	61
Tabela 7: Bota-foras identificados em alguns municípios	65
Tabela 8: Quantidades de deposição irregulares em alguns municípios	66
Tabela 9. Geração per capita	67
Tabela 10. Estimativas de geração de resíduos de construção civil	70
Tabela 11. Geração de Resíduos Sólidos no Brasil	71
Tabela 12: Quantidade de resíduos gerados em alguns municípios	73
Tabela 13: Contribuição individual das fontes	78
Tabela 14: Recicladoras existentes na Europa em 1992	81
Tabela 15. Processo de reciclagem do RCD	100
Tabela 16. Características do RCD de Salvador, Projeto entulho Bom	106
Tabela 17. Caracterização do solo argiloso	108
Tabela 18. Caracterização dos agregados reciclados a partir do RCD.....	109
Tabela 19. Resultados dos ensaios de Índice Suporte Califórnia MOTTA (2005)	113
Tabela 20. Resultado dos ensaios de Resistência Compressão Simples MOTTA (2005)	114
Tabela 21. Razão benefício/custo e período de retorno para o empreendimento proposto por JUNIOR et al. (2003)	115
Tabela 22. Investimento capital fixo para produção 20 t/hora NUNES (2004)	116
Tabela 23. Investimento capital fixo para produção 100 t/hora NUNES (2004)	117
Tabela 24. Custos operacionais com usinas de reciclagem, NUNES (2004)	118
Tabela 25. Custos de produção por toneladas, NUNES (2004)	118
Tabela 26. Característica do RCD estudado por BODI (1997)	119
Tabela 27. Características encontradas com mistura a solos por BODI (1997)	120
Tabela 28. Características dos materiais utilizados por Carneiro et al., (2005).....	122
Tabela 29. Proporções e materiais avaliados CARNEIRO et al., (2005)	123
Tabela 30. Resultados dos ensaios encontrados por LEITE et al., (2005)	128
Tabela 31: Módulo de resiliência e coeficiente de Poison para cada camada por LEITE et al., (2005)	129
Tabela 32. Resumo dos resultados obtidos de CBR, após imersão em água por 96 horas	147
Tabela 33. Resultado dos ensaios de RCS (Resistência a Compressão Simples)	149
Tabela 34. Análises granulométricas nos agregados graúdos e miúdos	150

Tabela 35. Índice de degradação da bica corrida do RCD	151
Tabela 36. Parâmetros complementares para classificação, conforme BNR 10004	154
Tabela 37. Análises Físico-Químico – Norma ABNT – NBR 10005 Lixiviação	155
Tabela 38. Análises Físico-Químico – Norma ABNT – NBR 10006 Solubilização	156

LISTA DE QUADROS

Quadro I. Esquema para classificação pelo HRB.....	24
Quadro II. Condições de geração do RCD em diversos municípios.....	74
Quadro III. Geração de resíduos de construção m ³ /m ² em São Paulo.....	75
Quadro IV. Recepção e remoção diferenciada dos resíduos nos pontos de entrega.....	93
QUADRO V. Área básica demandada para o manejo dos resíduos.....	96
Quadro VI. Classes em que deve ser enquadrado o RCD após a triagem.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMA: Autarquia Meio Ambiente

AR CER: Agregado reciclado cerâmico

AR CONC: Agregado reciclado de concreto;

ASTM: American Society for Testing and materials

ATT: Área de Triagem e Transbordo

BINDER: Mistura a quente, de graduação aberta, de agregado e asfalto

CBR: Califórnia Bearing Ratio

CBUQ: Concreto betuminoso usinado a quente

CEASA: Centrais de Abastecimento S.A.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CIMM: Centro de Informação Metal Mecânica

cm: Centímetros

COHAB: Companhia de Habitação

COMASP: Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do Sinduscon-SP

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

COOPERLAGOS: Cooperativa de Coleta Seletiva

CR: Compacidade Relativa

CTR: Controle de transporte de resíduos

C&D: Construction e Demolition

DCP: Dynamic Cone Penetrometer

DER-SP: Departamento de Estradas de Rodagens do Estado de São Paulo

DLU: Departamento de Limpeza Urbana

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte

EC: Energia de Compactação

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

EMDEL: Empresa de Desenvolvimento de Limeira

EMDHAP: Empresa Municipal de Desenvolvimento Habitacional – Município de Piracicaba/SP

EPUSP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

ESALQ: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo

FOP: Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Universidade Estadual de Campinas
g: Grama

GC: Grau de Compactação

HRB: Highway Research Board

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM: Índice de Desenvolvimento Humano

IG: Índice de Grupo

IP: Índice de Plasticidade

IPPLAP: Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba

ISC: Índice de Suporte Califórnia

I&T: Informações Técnicas

kg: Quilograma

kgf: Quilograma-força

km: Quilômetro

kN: Quilo Newton

L: Litro

LIMPURBE: Empresa de Limpeza Urbana de Salvador

LP: Limite de Plasticidade

m: Metro

mm: Milímetro

MPa: Mega Pascal

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

PMSJRP: Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto

PMSP: Prefeitura do Município de São Paulo

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RCC: Resíduo (s) Construção Civil

RCD: Resíduo (s) de Construção e Demolição

RCS: Resistência à Compressão Simples

RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur lês Matériaux et lês Construction

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMAE: Serviço Municipal de Água e Esgoto – Município de Piracicaba/SP

SEMOB: Secretaria de Municipal de Obras de Piracicaba

SINDUSCON D.F.: Federal Sindicato da Indústria da Construção do Distrito Federal

SINDUSCON SP: Sindicato da Indústria da Construção Civil – São Paulo

SLU: Superintendência de Limpeza Urbana – Município de Belo Horizonte/MG

SOPAC: Sistema Otimizado de Pavimento Concomitante

t: Tonelada

TRD: Transvaal Road Department

UnB: Universidade de Brasília

UND: Unidade

UNIMEP: Universidade Metodista de Piracicaba

USACE: Corpo de Engenheiros do Exército Norte Americano

USEPA: The U. S. Environmental Protection Agency

w: Umidade

W_L : Limite de Liquidez

w_{ot} : Teor de Umidade Ótima

W_P : Limite de Plasticidade

γ_{dmax} = Peso Específico Seco Máximo

γ_s : Peso Específico dos Sólidos

ρ_{dmax} : Massa Específica Aparente Seca Máxima

ρ_s : Massa Específica dos Sólidos

1. INTRODUÇÃO

“Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a humanidade deve escolher o seu futuro. À medida que o mundo torna-se cada vez mais interdependente e frágil, o futuro enfrenta grandes perigos e grandes promessas.

Devemos reconhecer que, no meio de uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade global sustentável baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos e universais, na justiça econômica e numa cultura da paz.

Para chegar a este propósito é imperativo que nós, os povos da Terra, reconheçamos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida e com as futuras gerações”.

O trecho acima faz parte do documento intitulado “Carta da Terra” que vem sendo discutido em diversos países, inclusive no Brasil, e deverá ser aprovado pela ONU. Após a aprovação, o documento terá, para a área de Meio Ambiente, importância equivalente à Declaração Universal dos Direitos Humanos.

É preciso adotar padrões de produção, consumo e reprodução que protejam as capacidades regenerativas da Terra, os direitos humanos e o bem-estar comunitário. Neste contexto, inclui-se a redução, reutilização e reciclagem de materiais usados nos sistemas de produção e consumo, e a garantia que os resíduos possam ser assimilados pelos sistemas de produção e consumo, bem como pelos sistemas ecológicos.

A geração de resíduos dos mais diferentes tipos é uma característica da atual população e uma das conseqüências disso é que este planeta vem constantemente se modificando, passando por um processo de reorganização muitas vezes desastroso para o ecossistema e para o meio ambiente.

Tendo em vista novos paradigmas para a preservação do meio ambiente, como o desenvolvimento sustentável, o aumento da sustentabilidade e a eco-eficiência, busca-se despertar a consciência de que a natureza não é fonte ilimitada de recursos à disposição do homem.

A questão ambiental passa também pelo conhecimento do processo de produção de novas tecnologias, as quais vêm sendo uma busca constante dos meios acadêmicos com suas pesquisas e estudos direcionados ao desenvolvimento sustentável.

Nota-se, porém, que o sistema de produção por meio de um processo industrial com intensa exploração dos recursos naturais, que causam impactos ambientais à biota, aos animais e ao homem, tem um alto custo para a manutenção.

O capítulo 21 da AGENDA 21 do DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL sugere a política dos 3R's (três erres):

Reduzir: recusa de folhetos de propaganda que não são de interesse, impressão de texto dos dois lados da folha, utilização de pilhas recarregáveis;

Reutilizar: doação ou trocas de livros não utilizados, reutilização de potes de vidro e plástico;

Reciclagem: que se dê em todos os setores da produtividade, aborda o máximo do reaproveitamento e reciclagem de materiais e, ainda, salienta a disposição dos resíduos de forma sanitária e ambientalmente mais adequada, abrangendo toda a população e a universalidade dos serviços. Essas atitudes contribuem significativamente para a redução dos custos do sistema, além de proteger e melhorar o ambiente.

Porém, atualmente, o descarte dos resíduos da construção civil ocorre sem a preocupação da aplicação de um modelo ambiental. Tal prática pode ser notada em aterros sanitários, logradouros públicos, corpos d'água, áreas verdes ou em qualquer outro espaço público, sem levar em conta os possíveis impactos que possam ser gerados na natureza.

Também é preciso identificar as alternativas tecnológicas necessárias para reduzir os impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos, bem como buscar atendimento as aspirações sociais e dos aportes econômicos, obrigando o homem a investir em outras formas de desenvolvimento sustentável.

A solução para esse problema será a reutilização desse material, que vem proposta neste estudo de caso que tem como objetivo analisar o RCD (Resíduos de Construção e Demolição) e a viabilidade da sua utilização na recuperação dos pavimentos, de ruas e

avenidas de Piracicaba, após intervenção nas tubulações que fornecem água e retiram os esgotos das habitações das cidades.

Essa pode ser uma das formas de uso sustentável desse tipo de resíduo e uma forma econômica de utilização. Novas técnicas de pavimentação, novos estudos vêm permitindo o aprimoramento e a viabilidade de utilização destes resíduos, sobretudo no aproveitamento como matéria-prima.

Este trabalho é um estudo de caso de aplicação da parcela mineral do RCD na cidade de Piracicaba, localizada no Estado de São Paulo.

O RCD é o descarte das construções e de reformas, popularmente conhecido como entulho. Esses resíduos são encontrados facilmente no meio ambiente, nos logradouros públicos, nas encostas, próximos a cursos d'água, nas áreas verdes ou servindo de vetor para proliferação de doenças e contaminações.

Durante o estudo, foram ensaiadas as propriedades física, mecânica e química do material para a verificação de possíveis agentes contaminantes que poderiam inviabilizar a sua aplicação.

Para constatar a qualidade dos serviços com a aplicação desta nova metodologia, além do aspecto visual, foram executados ensaios de DCP (Dynamic Cone Penetrometer), mais conhecido como cone Sul Africano.

1.1 Enunciado da Hipótese

É possível a utilização da parcela mineral do RCD na recuperação dos pavimentos após intervenção das concessionárias de água e esgoto das cidades?

Este trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia para reciclar e propor a aplicação do RCD, dentro de uma forma determinista da mecânica dos pavimentos.

1.2 Justificativa

Este trabalho é de cunho ambiental, sendo a principal justificativa e relevância o fato de que a produção do RCD (Resíduos de Construção e Demolição) e sua disposição de forma

irregular acabam gerando grandes impactos ambientais e custos elevados para os municípios na sua gestão corretiva.

Significa dizer que as prefeituras coletam estes resíduos descartados de forma imprópria e que, também, na falta de recursos técnicos, depositam estes resíduos em aterros sanitários ou em áreas inadequadas para recebê-los.

Um outro fato relevante é que as cidades, através de seus departamentos, ou por concessionárias públicas e privadas que fornecem água tratada e afastam os esgotos das residências, necessitam de material que possam ser empregados na manutenção de suas redes, seja de água ou de esgoto, após intervenção nessas redes, para a reconstrução da pavimentação destruída.

Segundo FORTES et al., (2005) é importante o controle tecnológico para a reabilitação dos pavimentos após intervenção de concessionárias em São Paulo, principalmente a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), empresa Estadual que presta serviços de fornecimento de água e retira os esgotos em vários municípios do Estado de São Paulo.

De acordo com informações da companhia, são realizadas cerca de cinco mil intervenções por dia na região metropolitana de São Paulo. Cabe ressaltar que entre os serviços executados pela SABESP, segundo os autores citados, mais de 60% das obras de pavimentação foram qualificadas como inadequadas.

Para a realização dos serviços de intervenção (“tapa-vala”), FORTES et al., (2005) faz a seguinte analogia:

“O (a) dentista no tratamento de uma cárie retira todo o material afetado, limpa bem a área de maneira a garantir a aderência do material a ser colocado. No caso do pavimento, é necessário que o recorte possua uma forma geométrica definida (seja requadrado), devendo ser retirado todo material afetado e limpa a área.”

Segundo os autores acima qualquer intervenção é um ponto frágil que pode ficar exposto. Se o trabalho não for bem realizado, além do desperdício de tempo e material envolvidos no processo, pode ocorrer o comprometimento definitivo de todo o pavimento, servindo para acelerar a sua ruína.

Ainda com base nas conclusões descritas por FORTES et al., (2005), uma intervenção no pavimento pode ser considerada como o tratamento de uma patologia, pois quando se trata de uma patologia existe a conscientização da necessidade de cuidados redobrados e minuciosos na remoção da parte afetada e na sua reconstituição, para garantir a aderência entre os materiais.

Isto se justifica, segundo os autores, pela dificuldade em se utilizar materiais com características próximas das do material que havia sido utilizadas na execução inicial, ou de comportamento semelhante. Sempre há alguma diferença, o que poderá levar a comportamentos diferenciados.

Por essa razão, é necessário se aperfeiçoar na utilização de tecnologias e materiais adequados para a execução do “tapa-vala”, pois sempre existirá a diferença de idade, uma vez que o pavimento existente apresenta modificações oriundas da ação do tráfego e outras segundo FORTES et al., (2005).

1.3 Local do Estudo

A cidade de Piracicaba, local onde este estudo de caso foi viabilizado, está localizada em uma das regiões mais desenvolvidas e industrializadas do Estado de São Paulo, segundo o IPPLAP (Instituto de Pesquisa e Planejamento de Piracicaba).

Dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2004 mostram que Piracicaba tem aproximadamente 355 mil habitantes e sua economia está historicamente vinculada à produção agrícola e industrial, com destaque para os setores sucroalcooleiro e metal-mecânico.

O parque industrial local é diversificado e dele fazem parte indústrias e empresas nacionais e multinacionais. O comércio se apresenta na área central, em corredores comerciais de bairros, centros comerciais e em seu shopping center. Também estão instaladas unidades dos maiores hipermercados conhecidos no Brasil e na Europa.

A Figura 1 apresenta-se a localização geográfica da cidade de Piracicaba e seu entorno.

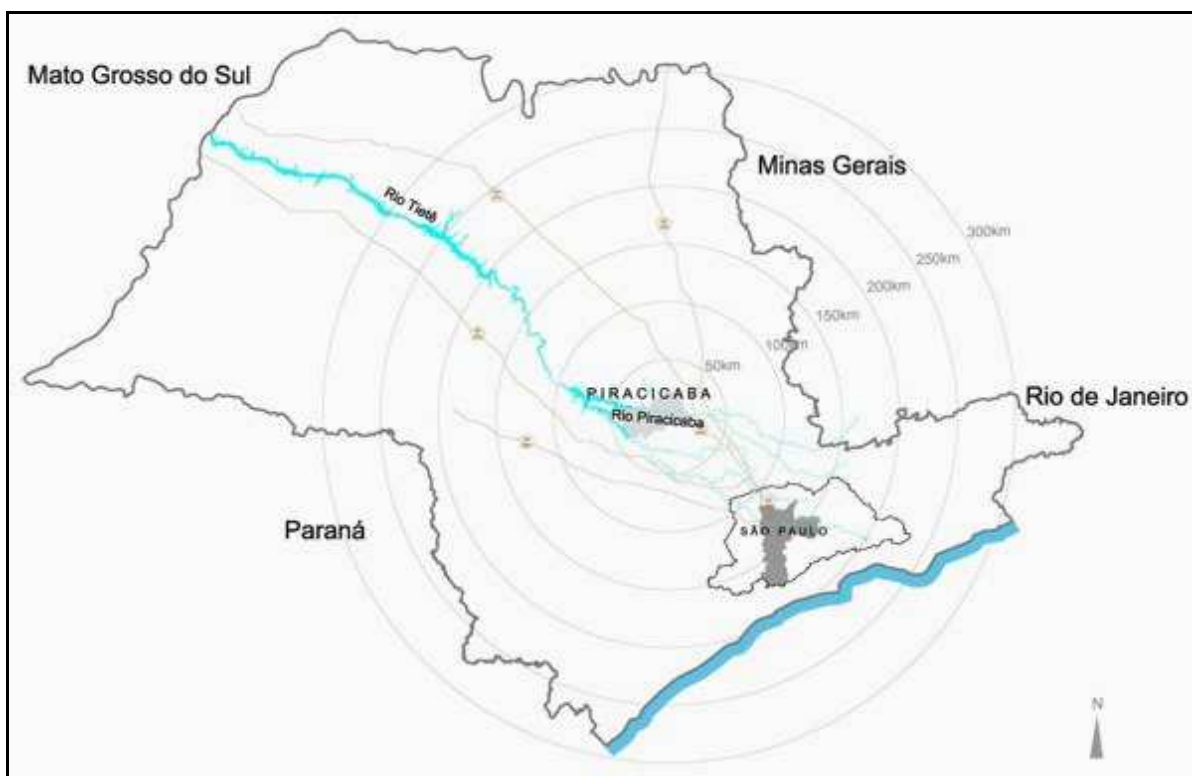


Figura 1: Localização da cidade de Piracicaba no Estado de São Paulo (IPPLAP)

Na cidade também existem importantes instituições de ensino e pesquisa no campo de ciência e tecnologia, reconhecidas internacionalmente, como a ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo), FOP (Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Universidade Estadual de Campinas) e UNIMEP (Universidade Metodista de Piracicaba), além das Faculdades Integradas Maria Imaculada e da Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba, que elevam o Município à condição de pólo de desenvolvimento científico e tecnológico.

Afora as instituições acadêmicas, também merece registro o Centro Tecnológico da Coopersucar. O Município ainda configura um importante centro regional de formação profissional, oferecendo grande número de cursos técnicos.

Incluída na principal malha viária do Estado de São Paulo, Piracicaba possui interligação rodoviária facilitada à capital e ao Porto de Santos, pelas rodovias Luiz de Queiroz, Bandeirantes e Anhangüera.

Seu aeroporto possui condições favoráveis para pouso e decolagem de aeronaves de pequeno e médio porte, inclusive no período noturno; localizada na latitude 22°42'30''S, longitude 47°38'01W, altitude 554 m (CIAGRI/USP), sua área urbana é de 165, 33 km² (IBGE) e IPPLAP (Instituto de Pesquisas e Planejamento) de Piracicaba (2000), área territorial 1.368.40 km² (IBGE 2000) sendo considerado o 19º Município do Estado. Seu relevo tem topografia pouco acidentada. A Figura 2 mostra, na área mais escura do mapa, seu território e suas vizinhanças.



Figura 2. Mapa de localização do Município de Piracicaba e seu entorno (IPPLAP).

A qualidade de vida é um dos maiores atrativos do Município. O IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de Piracicaba conquistou segundo o IPPLAP (2000) a marca de 0,836 em 2000, o que é caracterizado como “alto desenvolvimento”, segundo classificação do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). O índice está acima da média do Estado de São Paulo, que registrou 0,814 no mesmo período segundo o IBGE (2000).

A Revista Exame, em sua edição número vinte e cinco de 2001, publicou que Piracicaba logrou a posição de 32ª melhor cidade do Brasil para investimentos, em razão de sua qualidade de vida e infra-estrutura urbana.

Cortada pelo rio de mesmo nome, Piracicaba também é referência em cultura e oferece inúmeras opções de lazer e entretenimento. Teatros, cinemas, galerias de arte, museus, centros culturais, eventos de projeção internacional, como o Salão de Humor e a Bienal Naif, e parques ecológicos que garantem a diversão de sua população e dos turistas, tendo à disposição uma boa rede hoteleira. A famosa Rua do Porto, os restaurantes, cantinas, bares e lanchonetes espalhados pela cidade oferecem qualidade e diversidade na gastronomia.

A Prefeitura possui uma autarquia para prestação de serviço de saneamento básico para a população: o SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto), que viabilizou a utilização dos resíduos de construção, após o processo de reciclagem, para aplicação nos fechamentos de valas após intervenções realizadas pelo seu departamento de manutenção.

A autarquia tem a competência de exercer atividades relacionadas com o sistema público de abastecimento de água tratada, coleta e tratamento de esgoto do Município de Piracicaba tendo sido, seu primeiro presidente Paulo Geraldo Serra.

Segundo a direção do SEMAE, não é de hoje que o abastecimento de água é uma questão que tem merecido a atenção dos órgãos públicos. Para se ter uma idéia local da evolução do tema e das proporções que ele pode ter na vida de milhares de pessoas, no ano de um mil oitocentos e vinte e quatro a Câmara Municipal de Piracicaba já começava a incluir o assunto em suas pautas de reuniões.

De acordo com a direção do SEMAE, em maio de um mil oitocentos e vinte e seis foi iniciada a construção de um reservatório de dois milhões de litros de água, no bairro dos Alemães, a cargo da Empresa Hidráulica de Piracicaba, de propriedade de João Frick e Carlos Zanotta.

A autarquia só foi criada em trinta de abril de 1969, por intermédio da Lei número 1657, tendo sido regulamentada pelo decreto nº. 828, de 30 de maio do mesmo ano. Em agosto de 1969, Piracicaba já contava com inúmeros projetos de rede de esgoto e de fornecimento de água. Com isso, a autarquia ganhava autonomia econômica, financeira e administrativa.

Em outubro de um mil novecentos e sessenta e oito a sede da autarquia, foi transferida para a Rua XV de Novembro, 2200 – Centro, onde funciona até hoje. Com a inauguração da ETA (Estação de Tratamento de Água) Capim Fino, novas perspectivas foram abertas para o Município.

Em um mil novecentos e oitenta e nove foi elaborado um Plano Diretor de Água, que gerou as diretrizes e os projetos básicos para o desenvolvimento do sistema de abastecimento.

Com o lançamento da primeira ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), a Dois Córregos, inaugurada em dezembro de 1992, iniciava-se um projeto piloto com capacidade para tratar esgotos de até mil habitantes.

Em junho de um mil novecentos e noventa e oito o SEMAE inaugurou a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), Piracicamirim, dimensionada para tratar o esgoto doméstico de uma população de 90 mil pessoas. Uma obra que chama a atenção a partir do seu baixo custo de construção e manutenção e pelos sistemas de tratamento de esgotos desenvolvidos na USP (Universidade de São Paulo). A ETE é tão significativa que tem atraído a atenção de outros serviços de água e esgoto do País e de outros países, como Colômbia, Chile, Estados Unidos e México.

Em matéria de abastecimento, a cidade conta hoje com três Estações de Captação: duas no rio Piracicaba e uma no rio Corumbataí. Além disso, o sistema de abastecimento de Piracicaba está informatizado, sendo possível saber qual a quantidade de cloro ou de água em cada reservatório pelo sistema on-line, de uma central instalada na sede da autarquia. É possível ainda, remanejar água de um reservatório para outro, desligar e ligar bombas para economizar energia ou para sanar problemas emergenciais.

Entre projetos, estudos e avaliações, o SEMAE procura estar presente no dia-a-dia de Piracicaba, buscando soluções alternativas capazes de melhorar a qualidade de vida do povo Piracicabano e investindo em pesquisas e projetos que antecipem soluções para questões futuras.

Por trabalhar com a área de saneamento, a autarquia investe em projetos ecológicos, como é o caso da Semana da Água que acontece anualmente, ou os projetos experimentais com alternativas para o tratamento de esgotos, recomposição de matas ciliares e aplicação dos resíduos de construção após a reciclagem na reabilitação dos pavimentos, do que trata este estudo de caso.

1.4 Curiosidades históricas do SEMAE

No ano de 1824 o problema de abastecimento de água começou a preocupar a Câmara de Vereadores. Em abril de 1886 é iniciado, sob a responsabilidade do construtor italiano Carlos Zanotta e do engenheiro hidráulico português João Frick, a construção do primeiro reservatório da cidade: o reservatório de dois milhões de litros, localizado no bairro dos Alemães, hoje conhecido como reservatório da Rua Marechal Deodoro.

Entre os anos de um mil oitocentos e noventa e seis a 1924 a cidade de Piracicaba possuía 4129 casas urbanas, das quais apenas 2583 eram atendidas pela rede de esgoto.

Em abril de um mil novecentos e sessenta e nove a Câmara aprovou o projeto de autarquia do então prefeito Francisco Salgot Castillon, sobre a transformação do Serviço Municipal de Água e Esgoto através da lei 1657, em substituição ao DAE (Departamento de Água e Esgoto), órgão subordinado à Secretaria de Obras e Serviços Urbanos. Com isso, o Serviço ganhava autonomia econômica, financeira e administrativa. A autarquia ocupou por oito anos as instalações do antigo DAE, à Rua São José, 655.

No ano de um mil novecentos e oitenta e três cerca de 54 mil prédios da cidade eram abastecidos com água tratada e 51 mil, servidos pela rede de esgoto.

Em um mil novecentos e noventa e cinco a cidade possuía 960 quilômetros de rede de esgoto e 1.120 quilômetros de rede de água. No mês de março do mesmo ano a ESALQ-USP doou área à Prefeitura para a construção da Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Piracicamirim; em abril, Bombeiros e o SEMAE se unem para instalar mais hidrantes na cidade.

Ainda segundo o SEMAE, em 1998, mais precisamente no dia 24 de abril, foi anunciada, no gabinete do Prefeito, a desapropriação amigável de uma área de 400 mil metros quadrados no bairro Santa Terezinha, às margens da SP 304, que liga Piracicaba a São Pedro. No local seria construída a ETE Principal, que iria tratar o esgoto de 300 mil habitantes.

Em junho do mesmo ano, no dia seis, foi inaugurada a ETE Piracicamirim. Dimensionada para tratar o esgoto de 100 mil habitantes da Bacia do Ribeirão Piracicamirim. O projeto é da USP de São Carlos. A área de 30 mil metros quadrados foi cedida pela ESALQ, que também se utiliza o lodo produzido pela ETE para experiências de aplicação do mesmo na

agricultura. A ETE, desde o final de sua construção, tem chamado à atenção de técnicos e especialistas pelo seu baixo custo e sistema de tratamento.

A direção da autarquia informou que em dois mil e dois a Cidade tinha um milhão duzentos e quinze mil e setecentos sessenta e cinco metros de rede água e um milhão e oitenta e três mil e novecentos e setenta e dois metros de rede de esgoto.

1.5 Os serviços de intervenção

Os serviços de prestação de fornecimento de água e o afastamento dos esgotos se faziam por tubos que ficavam sob os leitos das ruas e avenidas. Esta foi uma prática muito comum e executada por vários anos, mas, hoje, a recomendação é que fiquem sob as calçadas.

A localização da tubulação em Piracicaba, na quase totalidade, encontra-se da seguinte forma: a tubulação de água fica locada a partir de $1/3$ de rua e a dos esgotos a $2/3$, conforme mostra a Figura 3.

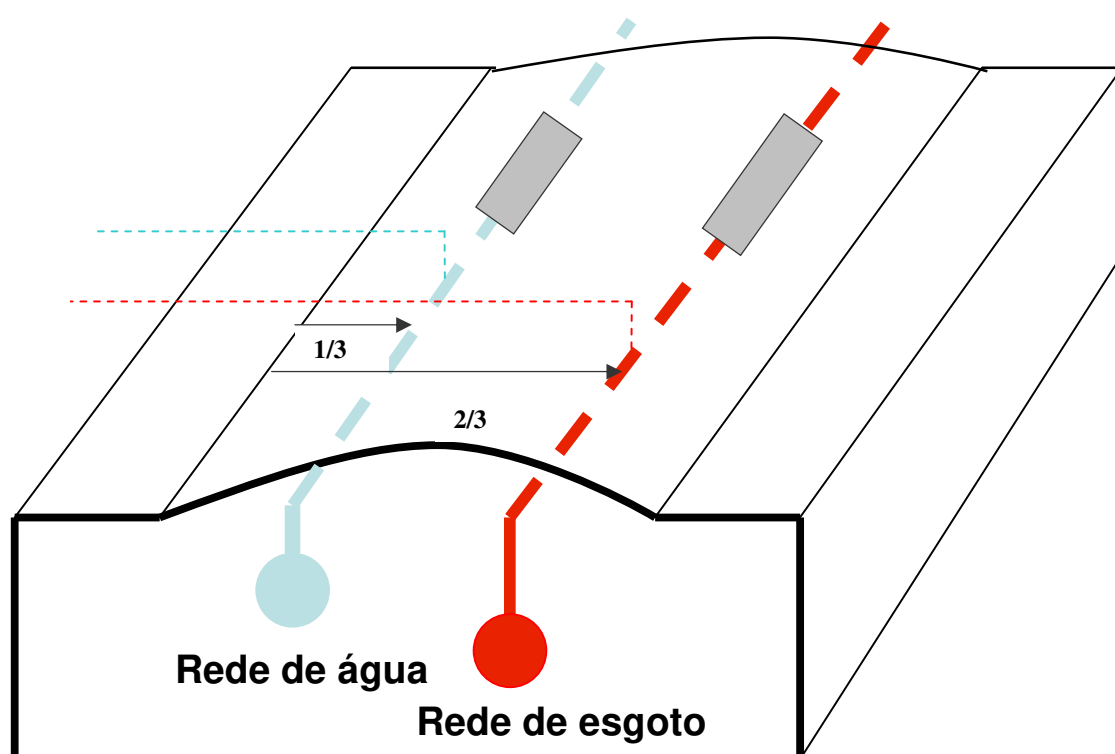


Figura 3. Localização da rede de água e esgoto sob o leito das ruas.

Segundo fontes da autarquia, no ano de dois mil e quatro foram realizadas três mil e cem intervenções pelas equipes de manutenção. Em 1374 delas foi necessário rasgar o pavimento, abrir uma vala até a tubulação, efetuar o reparo e realizar a operação “tapa-vala”, e reparar o pavimento.

2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo testar o RCD (Resíduos de Construção e Demolição), aqueles que contêm fração mineral em sua constituição, e apresentar uma metodologia para sua aplicação em obras de fechamento de valas e recuperação dos pavimentos danificados após intervenção nas redes de água e esgotos.

2.1 Objetivos Específicos

Para o agregado miúdo e graúdo obtido do RCD da cidade de Piracicaba avaliar:

- ✓ características físicas (granulometria e consistência);
- ✓ suas características mecânicas quando compactado sob diversas energias;
- ✓ seu desempenho quando aplicado nos fechamentos de valas;
- ✓ o uso do DCP (Dynamic Cone Penetrometer) ou cone Sul Africano no controle tecnológico em fechamento de valas;
- ✓ verificar a presença de possíveis contaminantes do resíduo;
- ✓ proposta de um método de aplicação de fechamento de valas e recuperação de pavimentos após intervenção de empresas de saneamento em pavimentos urbanos;

3. TERMINOLOGIA

Usualmente os resíduos são chamados de entulhos da construção, calça, metralha, RCC (Resíduos Sólidos da Construção Civil CONAMA 307), sendo que alguns autores o tratam como RDC (Resíduos de Demolição e Construção).

Neste trabalho a terminologia será RCD (Resíduos de Construção e Demolição), termo que vem sendo utilizado no meio técnico, já constando em normas técnicas e trabalhos técnicos e científicos publicados.

Segundo a NBR 15112: Áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT): São áreas destinadas ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (galharia, podas de árvores, capim), para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devem ser realizados conforme a NBR 15112;

Segundo a NBR 15113:2004: Aterro de resíduos da construção e de resíduos de inertes: Áreas onde são empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil classe A, conforme classificação da resolução CONAMA 307, e resíduos inertes no solo, visando a reservação de materiais segregados, de forma a possibilitar o uso futuro dos materiais e/ou futura utilização da área, conforme princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente, devendo ser implantados segundo a NBR 15113:2004;

- Reservação de resíduos: Processo de disposição segregada de resíduos triados para reutilização ou reciclagem futura;

- Sistema de monitoramento de águas subterrâneas: Rede de poços implantada para permitir a avaliação de possíveis influências do líquido percolado do aterro na qualidade das águas subterrâneas;

- CTR (Controle de transporte de resíduos): Documento obrigatório segundo a NBR 15113, que deverá ser emitido pelo transportador dos resíduos e que fornece informações sobre – o gerador, origem, quantidade e descrição dos resíduos e seu destino;

O MANUAL do DNIT (2005) define que:

■ Pavimento é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a resistir a distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos de tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto, resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

■ Subleito é o terreno de fundação do pavimento;

■ Leito é a superfície obtida pela terraplenagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais;

■ Greide do leito é o perfil do eixo longitudinal do leito;

■ Regularização é a camada posta sobre o leito destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente. De acordo com as especificações, esta camada não constitui propriamente uma camada de pavimento;

■ Reforço do subleito é uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da camada de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhor que o material do subleito;

■ Sub-base é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização;

■ Base é uma camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito e sobre a qual se constrói o revestimento;

■ Revestimento é a camada, tanto quanto possível impermeável que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinado a melhorá-la quanto à comodidade e segurança, e a resistir ao desgaste;

■ A Figura 4 ilustra um corte transversal de um pavimento e suas camadas, podendo variar segundo as características do que o projeto irá demandar.

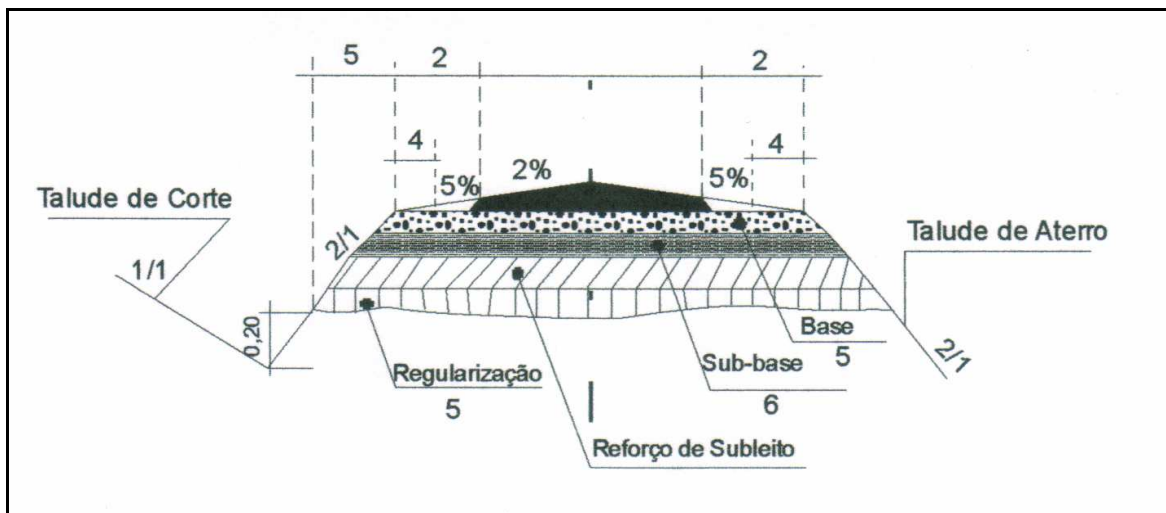


Figura 4. Corte esquemático de um pavimento manual do DNIT (2005).

Essas camadas são as estruturas do pavimento e variam quanto à espessura e aos materiais utilizados. O pavimento é uma estrutura que deve possuir características de elevada resistência, baixa deformabilidade, permeabilidade e aderência adequadas à circulação dos veículos.

Esta definição exprime aquilo que foi historicamente o objetivo da pavimentação de estradas e ruas, que é melhorar suas condições, protegendo-as da ação da água, da formação de poeiras e tornando-as mais confortáveis, duráveis e seguras ao tráfego MEDINA (1997).

Assim, dependendo destes parâmetros, o pavimento pode ter que ser mais ou menos reforçado, sendo esse reforço feito com aumento das espessuras das camadas que o constituem, ou com repetição de alguma camada ou de outros procedimentos que possa requerer mais estudos para a definição.

Podem existir dois tipos de pavimentos, os do tipo flexível e os rígidos, sendo que a diferença existente entre eles reside no tipo de materiais que constitui as camadas superiores. No caso dos pavimentos rígidos, as camadas superiores são constituídas por concreto mais ou menos enriquecido, dependendo da função. Quanto ao pavimento flexível, as camadas superiores são constituídas por misturas betuminosas, popularmente conhecidas por asfalto.

Em ambos os tipos, sob estas camadas superiores podem existir duas camadas de materiais britados, dependendo do tráfego, e do tempo de uso que irá destinar o projeto, e é designada por sub-base e base.

Tanto a camada de sub-base como a camada de base pode ser constituída por agregados britados, ou seja, pelo produto resultante da fragmentação de rocha em centrais de britagem ou por diversos tipos de estabilização com materiais alternativos.

No que se referem às misturas betuminosas, estas são compostas por inertes britados de diabásio, granito ou basalto, betume asfáltico (resíduo do petróleo) e o macadame betuminoso, também chamado de base betuminosa - é a camada constituída por inertes britados de rochas e ligados por materiais betuminosos.

■ O Binder, constituído por inertes de rochas, é aplicado para fazer a transição entre a base ou o macadame betuminoso e o concreto betuminoso, eliminando as irregularidades que a plataforma possa eventualmente conter e aumentando a resistência estrutural do pavimento, de forma que a camada de concreto betuminoso fique perfeitamente desempenada.

■ O concreto betuminoso, cuja camada é normalmente designada por camada de rolamento, é composto pela britagem de granito, diabásio ou de basalto, e ligada, também, com material betuminoso (asfalto).

Segundo antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) em DNER-700-GTTR de 1997 (Glossário de Termos Técnicos Rodoviários) define que:

▫ Asfalto: material aglutinante de consistência variável, cor pardo-escuro ou negro e no qual o constituinte é o betume, podendo ocorrer na natureza em jazidas ou ser obtido pela refinação do petróleo;

▫ Asfalto diluído de cura rápida: asfalto resultante de diluição de um adequado cimento asfáltico preparado do petróleo com uma nafta leve conveniente;

▫ Base estabilizada: base de solo natural tratada granulometricamente ou por aditivos, de modo a oferecer maior resistência à desagregação e maior capacidade de suporte;

▫ Berço: dispositivo que serve de apoio à carga, imobilizando-a, camada projetada para servir de apoio a tubos, ou para receber uma tubulação;

▫ Betume: mistura de hidrocarbonetos pesados obtidos em estado natural ou por diferentes processos físicos ou químicos com seus derivados, de consistência variável e com poder de aglutinante e impermeabilizante, sendo completamente solúvel no bissulfeto de carbono (CS_2);

- Binder: mistura a quente, de graduação aberta, de agregado e asfalto;
- Bica corrida: brita corrida da qual se separa apenas, com peneira, o material grande demais, para uso;
- Borrachudo: porção de solo que pode ter boas características estruturais, mas que perde o poder de suporte, devido ao excesso de umidade ou por outro motivo, parte de pavimento em adiantado estado de desintegração em consequência de afundamento do subleito;
- Britador: máquinas para britar pedras;
- Britador de mandíbulas: triturador de rocha, cuja ação se exerce por meio de placas metálicas de forma especial;
- Britador primário: equipamento de britagem que, em uma instalação para este fim, recebe o material do local de extração e procede à primeira redução do tamanho das pedras. Em geral são britadores de mandíbulas ou giratórios;
- Britador secundário: equipamento de britagem que, em uma instalação para esse fim, recebe o material do britador primário para nova redução de tamanho das pedras. Em geral são britadores cônicos e de rolo;
- Camada de pavimento: cada parte constituinte do pavimento que se constitui de um mesmo material e possui espessura uniforme transversal e longitudinalmente, obtida a partir do método de dimensionamento adotado, para cada sub-trecho homogêneo quanto ao subleito, ao tráfego e às condições ambientais;
- CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente;
- Coeficiente de Uniformidade: relação entre os diâmetros correspondentes a 60 % e 10 %, tomados na curva granulométrica;
- Compactação: operação por processos manuais ou mecânicos, destinada a reduzir o volume de vazios de um solo ou outro material, com a finalidade de aumentar-lhe a massa específica, resistência e estabilidade;
- Composição granulométrica: distribuição percentual em massa das várias frações de um solo ou agregado, em relação à amostra total;

- Concreto asfáltico: mistura composta de agregado graúdo, agregado miúdo e material de enchimento (filler mineral) e cimento asfáltico, realizada a quente, em usina apropriada. O cimento asfáltico deve recobrir uniformemente as partículas dos agregados. A mistura deve ser espalhada e comprimida a quente, conforme exigências da especificação;
- Curva granulométrica: curva que representa as percentagens acumuladas, em peso, de partículas de diferentes dimensões, em função de abertura de malha de peneira pela qual passam;
- Demolição: ato ou efeito de deitar por terra qualquer construção, ato ou efeito de desmanchar uma construção;
- Emulsão Asfáltica Catiônica: sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa, ou então em uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica, apresentando uma fase positiva de partícula;
- Ensaio “in situ”: ensaio realizado no local em que se acha o material, bem ou sistema, cujas características devem ser determinadas;
- Ensaio de CBR: ensaio de suporte dos solos muito utilizado dado a simplicidade do equipamento necessário e a facilidade de execução apesar o empirismo metodológico;
- Ensaio CBR “in situ”: ensaio CBR efetuado diretamente na camada de solo a ensaiar;
- Ensaio de compactação de solos: ensaio para determinação da relação umidade de compactação com a massa específica dos solos, através da aplicação de energias padronizadas;
- Ensaio de compressão simples: ensaio de compressão de um material não confinado;
- Ensaios não destrutivos: ensaios que visam detectar as características e/ou descontinuidade de um material, sem prejudicar suas características iniciais;
- Entulho: conjunto de fragmentos ou retos de materiais provenientes de uma construção;
- Equipamento de britagem: conjunto de máquinas destinadas à produção de pedra britada;

▫ Estabilização granulométrica: estabilização de solo baseada em utilização de partículas de solo de granulometria definida, para obtenção de granulometria adequada e conforme projeto;

▫ Filler: material mineral inerte, não plástico, passando pelo menos 65 % na peneira de 0,075 mm de abertura de malha, para misturas betuminosas de tipo superior;

▫ Faixa granulométrica: zona compreendida entre duas curvas granulométricas limites;

▫ Forma de agregado: feição exterior de agregado, caracterizado pelas relações de suas dimensões (alongado, esférico, cúbico, lamelar), tipos de arestas e cantos (angulosos, arredondados);

▫ Geotécnica: aplicação de métodos científicos e princípios de engenharia na solução de problemas concernentes a características e comportamento do solo, sobretudo com vistas à sua resistência;

▫ Graduação de um solo: distribuição das partículas de um solo segundo suas dimensões;

▫ Granulometria: determinação das quantidades dos diferentes tamanhos das partículas de um solo ou agregados pode ser também característica de um solo ou agregado referente às partículas constituintes segundo suas dimensões e distribuição;

▫ Granulometria aberta: característica de agregado que por ter teor de vazio muito grande, permite obter uma textura superficial de pavimento aberta;

▫ Granulometria contínua: granulometria onde as partículas variam e tamanho, através de peneiras consecutivas, de forma regular;

▫ Granulometria descontínua: granulometria na qual se nota a ausência de partículas de determinados tamanhos, isto é, não regularidade na variação dos tamanhos das partículas;

▫ Imprimação: aplicação de um material betuminoso fluido na superfície de uma base concluída, para aumentar sua coesão superficial, impermeabiliza-la, e aumentar sua aderência ao revestimento;

▫ In situ: no lugar, na própria obra;

- Jazida: depósito natural suscetível de fornecer material para dada finalidade;
- Lixiviação: remoção das partículas solúveis e/ou coloidais de um solo pela percolação da água;
- Macadame hidráulico: camada de agregado graúdo cujos vazios são cheios de agregados miúdos com intervenção de água, sob pressão;
- Pavimento: Estrutura constituída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento;
- Pavimento betuminoso: pavimento cuja camada superior é um revestimento betuminoso;
- Pavimento de baixo custo: pavimento em que se utiliza ao máximo os materiais e outros recursos locais, visando um custo mínimo, segundo especificações baseadas na experiência regional em detrimento de especificações “ortodoxias” e/ou pavimento cuja especificação visa especialmente custo inferior ao de um pavimento de uso normal;
- Pavimento flexível: pavimento que consiste de uma camada de rolamento asfáltica e de base, constituída de uma ou mais camadas, que se apóia sobre o leito da estrada, sendo que a camada de rolamento pode-se adaptar à formação da base, quando solicitada;
- Pavimento rígido: pavimento cujo revestimento é constituído de concreto de cimento;
- Pedra britada numerada: pedra britada, classificada em função dos resultados de peneiração em 0, 1, 2, 3, 4 e 5, conforme Norma da ABNT;
- Pedregulho: fragmento natural de rocha, geralmente na forma arredondada com diâmetro compreendido entre 4,8 mm e 76 mm;
- Piche: substância negra, resinosa, pegajosa, obtida após destilação parcial de óleos de alcatrão;
- Reforço de subleito: camada do pavimento executada com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base, por motivos técnicos ou econômicos;

▫ Resíduo: material inútil, sobra de material, resto de uma substância submetida a uma operação ou alteração qualquer, diferença entre o valor observado em uma experiência e o valor mais provável da grandeza sob observação;

▫ Resistência compressão simples: resistência de um material ao esforço de compressão simples, carga por área, sob a qual um corpo-de-prova cilíndrico se rompe no ensaio de compressão simples;

▫ Saprólito: solo proveniente de alteração “in situ” da rocha matriz, apresentando vestígios da estrutura dessa rocha (textura e macroestrutura). Os seus minerais, com exceção do quartzo, encontram-se parcial ou totalmente alterados, com eventuais matacões ou lentes de rocha intemperizada. Correspondente a um estágio de evolução do solo residual;

▫ Solo laterítico: solo típico das regiões tropicais quentes e úmidas e cuja fração argilosa tem uma relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ menor ou igual a 2, e apresenta baixa expansibilidade;

▫ Vala: Escavação a céu aberto, destinada a recolher e conduzir águas.

4. ENSAIOS

4.1 Propriedades Químicas, Lixiviação e Solubilização

Para a determinação dos compostos orgânicos voláteis, seguiu-se o que determina o artigo 16 do decreto número 8468.

As análises de Lixiviação foram realizadas conforme recomenda a Norma ABNT NBR 10005:2004, metodologia: “Stand methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th ed. and “USEPA SW- 846 – Test Methods for Evaluation Solid Waste-Physical/Chemical Methods”.

As análises de Solubilização foram realizadas conforme recomenda a NBR 10006:2004, metodologia: “Stand methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th ed. and “USEPA SW- 846 – Test Methods for Evaluation Solid Waste-Physical / Chemical Methods”.

4.2 Propriedades Físicas

Quanto às propriedades físicas, foram realizados ensaios para determinação de suas características no que se refere à consistência, granulometria e resistência mecânica, de acordo com procedimentos estabelecidos por Normas Brasileiras NBR e do antigo DNER, hoje denominado de DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte).

4.2.1 Limites de Consistência

Esses limites permitem avaliar a plasticidade dos solos, propriedade que consiste em determinar em maior ou menor a capacidade de um solo de ser moldado sem variação de volume, sob certas condições de umidade.

Entre os ensaios de rotina, para caracterização segundo sua plasticidade, estão a determinação do limite de liquidez (DNER-ME 122:94) e limite de plasticidade (DNER-ME 082:94).

O limite de liquidez permite identificar a umidade de transição entre os estados líquido e plástico de um determinado material. Já o limite de plasticidade indica a umidade de transição entre o estado plástico e o semi-sólido. Por fim, o índice de plasticidade é obtido pela diferença entre esses dois limites, conforme equação 1:

$$\text{Índice de plasticidade, } IP = LL - LP \quad \text{Equação (1)}$$

O índice de plasticidade (IP) corresponde à faixa de valores de umidade do solo, conforme Figura 5, na qual ele se comporta de maneira plástica; é a diferença numérica entre o valor do limite de liquidez e do limite de plasticidade.

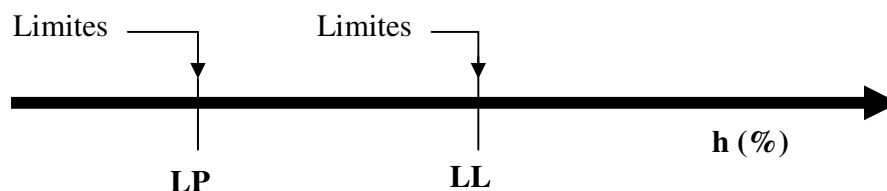


Figura 5. Comportamento da consistência do solo (mudança de fases).

Ambos são teores de umidade (h), que indicam:

LL = Limite de liquidez define a passagem do estado plástico para o líquido;

LP = Limite de plasticidade define a passagem do estado semi-sólido para o plástico.

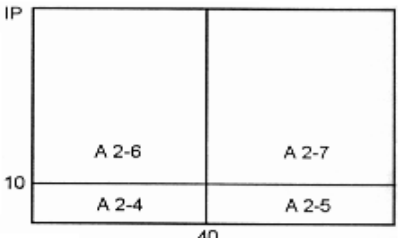
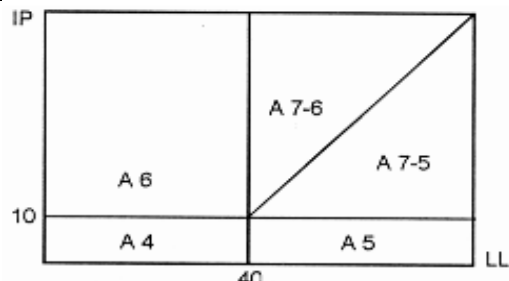
Segundo PINTO (2002) o sistema Rodoviário de Classificação muito empregado na engenharia rodoviária em todo o mundo, foi originalmente proposto nos Estados Unidos. É também baseado na granulometria e nos limites de consistência.

Neste sistema de classificação HRB (Highway Research Board), ver Quadro I, as frações granulométricas e os índices de consistência dos solos de granulação grossa devem ter menos de 35 % de materiais passantes na peneira de número 200 (0,075 mm), sendo então classificados como A-1, A-2 e A-3. Os solos com mais de 35 % de materiais passantes nesta mesma peneira formam os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7.

Os solos de granulação grossa são subdivididos em:

- A-1a: solos grossos, com menos de 50 % passando na peneira número 10, menos de 30 % passando na peneira de nº. 40 e menos de 15 % passando na peneira nº. 200. Neste caso, o índice de plasticidade dos finos deve ser inferior a seis;
- A-1b: solos grossos, com menos de 50 % passando na peneira número 40 e menos de 25 % passando na peneira de nº. 200. O índice de plasticidade também deve ser inferior a seis;
- A-3: areias finas, com mais de 50 % de materiais passantes na peneira de número 200;
- A-2: areias nas quais as parcelas de finos representam a característica secundária; subdividem-se em A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7.

Quadro I. Esquema para classificação pelo Sistema Rodoviário.

		% Peneira # 10 2,00 mm	% Peneira # 40 0,42 mm	% Peneira # 200 0,075 mm	IP
% que passa na peneira malha # 200 < 35	A-1 ^a		< 30	< 15	< 6
	A-1b	< 50	< 50	< 25	< 6
	A-3		> 50	< 10	NP
	A-2	A-2-4			
		A-2-5			
A-2-6					
	A-2-7				
% que passa na peneira # 200 > 35	A-4				
	A-5				
	A-6				
	A-7-5				
	A-7-6				

Fonte: PINTO 2002, p. 58.

4.3 Análise Granulometria

A análise granulométrica tem como objetivo a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram e é representada graficamente pela “Curva Granulométrica”.

A curva granulométrica permite distinguir tipos diferentes de diâmetro dos grãos, identificar um solo como sendo bem ou mal graduado e auxiliar na identificação das características de uniformidade e graduação dos solos, definindo índices.

A escala granulométrica adotada pela ABNT 6502:95 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define a nomenclatura das partículas conforme mostra a Figura 6 e a Tabela 1.

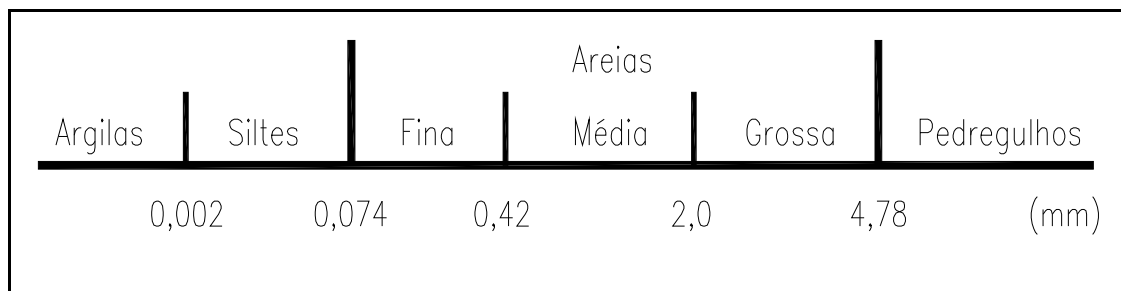


Figura 6. Escala granulométrica da ABNT.

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho das partículas.

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 25,00cm a 1,00m
Pedra	de 7,60cm a 25,00cm
Pedregulho	de 4,80mm a 7,60cm
Areia Grossa	de 2,00mm a 4,80mm
Areia Média	de 0,042mm a 2,00mm
Areia Fina	de 0,05mm a 0,042mm
Silte	de 0,005mm a 0,05mm
Argila	Inferior a 0,005mm

Fonte: PINTO, 2002, p.4.

Segundo BAESSO et al., (2003), a forma da curva pode distinguir os diferentes tipos de granulometria, contínua, descontínua, uniforme, bem graduada ou mal graduada, conforme apresente, ou não, um predomínio das frações grossas e suficiente porcentagem das frações finas, o que é mostrado na Figura 7.

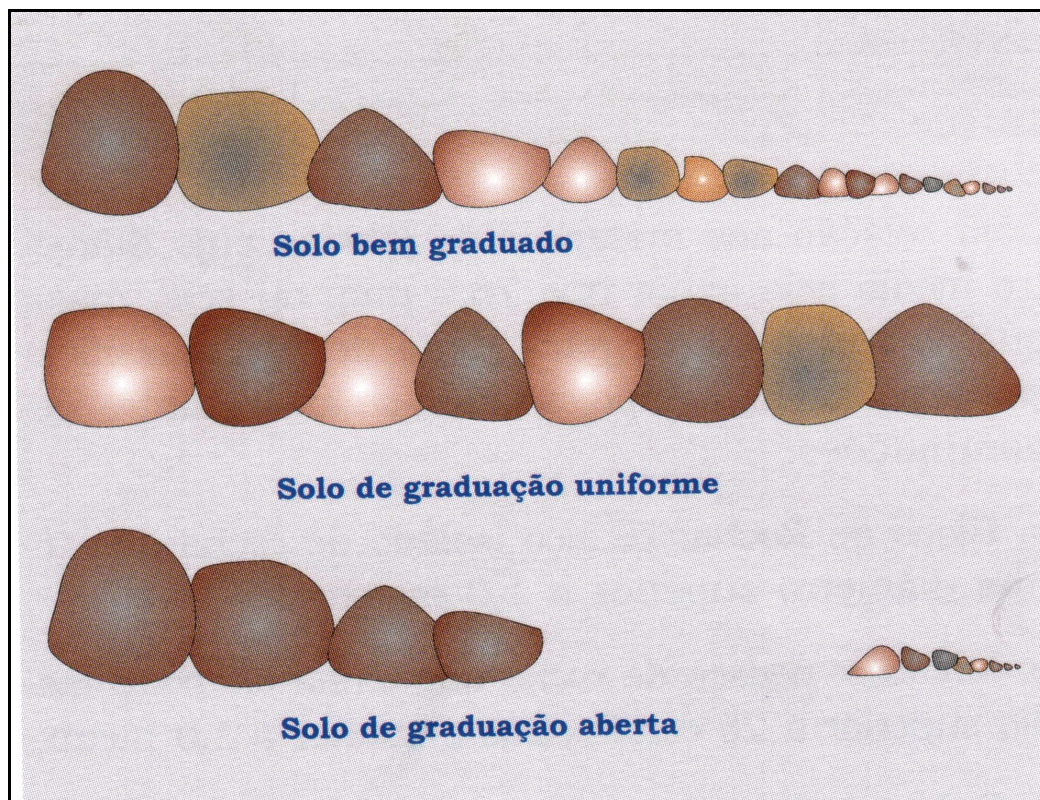


Figura 7. Graduação dos solos, extraído de BAESSO et al., (2003).

Segundo os autores, quando os agregados não apresentarem as proporções adequadas, seja de exploração natural ou não, torna-se necessário proceder a estabilização granulométrica desses materiais com a adição de outros agregados. O objetivo é manter a mistura estável, enquadrando-a em determinados padrões para utilização.

O diâmetro efetivo (D10 ou D_e) é o diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele. Já o D30 e D60 são diâmetros correspondentes a 30 % e 60 % em peso total das partículas menores que eles, como indica a Figura 8 ilustra como são obtidos os diâmetros efetivos.

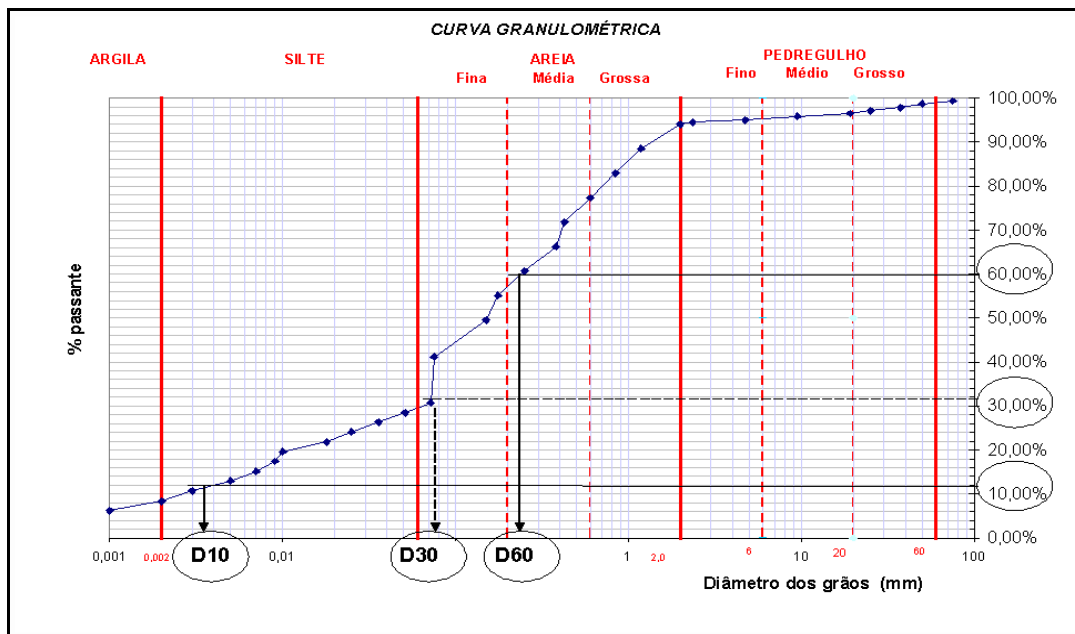


Figura 8. Tipo de curva granulométrica e como se obtém d10, d30 e d60,
Fonte: ALMEIDA (2005).

O grau de uniformidade (U): indica uniformidade, sendo tanto menor quanto mais uniforme for o solo, e é obtido a partir da equação 2:

$$U = D_{60} / D_{10} \quad \text{Equação (2)}$$

Segundo ALMEIDA (2005), quanto menor o grau de uniformidade, maior é a inclinação da curva granulométrica e o solo é melhor graduado, conforme a seguinte classificação:

$$U < 5 \rightarrow \text{muito uniforme}$$

$$5 < U < 15 \rightarrow \text{uniformidade média}$$

$$U > 15 \rightarrow \text{desuniforme}$$

Para ALMEIDA, solos uniformes são os que têm grau de uniformidade menor que três desuniformes os que têm $U > 3$ e, solos bem graduados têm $1 < CC < 3$.

Outro coeficiente é o coeficiente de curvatura, definido como:

$$C = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60}) \quad \text{Equação (3)}$$

Segundo PINTO (2002) o coeficiente de curvatura detecta melhor o formato da curva granulométrica e permite identificar eventuais descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos no conjunto.

4.4 Ensaio de Índice de Degradação

O ensaio de índice de degradação tem por objetivo avaliar o comportamento de um material após o processo de compactação. O ensaio é realizado tendo como parâmetros as análises granulométricas antes e depois do processo de compactação, segundo CARNEIRO et al., (2001).

O ensaio foi baseado no artigo “Estudos dos solos lateríticos: índice de degradação e sua influência na compactação e I.S.C (Índice Suporte Califórnia)”, segundo (CARNEIRO et al., 2001. p.198, apud Macedo; Lima; Costa, 1986). Segundo os autores acima o índice de degradação é obtido através do deslocamento médio da curva granulométrica da amostra degradada pelo ensaio de compactação, em relação à amostra inicial, e apresenta-se como um parâmetro para a avaliação.

O valor crítico do índice de degradação ocorre quando a curva granulométrica ultrapassa os limites especificados para a faixa adotada, ou quando é possível identificar uma brusca inflexão da curva granulométrica, causada por uma fratura mais significativa de certo tamanho das partículas.

4.5 CBR ou I.S.C (Índice Suporte Califórnia)

O Ensaio Califórnia ou CBR DNER – ME 049:94 (California Bearing Ratio) foi desenvolvido pelo *California Division of Highways* para determinar o Índice de Suporte Califórnia e as características de expansão de base, sub-base e subleito. É muito utilizado no meio rodoviário e usado na seleção de material e controle de subleitos. Pode ser realizado em todos os tipos de solo e é baseado na resistência de penetração do solo testado e comparado a um ensaio realizado em pedregulho.

Compacta-se a amostra de solo num cilindro com 15 cm de diâmetro e 17 cm de altura, na umidade ótima, até atingir a massa específica aparente seca que se deseja. Após a

compactação, inunda-se o corpo de prova, sob pressão ou não, durante quatro dias, a fim de se procurar atingir a sua saturação.

Sob a amostra em saturação é colocado um peso de 45 kN (4,5 kg) para simular a resistência que o peso do pavimento impõe a sua expansão.

Aproveita-se a saturação para se medir por meio de um deflectômetro a expansão que a amostra sofre ao saturar-se. Assim preparado o corpo de prova, inicia-se o ensaio. Por meio de um macaco hidráulico reagindo contra uma armação metálica, faz-se pressão sobre o corpo de prova com um punção cilíndrico de 19,35 cm² de diâmetro, em uma amostra de solo convenientemente preparada a uma velocidade de 1,25 mm/minuto.

Um manômetro dá a pressão aplicada e um deflectômetro mede as deformações com as quais se traça o gráfico pressão versus deformação.

Define-se o Índice de Suporte Californiano (CBR) como sendo:

$$CBR = \frac{P \times 100}{70} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde P 70 kgf/cm² é a pressão de punção para uma deformação de 2,54 mm, o valor 105 kgf/cm² corresponde a penetração de 5,08 mm na respectiva curva deformação do CBR. Primeiramente, mede-se a pressão aplicada (manômetro ou anel dinamométrico), exigindo-se a pressão de 70 kgf/cm² para a penetração de 2,54 mm. Caso haja necessidade, faz-se a correção da curva em relação ao ponto inicial para a carga de 70 e 105 kgf/cm², respectivamente, adotando-se o maior valor, conforme ilustra a Figura 9.

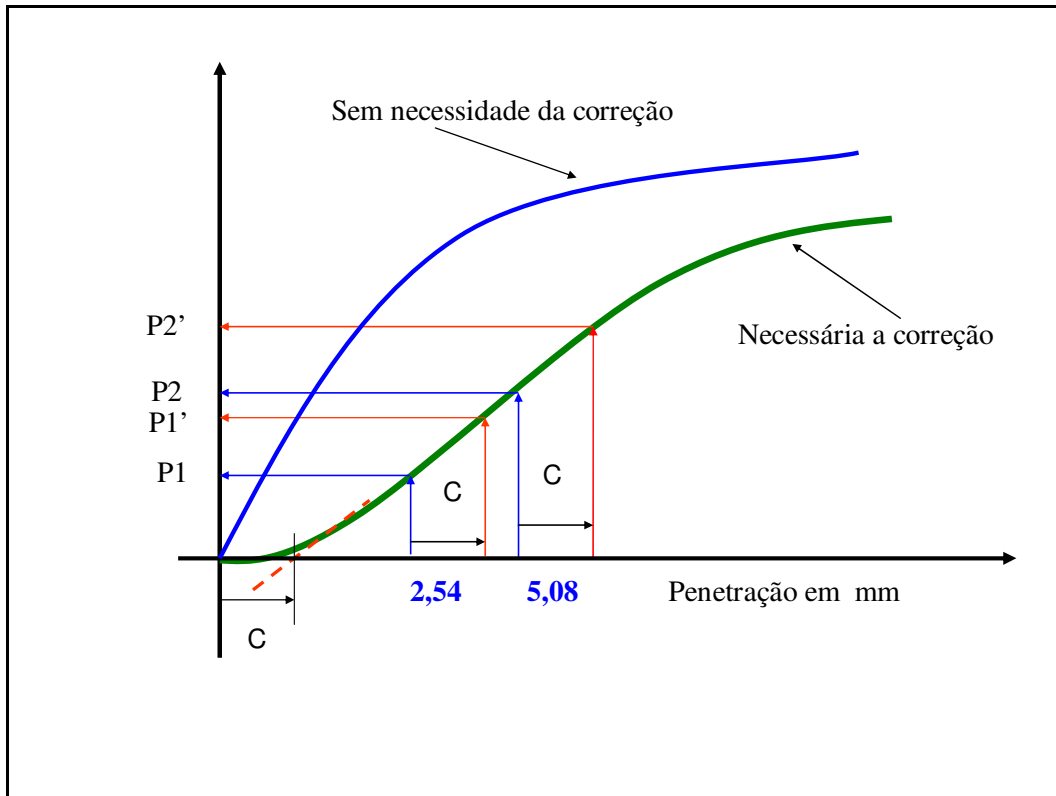


Figura 9. Curva CBR pressão versus penetração sem e com correção da curva.

Onde:

P1 e P2: Pressões lidas para 2,54 e 5,08 mm;

P1' e P2': Pressões lidas para 2,54 e 5,08 mm;

donde,

$$CBR(\%) = \frac{\text{pressão } 2,54\text{mm}}{70} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

OU

$$CBR(\%) = \frac{\text{pressão } 5,08\text{mm}}{105} \times 100 \quad \text{Equação (6)}$$

O ensaio também mede a expansão do solo em porcentagem, por meio de um extensor que fica apoiado sobre um cilindro que contém a amostra do solo compactado e que fica embebida em água durante 96 horas; a expansão é medida após este período.

4.6 Compressão Axial (RCS)

O ensaio de resistência à compressão simples DNER-ME 201:1994 mede a resistência de um cilindro de solo submetido à compressão axial (σ_1) desprovido de suporte lateral ($\sigma_3 = 0$). É um ensaio rápido e econômico para a determinação aproximada da resistência ao cisalhamento de solos coesivos.

O resultado poderá ser obtido após apresentar resistência da ruptura dos corpos de prova, aos sete e aos 28 dias da moldagem e cura em câmara úmida.

4.7 Cone de Penetração Dinâmica (DCP)

Cone de Penetração Dinâmica é traduzido do Dynamic Cone Penetrometer, ou ensaio de DCP, mais conhecido como Cone Sul Africano, foi aprimorado na África do Sul (vem daí o nome) e muito utilizado na Argentina, Chile, Estados Unidos, Inglaterra, Malásia Israel e Tailândia.

Segundo LIMA (2000) apud, KLEYN (1975), na África do Sul pela a Central African Standard pesquisou e desenvolveu um modelo de DCP e foi modificado posteriormente pela TRD (Transvaal Road Department) daquele país, sendo atualmente o mais conhecido e mais utilizado no mundo afora.

As características geométricas do equipamento desenvolvido pela TRD e utilizado neste trabalho são:

- Peso do martelo = 8,0 kgf;
- Altura de queda do martelo = 575 mm;
- Diâmetro da Haste = 16 mm;
- Diâmetro da ponta cônica = 20 mm;
- Ângulo de abertura da ponta cônica = 60°;
- Altura total do equipamento = 1,90 m;
- Peso total = 14 kgf.

Segundo SILVA JUNIOR et al., (2005), o ensaio de DCP pode ser considerado como semidestrutivo, pois as estruturas das camadas sofridas com a penetração ficam praticamente inalteradas após sua realização. O DCP é um ensaio relativamente rápido, versátil e mais econômico quando comparado aos demais ensaios tradicionais utilizados para o mesmo fim.

De acordo com os autores, a forma de análise da estrutura dos materiais para dimensionamento e controle de execução dos serviços, utilizando o ensaio de DCP, é simples e mais econômica. Trata-se de um equipamento bastante simples, o ensaio é rápido e dura, aproximadamente, 15 minutos. O peso total do equipamento é de aproximadamente 12 kg e desmontado pode ser transportado facilmente no porta malas de um carro do tipo popular econômico. Existem ponteiros com ângulo de 30° e 60°, a Figura 10 mostra o equipamento.

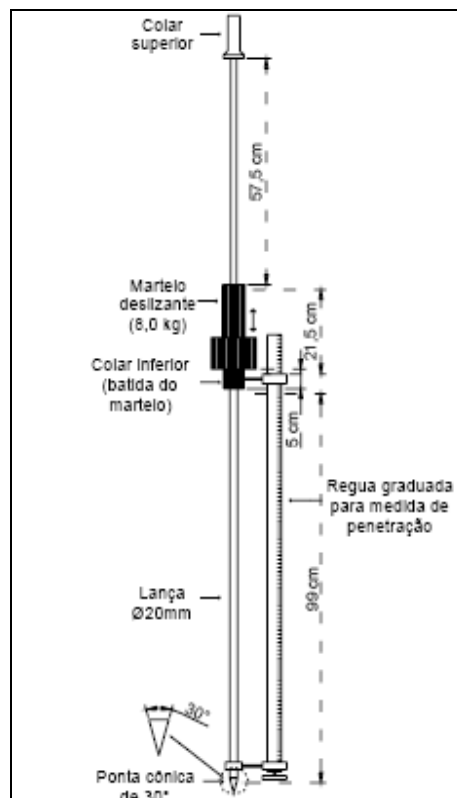


Figura 10. Aparelho de DCP com ponteira de 30° extraído de JUNIOR et al., (2005).

A dinâmica da realização do ensaio consiste em:

- posicionar o aparelho de DCP na vertical;
- nivelar a régua com a superfície do solo;
- registrar a penetração inicial, para assentamento do peso próprio do equipamento;

- elevar o peso (martelo) até altura máxima;
- liberar o peso em queda livre;
- fazer leitura em mm a cada três golpes e anotar; mais três e anotar, e assim sucessivamente até a espessura desejada;
- para remover o equipamento, por meio de golpeamento do martelo em sentido contrário, de baixo para cima.

O valor de DCP será dado em função da resistência que o material oferece para a penetração da ponta cônica do aparelho, obtendo um índice de resistência à penetração DCP ou DPI em mm/golpe (índice de penetração), conforme expressão:

$$DCP \text{ ou } DPI = \frac{\text{penetração}}{\text{números de golpes}} \quad \text{Equação (7)}$$

Pode-se construir um gráfico conforme a Figura 11, plotando na ordenada os valores referentes aos números de golpes nas abscissas a penetração em milímetros. A partir do gráfico é possível medir a resistência que o material oferece. Quanto maior a inclinação, menor será a resistência da camada; também é possível verificar a espessura das camadas realizadas.

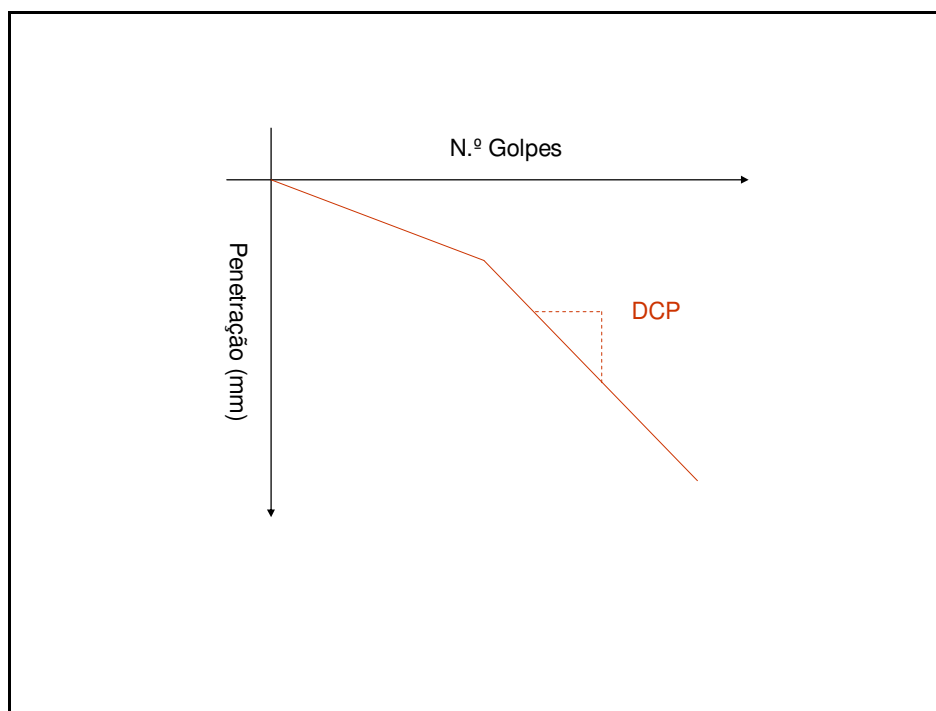


Figura 11. Resultado típico do ensaio DCP.

Pode-se fazer uma correlação entre o valor obtido com o DCP e o CBR do material estudado, bastando utilizar a fórmula que mais se aplica ao caso. Neste estudo de caso, será aplicada a correlação do USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Norte Americano), válida para $CBR > 10$, segundo SACHET et al., (2006), adequada para material granular, o CBR será:

$$CBR = \frac{292}{DPI} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde DPI (Dynamic Penetration Cone Index) é a penetração média verificada na camada, em mm/golpes. O principal uso do ensaio DCP consiste na estimativa da capacidade de suporte das camadas da estrutura do pavimento e também no controle tecnológico, desta forma, faz-se a correlação do CBR versus DCP segundo LIMA (2000).

Segundo LIMA (2000) várias correlações já foram aplicadas por diferentes autores, conforme Tabela 2, é possível escolher aquela que seja mais adequada, sem a necessidade de calibrar o equipamento no laboratório.

Tabela 2. Correlações do CBR obtido do ensaio com DCP ponteira de 60°.

Autor	País	Ano	Números de testes	Equação
Kleyn	África do Sul	1975	2000	$\text{Log CBR} = 2,631 - 1,280 \times \text{Log DCP}$
Harison	Austrália	1986	72	$\text{Log CBR} = 2,810 - 1,320 \times \text{Log DCP}$
TRRL	Inglaterra	1986	--	$\text{Log CBR} = 2,480 - 1,060 \times \text{Log DCP}$
Heyn	Brasil	1986	--	$\text{Log CBR} = 2,647 - 1,300 \times \text{Log DCP}$
Hasin	Malasia	1987	28	$\text{Log CBR} = 2,430 - 0,990 \times \text{Log DCP}$
Angelone	Argentina	1991	--	$\text{Log CBR} = 2,563 - 1,050 \times \text{Log DCP}$
Ponce	Chile	1991	101	$\text{Log CBR} = 2,890 - 1,460 \times \text{Log DCP}$
Oliveira	Brasil	1998	70	$\text{Log CBR} = 2,490 - 1,057 \times \text{Log DCP}$
Triches	Brasil	1998	53	$\text{Log CBR} = 2,710 - 1,250 \times \text{Log DCP}$

Fonte: LIMA, 2000, p. 54.

Segundo SACHET et al., (2006), o uso principal do ensaio consiste na estimativa da capacidade de suporte das camadas do pavimento, através da determinação do índice CBR (Califórnia Bearing Ratio) “in situ” dos materiais.

4.8 Controle de compactação através do método do frasco de areia

O principal objetivo do ensaio é determinar a massa específica aparente seca de campo usando o método do frasco de areia, muito utilizado no controle de compactação de obras rodoviárias.

O projeto, normalmente fixa apenas a Massa Específica a ser atingida com o solo utilizado, sendo definido o Grau de Compactação segundo normas do DNER-ME 092/94.

As especificações gerais do DNER exigem para o corpo dos aterros rodoviários o grau mínimo de compactação de 90 a 95 % da EC modificada, a 60 cm abaixo 95 a 100 % da EC normal. Camadas de Base de pavimentos 95 a 100 % da EC modificada.

O grau de compactação será:

$$GC = \frac{100 \times \gamma_{d \max \text{ campo}}}{\gamma_{d \max \text{ laboratório}}} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

γ_{dmax} = Peso Especifico Seco Máximo

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Procedimentos para fechamento de valas

Neste capítulo serão referenciados procedimentos sobre fechamento de valas e RCD (Resíduos de Construção e Demolição) como material alternativo para fechamento de valas e recuperação da pavimentação danificada pela abertura de valas para manutenção na tubulação de fornecimento de água ou na retirada dos esgotos.

Existe pouca bibliografia publicada sobre fechamento de valas, estando neste trabalho sendo referenciadas as especificações da Sabesp e da PMSP, sobre metodologia de fechamento de valas para este tipo de trabalho.

Existe uma NBR a 12266 sobre projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana, mas não detalha como se deve proceder ao fechamento destas valas, faz uma pequena orientação quanto ao cuidado que se deve ter quando realizar este tipo de serviço para não danificar o tubo, e o material deverá ter capacidade de suporte igual ou superior anterior da abertura da vala.

Este estudo de caso que tem por um dos objetivos específicos propor uma metodologia para aplicação do RCD, que será detalhado mais adiante no capítulo sobre materiais e métodos, visa justamente propor a aplicação de agregados reciclados a partir do RCD em fechamentos de valas após intervenção, seja nas redes de fornecimento de água ou nas de retirada dos esgotos.

Poucos são estudos aplicados a uma metodologia que atende as boas práticas da engenharia e que seja simples na sua realização.

O autor deste estudo de caso pesquisou a literatura existente sobre fechamento de valas, sendo que apenas a PMSP e a Sabesp se propõem a especificar uma metodologia para a realização destes serviços. A seguir serão citados estas especificações e estudos de autores sobre este enfoque.

Segundo AZEVEDO NETTO e GUILLERMO ACOSTA (1982) “as canalizações de distribuição de água devem ser assentados a uma profundidade mínima capaz de assegurar a sua proteção contra cargas acidentais, choques, efeitos de temperatura e outros”.

Segundo os autores na França: são usuais as seguintes dimensões para as valas:

a) profundidade: $D + 1,10$ m;

b) largura: $D + 0,50$ m.

Donde:

D é o diâmetro nominal da canalização.

Nos Estados Unidos: a largura mínima das valas iguala-se ao diâmetro do tubo acrescido de 0,60 metro. Para o Brasil os valores mínimos usuais estão compreendidos entre $D + 0,30$ m e $D + 0,60$ m. No caso de tubulações de grande diâmetro, geralmente a largura da vala não excede $1,5 D$.

Nas redes de distribuição de água, o recobrimento mínimo deve ser 0,60 m para tubos de ferro fundido e 0,80 m para tubos de plásticos, segundo NETTO AZEVEDO e GUILLERMO (1982).

Os tubos assentados em valas estão sujeitos às seguintes cargas:

a) peso da água;

b) peso próprio dos tubos;

c) carga do aterro sobre os tubos;

d) cargas móveis;

e) sobrecargas ou cargas acidentais.

As cargas dos aterros das valas nas tubulações depende da natureza do material, da sua condição, da profundidade e da largura da vala e do método de reenchimento. Segundo os autores é possível determinar a carga através da seguinte equação:

$$P = \gamma_* H_* (b - 0,08H) \quad \text{Equação (10)}$$

Sendo

P = carga em kg/m;

γ = peso específico da terra, (material de reenchimento) kg/m³;

H = Altura de recobrimento, (ótima em torno de 1,50 m);

b = largura do fundo da vala em, metro.

Resulta em: $b = \{(4/3) \times D\} + 0,20$ Equação (11)

Este estudo de caso não tem a pretensão de estudar as cargas e do material de reenchimento atuantes nas tubulações, e sim o material que irá preencher a vala e uma metodologia, mas para quem irá projetar uma nova rede, terá que verificar não somente a carga do reaterro e pavimento, como também do tráfego que irá passar sobre a vala e as cargas atuantes nas tubulações.

Para a carga do reaterro poderá usar a equação acima apresentada e mais os dados do estudo do material proposto para o reaterro das valas e para a estrutura do pavimento, que será apresentado neste estudo de caso.

Segundo SCHMITZ (2002) em seu estudo sobre o comportamento estrutural de um sistema solo-tubo plástico flexível de paredes estruturadas frente às cargas permanentes sobre a tubulação e carregamentos móveis, como os provenientes de tráfego de veículos.

O controle de compactação do material que envolve o tubo no caso areia trata-se de um material classificado, como A3 no Sistema Rodoviário de Classificação, SP pela Classificação Unificada, onde S indica areia e P mal graduada, indicando também um material sem coesão.

Segundo a autora a função do material usado como reaterro é preencher toda a vala até a superfície do terreno, sem esquecer que este material será a fundação para o subleito e das camadas do pavimento, assentada sobre ele e também que este material não poderá ser do tipo expansivo, pois irá redistribuir as tensões ao redor do tubo, modificando o deslocamento diametral vertical previsto.

Ainda segundo SCHMITZ (2002) as propriedades do material que envolve uma tubulação influenciam fortemente o desempenho estrutural do sistema material-tubo. Do mesmo modo, a forma do berço (apoio inferior do tubo) pode reduzir as concentrações de

tensão dos materiais sobre os tubos rígidos. O emprego de materiais adequados e a obtenção de uma densidade adequada (compactação eficiente) do material “solo” em torno do de tubos flexíveis podem limitar as deflexões a valores aceitáveis para tubos enterrados.

O material de envolvimento segundo SCHMITZ (2002) é o material que fica diretamente em contato com o tubo e deve ser capaz de suportar as cargas atuantes, ou seja, o material de envolvimento atua no sistema solo-tubo flexível como material estruturalmente resistente. A estabilidade de um tubo flexível enterrado é significativamente controlada pelas propriedades do material de envolvimento.

Foram realizado com três equipamentos diferentes DCP, UFV – II (Universidade Federal de Viçosa II - Penetrômetro Dinâmico Leve), e com equipamento de Impacto Clegg e os resultados foram comparados.

O Penetrômetro Dinâmico Leve UFV- II, também conhecido como mini-cone, é um equipamento que funciona de maneira semelhante ao Penetrômetro Dinâmico de Cone, só que com dimensões reduzidas. Foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

O equipamento de Impacto Clegg segundo SCHMITZ (2002), apud CLEGG (1983) é utilizado para verificar se as camadas compactadas estão dentro das especificações de projeto e para e também a uniformidade da compactação em grandes áreas. O equipamento funciona com um acelerômetro na extremidade de um soquete que cai de uma altura padronizada, e que registra em um visor digital um número que relaciona com a rigidez da camada; este equipamento avalia a “intensidade” do repique ao impacto.

O equipamento é composto basicamente de três partes:

- a) Soquete de impacto munido com sensor de tensão;
- b) Tubo-guia com base alargada a alça para transporte manual;
- c) Display digital para registro da força de repique medida.

Quando o soquete cai livremente de uma altura fixa, dentro do tubo-guia, o cilindro bate na superfície, desacelerando a uma taxa determinada pela capacidade de suporte ou pela rigidez do material que sofreu o impacto. Dentro do soquete de impacto, há um acelerômetro que é conectado ao registrador que marca a desaceleração do soquete no impacto.

São aplicados golpes consecutivos, todos no mesmo lugar; a leitura obtida no quarto golpe é o valor do impacto (IV – Impact Value) do material que está sendo testado. O display possui um visor de cristal líquido onde é possível ler o valor do impacto. Quanto maior o grau de compactação da camada, ou seja, quanto mais rígido e resistente for o material, maior será o valor do impacto.

É possível obter um CBR equivalente através do quarto golpe obtido e convertido pela seguinte expressão SCHMITZ (2002), apud CLEGG (1983):

$$\text{CBR}_{\text{equivalente}} = 0,07 (\text{IV}_4)^2 \quad \text{Equação (12)}$$

Os dados foram obtidos de ensaios realizados em um grande número de materiais por uma grande quantidade de diferentes pesquisadores. Note-se que os valores determinados em campo se correlacionam com o CBR não imerso e sem sobrecarga, conforme as mesmas condições de teste em pista SCHMITZ (2002), apud CLEGG (1983).

Neste estudo de caso será testado somente o uso do DCP como controle de qualidade das valas executadas, mas é possível realizar o controle através de outros mecanismos, sobre outros tipos de materiais envolvidos, como citado acima do estudo de SCHMITZ (2002).

O sistema da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), responsável pelo fornecimento de água e na retirada dos esgotos de trezentos e sessenta e oito municípios, mais de cinquenta por cento do Estado de São Paulo, atende a uma população estimada em 25 milhões de pessoas 60 %, produz 100 mil litros de água por segundo, segundo dados fornecidos pela empresa em seu site, quanto ao tratamento dos esgotos infelizmente não atende com os mesmos esmeros.

Para as obras de intervenção nas redes de água ou esgotos, a empresa possui uma Norma própria chamado de NST 224:2006 – SOPAC (Sistema Otimizado de Pavimentação Concomitante).

O principal objetivo da Norma da Sabesp é estabelecer um método construtivo e fixar as características exigíveis para o sistema de recomposição de valas e pavimentos denominados SOPAC, de modo a padronizar e garantir a qualidade dos serviços.

Segundo a Norma NST 224:2006 da Sabesp o sistema aplica-se a reconstituição do pavimento quando da abertura de valas pontuais em vias constituídas de pavimentos flexíveis.

Refere-se à utilização de vigotas pré-moldadas em concreto para recomposição concomitante de bases de pavimentos danificados durante serviços de manutenção ou instalação de redes novas pelo método não destrutivo (“cachimbos”) e ramais de água e esgoto.

Segundo a Norma da NST 224:2006 da Sabesp recomenda-se que este sistema para recomposição de valas na via pública seja utilizado apenas para ruas e avenidas de tráfego leve ou médio, de acordo com a classificação de vias da PMSP IP 002/2004. Sua grande vantagem é a pavimentação concomitante e continuada (reaterro/subleito/base/capa), possibilitando a liberação do tráfego na via pública em um menor prazo, mantendo-se a qualidade do pavimento.

Um dos principais objetivos da Norma é melhorar a qualidade dos serviços realizados pela Sabesp e obter imagem positiva perante o cliente.

O sistema SOPAC SABESP – trata-se da colocação, sobre camada de assentamento de areia, de perfis “L” e “T” pré-moldados em concreto com resistência mínima de 15 MPa conforme Figura 12, confeccionados com agregado leve (argila expandida, agregado leve de lodo, e outros), esta alternativa visa a redução do peso próprio das vigotas de modo a facilitar o transporte e a instalação destas.

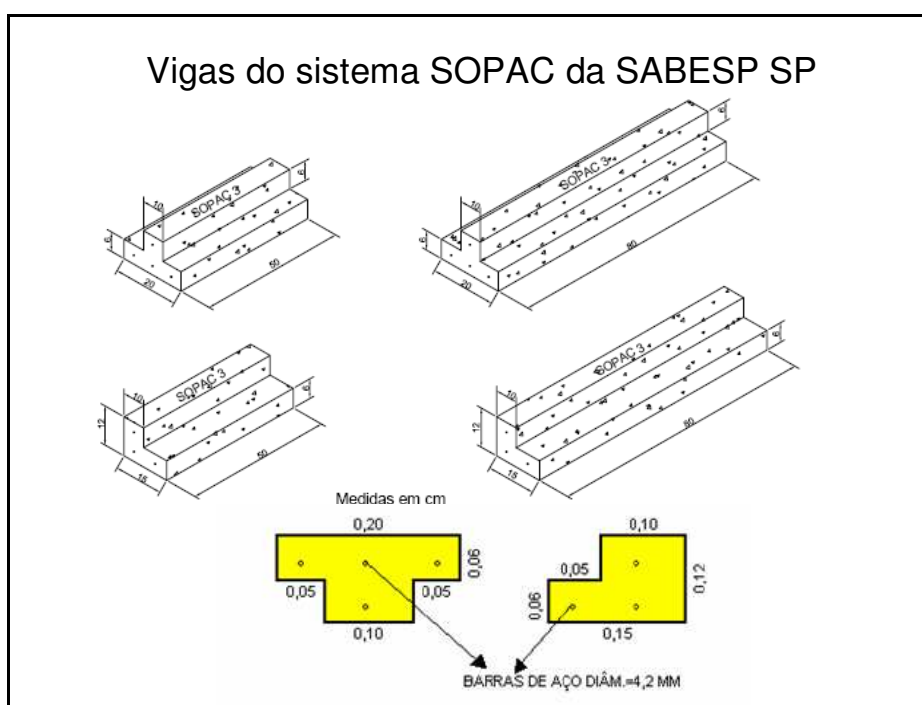


Figura 12. Vigas do sistema SOPAC - da Sabesp.

A colocação deve ser alternada e perfeitamente encaixada de forma a recobrir completamente a vala, garantindo espessura e resistência adequadas para a base do pavimento. A Figura 13 mostra de maneira esquemática o perfil da vala recomposta com este método.

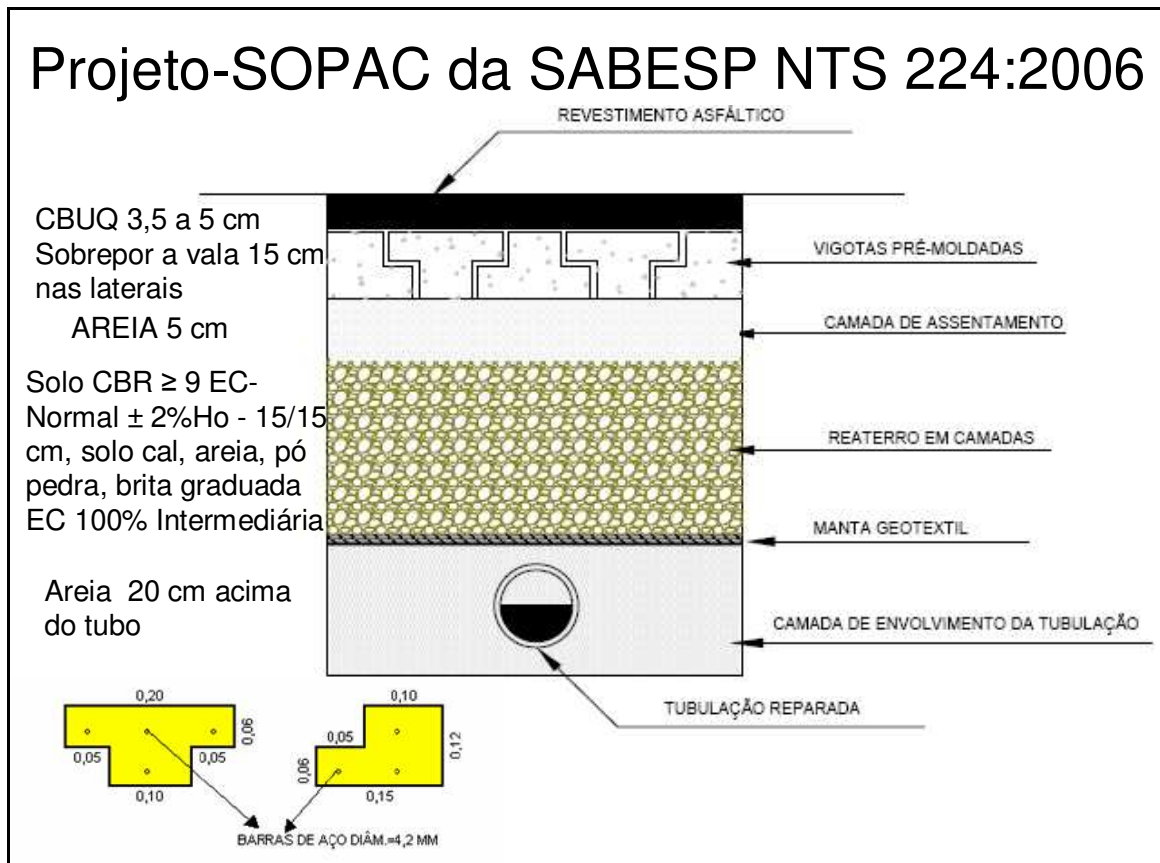


Figura 13. Modelo esquemático do sistema SOPAC da SABESP SP.

Segundo a Norma NST 224:2006 da Sabesp, realizada a intervenção no sistema (tubulação, válvula, sondagem, etc) após a limpeza da vala, é feita a camada de envolvimento da tubulação (preferencialmente com areia), cuidadosamente, de forma a não danificar a rede. Posteriormente é colocada uma manta geotêxtil nível I, com resistência a tração mínima de 8 kN/m, de acordo a NBR 15224 para separação de camadas. No caso da camada de envolvimento ser constituída do mesmo material do reaterro, a colocação desta manta fica dispensada.

Ainda segundo a mesma Norma, procede-se então ao preparo da caixa de pavimento, que inclui a regularização da vala (requadramento), homogeneização do material do reaterro, lançamento e compactação do material em camadas. Deve-se tomar o cuidado de requadrar a vala em dimensões múltiplas das vigas a serem empregadas, de forma a evitar vãos entre vigas ou no entorno da vala.

É importante destacar que as dimensões da vala devem ser definidas não só pelas necessidades de execução do reparo na tubulação, mas também considerando as dimensões do padrão escolhido para os elementos SOPAC.

As etapas de execução dos serviços segundo o método SOPAC da Norma NST 224:2006 é o seguinte:

- Sobre o reaterro concluído executa-se uma camada de assentamento de areia lavada ou pó de pedra de dimensão máxima dos grãos de 4,8mm com espessura mínima de 5cm, para acomodar os elementos SOPAC. Esta areia ou pó de pedra deve estar isenta de torrões de argila, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas.

- As vigotas são sobrepostas e perfeitamente encaixadas preenchendo-se completamente a área da caixa. O assentamento deverá ser realizado com as peças dispostas na direção transversal em relação à direção do tráfego. Os espaços resultantes nas bordas da vala, entre os SOPAC e a parede vertical do pavimento existente, não poderão ultrapassar 10mm e deverão ser preenchidos, através de varrição, com a mesma areia ou pó de pedra usada para a camada de assentamento.

- O material do reaterro deve ser constituído de solo com boas características para subleito do pavimento, devendo possuir CBR de no mínimo 9 % e expansão menor que 2 %. O reaterro deve ser compactado em camadas de no máximo 15 cm de espessura (espessura compactada) de maneira que garanta um grau de compactação mínimo de 95 % da EC Normal, determinado conforme NBR 7182, NBR 9813, NBR 7175. O teor de umidade do solo a ser compactado deverá estar compreendido entre mais ou menos 2 % em relação à umidade ótima determinada no ensaio de compactação.

Deve-se sempre tentar aproveitar o solo existente da própria vala para o novo reaterro. Nesta condição, para se conseguir os parâmetros indicados acima, desde que aprovado pela fiscalização da Sabesp pode-se utilizar adição de cal (solo-cal) ao solo da vala.

Alternativamente, o reaterro poderá ser executado com material granular (Brita graduada ou bica corrida), devendo, neste caso, as camadas serem liberadas a 100 % da EC Intermediária.

Outra alternativa é a aplicação de areia ou pó de pedra como reaterro. Neste caso o controle da compactação deverá ser feito pela compacidade relativa (CR), exigindo-se um valor mínimo para CR de 75 % de acordo com as normas NBR 12004 e NBR 12051.

- Todas as camadas do pavimento devem ser executadas prevendo-se a espessura pré-estabelecida para o revestimento asfáltico, de modo que após a conclusão da base resulte uma caixa com profundidade igual a esta espessura.

- Após a aplicação da imprimação ligante, de forma correta e na quantidade adequada, executa-se a capa de asfalto de acordo com 3,5 ou 5 cm conforme o tráfego local definido pela PMSP IP 002:2004 como:

- Tráfego Leve – Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número “N” típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos;

- Tráfego Médio – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N” típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos;

- Tráfego Meio Pesado – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N” de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos;

- Tráfego Pesado – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em números de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N” típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos a 12 anos;

■ Tráfego Muito Pesado – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número “N” típico superior a 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos.

A PMSP (Prefeitura Municipal de São Paulo) possui a maior malha rodoviária urbana pavimentada no Brasil, percebeu a problemática que são estas obras de reparação das tubulações que ficam sob a pavimentação, resolveu baixar uma instrução a respeito, que é a IR – 01/2004 – INSTRUÇÃO DE REPARAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DANIFICADOS POR ABERTURA DE VALAS.

O principal objetivo da instrução é fixar o modo pelo qual se executa a reparação de pavimentos flexíveis danificados em decorrência da abertura de valas na via pública.

Recomendações técnicas gerais com modificações citadas apenas os pontos relevantes para este estudo de caso, referente a IR – 01/2004:

■ Consideram-se materiais reaproveitáveis para a reconstrução da pavimentação apenas o solo se for possível sua compactação;

■ Os materiais retirados, constituídos de bases granulares do pavimento, caso não contaminados, somente poderão ser empregados como reforço do subleito;

■ Consideram-se impróprios para reenchimento das valas, todos os materiais instáveis (solo micáceos, orgânicos ou expansivos) ou que não possam ser facilmente compactáveis;

■ Sempre que o material do subleito apresentar umidade excessiva deverá obrigatoriamente ser substituído por material no teor ótimo de umidade;

■ Em todos os reparos executados, será obrigatória a limpeza final do entulho e do material excedente, os quais deverão ser depositados ou recolhidos em locais pré-estabelecidos, ficando proibida a descarga em leitos de vias públicas ou em terrenos baldios, devendo a concessionária obrigatoriamente apresentar um plano de manejo ambientalmente sustentável no que diz respeito ao destino do material escavado;

■ No caso da concessionária reciclar os materiais retirados das valas, deverá incluir no plano de manejo;

■ No caso de utilização de materiais que não possuam especificação própria da PMSP, desde que atendida a presente norma e devidamente aprovado pela fiscalização, poderão ser seguidas normas existentes do DNIT, ABNT ou DER/SP;

Procedimento executivo com modificações citado apenas os pontos relevantes para este trabalho da IR – 01/2004:

■ Compactação do subleito e reforço do subleito, serão colocadas camadas de solo selecionado com espessura máxima de 15 cm, compactadas a 100 % da EC Normal; na ausência de solo selecionado adequado, poderá ser substituído por areia ou agregados reciclados do RCD;

■ a compactação das camadas deverá ser realizada através de processo mecânico ou hidráulico no caso de areia, obtida com equipamento compatível com as dimensões da escavação e características do material empregado no reparo;

■ Cuidados especiais deverão ser tomados quanto à necessidade de compactação das camadas do subleito e reforço;

■ A reconstrução das camadas da base e do revestimento, após o preenchimento da vala na umidade correta e compactada, a recomposição das camadas de base e revestimento deverá obedecer a um dos seguintes critérios: deverá ser recomposto, preferencialmente, o tipo de pavimento original; alternativamente, consultada previamente a fiscalização, poderá se optar pela recomposição do pavimento utilizando-se uma das seções – tipo indicadas conforme Figura 14 e Tabela 3:

**IR – 01/2004 PMSP – INSTRUÇÃO DE REPARAÇÃO
DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DANIFICADOS POR ABERTURA
DE VALAS.**

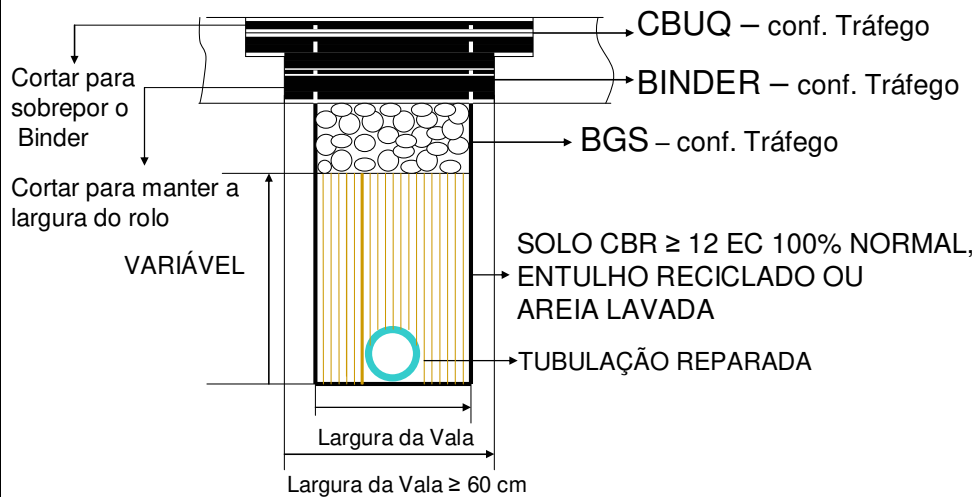


Figura 14. Seção - Tipo alternativo à reposição do pavimento danificado por abertura de valas.

Tabela 3. Tipo alternativo a reposição do pavimento danificado por abertura de valas.

Valas para tráfego leve	Equivalência Estrutural 25,2 cm
CBUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente	4 cm
Imprimação Betuminosa Ligante	
Binder	4 cm
Imprimação Betuminosa Impermeabilizante	
Brita Graduada Simples	10 cm
Reforço do subleito de solo selecionado, areia lavada ou agregado reciclado, CBR ≥ 12 % EC a 100 % do Normal	Variável
Valas para tráfego Médio	Equivalência Estrutural 34,6 cm
CBUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente	5 cm
Imprimação Betuminosa Ligante	
Binder	7 cm
Imprimação Betuminosa Impermeabilizante	
Brita Graduada Simples	12 cm
Reforço do subleito de solo selecionado, areia lavada ou agregado reciclado, CBR ≥ 12 % EC a 100 % do Normal.	Variável
Alternativa Rígida	Equivalência Estrutural 42,6 cm
CBUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente	5 cm
Imprimação Betuminosa Ligante	
Binder	7 cm
Imprimação Betuminosa Impermeabilizante	
Base de concreto fck ≥ 15 MPa, abatimento ≤ 5 cm	10 cm
Reforço do subleito de solo selecionado, areia lavada ou agregado reciclado, CBR ≥ 12 % EC a 100 % do Normal.	Variável
Valas para tráfego Pesado	Equivalência Estrutural 43 cm
CBUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente	5 cm
Imprimação Betuminosa Ligante	
Binder	15 cm
Imprimação Betuminosa Impermeabilizante	
Brita Graduada Simples	12 cm
Reforço do subleito de solo selecionado, areia lavada ou agregado reciclado, CBR ≥ 12 % EC a 100 % do Normal.	Variável
Alternativa Rígida	Equivalência Estrutural 48 cm
CBUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente	5 cm
Imprimação Betuminosa Ligante	
Binder	10 cm
Imprimação Betuminosa Impermeabilizante	
Base de concreto fck ≥ 15 MPa, abatimento ≤ 5 cm	10 cm
Reforço do subleito de solo selecionado, areia lavada ou agregado reciclado, CBR ≥ 12 % EC a 100 % do Normal.	Variável

■ Para as valas eventualmente abertas em vias de tráfego muito pesado, deverá ser estudada solução específica, submetida à aprovação da fiscalização.

Sobre fechamento de valas foram apenas estas especificações encontradas, a seguir uma pequena revisão dos resíduos de construção, estudos publicados e aplicação prática.

No dicionário AURÉLIO “*lixo* é tudo o que se varre para deixar limpa uma casa, rua, jardim e restos ou coisas inaproveitáveis, imundice, sujeira, cisco”.

No mesmo dicionário, “*entulho* são fragmentos de tijolos, pedras, calça, provenientes de demolição ou de restos de construção, escombros, o que atravanca ou ocupa um lugar inutilmente (terra, cisco, lixo, etc.)”.

IPT/CEMPRE (2000) define que “lixo ou resíduos são os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.”

LEVY & HELENE (1997) definem o entulho ou RCD (Resíduos de Construção e Demolição) como sobras ou rejeitos constituídos por todo o material oriundo do desperdício das atividades da construção civil, adotado em obras novas, reformas ou demolições.

Segundo LIMA (1999), hoje, o aproveitamento dos recursos naturais deve estar comprometido com os requisitos do conceito de desenvolvimento sustentável (satisfazer as necessidades do presente sem afetar as futuras gerações), que implicam no aproveitamento racional dos recursos naturais, preservando o meio ambiente.

Na década de setenta, com o surgimento dos movimentos ambientalistas, procedimentos mais rígidos para exploração em novas jazidas e extração de recursos naturais se fizeram necessárias, adotando-se, então, o EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e o RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) também para a mineração.

Segundo LUZ et al., (2002) a arte do tratamento de minérios dá importante contribuição para a reciclagem, vale ressaltar que a crescente tendência mundial de reciclagem de materiais e aproveitamento de resíduos industriais e urbanos, tem sido realizada com uso intensivo das tecnologias correntes, ou adaptadas destas, ou seja, para o processamento e separação seletiva de quaisquer materiais, pode-se usar do mesmo processo de tratamento de minérios.

Conforme dados fornecidos pelo IPT/CEMPRE (2000), as cidades acumulam riquezas, sendo os principais centros de educação, assim como de geração de novos empregos,

idéias, cultura e oportunidades econômicas. Entretanto, são também imensas consumidoras de recursos naturais.

As grandes aglomerações urbanas consomem grandes quantidades de água, de energia, de alimentos e de matérias-primas e geram significativas quantidades de resíduos que precisam ser dispostas de maneira segura e sustentável.

Os autores concluem que as grandes cidades, densamente ocupadas, que no Brasil hoje compõem dezessete Regiões Metropolitanas, apresentam problemas semelhantes que desconhecem os limites municipais, tais como:

- escassez ou inexistência de áreas para disposição final dos resíduos;
- conflitos de uso do solo, com a população estabelecida no entorno das instalações de tratamento, aterros e lixões;
- exportação de resíduos a municípios vizinhos, gerando resistências;
- lixões e aterros operados de forma inadequada, poluindo recursos hídricos.

Ainda de acordo com a mesma fonte, encontrar soluções para os resíduos gerados em pequenas e médias comunidades com poucos recursos não é solução simples. As informações disponíveis indicam que, dos 4,8 bilhões de pessoas que vivem em países em desenvolvimento, 60 % não contam com saneamento básico; 50% não têm acesso à água limpa; 25 % não têm habitação adequada e 20 % não têm acesso a serviços de saúde segundo (IPT/CEMPRE 2000, apud HUMAN... 1996).

No Brasil, segundo os autores acima, para os 5507 municípios existentes em 2000, tem-se a seguinte distribuição:

- 4089 municípios têm menos de 20 mil habitantes;
- 1207 municípios têm de 20 mil a 100 mil habitantes;
- 182 municípios têm de 100 mil a 500 mil habitantes;
- 29 municípios têm mais de 500 mil habitantes.

Os dois desafios mencionados impõem-se principalmente para os municípios com menos de 20 mil habitantes e para os com mais de 500 mil habitantes. Um erro muito comum,

como cita IPT/CEMPRE (2000), é correlacionar somente o resíduo doméstico sem incluir os públicos, comercial, serviços de saúde, industrial, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, agrícola e os de construção e demolição.

Os resíduos podem ser classificados, de acordo com IPT/CEMPRE (2000) quanto à origem, ou seja, domiciliar, comercial, varrição e feiras livres, serviços de saúde e hospitalar, portos aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, indústrias, agrícolas e entulhos:

- **Domiciliar:** aquele originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (cascas de frutas, verduras, sobras, etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contêm, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos;

- **Comercial:** aquele originado nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc. Os resíduos destes locais têm grande quantidade de papel, plásticos, embalagens diversos e resíduos de asseio dos funcionários, tais como papel-toalha, papel higiênico, etc.

- **Público:** aquele originado dos serviços de:

- limpeza pública urbana, incluindo-se todos os resíduos de varrição das vias públicas; limpeza de praias; limpeza de galerias, córregos e terrenos; restos de podas de árvores; corpos de animais, etc.;

- limpeza de áreas de feiras livres, constituído por restos vegetais diversos, embalagens, etc.

- **Serviços de Saúde e Hospitalar:** constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, oriundos de locais como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc. Trata-se de agulhas, seringas, gases, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazo de validade vencido, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X, etc. Os resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos de preparação de alimentos, resíduos de limpeza gerais (pó, cinzas, etc.) e outros materiais, desde que coletados

segregadamente e não entrem em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são semelhantes aos resíduos domiciliares;

- Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários: constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, produzidos nos portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários. Basicamente constituem-se de materiais de higiene, asseio pessoal e restos de alimentos, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais, desde que coletados segregadamente e não entrem em contato direto com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são semelhantes aos resíduos domiciliares.

- Agrícola: são resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária. Incluem embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de colheita, etc.

Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva. As embalagens de agroquímicos, geralmente altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final.

A tendência mundial, neste particular, é para a co-responsabilização da indústria fabricante nesta tarefa.

- Entulho: resíduo da construção civil, composto por materiais de demolições, restos de obras, solos de escavações diversas, etc. o entulho é geralmente um material inerte, mas pode ter sua classificação como não inertes por estar contaminado por outros agentes estranhos; é passível a reaproveitamento, porém, geralmente contém uma vasta gama de materiais que podem lhe conferir toxicidade, com destaque para os restos de tintas e de solventes, peças de amianto e metais diversos, cujos componentes podem ser remobilizados caso o material não seja disposto adequadamente.

A Tabela 4 a seguir indica a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos descritos anteriormente.

TABELA 4: Responsabilidade pelo gerenciamento do resíduo.

Origem do Resíduo	Responsável
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
Público	Prefeitura
Serviços de saúde	Gerador (hospitais, etc)
Industrial	Gerador (indústrias)
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador (portos, etc)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	Gerador

(*) A Prefeitura é responsável por quantidades pequenas (geralmente 50 kg) de acordo com a legislação municipal específica. Fonte: IPT/CEMPRE, 2000, p. 30.

É importante estabelecer a responsabilidade e a origem dos resíduos para que se possa fazer o manuseio ambientalmente correto e dar um destino seguro para estes materiais. A partir do conhecimento é possível trabalhar com segurança ao manusear estes resíduos, evitando acidentes que possam trazer prejuízos ambientais ou para o ser humano.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define resíduos nos estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Resolução CONAMA 307 de cinco de julho de 2002, em seu Art. 2º, adota as seguintes definições:

I - 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;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduo, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

IX - Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe “A” (ver página 71) no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;

X - Áreas de destinação de resíduos: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

5.2 Classificação dos resíduos

Existem várias formas possíveis de se classificar o resíduo, conforme cita IPT/CEMPRE (2000):

- por sua natureza física: seco e molhado;
- por sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica;
- pelos riscos potenciais ao meio ambiente:

Para os efeitos da Norma ABNT NBR 10004, os resíduos são classificados em:

- a) resíduos classe I – Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes;
 - resíduos classe II B – Inertes.

Resíduos classe I - Perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade e em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada;
- c) uma das seguintes características, pelo menos – inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou;
- d) constar nos Anexos A ou B da NBR 10004:2004.

Classe II A - Não Inertes - são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não podem ter propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Classe II B - Inertes – quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos

padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G (normativo).

Para efeitos da Resolução CONAMA 307, Art. 3º, os resíduos da construção civil deverão ser classificados da seguinte forma:

I - 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 infra-estrutura, 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, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, incluso em uma Resolução CONAMA 358 complementar, os resíduos que contém amianto.

Como exemplo de aplicação da diferente forma de classificação dos resíduos por parte das duas entidades envolvidas, pode-se construir a Tabela 5 sugerida por GUSMÃO et al., (2006).

Tabela 5. Classificação dos resíduos sólidos.

RESÍDUOS	DESCRIÇÃO	CONAMA 307	NBR 10004:2004
Metralha Tipo A	Materiais a base de cimento	A	II B
Metralha Tipo B	Materiais a base de cimento, tijolos, areia, brita, solo, etc.	A	II B
Metralha Tipo C	Metralha Tipo B + gesso	C	II A
Solo	Resíduos de solo	A	II B
Gesso	Resíduos de gesso	C	II A
Plástico	Aparas de plástico não contaminado por produtos químicos	B	II B
Madeira	Pequenos pedaços de madeira	B	II B
Pó-de-Serra	Pó-de-serra produzido nas atividades de marcenaria	B	II B
Papel Branco	Aparas de papel de escritório, etc.	B	II B
Papel Sujo	Sacos de cimento, argamassas, caixas de cerâmica,	B	II B

I – Perigoso II A – Não Inerte II B – Inerte

FONTE: GUSMÃO et al., 2006.

5.3 Histórico

MONTEIRO et al., (2001) relatam que, no Brasil, o serviço sistemático de limpeza urbana teve seu início em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, então capital do Império. Foi quando D. Pedro II assinou o Decreto número 3024, aprovando o contrato de “limpeza e irrigação” da cidade, que foi executado por Aleixo Gary e, posteriormente, por Luciano Gary, de cujo sobrenome origina-se a palavra gari, que hoje classifica os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras.

Dos tempos imperiais aos dias atuais, tais serviços vivenciaram momentos bons e ruins. Hoje, a situação da gestão dos resíduos sólidos se apresenta em cada cidade brasileira de forma diversa, prevalecendo, entretanto, uma situação nada alentadora.

Considerada um dos setores do saneamento básico, a gestão dos resíduos sólidos é praticamente uma política de gestão pública local, ficando por conta dos municípios. Como muitos deles não possuem recursos para alocar e aplicar nesse setor, os resíduos ficam sem a atenção necessária, gerando impactos ao meio ambiente e prejudicando a saúde da população, bem como a degradação dos recursos naturais, solos e águas.

Os resíduos da construção (entulhos), em sua definição, entram no assunto de tratamento da limpeza urbana segundo a resolução CONAMA 307, que obriga a todos os municípios e o Distrito Federal a implementarem o PGRCC (Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil).

Sabe-se que os primeiros registros de utilização dos resíduos da construção civil na produção de novas obras vieram do Império Romano. A utilização destes resíduos já foi fonte de matéria-prima para aquelas gerações que empregavam tijolos, telhas, e louça cerâmica moída como pozolanas segundo MOTTA (2005).

Segundo NEVILLE (1997) a Pozolana é um material natural ou artificial contendo sílica em forma ativa. Uma definição mais formal da ASTM (*American Society for Testing Materials*) 618-94a descreve a pozolana como um material silicoso ou sílico-aluminoso que, por si só, tem pouco ou nenhum valor cimentício, mas, quando finamente subdividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente formando compostos com propriedades cimentícias.

Neste estudo de caso foi observado aumento de resistência após alguns dias da realização dos serviços, porém não foi constatado por meios técnicos, apenas registro de ordem visual e tátil. Outras pesquisas realizadas por CARNEIRO et al., (2001) e MOTTA (2005) demonstraram de forma científica o aumento da resistência dos agregados reciclados.

Segundo ANGULO (2000) a utilização do RCD teve seu uso de forma mais intensa a partir da Segunda Guerra Mundial, quando surgiu a necessidade, principalmente por parte dos Alemães, em remover seus escombros e também de matéria-prima para reconstrução das cidades destruídas em função dos conflitos.

Os primeiros estudos, de acordo com o mesmo autor, foram realizados entre os anos de 1976 a 1982 e são, praticamente, sobre a reutilização do concreto, a RILEM (*Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Construction*), tendo como objetivos estudar técnicas de demolição e aspectos técnicos relacionados à reutilização do concreto em componentes reciclados. Mas, a partir de 1985 até 1993, após três simpósios internacionais da RILEM, países como a Holanda, Japão e Dinamarca, já refletem a necessidade mundial de reciclar concretos e alvenaria.

Segundo JURAS (2001) a questão dos resíduos sólidos na Europa é a seguinte:

▪ Alemanha - É pioneira na adoção de medidas destinadas a equacionar a questão dos resíduos sólidos. De uma política que previa a coleta dos resíduos gerados e a valorização ou a simples deposição desses resíduos, passou-se a aplicar, essencialmente, os princípios de evitar e valorizar os resíduos antes da eliminação;

▪ França - O gerenciamento de resíduos está sob a responsabilidade das autoridades locais ou entidades por elas autorizadas. A eliminação e o transporte dos resíduos da construção civil são de responsabilidade do produtor dos resíduos;

▪ Espanha - Também está desenvolvendo ações com o objetivo de cumprir as regras emanadas da União Européia;

▪ Canadá - Nos últimos dez anos tem crescido a consciência pública em relação aos problemas do gerenciamento de resíduos sólidos. Cada província tem autonomia para edição de leis e adoção de medidas relativas ao meio ambiente.

Ainda na Europa, segundo (IPT/CEMPRE 2000, apud COELHO & CHAVES 1998) os incentivos fiscais à reciclagem, mesmo indiretos, favorecem o surgimento da reciclagem feita pelas próprias mineradoras, como, por exemplo, a Superfos uma empresa da iniciativa privada, que tem uma usina com três britadores, custo de cerca de US\$ 1 milhão e é operada por apenas três pessoas. O custo operacional é de US\$ 2.00 a US\$ 4.00 por tonelada do produto reciclado e o preço de venda é cerca de US\$ 9.00 por tonelada, segundo a fonte acima sem detalhar os custos operacionais.

Um exemplo de aplicação realizado segundo IPT/CEMPRE (2000), apud MEHTA & MONTEIRO (1994), em 1983 uma das rodovias mais antigas e movimentadas do estado de Michigan tornou a primeira rodovia de grande porte nos Estados Unidos a utilizar concreto reciclado. Em uma extensão de 5,7 milhas, de seção toda deteriorada, o antigo pavimento de concreto foi usado novamente como agregado na construção do novo pavimento. Em 1994, outras 22 milhas foram recicladas da mesma forma segundo os autores acima.

Vários países desenvolvidos, por sentirem problemas na escassez dos recursos naturais e/ou problemas no gerenciamento da questão ambiental, têm direcionado esforços na reciclagem dos resíduos. LEVY (1997) cita alguns deles:

- Estados Unidos, onde tem havido esforços para o uso de agregados reciclados por meio de britagem de concretos de demolição para a área de construção de pavimentos rodoviários;

- Holanda, onde há proposição de norma para produção de concreto simples, armado e protendido, que garante o uso de agregados obtidos pela reciclagem de concreto misturado a agregados originais, com quantidade acima de 20 % do total de agregados utilizados;

- Japão, onde, a exemplo do que acontece nos Estados Unidos, existe uma tendência de encaminhamento na direção da normalização de agregados obtidos por reciclagem de estruturas e pavimentos de concreto demolidos.

Segundo o autor deste trabalho o Brasil é um gigante em extensão de terras, farto em matérias primas, mas também possui muita pobreza e gera muitos resíduos. Nosso País demora em acordar, tanto que o RSU (resíduos sólidos urbanos) e parte integrante do RCD (resíduos de construção e demolição).

Ainda é um imenso problema de saneamento para os municípios, porque falta de política pública para tratar estes assuntos a nível Federal, Estadual e Municipal, raro são os municípios que tem uma política pública voltada e priorizada para este setor.

As autoridades brasileiras muito pouco fizeram a respeito. E enquanto nos países desenvolvidos se faz uso do RCD como matéria-prima desde a década de sessenta, no Brasil ainda estamos na etapa de licenciamento de aterros. Antes, esses resíduos iam para o lixão ou eram depositados em qualquer lugar, sem nenhuma preocupação com os prejuízos que poderiam causar ao meio ambiente e à saúde da população.

Faz-se necessário quebrar paradigmas e adotar uma postura menos refratária a novos conceitos. Geram-se muitos resíduos e, estes, se não reutilizados, acabam por serem mais uma fonte geradora do desperdício. Portanto, é possível gastar menos energia com reintrodução deste material na cadeia produtiva do que na produção de novas matérias-primas.

5.4 Impactos causado pela construção civil

Segundo PINTO et al., (2005), a construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, por outro lado,

comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos.

O autor ainda afirma que o setor tem um grande desafio de descobrir como conciliar uma atividade produtiva desta magnitude com as condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente, menos agressivo ao meio ambiente.

A resposta para esta questão vem sendo buscada com muita propriedade por diversos setores acadêmicos, governos, terceiro setor e o setor privado, porém, a questão é bastante complexa, requer mudanças culturais e ampla conscientização.

Segundo o SINDUSCON-DF e a UNB (2002), Programa Entulho Limpo do Distrito Federal e, o processo de produção da indústria da construção civil, baseado no Método de análise em JASSEN; NIJKAMP e VOOD (1984) ver Tabela 6, causa impacto ao meio ambiente ao longo de toda sua cadeia produtiva. Os quadros em verde claro foram acrescentados durante este estudo, após análise inicial; pesquisas foram aprofundadas e pode-se dizer que a indústria da construção também pode afetar mais estes quadros.

Ao ocuparmos terras, extrair e processar matéria-prima, construir e usar edifícios, recursos naturais são explorados e resíduos são gerados impactos: afetando o ar, clima, lençol freático, solo, paisagem, animais, plantas e prejudicando o habitat humano. Esses impactos são mais visíveis em áreas de baixa renda e em áreas urbanas degradadas.

Tabela 6. Impactos gerados pela atividade da construção civil modificado de Jassen; Nijkamp e Voogd, 1984.

Classes de atividades	Características dos Impactos Ambientais causados pelas Atividades							
	Solo, lençol freático	Água	Ar	Plantas	Animais	Paisagem	Ruído	Clima
Ocupação de terras								
Extração de matéria prima								
Transporte								
Processo construtivo								
Geração/Disposição de R S (Resíduos Sólidos)								
O produto em si								

Fonte: Programa Entulho Limpo Sinduscon-DF e UnB, 2002, p. 10.

Segundo PINTO et al., (2005), a situação precária das áreas destinadas à disposição final destes resíduos e o enorme potencial que os mesmos apresentam para a reciclagem tornam urgente a necessidade de implantação de medidas que permitam a segregação e o

controle do fluxo dos resíduos gerados na construção de edifícios e obras de infra-estruturas, de forma a viabilizar o processo de reciclagem e a utilização de materiais reciclados.

O autor acrescenta que a falta de efetividade ou, em alguns casos, a inexistência de políticas públicas que disciplinem e ordenem os fluxos da destinação dos resíduos da construção civil nas cidades, associada ao descompromisso dos geradores no manejo e, principalmente, na destinação dos resíduos, provoca impactos ambientais como podemos ver nas seqüências de imagens a seguir:

- deposição irregular em áreas de proteção permanente em Indaiatuba SP - Figura 15;
- deposição de resíduos próximos a mananciais em Indaiatuba SP - Figura 16;
- deposição irregular em logradouros públicos - Figura 17;
- deposição irregular prejudicando o aspecto visual da cidade - Figura 18;
- deposição irregular em “bota-foras” - Figura 19;



Figura 15. Deposição irregular em áreas de proteção permanente em Indaiatuba SP.



Figura 16. Deposição de resíduos próximos a mananciais em Indaiatuba - SP



Figura 17. Deposição irregular em logradouros públicos



Figura 18. Deposição irregular prejudicando o aspecto visual da cidade



Figura 19. “Bota-fora” de resíduos de construção em Piracicaba I&T (2001).

As imagens mostram claramente a deposição irregular próximo a corpos d’água, em áreas de preservação e até mesmo ao lado de placas com a proibição destes resíduos nestas áreas. Cabe ao poder público organizar o município conforme a Resolução CONAMA 307 e acabar com estas práticas que são comuns no território Brasileiro.

Segundo PINTO et al., (2005), a maior parte dos resíduos é descartada em “bota-foras”, como são popularmente conhecidas as áreas públicas ou privadas destinadas a este fim. Essas áreas quase sempre são oferecidas para aterramento porque há interesse em

corrigir sua topografia e, comumente, se esgotam com rapidez. Por isso, é comum encontrar diversos “bota-foras” operando simultaneamente em um mesmo município, muitos deles clandestinos. A Tabela 7 mostra situações de vários municípios.

Tabela 7: Bota-foras identificados alguns municípios.

MUNICÍPIO MÊS E ANO	TOTAL DE “BOTA-FORAS”
São José dos Campos – SP (em 9/95)	13
Ribeirão Preto – SP (em 11/95)	8
Jundiaí – SP (em 7/97)	21
Santo André (em 10/97)	4
Vitória da Conquista – BA (em 6/98)	3
Uberlândia – MG (em 10/00)	2
Guarulhos – SP (em 6/01)	17
Piracicaba – SP (em 10/01)	14
São José do Rio Preto – SP (em 9/97)	17

Fonte: I&T citado por PINTO et al., 2005, p. 18.

Os resíduos dispostos de forma irregular podem atrair outros tipos de resíduos sólidos, como industriais, domiciliares, hospitalares, e podem contaminar a população que reside próxima dessas áreas, como também os animais, a biota, o solo, o lençol freático, corpos d’água, drenagem urbana, e ainda, ser vetor para diversos tipos de doenças.

Na Tabela 8 estão dispostos locais encontrados e mapeados por I&T citado por PINTO et al., (2005) em alguns municípios.

Tabela 8: Quantidades de deposição irregulares em alguns municípios.

MUNICÍPIO MÊS E ANO	TOTAL DE DEPOSIÇÕES
São José dos Campos – SP (em 9/95)	150
Ribeirão Preto – SP (em 11/95)	170
Jundiaí – SP (em 7/97)	226
Santo André (em 10/97)	383
Vitória da Conquista – BA (em 6/98)	62
Uberlândia – MG (em 10/00)	158
Guarulhos – SP (em 6/01)	100
Piracicaba – SP (em 10/01)	170

Fonte: I&T citado por PINTO et al., 2005, p. 18.

5.5 A geração de resíduos

A geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) nas cidades cresceu significativamente a partir de meados da década de noventa, segundo PINTO et al., (2005). São resíduos provenientes da construção da infra-estrutura urbana, de responsabilidade do poder público e, principalmente, da ação da iniciativa privada na construção de novas edificações residenciais, comerciais, industriais e outras.

Segundo MONTEIRO et. al., (2001), a geração per capita relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região. Muitos técnicos consideram de 0,5 a 0,8 kg/hab./dia como a faixa de variação média para o Brasil. Na ausência de dados mais precisos, a geração per capita pode ser estimada por meio da Tabela 9.

Tabela 9. Geração per capita.

TAMANHO da CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (habitantes)	GERAÇÃO PER CAPITA (RSU) (kg/hab./dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: MONTEIRO et. al., 2001, p. 34.

Resíduos públicos são os presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra, areia e também aqueles descartados irregularmente pela população, como entulhos, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

Segundo MONTEIRO et al., (2001), um erro muito comum é correlacionar a geração per capita somente ao resíduo doméstico, sem incluir os públicos mais os de construção e demolição. Como o RCD é parte integrante dos RSU, poderíamos dizer também que ele está relacionado com o fator econômico e com o crescimento da população urbana.

Segundo o IBGE o Brasil chegou ao início do século XXI com uma população estimada em 170 milhões de habitantes e com uma taxa de crescimento demográfico em torno de 1,4 % ao ano. Apesar desta taxa estar em declínio, estima-se que a população atinja 219 milhões em 2020 (IBGE, revisão 2004 - Tabela 1.10).

Ainda segundo o IBGE a procura por empregos, a falta de oportunidade na agricultura pela alta mecanização, o conforto que as cidades possibilitam, entre outros motivos, vêm provocando nas áreas urbanas um crescimento de forma não sustentável. Desde a década de 50, essa população vem se concentrando nas áreas urbanas. A Figura 20 mostra o crescimento populacional, principalmente da região sul.

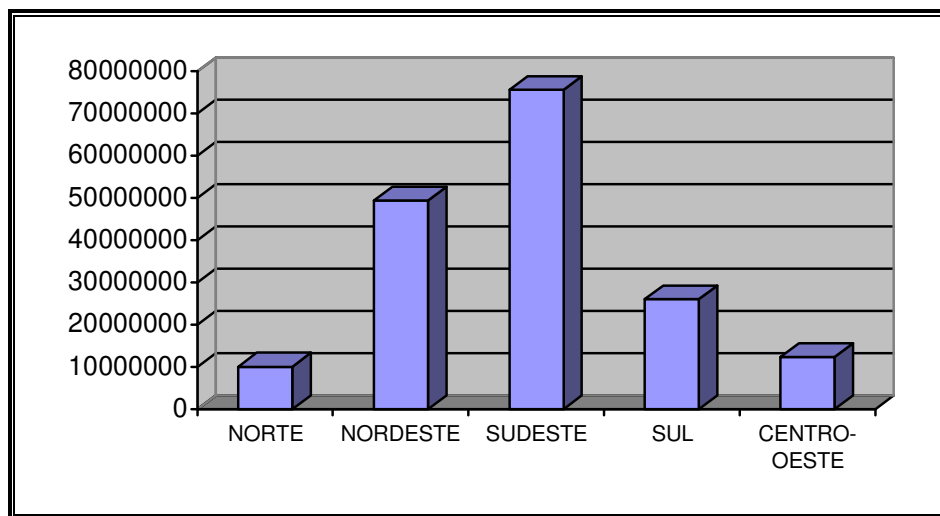


Figura 20. População regional segundo tabela 4.1 do IBGE 2003.

Projeções feitas pelo IBGE para o crescimento da população total absoluta para o Brasil, entre os anos de 2005 até 2030, mostram que podemos atingir 238 milhões de habitantes, conforme ilustra a Figura 21.

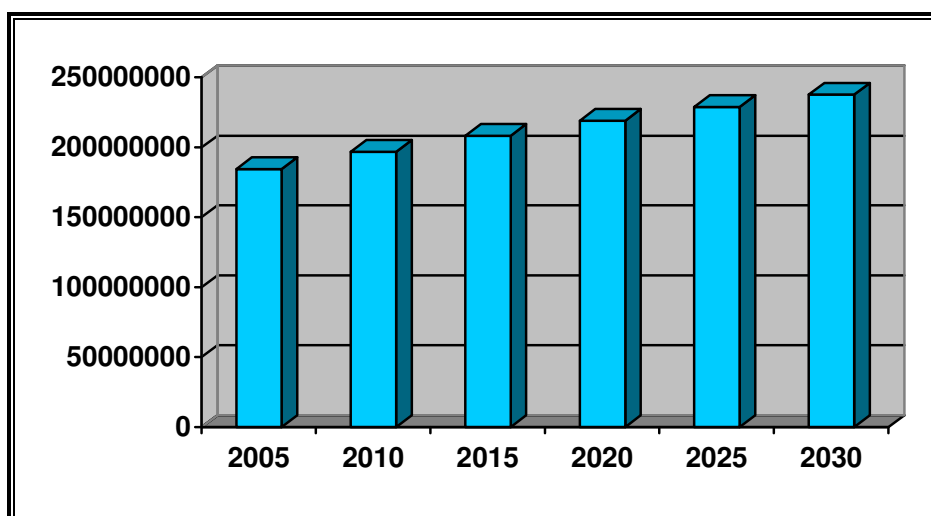


Figura 21. Projeção da população - tabela 1.10 (IBGE)

Ao chegarmos em 2030 com 238 milhões de habitantes para o Brasil, conforme projeção de crescimento feito pelo IBGE, e considerarmos a taxa média per capita de geração de resíduos de 1,31 kg/hab/dia (ver Tabela 10), estaremos gerando aproximadamente 331 milhões de resíduos por dia.

A Figura 22 apresenta os percentuais de resíduos gerados por região, a população e o PIB segundo IBGE (2000). Merece destaque a Região Sudeste, que é responsável pela geração de 62 % dos resíduos no País. É possível afirmar que a geração de resíduos está diretamente relacionada com o desenvolvimento econômico da região; quem tem mais recursos é a parcela da população que também produz mais resíduos de uma forma geral.

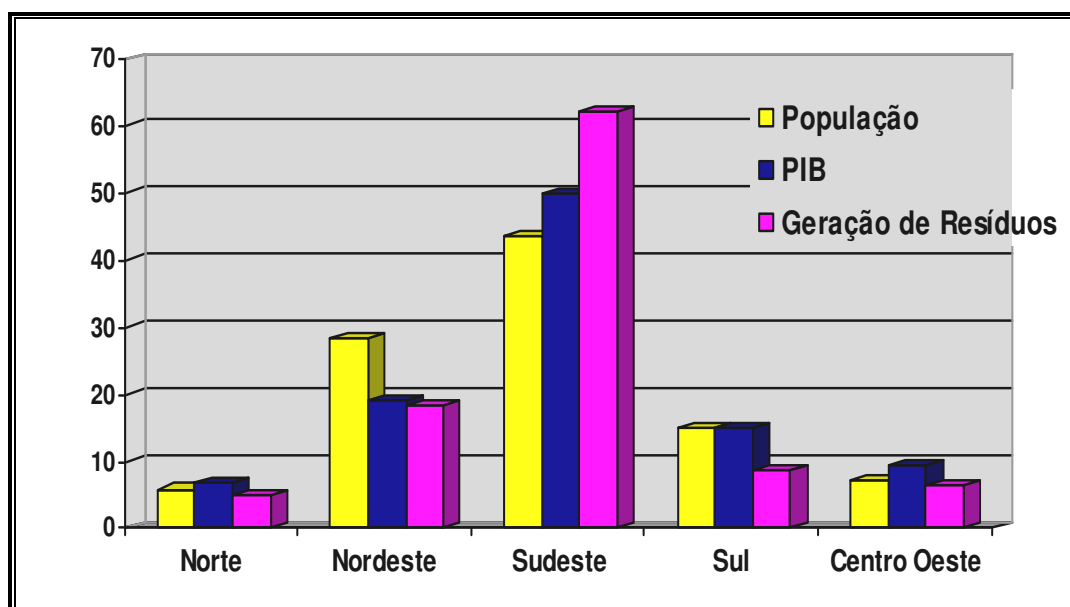


Figura 22. Percentual da população, PIB e geração de resíduos sólidos por região.

O resultado de um levantamento do IBGE realizado em dois mil e mostrado na Tabela 10, apresenta a quantidade da população brasileira, sua distribuição regional, os resíduos sólidos gerados diariamente, e a geração per capita por região.

Em relação à geração per capita, observa-se uma grande discrepância de resultados por região, devido aos resíduos não domiciliares, que não têm uma relação direta com a população. Um erro muito comum é correlacionar a geração per capita somente ao resíduo doméstico sem incluir os públicos, mais os de construção e demolição.

Segundo PNSB (Pesquisa Nacional do Saneamento Básico) em dois mil foram coletadas 228.40 mil toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.30 mil toneladas referentes aos resíduos domiciliares. Se distribuirmos pela população estimada para o mesmo ano, teremos:

$$228.400 \times 1000 / 173751320 = 1,31 \text{ kg/hab./ano} \quad \text{Equação (13)}$$

De acordo com a pesquisa do IBGE, a geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil fica em torno de 0,60 kg/hab./dia e mais 0,30 kg/hab./dia de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos.

Tabela 10. Geração de Resíduos Sólidos no Brasil.

Localização Região	População Total		Geração de Resíduos		Geração per capita (kg/hab/dia)
	Valor (und)	Percentual (%)	Valor (t)	Porcentagem (%)	
Brasil	173751.317	-	228.413	100	1,31
Norte	10.134.661	5,83	11.067	4,8	1,09
Nordeste	49.392.192	28,4	41.558	18,2	0,84
Sudeste	75.544.608	43,5	141.617	62	1,87
Sul	26.072.835	15,0	19.875	8,7	0,76
Oeste	12.352.068	7,1	14.297	6,3	1,15

Fonte: IBGE, 2000.

Observa-se na Tabela 11 uma grande variabilidade das estimativas apresentadas por diferentes fontes para o mesmo país. Uma das razões decorrem da importância relativa da atividade de construção, da tecnologia empregada, da idade dos edifícios, entre outros JOHN & AGOPYAN (2000).

Os números divergem muito entre países, autores organismos envolvidos na tabulação destes números, de qualquer forma geram-se muitos resíduos, a geração per capita não é um número linear, e pode-se dizer que muda também em função do poder aquisitivo da população. No estado de São Paulo a CETESB adota 0,51 kg/hab./dia para os resíduos de construção.

Tabela 11. Estimativas de geração de resíduos de construção civil.

PAÍS	Quantidade Anual		FONTE
	milhões t/ano	kg/hab.	
Suécia	1,2 - 6	136 - 680	TOLSTOY, BÖRKLUND & CARLSON (1998); JOHN (1999)
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1300	LAURITZEN (1998); BROSSINK; BROUWERS & VAN KESSEL (1996); EU (1999)
EUA	136 - 171	463 - 584	EPA (1998); PENG, GROSSKOPF, KIBERT (1994)
UK	50 - 70	880 - 1120	
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3359	
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2010	LAURITZEN (1998), JOHH (1999)
Itália	35 - 40	600 - 690	
Alemanha	79 - 300	963 - 3658	
Japão	99	785	KASAI 91998)
Portugal	3,2	325	JOHN (1999)
Brasil	Na	230 - 660	PINTO (1999)

Fonte: JOHN, 2000, p. 18.

Segundo ALTHERMAN (2002) a cidade de Limeira localizada no interior do estado de São Paulo, distante cerca de 150 km da capital, a EMDEL (Empresa de Desenvolvimento de Limeira) responsável pelo aterro sanitário da cidade, a partir do ano de 1999 até 2002, realizou-se um levantamento dos resíduos depositados no aterro sanitário daquela cidade.

Os resultados apresentados por ALTHERMAN (2002) são apresentados na Figura 23, a metodologia do levantamento realizado pela EMDEL não foi apresentada pelo autor, observa-se que os resíduos de construção ficaram muito acima dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

Segundo o autor, neste período foi proibido o descarte em bota-foras e intensificada a fiscalização, todos os resíduos foram depositados no aterro sanitário naquele período, daí pressupõe que os resíduos descartados de forma clandestina tenham sido depositados no aterro.

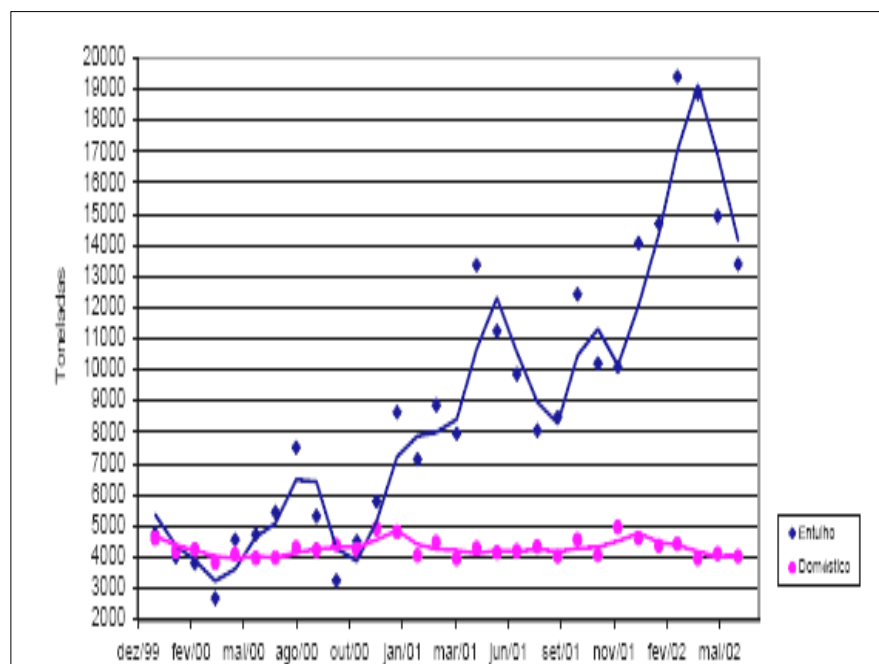


Figura 23. Resíduos da construção em relação aos RSU em Limeira 2001,
 Fonte: ALTHERMAN 2002, p. 9.

Segundo um estudo realizado em vários municípios ver Tabela 12, por I&T (Informações Técnicas), citado por PINTO et al., (2005), em Gestão Ambiental de Resíduo da Construção Civil, metodologia não informada, tem aponta a participação dos resíduos em relação aos RSU.

Tabela 12: Quantidade de RCD gerados em alguns municípios em relação aos RSU.

MUNICÍPIO	GERAÇÃO DIÁRIA t	ANO	PARTICIPAÇÃO EM RELAÇÃO aos RSU (RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS)
São Paulo	17.240	2003	55% de RCD
Guarulhos	1.308	2001	50% de RCD
Diadema	458	2001	57% de RCD
Campinas	1.800	1996	64% de RCD
Piracicaba	620	2001	67% de RCD
São J. dos Campos	733	1995	67% de RCD
Ribeirão Preto	1.043	1995	70% de RCD
Jundiaí	712	1997	62% de RCD
São José do Rio Preto	687	1997	58% de RCD
Santo André	1.013	1997	54% de RCD

Fonte: I&T citado por PINTO et al. 2005, p. 8.

O Quadro II mostra referências sobre as estimativas e os indicadores obtidos em diagnósticos dos municípios listados por I&T e citado por PINTO et. al., (2005), Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil.

Quadro II. Condições de geração do RCD em diversos municípios.

Municípios	População censo 2000 (mil)	Novas edificações (t/dia)	Reformas ampliações e demolições (t/dia)	Remoção deposições (t/dia)	Total RCD t/dia)	Taxa (t/ano por hab.)
S.J. dos Campos (95)	539	201	184	348	733	0,47
Ribeirão Preto (95)	505	577	356	110	1.043	0,71
Santo André (97)	649	477	536	-	1.013	0,51
S.J.Rio Preto (97)	359	244	443	-	687	0,66
Jundiaí (97)	323	364	348	-	712	0,76
Vit. Da Conquista (97)	262	57	253	-	310	0,40
Uberlândia (00)	501	359	359	241	958	0,68
Guarulhos (01)	1.073	576	732	-	1.308	0,38
Diadema (01)	357	137	240	81	458	0,40
Piracicaba (01)	329	204	416	-	620	0,59

Fonte: I&T citado por PINTO et al., 2005, p. 24.

A massa total dos resíduos sólidos urbanos, conforme as estimativas internacionais variam entre 130 e 300 kg/hab./ano. PINTO (1999) mostra que no Brasil, em uma amostra mediana de várias cidades, esse total foi de 510 kg/hab./ano.

Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100 kg/m², segundo PINTO (1999), no Brasil este índice gira em torno de 150 kg/m² edificado.

PICCHI (1993) realizou estudo sobre perdas e o volume de entulhos gerados em três obras, entre 1986 e 1987. O resultado obtido foi de 0,10 m³/m² ou dois caminhões de cinco metros cúbicos para cada 100 m² construídos. Se considerar a massa específica de 1,20 t/m³, a perda foi de 0,12 t/m², o que corresponde a 15 % da massa final do edifício. Em duas obras, o resultado foi obtido a partir da contagem das caçambas removidas, e, na terceira, por meio de documentos fiscais do resíduo retirado por empresas especializadas.

Segundo CAMPOS (2005) o Programa de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras, teve como início em janeiro de 2003, compreende o desenvolvimento e implantação de uma metodologia para a gestão de resíduos em canteiros de obras de onze

construtoras da cidade de São Paulo participante do COMASP (Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do Sinduscon-SP).

O objetivo da metodologia foi de capacitar as construtoras para o correto gerenciamento dos resíduos nos canteiros, incluindo a redução da geração, segregação, reuso, correta destinação que possibilite a reciclagem.

O Quadro III apresenta o resultado de cinco construtoras participantes do programa, cabendo ressaltar o resultado da empresa D em verde, com um índice muito abaixo das demais, gerando no final da obra a quantia de 0,02 m³/m².

Quadro III. Geração de resíduos de construção m³/m² em São Paulo.

	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
Tipo de Obra	1 Edifício Padrão Médio	2 Edifícios Padrão Alto	1 Edifício Padrão Alto	5 Edifícios Padrão Médio	34 Residências Padrão Alto
Etapas consideradas	Fundação a Limpeza Final	Estrutura a Pintura Externa	Projeto a Início Pintura	Fundação a Limpeza Final	34 residências Pintura Externa
Total m ² Área Prefeitura	8.003	19.247	5.642	16.606	7.600
TIPO DE RESÍDUOS					
Papel – m ³	31	90	96	53	23
Plástico – m ³	35	88	31	26	35
Madeira – m ³	-	137	248	83	160
Blocos/Argamassa – m ³	576	960	160	156	206
Total – m ³	642	1275	535	318	424
Total – m ³ /m ²	0,08	0,07	0,09	0,02	0,06

Fonte: Sinduscon-SP, CAMPOS (2005)

No município de Piracicaba segundo dados do município, os valores encontrados para os resíduos sólidos em 2001, obtidos quando da realização do diagnóstico dos resíduos sólidos, foram encontrados para uma massa total de resíduos de 921 toneladas por dia, considerado 26 dias úteis por mês, sem incluir os resíduos industriais, a distribuição é a seguinte:

- volumosos (VOL)- Inclui podas de árvores, móveis e utensílios inservíveis - foram coletados 52 toneladas/dia;
- domiciliares (DOM) - Resíduos domiciliares - foram coletados 248 toneladas por dia;
- resíduos serviços de saúde (RSS) - foram coletados 1,40 toneladas por dia;
- resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados 620 toneladas por dia.

A Figura 24 apresenta os percentuais dos resíduos encontrados pela Prefeitura local no ano de 2001, com metodologia não especificada:

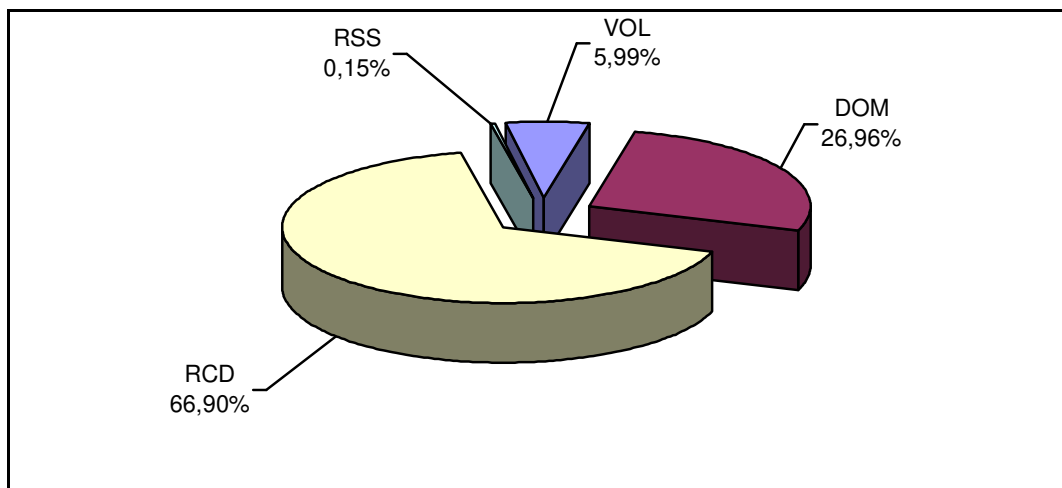


Figura 24: Porcentagens dos resíduos sólidos de Piracicaba SP.

Os resíduos de construção RCD representam sessenta e sete por cento dos resíduos sólidos coletados, para uma população estimada em 355 mil habitantes, segundo fonte do IBGE para o mesmo ano.

É possível obter a taxa de geração dos resíduos aplicando-se a equação a seguir:

$$(620 \times 1000 \times 12 \times 26) / 355000 = 544 \text{ kg/hab./ano} \quad \text{Equação (14)}$$

Os valores encontrados pela Prefeitura estão compatíveis com o recomendado, que é de 510 kg/hab./ano, encontrados por PINTO (1999).

As características dos agentes geradores do RCD da cidade de Piracicaba encontrado em 2001 é o que apresenta a Figura 25.

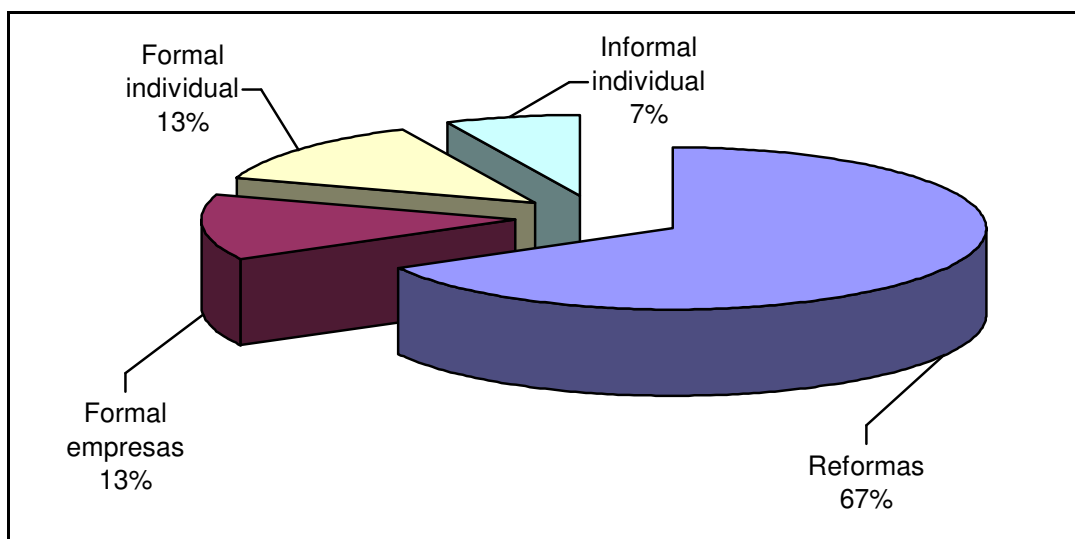


Figura 25: Características dos agentes geradores de RCD de Piracicaba

Segundo ANGULO (2000), a composição do RCD é gerada durante novas construções, reformas/manutenção e demolições. Considera-se que, em razão da natureza da atividade, a composição dos resíduos de reformas/manutenção deve se assemelhar a de resíduos de demolição, porém não há informação a respeito.

A parcela do percentual do RCD das diferentes origens é variável em diversos países. Nas previsões da Europa Ocidental para o ano 2000 percebe-se um aumento da participação dos resíduos de demolição no total do RCD, com queda da atividade de construção e aumento de atividade de manutenção, reabilitação e demolição. Essas conclusões podem ser observadas na Tabela 13.

Tabela 13: Contribuição individual das fontes.

País	RCD (t/ano)	Resíduos de construção (t/ano)	Resíduos de demolição (t/ano)	% de resíduo de Construção no RCD	% de resíduo de demolição no RCD	Ano
Países baixos ³	14 milhões					1996
Inglaterra ⁵	70 milhões					1997
Alemanha ⁷	32,6 milhões	10 milhões	22,6 milhões	31	69	1994
Estados Unidos ⁴	31,5 milhões	10,5 milhões	21,0 milhões	33	66	1994/1997
Brasil ²	70 milhões ⁸	35 milhões	35 milhões	30-50	50-70	1999
Japão ⁷	99 milhões	52 milhões	47 milhões	52	48	1993
França ⁶			25 milhões			1994
Europa Ocidental ¹	215 milhões	40 milhões	175 milhões	19	81	Previsão 2000

¹PERA (1999); HENDRICKS (1993) apud. QUEBAUD; BUYLE-BODIN (1999)

²PINTO (1999); ZORDAN (1997); JOHN (2000)

³BOSSINK; BROUWERS (1996)

⁴PENG ET AL. (1997)

⁵CRAIGHILL; POWELL (1997)

⁶GIRARDOT (1994) APUD QUEBAUD;BUYLE-BODIN (1999)

⁷LAURITZEN (1994)

⁸ANGULO (2000)

A previsão para 2000 ainda não foi confirmada por ANGULO. Países em desenvolvimento como o Brasil, em que as atividades de construção são mais intensas, essa relação pode chegar a 1:1 em comparação com os resíduos de demolição PINTO (1999).

A cidade de Piracicaba, no ano 2004, gerou 206 toneladas/dia de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), segundo fontes da SMA (Secretaria do Meio Ambiente) de São Paulo, através de seu Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares.

Os resíduos de construção não podem ser lançados em aterros sanitários, conforme Resolução 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), cinco de julho de 2002. Esta Resolução tem como objetivo principal a não geração de resíduos e o exercício da prática da reciclagem.

Pesquisas realizadas por ZORDAN (1997) e LIMA (1999) recomendam que a forma mais simples da utilização destes materiais é seu uso na pavimentação, portanto, justifica-se o emprego da reciclagem, tornando os resíduos uma alternativa para aplicá-los nos chamados “tapa-vala”, reparos, repavimentação ou reabilitação da pavimentação.

5.6 A reciclagem

WELLENKAMP et al., (2002) relatam que ao enfrentar a carência de locais adequados para lançar os resíduos, como também, minimizar os impactos ambientais acarretados por esses, considera-se a busca por soluções mais eficazes do que a simples dispersão dos mesmos no meio ambiente. Ao invés da simples disposição desses resíduos, o homem passou a procurar por alternativas que se propõem a tratar, reaproveitar, minimizar ou até mesmo eliminar a geração dos resíduos. Assim, cada alternativa contribui para uma solução mais adequada do problema.

Os mesmos autores ressaltam que o termo reciclar significa trazer de volta ao ciclo produtivo matérias-primas, substâncias e produtos extraídos dos resíduos. O reaproveitamento dos materiais, por sua vez, pode ter enfoques distintos: reciclar, recuperar e reutilizar (conceito dos 3 R's (três erres)).

Reciclagem – quando há o reaproveitamento cíclico de matérias-primas de fácil purificação como, por exemplo, papel, vidro e alumínio;

Recuperação – no caso da extração de algumas substâncias contidas nos resíduos, como óxidos e metais;

Reutilização – quando o reaproveitamento é direto, sob a forma de um produto, tal como as garrafas retornáveis e certas embalagens reaproveitáveis, como sacos de linhagem e sacos de açúcar. A reutilização pode ser também o caso do reaproveitamento do resíduo como matéria-prima para uma outra atividade. Com isto, a reciclagem contribui para a redução do consumo de matérias-primas, prolongando, desta forma, a vida útil dos recursos minerais existentes, conforme relatam os autores.

A conclusão dos autores é que a reciclagem representa o segundo nível na hierarquia de ação e é adequada para reduzir a quantidade de resíduos a serem descartados. A reciclagem

pode ser processada em circuito aberto ou fechado. Em circuito fechado o produto secundário de um sistema, que de outra forma seria um resíduo, retorna ao mesmo, com ou sem tratamento, contribuindo para a obtenção do produto final. Já na reciclagem em circuito aberto o produto secundário do sistema é um resíduo do primeiro processo, podendo ser utilizado como insumo para outro sistema, com ou sem tratamento subsequente.

A reciclagem de resíduos da construção, segundo LIMA (1999), é praticada em outros países há tempos. A necessidade de reconstrução das cidades seja por guerras ou catástrofes naturais, motivou vários países como o Japão e Estados Unidos (EUA), além da Europa, a desenvolverem técnicas para reciclagem dos resíduos de construção.

Segundo JONH e AGOPYAN (2001), “a preocupação com resíduos de maneira geral é relativamente recente no Brasil”. Diferente de países como os EUA, onde no final da década de 60 já existia uma política para resíduos, chamada de RCRA (Resource Conservation and Recovering Act), que pode ser traduzida como Lei de Conservação e Reciclagem de Recursos. No Brasil ainda está em discussão uma legislação mais abrangente sobre resíduos e o programa Brasileiro de Reciclagem ainda não saiu do papel.

Para os autores, apesar de algum avanço na reciclagem de resíduos domiciliares, obrigatoriedades de recolhimento de pneus e baterias estão certamente ainda longe de políticas mais abrangentes, como a políticas do governo dos EUA de compra preferencial de produtos ambientalmente saudáveis, que privilegia produtos contendo resíduos, segundo JOHN e AGOPYAN (2001) ou das políticas da Alemanha.

A reciclagem de resíduos de construção e demolição vem da antiguidade e foi empregada na reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial. Atualmente continua sendo praticada amplamente na Europa, especialmente na Holanda.

Outros motivos, segundo o mesmo autor, motivaram a reciclagem, principalmente nas últimas décadas. Entre eles estão a superexploração de jazidas de agregados, impactos ambientais, esgotamento de aterros e também por considerar o aterramento uma forma de desperdício de recursos.

Segundo LIMA (1999), apud DE PAUW e LAURITZEN (1994) mostra, por intermédio da Tabela 14, os números de recicladoras de resíduos existentes na Europa em 1992. O número de recicladoras já era considerável, a preocupação com o meio ambiente e a

reutilização destes resíduos na Europa foi uma das soluções para a destinação final dos agregados reciclados.

Tabela 14: Recicladoras existentes na Europa em 1992.

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

Fonte: LIMA, 1999, p. 26.

Ainda segundo LIMA (1999), na Alemanha o uso dos resíduos reciclados é feito praticamente na pavimentação, algumas exceções em concretos para fim estrutural, mas geralmente não são liberados para este uso, as autoridades Alemã está revendo as proibições, em função das novas tecnologias empregadas e de experiências realizadas utilizando agregados reciclados a partir do RCD.

Segundo LEVY (1997), na Bélgica houve problemas com o uso dos agregados reciclados e pontes executadas em concreto tiveram que ser demolidas.

Nos Estados Unidos, segundo LIMA (1999) apud HANSEN (1992) o país caminha para aceitação do resíduo de concreto reciclado como agregado padronizado em serviços de pavimentação, sem a necessidade de ensaios específicos.

Mas segundo LIMA (1999), apud SWANA (1993), nos Estados Unidos a indústria do resíduo sólido começa a investigar questões relativa à reciclagem e disposição de resíduos de construção e demolição (C&D), muitas empresas passam a reciclar os resíduos e a oferecem a preços baixos, desta forma o custo pelo transporte torna um item significativo na decisão. Segundo a associação, havia cento e treze recicladoras regulamentadas no país em 1993, e muitas outras operando na clandestinidade.

Alguns usos para o material reciclado, segundo a mesma associação, são: cobertura diária e final de aterro sanitário; vias temporárias de acesso aos aterros; recuperação de solo; enchimento; base e sub-base de pavimentação; filtros em aterros; concreto asfáltico e serviços de drenagem.

Na Holanda, segundo LIMA (1999), foram desenvolvidas normas para aplicação de agregados reciclados no concreto simples, armado e protendido.

Na opinião do autor, o uso do material reciclado naquele país revela grau de conhecimento avançado sobre suas propriedades.

Na Rússia segundo LIMA (1999), apud HANSEN (1992), o Instituto de Concreto Armado Russo publicou recomendação para a reciclagem de concreto em base de macadame para pisos; fundações de construção; estruturas para pavimentação asfáltica de vários tipos; produção de concreto simples e armado entre cinco e 15 MPa; e produção de concreto simples e armado até 20 MPa, desde que os agregados reciclados sejam misturados a agregado convencional.

É vetado o uso de agregados reciclados no concreto protendido e não se usa a porção fina destes, sendo indicados como filler em concreto asfáltico.

A mesma fonte informa que no Reino Unido é permitido o uso de agregados reciclados na pavimentação e em construções. Admite-se o uso de reciclados de concreto ou de alvenaria em concretos de baixo uso estrutural. Na França existem recicladoras de resíduos de construção, processando principalmente os resíduos de concreto.

5.6.1 A reciclagem no Brasil

Segundo JOHN e AGOPYAN (2001), a experiência de reciclagem do RCD no Brasil na forma de agregados, é operada predominantemente pelas Prefeituras Municipais. Os agregados por elas produzidos são empregados em obras de pavimentação e na produção de pequenos componentes de concreto, como, por exemplo, blocos de pavimento.

Atualmente já existem centrais de reciclagem privadas em operação, mas são poucos os dados disponíveis. Um exemplo é a URBEM em São Paulo que, após reciclagem, aplica os materiais basicamente na pavimentação.

Segundo VEDRONI et al., (2005), com modificações, no Brasil os municípios e empresas dotados de equipamentos de reciclagem são os seguintes (pode ter sido alterado):

- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE/MG – SLU:
 - PAMPULHA – cap. 30 t/h;
 - ESTORIL – cap. 20 t/h;
 - BR 040 – cap. 70 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ/RJ – cap. 8 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO/SP – cap. 30 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRACICABA/SP – EMDHAP – cap. 20 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA/PR – Autarquia do Meio Ambiente - cap. 20 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS/SP – cap. 30 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MURIAÉ/MG – cap. 8 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DE MERITI/RJ – cap. 30 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO/RJ – cap. 30 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARULHOS/SP – PRÓGUARU – cap. 15 t/h;
- BRASÍLIA – DF – AR São Sebastião – BI6040 – cap. 10 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PIRES/SP – cap. 15 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO/SP – cap. 30 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS/SP – cap. 70 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS/SP – PROHAB – cap. 20 t/h;
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VINHEDO/SP – cap. 15 t/h;
- OTTO BAUMGARTEN – CENTER NORTE – cap. 30 t/h;
- QUALIX – 2 unidades de cap. 30 t/h cada;
- ENGESTRAUSS – cap. 70 t/h;

- URBEM Tecnologia Ambiental – cap. 50 t/h;
- PGA Ambiental – cap. 20 t/h;
- EMBLUR – PM de João Pessoa – cap. 20 t/h;

Apesar de algumas cidades já terem implantado o processo da reciclagem do RCD, ainda falta tecnologia para estes municípios aplicá-los com manejo ambiental correto, para não causar qualquer impacto ou contaminação ao ser humano, a biota e aos animais.

Em São Paulo, segundo BODI (1997), a Prefeitura implantou, em 1991, uma usina de reciclagem com capacidade para 100 t/hora, produzindo material utilizado como sub-base para pavimentação de vias secundárias, numa experiência pioneira no Hemisfério Sul.

A Prefeitura de Londrina, no Estado do Paraná, em 1994 inaugurou a Central de Moagem de RCD, instalada pela autarquia do Meio Ambiente (AMA), numa antiga pedreira da cidade. Das cerca de 400 toneladas de resíduos da construção civil, de 25 a 30 % são reciclados pela Central. Após a instalação da Central de Reciclagem, os quase quatro mil pontos de despejos de resíduos detectados no Município foram praticamente extintos.

Com o material produzido foram fabricados bloquetes, canaletas e blocos, que estão sendo utilizados para a reurbanização de favelas como parte de um programa da Prefeitura em parceria com a COHAB (Companhia de Habitação).

Em Belo Horizonte, dados da SLU (Superintendência de Limpeza Urbana) do Município de Belo Horizonte/MG mostram que, cerca de metade dos resíduos coletados diariamente são da construção civil.

Em consequência disso, a Prefeitura criou e implantou o Projeto da Reciclagem do RCD, com o objetivo de eliminar pontos clandestinos de descarte; garantir maior vida útil ao aterro sanitário; gerar material de construção alternativo de baixo custo para ser utilizado em substituição a materiais convencionais; contar com a participação da população na entrega de resíduos nas unidades de recebimento apropriadas; e solucionar o problema dos pequenos geradores, através da distribuição no município de pontos de entrega voluntária de RCD.

Belo Horizonte conta hoje com duas Unidades de reciclagem de RCD, localizadas nos bairros Estoril e Pampulha, com capacidade de processamento de 120 e 240 toneladas por dia, respectivamente em um mil novecentos e noventa e oito.

Em Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo, a cidade produz, em média, 900 toneladas por dia de RCD. Desse montante, 25 % são operados na Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e o material produzido é utilizado na recuperação de estradas municipais sem pavimentação.

Em Santa Catarina, na grande Florianópolis existe uma associação dos recolhedores de entulho, chamada União Entulhos, situada no município de São José, no bairro Forquilha, para onde o entulho recolhido é levado. O RCD é separado em reciclável (vidro, papel, plástico) e rejeitos (madeira, restos de construção, plantas) por pessoas de baixa renda.

O material reciclável é levado para uma usina de reciclagem. Já os rejeitos como restos de construção e demolição, são utilizados como material de aterro, sendo a madeira levada para padarias e similares para servir de combustível para os fornos ou então é doada à comunidade pobre residente próxima ao local, para servir de lenha de fogão.

Em São José do Rio Preto, em São Paulo, a usina de reciclagem do RCD está instalada na rodovia vicinal Délcio Custódio da Silva (SP-427), que liga Rio Preto a Ipiranga (ao lado da unidade da Febratub). A produção da usina tem baixo custo, baixa taxa de manutenção, boa qualidade e longa durabilidade, segundo Paulo Paulera secretário de Serviços Gerais.

Segundo Humberto Scandiuzzi secretário do meio ambiente da PMSJRP (Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto), a usina de reciclagem foi construída pela Prefeitura a partir de estudos e trabalhos das secretarias de Obras, Meio Ambiente e Serviços Gerais. Os investimentos foram da ordem de três milhões. A usina entrou em plena atividade a partir do segundo semestre de 2005.

No primeiro semestre de dois mil e cinco a usina já produziu 2379 toneladas de RCD, de materiais reciclados a partir de restos de cerâmica, contrapiso de concreto, tijolos de alvenaria, telha de cobertura, blocos de concreto, argamassa e concreto. O resíduo da construção civil RCD, vira material para ser aplicado em estradas que facilitam o acesso nas vicinais do Distrito de Engenheiro Schmitt.

Além da reciclagem dos entulhos da construção civil, por meio de trituração, os funcionários da usina também fazem a triagem de todo material recebido no local. Os materiais são encaminhados a COOPERLAGOS (Cooperativa de Coleta Seletiva), onde é feita

a triagem e a retirada de elementos chamados contaminantes, como plásticos, papel, papelão, vidros, ferro, cobre e alumínio, entre outros.

Em Campinas, no Estado de São Paulo, segundo João Roberto Balduino do DLU (Departamento de Limpeza Urbana), o RCD após ser reciclado na usina de reciclagem da Prefeitura - que é capaz de processar somente 25 % do que o município produz de resíduos, o material é aplicado na melhoria de ruas em bairros de baixa renda, cobertura do aterro sanitário, melhorias dos acessos às células do aterro sanitário. Com o material mais fino, como areia e pedrisco, são confeccionados blocos estabilizados com cimento.

Em São José dos Campos sabe-se que a usina de reciclagem foi desativada em função da falta de tecnologia e procedimentos para aplicação dos materiais.

JOHN e AGOPYAN (2001) dizem que ainda existem várias barreiras a serem vencidas para a introdução de novos produtos contendo resíduos. Em primeiro lugar, no momento a única tecnologia consagrada capaz de consumir os grandes volumes gerados é a pavimentação, que possui praticamente um cliente, as municipalidades. A descontinuidade entre gestões e a incerteza quanto a pagamentos pode tornar este negócio menos atrativo. Assim, segundo os autores, o desenvolvimento de mercados alternativos é uma opção.

Em segundo lugar, os atores lembram que a introdução de um novo produto no mercado de construção civil é sempre difícil. O caminho mais fácil para superar esta limitação envolve o desenvolvimento de aplicações onde os produtos contendo agregado reciclado apresentem vantagens competitivas sobre os produtos tradicionais, além de preço compatível. Assim, provavelmente seja mais fácil encontrar mercado para produtos contendo agregado reciclado do que para o agregado isoladamente.

Em terceiro lugar, no caso dos resíduos existe também o temor de que os clientes considerem o produto como sendo de menor qualidade. Esta limitação somente poderá ser enfrentada pela prática de uma política consistente e prolongada de educação ambiental.

Em quarto lugar, existem vários problemas tecnológicos. As aplicações na produção de concretos, componentes de baixa resistência, pavimentação e argamassa necessitam ser aperfeiçoada, e o resultado das pesquisas, amplamente divulgados. O desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade do produto é também tarefa importante.

Em quinto lugar, há o problema da localização das centrais de reciclagem. A localização de centrais de entrega em pontos que encurtem as distâncias de transporte é aspecto crítico para captação dos resíduos. A distância de transporte vai afetar diretamente a competitividade do produto. Assim, é necessário que centrais de reciclagem estejam localizadas em zonas urbanas, o mais próximo possível do local de geração.

Lembra os autores que a localização nos centros urbanos gera problemas com o licenciamento ambiental, zoneamento urbano e até oposição dos moradores. Estes problemas são naturalmente mais difíceis de superar em um empreendimento privado.

E, finalmente, os autores enumeram como o sexto ponto para o desenvolvimento das tecnologias a necessidade de estabelecer uma normalização adequada, de forma a abrir o mercado, seja aos agregados, seja aos produtos com eles confeccionados.

Uma das condições de viabilidade técnica para a reciclagem, segundo JOHN e AGOPYAN (2001), é o emprego do sistema de gestão dos RCD, construção de uma rede de captação de resíduos dentro da malha urbana, que seja capaz de atrair, via redução de distância de transporte, as caçambas de coleta e os coletores autônomos.

PINTO (1999) propõe em sua tese um sistema de gestão para o RCD. Após um diagnóstico elaborado a partir de vários municípios pesquisados, levanta-se a problemática dos resíduos tais como: impactos ambientais, quantitativos, custos, forma de reciclagem, proposta de legislação e incentivos para a reciclagem.

PINTO et al., (2005), no trabalho “Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil”, explica que para implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios é preciso elaborar um diagnóstico e definir um plano integrado de gerenciamento no município, considerando os seguintes itens:

- identificação dos agentes envolvidos na geração, transporte e recepção dos resíduos da construção e demolição;
- estimativas da quantidade de resíduos da construção e demolição gerada no município separando em: resíduos gerados em edificações novas; reformas; ampliações e demolições;
- resíduos removidos de deposições irregulares;

- estimativa do total de RCD gerado no município;
- os impactos ambientais;
- impactos econômicos;
- outros aspectos que devem ser considerados.

5.7 Características do resíduo no Brasil

A Figura 26 apresenta uma média dos resíduos de RCD gerada em alguns municípios brasileiros diagnosticados pela I&T citado por PINTO et al., (2005).

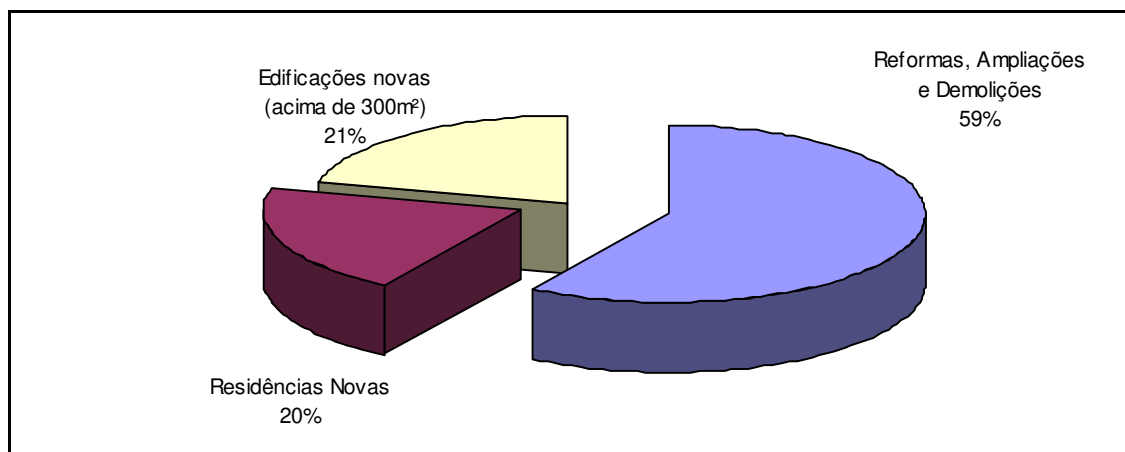


Figura 26. Origem do RCD em algumas cidades Brasileiras porcentagem da massa total, Fonte: I&T citado por PINTO et al., (2005).

O potencial existe para a reciclagem da parcela mineral do RCD a partir dos resíduos classificados pelo CONAMA 307 como classe A, possibilitando que estes resíduos tenham um destino adequado para sua reutilização após seu beneficiamento.

PINTO (2005) mostra que as características dos resíduos removidos de obras ou recebidos de pequenos coletores revelam uma grande predominância da fração mineral, viabilizadora de processos sustentáveis. A Figura 27 ilustra a composição dos resíduos de construção removidos de obras convencionais nas cidades de São Carlos e Santo André, em São Paulo, de Belo Horizonte, em Minas Gerais, e estação Barão 300, em uma média de seis meses.

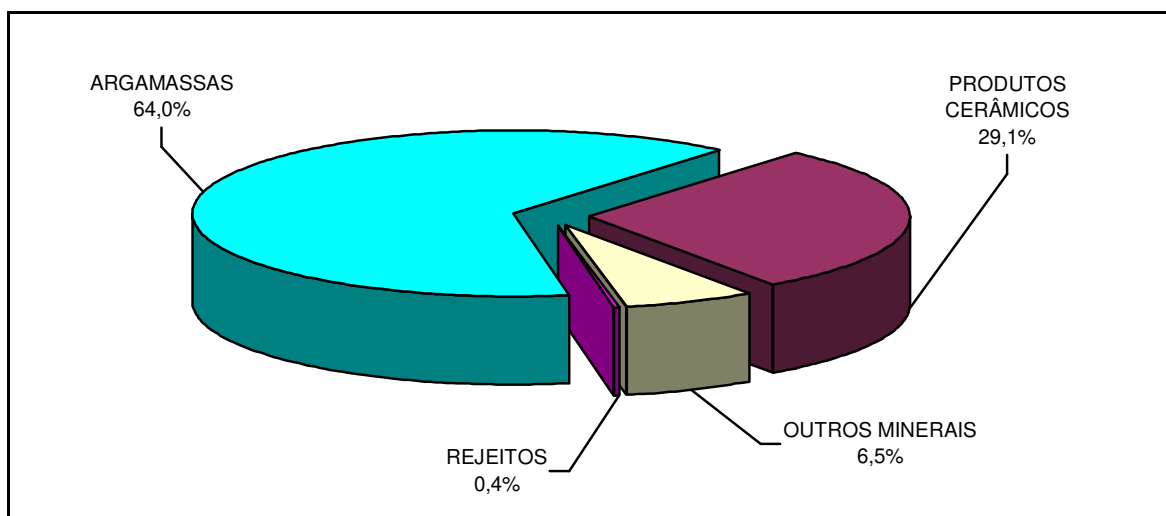


Figura 27. Tipos de resíduos removidos porcentagem em massa (PINTO 1999)

Segundo CARNEIRO et al., (2001), a caracterização do resíduo da construção, tanto na sua forma bruta quanto na reciclada, constitui uma etapa imprescindível para estudos de alternativas que visem a gestão e a reciclagem desse resíduo. Foi neste sentido que surgiu o projeto Entulho Bom e a LIMPURBE (Empresa de Limpeza Urbana de Salvador), os quais realizaram a caracterização do resíduo de construção e a caracterização do agregado reciclado.

Na caracterização, segundo os autores, ficou definida que a maior contribuição dos resíduos foi proveniente de obras e demolições. Contudo, os resíduos gerados na produção dos materiais de construção como, por exemplo, cacos de blocos cerâmicos nas olarias, pó de pedra da britagem de agregados, entre outros, não foram considerados como resíduos de construção e sim como industriais de setores específicos segundo CARNEIRO et al., (2001).

Construção, reformas, o alto índice de perdas e a ausência de procedimentos de reutilização e reciclagem são as principais causas da geração deste resíduo. As demolições, na maioria dos casos, também se apresentam como uma grande fonte geradora.

Ainda segundo os autores, o resíduo de construção e demolição possui características bastante peculiares. Há uma gama muito grande de aspectos que interferem na quantidade, composição e características desse material, entre eles destacam-se:

- o nível de desenvolvimento da indústria da construção local;
- qualidade e treinamento da mão-de-obra disponível;

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

O resíduo de Salvador, segundo CARNEIRO et al., (2001), apesar da sua heterogeneidade, apresenta, na sua composição, 94 % de materiais com alto potencial para reciclagem, constituindo, assim, uma fonte de matérias-primas a ser explorada. Sua composição pode ser verificada na Figura 28.

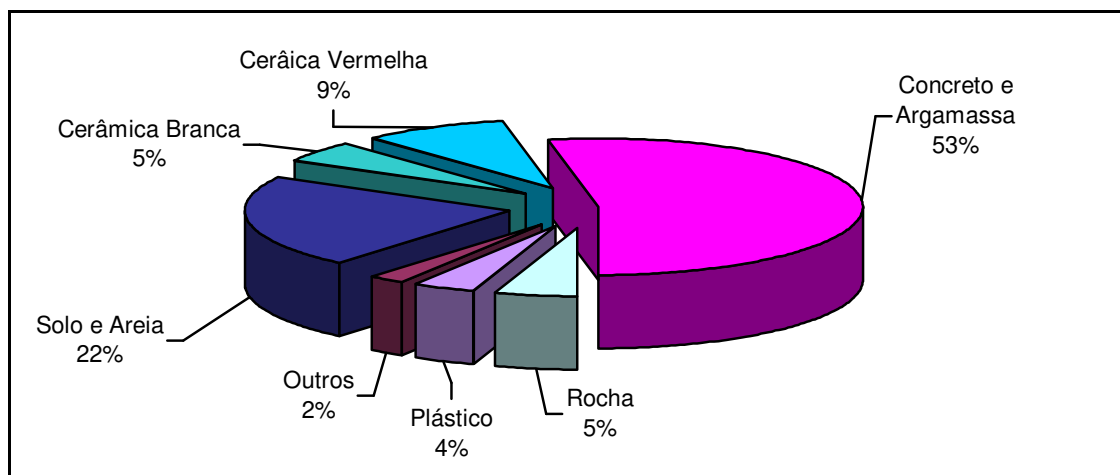


Figura 28. Características dos resíduos de construção da cidade de Salvador, Fonte: CARNEIRO et al., (2001).

5.8 Processo de triagem e gestão dos resíduos

Para a reciclagem dos resíduos de construção, primeiramente será necessário, passar por um manejo ambiental adequado, para depois ser encaminhado para a reciclagem. Este manejo se faz necessário para que a utilização destes resíduos se faça de forma adequada, sem

risco para os que manipulam, para a biota e o ser humano. Esse processo deve respeitar o que está estabelecido na Resolução 307 do CONAMA.

A implantação do sistema de gestão dos resíduos com ações do setor público, de forma gradativa acaba por erradicar as deposições irregulares e o fechamento de “bota-foras” existentes, o que elimina a agressão à paisagem urbana; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; reduz o nível de poluição ambiental e o desperdício de recursos naturais; integram na economia formal trabalhadores marginalizados; cidadãos assumem papel ativo em relação à administração da cidade; e organiza a sociedade.

Para PINTO et al., (2005), a triagem dos resíduos em classes é passo fundamental para a sua gestão adequada, razão pela qual devem ser incentivadas as práticas de “desmontagem seletiva” (demolição planejada das edificações), em substituição à demolição sem critérios.

O manejo dos resíduos sólidos pode ser estruturado em quatro ações, conforme sugerem os autores:

1- Primeira ação - rede de áreas para manejo de pequenos volumes:

A definição física da rede de pontos de entrega para pequenos volumes – até um metro cúbico por habitante por dia que, deverá ser realizado a partir das informações geradas quando implantado o sistema de gestão dos resíduos sólidos.

Estes pontos poderão ser definidos por bacias de captação destes resíduos, sendo identificados os geradores, as quantidades, a população e condições sócias econômicas. A abrangência desta bacia não deverá ultrapassar algo próximo de 1,5 a 2,5 km do ponto de entrega, para facilitar a entrega voluntária, conforme Figura 29 a seguir.

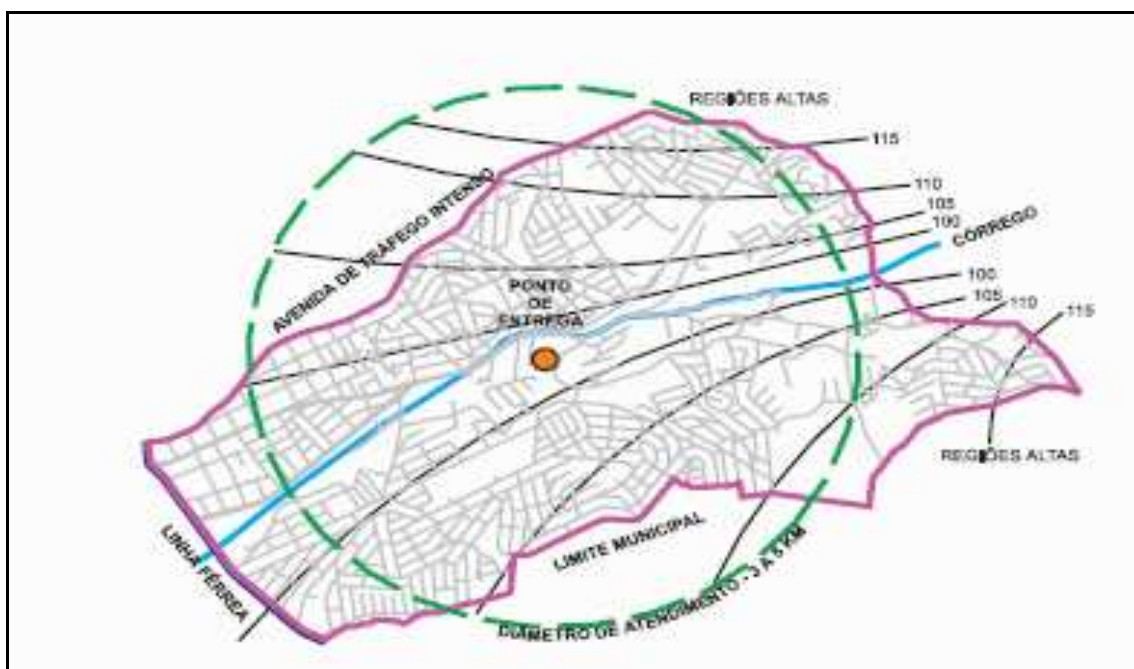


Figura 29. Localização do ponto de entrega na bacia de captação, Fonte: PINTO et al., 2005, p. 41.

Os pontos de entrega voluntária devem ocupar áreas públicas ou privadas cedidas em parceria ou, ainda, áreas alugadas ou arrendadas para tal finalidade, de preferência utilizando “retalhos de formato irregular” resultantes do arruamento urbano, com áreas entre 200 m² e 600 m². A Figura 30 traz desenho sugerido pela I&T, segundo PINTO et al., (2005).

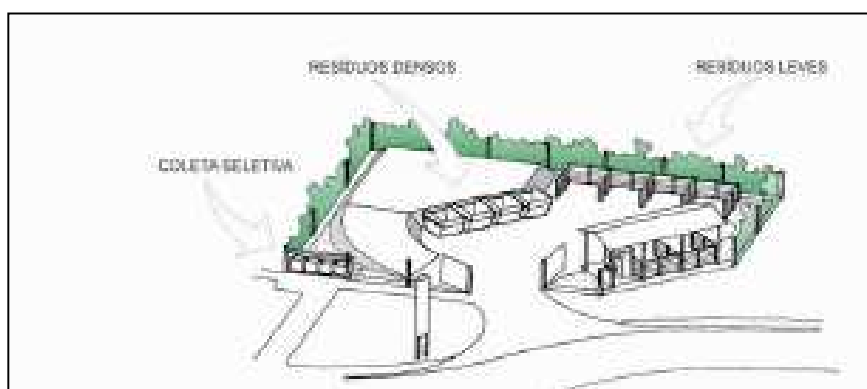


Figura 30. Desenho sugerido por I&T para ponto de entrega citado por PINTO et al., 2005, p. 44.

O projeto de cada ponto deve incorporar os seguintes aspectos:

- prever a colocação de uma cerca viva nos limites da área para reforçar a imagem de qualidade ambiental do equipamento público;

- diferenciar os espaços para recepção dos resíduos que tenham de ser triados, para que a remoção seja realizada por circuito de coleta, com equipamentos adequados a cada tipo de material;

- aproveitar desnível existente ou criar um platô para facilitar a descarga dos resíduos no interior das caçambas metálicas disponibilizadas;

- garantir os espaços corretos para manobras dos veículos;

- preparar placa, totem ou outro dispositivo de sinalização que informe à população do entorno e à eventuais passantes sobre a finalidade dessa instalação pública para descarte do RCD e resíduos volumosos (limpeza de jardim, móveis velhos, galhos de poda de árvores);

- instalar uma guarida e um sanitário para abrigar um vigilante permanente no local para recepção dos resíduos e guarda do local; os resíduos poderão ser recepcionados de forma diferenciada, conforme sugere o Quadro IV de PINTO et al., (2005).

Quadro IV. Recepção e remoção diferenciada dos resíduos nos pontos de entrega.

ORGANIZAÇÃO	EM CAÇAMBAS			EM BAIAS					
Exemplos	RCD	solo	rejeitos	podas	móveis	madeira	papel	plástico e vidro	metálicos
Como chega	A granel			Em partículas maiores					
Características de massa	Densos			Leves ⁽¹⁾					
Características do equipamento para remoção	Veículo para transporte de elevada tonelagem: limitar peso			Veículo para transporte de elevado volume: Limitar pelo volume					
Melhor opção de transporte	Caminhão poliguindastes			Caminhão carroceria com laterais altas					

(1) Comumente os resíduos metálicos ferrosos ou não-ferrosos estão na forma de utensílios ou componentes, que, como tal, podem ser caracterizados como leves.

Fonte: PINTO et al., 2005, p. 43.

2- Segunda ação - rede de áreas para manejo de grandes volumes.

A localização das instalações para manejo de grandes volumes de RCD deverá ser precedida da análise aprofundada de diversos fatores:

- regulamentação do uso do solo no município;

- localização das regiões com maior concentração de geradores de grandes volumes de RCD;

- existência de eixos viários para facilitar o deslocamento de veículos de carga de maior porte;

Após análise, este levantamento servirá como suporte para o trabalho de articulação, com os agentes privados, da estratégia de gestão para o processamento de grandes volumes de RCD, contemplando as seguintes instalações:

- a) áreas de triagem, onde é realizado o manejo ambiental do RCD. Esta área deverá estar em conformidade com a norma Brasileira ABNT NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- b) áreas de reciclagem de resíduos classe A. Estas deverão estar em conformidade com a norma Brasileira ABNT NBR 15114:2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Pode-se agrupar a área de triagem e a área de reciclagem operando em conjunto e organizadas, conforme sugere a Figura 31, apenas em municípios de menor porte;

Nos municípios de maior população e economia mais dinâmica são indicadas às áreas exclusivamente destinadas à triagem e reciclagem, capazes de receber e processar com eficiência os resíduos para elas encaminhados. Essas áreas são situadas nas proximidades das regiões da zona urbana e onde são gerados estes resíduos;

- c) aterros de resíduos classe A da construção civil. Estes deverão seguir a recomendação da norma Brasileira ABNT NBR 15113:2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

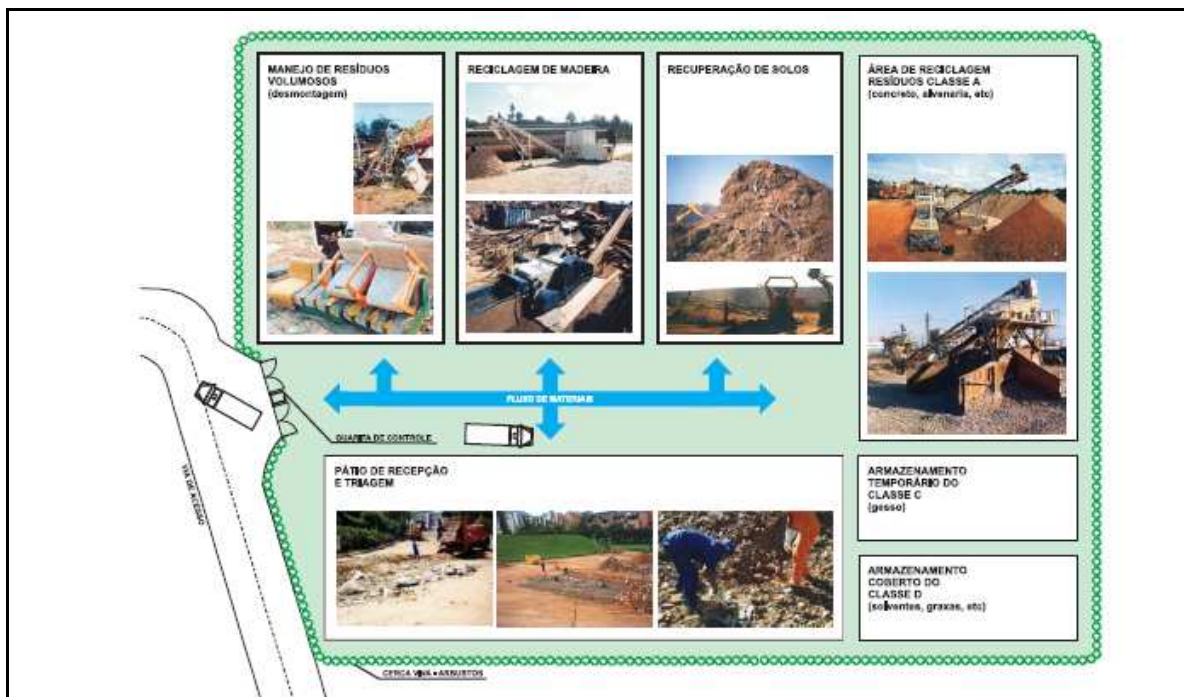


Figura 31. Área de triagem e reciclagem sugerida pela I&T, citado por PINTO et al., 2005, p. 49.

Estas instalações, implantadas em caráter perene ou duradouro e em conformidade com as normas, substituem com inúmeras vantagens os “bota-foras”, causadores, na maioria dos municípios, de tantos impactos negativos ao meio ambiente, ressaltam os autores.

As áreas destinadas ao processamento de grandes volumes de RCD podem ser públicas ou privadas, segundo PINTO et al., (2005). As áreas necessárias para atender em condições satisfatórias empregadas em vários municípios estão especificadas no Quadro V.

QUADRO V. Área básica demandada para o manejo dos resíduos.

FASE DO PROCESSO	CAPACIDADE	ÁREA DEMANDADA
Triagem geral de resíduos	70 m³/dia	1.100 m²
Triagem geral de resíduos	135 m³/dia	1.400 m²
Triagem geral de resíduos	270 m³/dia	2.300 m²
Triagem geral de resíduos	540 m³/dia	4.800 m²
Reciclagem de RCD classe A	40 m³/dia	3.000 m²
Reciclagem de RCD classe A	80 m³/dia	3.500 m²
Reciclagem de RCD classe A	160 m³/dia	7.500 m²
Reciclagem de RCD classe A	320 m³/dia	9.000 m²
Reciclagem de madeira	100 m³/dia	1.000 m²
Reciclagem de madeira	240 m³/dia	1.800 m²
Recuperação de solo	240 m³/dia	2.250 m²

Fonte: PINTO et al., 2005, p. 48.

Estas áreas de reciclagem do RCD classificado conforme Resolução 307 do CONAMA possuem equipamentos de britagem e peneiras para reciclar os resíduos de classe A, aqueles que contêm fração mineral, como os cerâmicos e concreto, será detalhado mais à frente neste trabalho. Podem, também, ter equipamentos para triturar madeiras e produzir cavacos de todos os tipos para uso em fornos de padarias, compostagem, na adubação orgânica de praças e jardins, e outras alternativas.

Sabe-se que a reutilização ou reciclagem dos resíduos é o processo mais adequado. Após o manejo ambiental correto não assegura como resultado final a totalidade da reciclagem no primeiro momento. O sucesso será alcançado após avanços no processo da reciclagem, que inclui a implantação de todos os equipamentos como aterros de inertes, capaz de receber os resíduos contaminados, ou aqueles que não possuem tecnologia para o processo de reciclagem.

3- Terceira ação proposta pelos autores é o programa de informação ambiental: A implantação das instalações precisa ser acompanhada da criação e implementação de um eficiente programa de Informação Ambiental, capaz de mobilizar os diversos agentes sociais

envolvidos na geração ou no transporte de resíduos, para que assumam, efetivamente, suas responsabilidades e se comprometam com a manutenção e melhoria permanente da qualidade ambiental da cidade em que vivem e exercem sua atividade econômica.

O programa ainda deve ter ações voltadas à redução da geração desses resíduos, à difusão do potencial de sua reutilização e reciclagem e à ampla divulgação sobre a localização das áreas destinadas a seu descarte correto.

Principais ações a serem desenvolvidas no programa:

- divulgação massiva entre os pequenos geradores e coletores sobre as opções para a correta disposição de resíduos no município, informando a rede de pontos de entrega voluntária e a possibilidade de solicitação telefônica da prestação de serviços, por meio do “disque coleta para pequenos volumes”, se estiver implantado;

- informação especialmente dirigida, nos bairros residenciais, às instituições públicas e privadas com potencial multiplicador (escolas, igrejas, clubes, associações, lojas e depósitos de materiais para construção e outras);

- divulgação concentradas entre os grandes agentes coletores e geradores, incluindo a promoção do seu contato com novas alternativas para a redução e a valorização de resíduos;

- realização de atividades de caráter técnico para disseminação de informações relacionadas à utilização de agregados reciclados na construção civil; é importante estabelecer parcerias com instituições do município para que atuem como agentes multiplicadores das soluções que estarão sendo implementadas.

4- *A quarta e a última ação* proposta pelos autores é que criada as condições para a correta gestão dos resíduos por parte da administração pública e pelos agentes privados envolvidos, agora sim é necessário implementar um programa de fiscalização rigoroso para fazer cumprir o programa. Num primeiro momento, essa fiscalização deve permitir a migração ordenada da atual situação para o novo sistema e, num segundo momento, garantir o pleno funcionamento do conjunto de ações.

A fiscalização dos agentes é um importante instrumento de gestão e complementar à oferta das instalações como solução concreta para o problema do manejo adequado do RCD e o programa de informação e mobilização social.

As principais ações propostas por PINTO et al., (2005) são:

- fiscalizar a adequação de todos os agentes coletores às normas do novo sistema de gestão, inclusive seu cadastro nos órgãos municipais competentes;
- fiscalizar a ação dos geradores, inclusive quanto ao correto uso dos equipamentos de coleta, de forma que eles não repassem aos coletores responsabilidades que não lhes competem;
- fiscalizar a existência e cumprimento dos projetos de gerenciamento de resíduos previstos na Resolução 307 do CONAMA para as obras de maior porte;
- coibir a continuidade de operação de antigos “bota-foras” e o surgimento de outras áreas para a deposição de RCD não licenciadas e incompatíveis com o novo sistema de gestão;
- estabelecer instrumentos de registro sistemático das ações de fiscalização e controle empreendidas de maneira a tornar possível a avaliação periódica da sua eficácia e aperfeiçoamento.

5.9 Processo de reciclagem do RCD

O RCD (Resíduos de construção e demolição), após o processo de triagem na área de transbordo, conforme ABNT – NBR 15.112, devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente em cada localidade, é separado por classes e encaminhado para a reciclagem. Aqueles que não possuem tecnologia adequada para a reciclagem são encaminhados a locais seguros, conforme a legislação ambiental, Resolução CONAMA 307, 348 e SMA n.º 41 (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). A classificação do RCD está disposta no Quadro VI.

Quadro VI. Classes em que deve ser enquadrado o RCD após a triagem.

Classe	Integrantes	Destinação
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como componentes cerâmicos, argamassa, concreto e outros, inclusive solos.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados à áreas de aterro de resíduos da construção civil, onde deverão ser dispostos de modo a permitir sua posterior reciclagem ou a futura utilização, para outros fins, da área aterrada.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel e papelão, metais, vidros, madeiras e outros.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a reciclagem, recuperação, tais como os restos de produtos fabricados com gesso.	Deverão ser armazenados, transportados e receber destinação adequada, em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Resíduos perigosos oriundos da construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, como o amianto, ou aqueles efetiva ou potencialmente contaminados, oriundos de obras em clínicas radiológicas, instalações industriais e outras.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e receber destinação adequada, em conformidade com a legislação e as normas técnicas específicas.

Fonte: PINTO et al., 2005, p. 39.

A reciclagem do RCD classe A, objeto deste estudo de caso, que teve sua origem nas novas construções, nas demolições ou gerado na perda da indústria da construção civil, após passarem por um processo de triagem na área de transbordo, é processado em uma usina de reciclagem implantada conforme orientação da NBR 15114.

A triagem dos resíduos em classes é fundamental, segundo PINTO et al., (2005), para a sua gestão adequada, razão pela qual devem ser incentivadas; considera que a reciclagem total dos resíduos de construção deveria ser o desejável.

O RCD classe A é conduzido à usina de reciclagem para ser processado e passa por processo de britagem secundária e por britadores do tipo mandíbula, de impacto ou de moinho. Após a trituração, são transportados por uma correia que passa por um separador magnético e por uma separação manual para retirada de materiais não convenientes para o processo dos agregados a serem constituídos. Após esta separação em peneiras, é selecionado em agregados de variados tipos de granulometria, conforme o britador utilizado.

PINTO et al., (2005) afirmam que a reutilização ou reciclagem dos resíduos é a alternativa mais favorável, após sua adequada triagem. O resultado dificilmente poderá ser alcançado de forma integral em um primeiro momento, devendo, assim, ser fruto de um processo de avanços gradativos, que incluam a implantação de aterros de resíduos da construção civil para a adequada destinação da parcela dos resíduos classe A, cuja reutilização ou reciclagem não seja imediatamente possível ou viável. As principais etapas e equipamentos que fazem parte do processo de reciclagem constam da Tabela 15.

Tabela 15: Processo de reciclagem do RCD.

ETAPAS	EQUIPAMENTOS
Planejamento do perfil granulométrico.	Computador, escritório e instrumentos.
Recepção dos caminhões e medição quanto ao peso ou volume	Balança (para produção em torno de 100 t/hora) e instrumentos.
Caminhão é orientado quanto ao local de descarga.	-
Material despejado é inspecionado e são retirados os inservíveis de grande porte e os contaminados.	Ferramentas e pá mecânica.
Material é enviado à linha de separação secundária, onde sofre nova limpeza.	Pá mecânica, correia transportadora e alimentador vibratório.
Material vai para pilha e estocagem.	Correia transportadora.
Material é britado e classificado.	Grelha vibratória, correia transportadora, britador e peneira vibratória.
Produto vai para pilhas de estocagem	Correia transportadora
EQUIPAMENTOS COMPLEMENTARES	
Britagem, transporte e classificação.	Sistema pulverizador de controle de partículas.
Operação de equipamentos rodantes.	Oficina, lubrificação e tanque de combustível.
OPERAÇÕES SECUNDÁRIAS	
Movimentação de estoque.	Caminhão basculante.
Frete.	Caminhão basculante.

Fonte: NUNES 2004, p. 119.

A Figura 32 ilustra um processo de reciclagem do RCD, que trata-se de uma usina do tipo móvel. Após a demolição, o resíduo viaja até a usina onde é realizado o processo de reciclagem; na maioria dos casos os resíduos passam pela área de transbordo e triagem para seguirem até o processo de reciclagem. O processo na área de transbordo e triagem é importante para a separação de materiais indesejáveis ao processo de reciclagem.

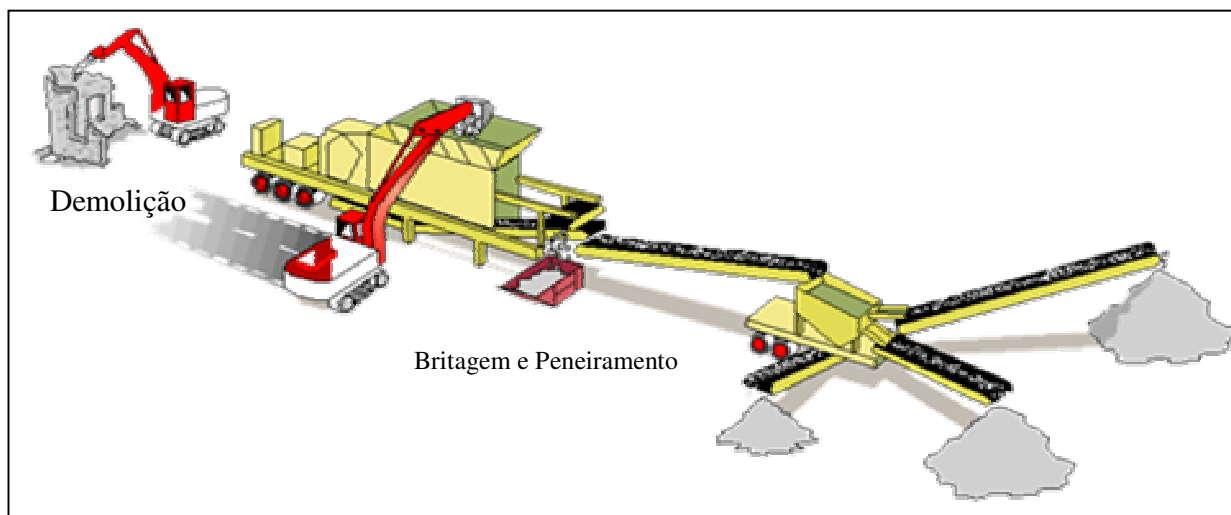


Figura 32. Sistema de reciclagem do RCD (METSO)

Segundo LIMA (1999), os equipamentos mais adequados na reciclagem são os britadores do tipo impactos, mandíbulas e os moinhos do tipo martelo. Nos britadores de impactos o resíduo é britado em uma câmara de impacto - como pode ser visto na Figura 33 pelo choque com martelos maciços fixados a um rotor e pelo choque com as placas fixas.

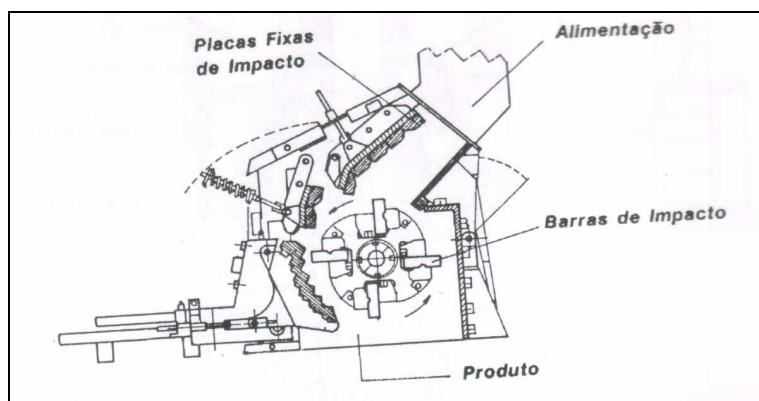


Figura 33. Britador de impacto, Fonte: LUZ (2002).

Lima (1999) explica que há variação no porte destes britadores, podendo ser usados na britagem primária ou secundária; é um dos equipamentos mais utilizados nas usinas de reciclagem pelas vantagens que apresenta:

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

Os britadores de mandíbulas, conforme as Figuras 33A até 33C, também muito utilizados na reciclagem, rompem as partículas por compressão (esmagamento). O ator diz que esses britadores são mais utilizados na britagem primária, pois não reduzem muito os diâmetros dos grãos. Em geral, o material é rebitado por um britador (moinhos de martelos, britador de mandíbulas de menor porte). Apresentam como desvantagem:

- Alta porcentagem de material graúdo, não sendo utilizado como único equipamento de britagem ou em reciclado onde o material necessite de rebitagem;
- Geração de grãos lamelares, com tendência à baixa qualidade;
- Dificuldade de britagem de peças armadas;
- Alta emissão de ruído;

Como vantagem tem baixa manutenção e é ideal para uso em mineradoras na britagem de rochas.

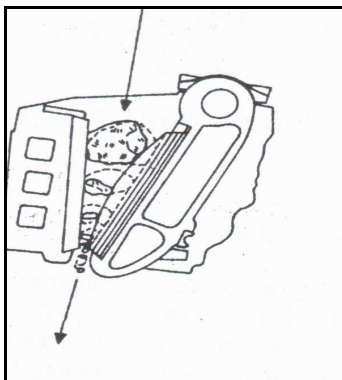


Figura 33A. Britador de mandíbulas, Fonte: LUZ (2002).



Figura 33B. Abertura da câmara (boca) do britador de mandíbulas, da usina de Vinhedo.



Figura 33C. Câmara de impacto da usina de reciclagem de Vinhedo.

Os britadores de moinho, ainda segundo o autor, são usados como britador secundário. Apresenta boca de entrada de materiais pequena e produz alta porcentagem de materiais miúdos. É utilizado, geralmente, em conjunto com britadores de mandíbulas.

O sistema de ruptura é semelhante ao do britador de impacto e, em geral, apresenta grelha de saída reduzida para impedir que os grãos graúdos saiam da câmara de impacto; esta grelha poderá ser removida para produção de material mais graúdo como o rachão, por exemplo.

Uma usina de reciclagem pode produzir diferentes tipos de materiais. Os materiais mostrados na Figura 34 são os produzidos pela usina de Piracicaba-SP: o agregado miúdo (a), diâmetro abaixo da peneira de número 4 (4,8 mm) e abica corrida (b), diâmetro abaixo da peneira # 3/8" (19 mm); estes agregados são objetos deste estudo de caso.



Figura 34. Diferentes tipos de agregados produzidos em uma usina de reciclagem.

5.10 Caracterização física do agregado reciclado

Neste item da pesquisa buscou-se verificar nas bibliografias publicadas, as propriedades dos agregados reciclados para uso na pavimentação.

O estudo das características físicas dos agregados reciclados é fator de grande importância para o uso na pavimentação e suas propriedades físicas e mecânicas estão relacionadas com a resistência que estes têm com as cargas que lhes serão impostas pelo tráfego.

CARNEIRO et al., (2001) estudaram o uso dos agregados reciclados a partir dos resíduos da construção civil da cidade de Salvador (Bahia), misturados a solos lateríticos e saprolíticos e aplicados na pavimentação, conforme ilustra a Figura 35. O estudo teve como base o uso de agregados miúdo e graúdo e os resultados das propriedades encontradas para o RCD estão na Tabela 16.

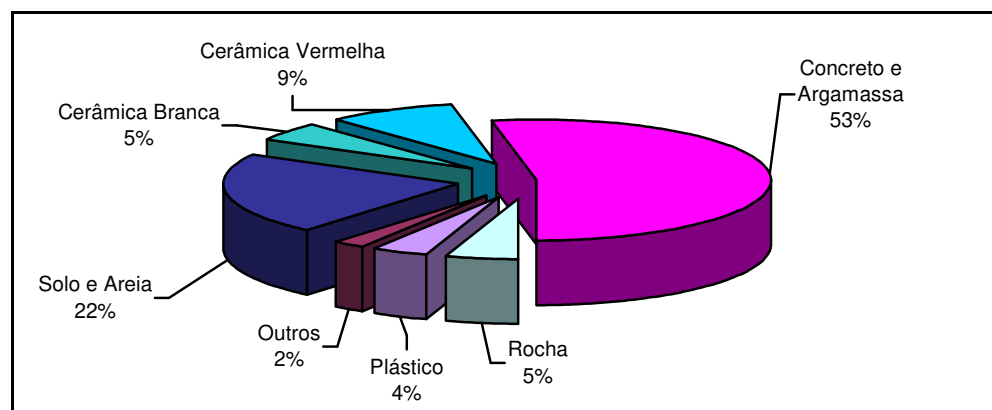


Figura 35. Características dos resíduos de construção da cidade de Salvador, Projeto entulho bom CARNEIRO et al., (2001).

Tabela 16: Características do RCD de Salvador.

Propriedades		Método Utilizado	Unidade	Agr. Miúdo	Agr. Graúdo
Análise Granulométrica	Pedregulho	NBR 7181	%	0	50
	Areia		%	82	44
	Silte		%	2	3
	Argila		%	16	3
Coeficiente de permeabilidade		Hazen	—	—	$2,22 \times 10^{-2}$
Classificação AASHTO ¹ / HRB ² (Índice de grupo)		AASHTO / HRB	--	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
Limite de liquidez		NBR 6459	%	NL	--
Limite de plasticidade		NBR 7180	%	NP	--
Índice de plasticidade		NBR 7180	%	--	--
Equivalente de areia		NBR 12052	%	68	--
Massa unitária		NBR 7251	g/cm ³	1,30	1,07
Massa específica dos sólidos		NBR 6508	g/cm ³	2,59	2,19
Abrasão "Los Angeles"		NBR 6465	%	--	45

1- AASHTO – American Association of State Transportation Highway Officials.

2- HRB -Highway Research Board.

Fonte: CARNEIRO et al., 2001, p. 205, (projeto entulho Bom).

Os autores concluem que o agregado reciclado de Salvador, tanto na fração miúda quanto na graúda, apresentou-se como material adequado para execução de bases e sub-bases de pavimentos. Além disso, o agregado graúdo apresentou abrasão "Los Angeles" inferior ao limite especificado na NBR 11804, e o agregado reciclado miúdo apresentou limites de consistência e equivalente de areia de acordo com as especificações dessa norma.

OLIVEIRA et al., (2005) estudaram a variação dos parâmetros de compactação e CBR de agregados reciclados a partir do RCD de Goiânia, como material para utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis. Os resultados mostraram grande variação nos valores dos parâmetros obtidos e forneceram indicadores das misturas mais adequadas.

Os autores estudaram três amostras com resíduos de construção do município, sendo que em uma delas a composição era essencialmente de resíduos de concreto, outra de resíduos cerâmicos provenientes da demolição de alvenaria e de telhas cerâmicas, e outra de resíduos de argamassa, conforme mostra a Figura 36. Também foi selecionado um solo argiloso local da pista experimental da CEASA (Centrais de Abastecimento S.A.) e de outros locais para compor as misturas com os agregados reciclados.



Figura 36. RCD (resíduos de construção e demolição) de concreto e cerâmica antes e após a britagem Fonte: OLIVEIRA et al., 2005, p. 92.

Os resíduos foram britados segundo os autores e separados em quatro frações: uma retida na peneira 19,1 mm (3/4"); uma passante na peneira 19,1 mm e retida na peneira 9,5 mm (3/8'), denominada de AR 9,5 (Agregado Reciclado); uma passante na peneira 9,5 mm e retida na peneira 4,8 mm (N.º 4), denominada de AR 4,8; e a última passante na peneira 4,8 mm, denominada de AR Areia.

De acordo com OLIVEIRA et al., (2005), para a composição das dosagens procurou-se enquadrar as amostras o mais próximo possível da média granulométrica da faixa C, da especificação ES 303/97 do DNER, hoje DNIT. Os teores de solo argiloso adicionados foram de 10, 20 30 e 40 %. As dosagens com 30 e 40 % de solo argiloso não ficaram completamente enquadradas na faixa C, em função do elevado percentual de finos.

Nos ensaios de compactação e CBR foram utilizados a EC intermediária sem reuso das amostras; o solo argiloso teve como caracterização com granulometria com peneiramento e sedimentação com defloculante e sem. Suas características são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Caracterização do solo argiloso.

ρ_s (g/cm ³)	Limites			Granulometria									
	W_L	W_P	IP	Peneiramento					Sedimentação				
				4	10	40	100	200	0,037	0,019	0,009	0,005	0,002
2.790	(%)	(%)	(%)										
AM1	48	27	21	100,0	99,1	92,9	77,2	62,6	49,5	46,7	45,5	41,5	37,0
AM2	--	--	--	100,0	99,1	92,5	75,4	60,6	37,0	28,0	5,0	2,0	0,00

Fonte: OLIVEIRA et al., 2005, p. 95.

AM1: Com defloculante (não informadas as características);

AM2: Sem defloculante;

ρ_s : Massa específica dos sólidos;

W_L : Limite de liquidez;

W_P : Limite de plasticidade.

Pode-se perceber que sem o defloculante não é possível obter um resultado representativo das características do material, o solo foi classificado como A-7-6 (IG = 11): Solos Argilosos, na Classificação TRB (Transportation Research Board).

As características dos agregados reciclados após a britagem, segundo OLIVEIRA et al., (2005) são apresentadas na Tabela 18 e na Figura 37.

Tabela 18. Caracterização dos agregados reciclados a partir do RCD.

PENEIRAMENTO	Peneira	Abertura mm	Porcentagem que passa						
			AR CONC 19,1	AR CER 19,1	AR CONC 9,5	AR CER 9,5	AR CONC 4,8	AR CER 4,8	AR ARG 4,8
PENEIRAMENTO	¾"	19,1	99,8	100,0	--	--	--	--	--
	½"	12,7	69,0	80,2	--	--	--	--	--
	3/8"	9,5	29,2	42,7	100,0	99,9	--	--	--
	¼"	6,3	4,0	9,5	66,1	71,3	--	--	--
	N.º 4	4,8	3,3	8,4	33,3	40,8	100,0	100,0	100,0
	N.º 10	2,0	2,3	6,7	3,4	14,7	77,6	89,2	97,2
	N.º 40	0,42	--	--	--	--	41,8	65,2	63,9
	N.º 100	0,15	--	--	--	--	26,4	36,4	20,7
	N.º 200	0,075	--	--	--	--	18,4	22,8	10,0
SEDIMENTAÇÃO		0,037	--	--	--	--	12,0	14,7	8,2
		0,019	--	--	--	--	8,9	11,2	6,8
		0,009	--	--	--	--	5,9	8,7	6,4
		0,005	--	--	--	--	4,2	4,1	4,5
		0,002	--	--	--	--	2,7	3,3	3,7
γ_s (kN/m³)			26,1	25,2	26,0	25,6	26,0	26,1	26,1
ABSORÇÃO (%)			5,2	16,0	6,3	16,5	--	--	--

Fonte: OLIVEIRA et al., 2005, p. 93.

γ_s : Peso específico dos sólidos;

AR CONC: Agregado reciclado de concreto;

AR CER: Agregado reciclado cerâmico.

Pode-se observar que estes agregados absorvem elevada porcentagem de água, principalmente os de origem cerâmicas como se era de esperar deles, é possível que estes materiais sofreu algum processo de queima, por isso absorvem muita água.

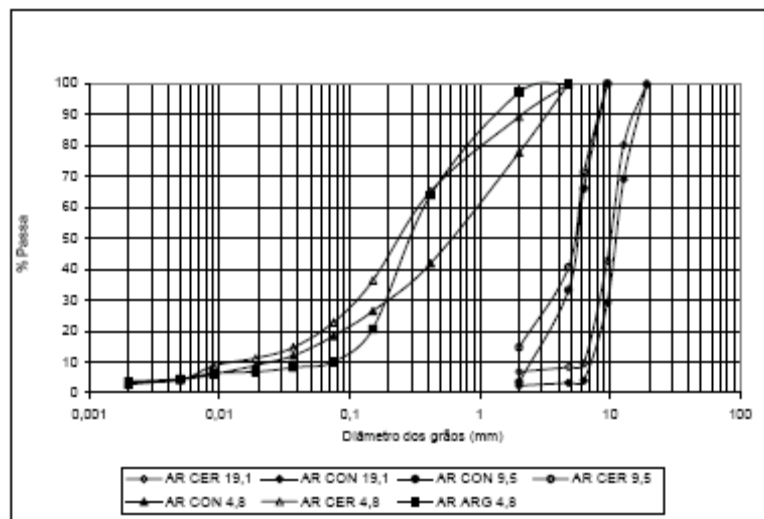


Figura 37. Curvas granulométricas das amostras dos agregados reciclados,

Fonte: Oliveira et al., 2005, p. 94.

O resultado obtido pelos autores pode ser resumido conforme ilustra a Figura 38, como as linhas de A-7-(6) adicionado nas misturas utilizadas.

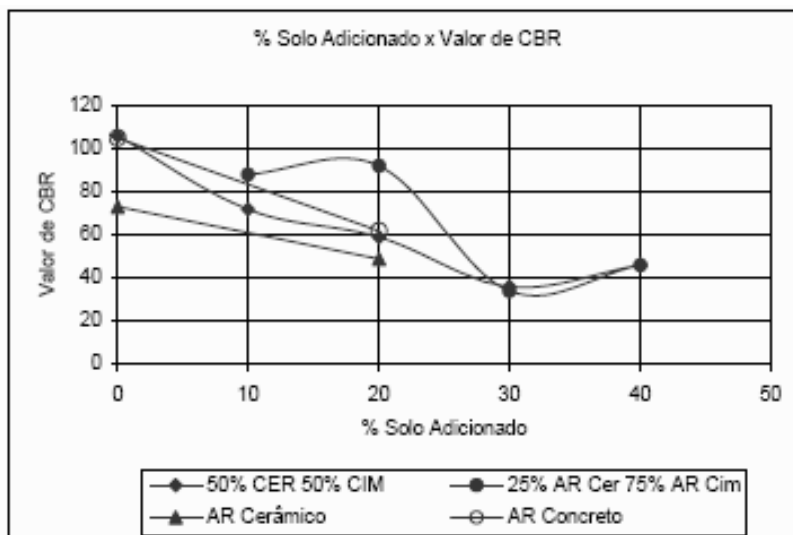


Figura 38. Tendência de variação dos valores de CBR, Fonte OLIVEIRA et al., (2005).

A conclusão dos autores da pesquisa é que os parâmetros de compactação, expansão e CBR dos agregados reciclados compactados na EC intermediário apresentam valores bastante satisfatórios para o emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis.

O estudo laboratorial realizado por MOTTA (2005) baseou-se na natureza dos agregados reciclados quanto aos aspectos físicos; natureza dos materiais constituintes, distribuição granulométrica, absorção, determinação da atividade pozolânica, resistência ao desgaste, forma do agregado, teor de materiais indesejáveis, determinação da energia de compactação, ensaio de compactação, variação do peso específico aparente seco com a energia de compactação, Índice Suporte Califórnia (ISC), resistência a tração por compressão diametral, resistência à compressão simples, módulo de resiliência, comparativo do agregado reciclado com a brita graduada.

O estudo envolveu também a análise do agregado reciclado *in natura*, além de sua mistura com quatro por cento de cal e com quatro por cento de cimento Portland, como forma de promover um aumento da resistência do material.

Neste trabalho não serão apresentados todos os resultados obtidos por MOTTA (2005), apenas aqueles que estão diretamente relacionados aos objetivos deste estudo

de caso. O estudo realizado pela autora é bastante abrangente e possibilita ter uma dimensão do potencial uso destes agregados como material alternativo para a pavimentação.

Os materiais estudados por MOTTA (2005), foram obtidos da usina de reciclagem da PMSP (Prefeitura Municipal de São Paulo), e sua composição estudada em uma amostra de 13 kg, separada de uma de 50 kg, foi verificada por meio de catação e por meio de análise macroscópica. Os materiais foram separados em grupos até a peneira de malha número quatro (4,76 mm); abaixo desta, foram considerados como material fino, sua composição é a que apresenta a Figura 39.

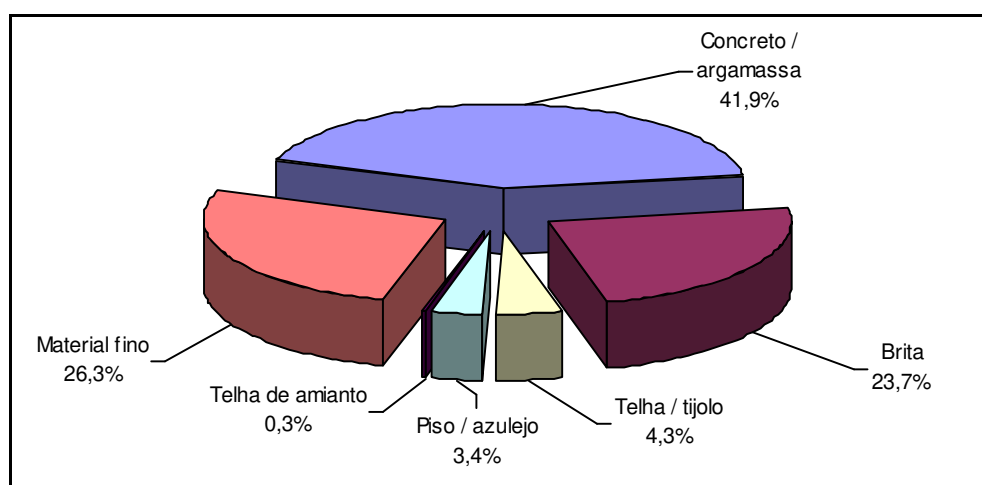


Figura 39. Composição do RCD da PMSP estudada por MOTTA (2005).

Os resultados obtidos pela autora são os seguintes: o material retido na peneira número quatro (4,8 mm) era constituído, em sua maior parte, por agregados de concreto e argamassa; entre as peneiras 63,5 mm a 25,4 mm, ou 80 % da massa total, a brita foi predominante na porção entre 9,52 mm e 4,76 mm; a telha e o tijolo tiveram distribuição semelhante em todas as frações, exceto nas frações entre 63,5 mm e 25,4 mm, nas quais a ocorrência foi menos significativa; o piso e o azulejo estão menos presentes entre 12,5 mm e 4,76 mm; e a porção de telha de amianto só se apresentou de maneira relativamente expressiva entre 19,1 mm e 63,5 mm.

Na análise granulométrica executada de acordo com a NBR 7181:1984, o Coeficiente de Uniformidade (Cu) - que é a relação entre os diâmetros que correspondem a 60 % e 10 % passantes na curva granulométrica - deve ser maior ou igual a 10. O resultado

obtido foi de 40, mostrando que o material estudado apresentou-se bem graduado e não uniforme.

O teste de absorção que demonstra a porosidade do material e, conseqüentemente, sua resistência foi realizado conforme especificação do DNER – ME 081/98, e o teor obtido foi de 7,8 %.

Segundo a autora a atividade Pozolânica, o objetivo do ensaio foi o de verificar o ganho de resistência com a atividade Pozolânica do material; no ensaio realizado pelo Método de Chapelle Modificado para a dimensão máxima de 0,15 mm de material misto foram encontrados 134 mg e para a dimensão de 0,074 mm foram de 130 mg.

O teste de resistência ao desgaste foi realizado de acordo com a norma DNER-ME 035:1998. Utilizou-se a granulação B da especificação e o valor encontrado somado de um por cento, conforme recomenda a norma, foi de cinquenta por cento. Conforme recomendação da NBR 11804:1991, o material para base e sub-base estabilizadas granulometricamente não deve ultrapassar a cinquenta e cinco por cento de abrasão “Los Angeles” como é denominado este ensaio; a NBR 15115:2004 não faz alusão quanto a valores de resistência ao desgaste.

No que se referem à forma do agregado, os testes foram determinados e realizados conforme NBR 6954:1989, segundo o DNER (1996).

Segundo MOTTA (2005) a forma de um agregado se caracteriza por sua feição exterior relacionada às suas dimensões, podendo ser alongadas, esféricas, cúbicas ou lamelares, e também a seus tipos de arestas e cantos (anguloso ou arredondado). Em pavimentação deve-se evitar o uso de materiais na forma lamelar. O resultado obtido indicou para a forma cúbica, o que significa dizer que é bom para a pavimentação, concluiu a autora.

Quanto ao teor de materiais indesejáveis, a retirada deles, segundo a autora da pesquisa, pode tornar-se difícil, podendo ocorrer frações pequenas de materiais. O valor obtido foi de 0,4 % e a NBR 15115:2004 recomenda valores entre dois a três por cento em massa, respectivamente.

Na determinação da energia de compactação, MOTTA (2005) escolheu não usar a energia modificada, que poderia quebrar os grãos dos materiais no momento da compactação. A opção foi pela energia do Proctor Normal e Intermediário. Foram realizados ensaios de

compactação conforme recomendação das normas NBR 7181:1984, análise granulométrica após compactação e o ISC (Índice Suporte Califórnia) conforme DNER-ME 049:1994, a partir de corpos-de-prova compactados nas duas energias. Os resultados foram de 32 % para a EC normal e 84 % para a EC intermediária, não apresentando expansão da ordem de 0,01 %.

A autora explica que o ISC (Índice Suporte Califórnia) é um experimento dos mais difundidos no meio rodoviário brasileiro e consta da NBR 15115:2004 como item necessário a ser verificado durante uso do agregado reciclado de resíduo de construção na pavimentação. A referida norma recomenda para reforço do subleito $ISC \geq 12$, sub-base de ≥ 20 para Proctor normal ou superior e expansão de ≤ 1 % e base valor de $ISC \geq 60$ e expansão $\leq 0,5$ %.

MOTTA (2005) mediu o crescimento do valor do ISC até 180 dias e os valores estão dispostos na Tabela 19. O resultado também demonstra que houve significativa alteração na curva granulométrica após a compactação; embora não houvesse muita diferença entre as curvas após as duas compactações, indica que após a compactação feita a partir do Proctor normal o material já sofre uma quebra significativa.

Tabela 19. Resultados dos ensaios de Índice Suporte Califórnia

Tempo de cura (dias)	Índice Suporte Califórnia (%)
0	76
0	74
28	87
28	101
90	126
90	107
180	121
180	128

Fonte: MOTTA, 2005, p. 81.

O ensaio de RCS (Resistência a Compressão Simples) foi realizado conforme especificação DNER-ME 201:1994 para solo cimento, que é muito utilizado no meio

rodoviário para analisar misturas de solo-cimento de BGTC (brita graduada tratada com cimento). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Resultado dos ensaios de Resistência Compressão Simples (MOTTA 2005).

Tipo de Corpo-de-prova	Tempo de cura (dias)	Resistência à Compressão Simples (MPa)
in natura	0	0,13
	0	0,25
	28	0,46
	28	0,66
	28	0,46
	90	0,31
	90	0,35
	90	0,34
	180	0,41
	180	0,43
	180	0,48
com 4 % cal	7	1,62
	7	1,13
	28	1,41
	28	1,71
	28	2,10
	90	2,78
	90	2,09
	90	3,19
	180	3,88
	180	2,56
com 4 % cimento	7	2,84
	7	2,73
	28	3,64
	28	4,56
	28	4,39
	90	5,73
	90	4,60
	180	5,44
	180	3,80
	180	4,31

Fonte: MOTTA, 2005, p. 88.

A autora conclui que “o agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil é de uso promissor como insumo da construção de bases, sub-bases e reforços do subleito de vias de baixo tráfego, em substituição aos materiais convencionais”.

5.11 Viabilidade Econômica

JUNIOR et al., (2003) levantaram o custo a partir da usina de reciclagem de Estoril, em Belo Horizonte (MG), a qual tem capacidade de britagem de trezentas toneladas por hora e

de produzir agregados reciclados a partir do RCD. Segundo a SLU (Secretaria de Limpeza Urbana) da Prefeitura local, o empreendimento mostrou-se viável para um período de retorno de 4,65 anos.

Os autores também estudaram a viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem em Governador Valadares. Os custos, que foram levantados tomando como referência os da usina de Estoril, são os seguintes:

- a) os custos com a implantação da usina, valores de outubro de 2003, foram de R\$ 530 mil;
- b) os gastos com mão-de-obra para a operação da usina durante 12 meses, considerando encargos sociais de 45,5 %, foram de R\$ 94.284,00;
- c) os gastos com combustível para pá carregadeira, de R\$ 25.920,00 por ano;
- d) o valor estimado para manutenção da usina foi de R\$ 15 mil, com referência aos valores fornecidos pela usina de Estoril, em Belo Horizonte;

O valor obtido pelos autores, somado a gastos com água, energia elétrica e uma taxa juros de nove por cento ao ano, para um período de retorno de vinte anos, foi de R\$ 3,41 por metro cúbico para a bica corrida, bem inferior ao da usina de Belo Horizonte, de acordo com os autores. A Tabela 21 traz dados comparativos realizados pelos autores referentes à usina “A”, de Belo Horizonte, e usina “B”, de Governador Valadares; não foi mencionada pelos autores a capacidade da usina e fabricante.

Tabela 21. Razão benefício/custo e período de retorno para o empreendimento.

Opção de valor Final do reciclado	Valor final para o reciclado de RCD (R\$/m³)	Razão benefício/custo	Período de retorno (anos)
A	7,00	3,24	4,65
B	3,41	1,00	20,00

Fonte: JUNIOR et al., 2003, p. 7.

No estudo de NUNES (2004) sobre desempenho e viabilidade de usina de reciclagem de resíduos sólidos de construção e demolição, é demonstrado que a viabilidade das usinas de 20 toneladas por hora para empreendedores privados não é interessante devido a pouca

produtividade e o baixo valor dos agregados reciclados. O estudo também obteve a informação que as usinas com capacidade de 50 toneladas por hora, têm custos muito próximos às usinas de 100 t/hora.

Para NUNES (2004), o processo de reciclagem dos resíduos de construção exige altos investimentos em equipamentos, que são os mesmos disponibilizados para mineração. Dessa forma, optou por estudar também equipamentos novos e usados, assim como na mineração, conforme já citado anteriormente.

Os custos levantados constam na Tabela 22, para usinas com capacidade de 20 t/hora, novas e usadas, e Tabela 22, para usinas com capacidade de produção de 100 t/hora de reciclagem dos RCD. Não estão inclusos os valores para a área de implantação do empreendimento, pois o valor muda conforme a localização das áreas disponibilizadas nos municípios.

Tabela 22. Investimento capital fixo para produção 20 t/hora, valor base novembro de 2003.

Usina de reciclagem capacidade 20 t/hora usada					Usina 20 t/hora nova		
Descrição	Quant.	Pr. Und R\$	Pr. Total	Vida útil	Pr. Und R\$	Pr. Total	Vida útil
OBRAS CIVIS							
Escritório	1	40.000	40.000	20	40.000	40.000	20
EQUIPAMENTOS							
Pá mecânica	1	150.000	150.000	10	280.000	280.000	20
Caminhão basculante	1	100.000	100.000	10	140.000	140.000	20
Transportadoras	5	10.000	50.000	10	27.000	135.000	20
Alimentador vibratório	1	20.000	20.000	10	40.000	40.000	20
Britador cônico	1	60.000	60.000	10	200.000	200.000	20
Peneira vibratória	1	40.000	40.000	10	100.000	100.000	20
Sistema aspersor	1	30.000	30.000	20	30.000	30.000	20
INSTALAÇÕES ESPECIAIS							
Oficina / Ferramental	1	40.000	40.000	20	40.000	40.000	20
TOTAL GERAL R\$ 530.000					TOTAL GERAL R\$ 1.006.000		

Fonte: NUNES, 2004, p. 120.

Segundo NUNES (2004), os valores dos equipamentos usados foram pesquisados no mercado; a vida útil dos equipamentos é de dez anos para os usados e 20 anos para os novos.

Alguns empreendedores afirmam que, na prática, estes equipamentos têm vida útil bem maior. Na Tabela 23 demonstração de custos para uma usina de 20 t/h.

Tabela 23. Investimento capital fixo para produção 100 t/hora, valor base novembro de 2003.

Usina de reciclagem capacidade 100 t/hora usada					Usina de reciclagem 100 t/hora nova		
Descrição	Quant.	Pr. Und R\$	Pr. Total	Vida útil	Pr. Und R\$	Pr. Total	Vida útil
OBRAS CIVIS							
Escritório	1	40.000	40.000	20	40.000	40.000	20
EQUIPAMENTOS							
Pá mecânica	2	150.000	300.000	10	280.000	560.000	20
Caminhão basculante	2	100.000	200.000	10	140.000	280.000	20
Balança	1	70.000	70.000	10	120.000	120.000	20
Transportadoras	15	15.000	150.000	10	27.000	405.000	20
Alimentador vibratório	1	40.000	40.000	10	100.000	100.000	20
Britador cônico	1	150.000	150.000	10	486.000	486.000	20
Peneira vibratória	1	90.000	90.000	10	225.000	225.000	20
Sistema aspersor	1	78.300	78.300	20	78.300	78.300	20
INSTALAÇÕES ESPECIAIS							
Oficina / Ferramental	1	80.000	80.000	20	80.000	80.000	20
TOTAL GERAL R\$ 1.228.300					TOTAL GERAL R\$ 2.449.300		

Fonte: NUNES, 2004, p. 120.

Os custos com a operação das usinas, que foram levantados pela autora e relacionados na Tabela 24, são os custos variáveis (peças de reposição, despesas diversas, elementos de desgastes e diesel), os custos fixos (energia, manutenção, depreciação, seguros, telefones, suporte ao produto, pró-labore, mão-de-obra externa, juros e despesas financeiras), e custos com mão de obra (catadores, operador de britagem, operadores, motoristas, controlador de pátio, mecânico, auxiliar de escritório, vendas e vigias).

Tabela 24. Custos operacionais com usinas de reciclagem, valor base novembro de 2003.

USINA CAP. 20 t/h		USINA CAP. 100 t/h	
Usina nova	Usina usada	Usina nova	Usina usada
Custo fixo e mão-de-obra R\$		Custo fixo e mão-de-obra R\$	
38.367 mensal	34.400 mensal	115.244 mensal	105.069 mensal
460.400 anual	412.800 anual	1.392.930 anual	1.260.830 anual
Custos variáveis		Custos variáveis	
9.000 mensal		35.000 mensal	
108.000 anual		420.000 anual	

Fonte: NUNES, 2004, p. 124.

NUNES (2004) relata em seu estudo que há poucas unidades operando com a iniciativa privada. Muitos municípios não registram todos os gastos com a operação em suas usinas, a Tabela 25 indica os custos com a produção dos agregados reciclados.

Tabela 25. Custos de produção por toneladas, valor base novembro de 2003.

Municípios	Custo de produção (U\$\$ / t)	Fonte
São Paulo	4,10	NORTEC (2003)
Ribeirão Pires	6,15	SOSM (2003)
Belo Horizonte - Estoril	2,98	SLU (2003)
Belo Horizonte - Pampulha	2,98	SLU (2003)

Fonte: NUNES, 2004, p. 140.

5.12 Uso do RCD em camadas de base e sub-base de pavimentos.

A utilização do RCD na pavimentação é ainda incipiente, devido à falta de conhecimento do meio técnico quanto às qualidades e potencial econômico do uso do produto. Os trabalhos publicados são poucos, por isso é importante destacar bons trabalhos já publicados.

BODI (1997) aborda a utilização dos resíduos de construção na pavimentação de vias urbanas e no revestimento primário para estabilização de ruas de terra (cascalhamento). A utilização destes resíduos reciclados na pavimentação se dá na forma de bica corrida ou misturados com solo.

O autor teve como parâmetros de referência as Normas do antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), atual DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte), e a Norma P01 da Prefeitura Municipal de São Paulo (1992), requisito para dimensionamento, controle e dosagem de misturas com solo. As características obtidas são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Característica do RCD.

PROPRIEDADES	RESULTADOS
Características do RCD	
Índice Suporte Califórnia (CBR) EC Intermediária (Esp. P01 PMSP).	63 a 111 %
Expansão	0 a 0,09 %
Umidade ótima	14,4 a 18,3 %
Massa específica dos sólidos	16,9 a 19,2 kN/m ³
Condições de misturas com solos – umidade ótima hot (%)	
Mistura com solo saprolítico (siltoso)	14 (± 2%)
Mistura com solo laterítico (argiloso)	18 (± 2%)

Fonte: BODI, 1997.

Na mistura feita com solos lateríticos e saprolíticos, respectivamente, com dosagens variando de 0 a 100 % de RCD reciclado com acréscimo de 10 em 10 % na mistura, obtém-se as variações da capacidade de suporte (CBR), da massa específica aparente máxima seca, da umidade ótima e da expansão das amostras, conforme mostra a Tabela 27.

Tabela 27. Características encontradas com mistura a solos.

Mistura de Resíduo e Solo Laterítico (argiloso)					Mistura de Resíduo e Solo Saprolítico (siltoso)			
Teor de Resíduo na Mistura (%)	CBR %	Expansão %	Massa esp. seca máx. g/cm ³	Umidade ótima %	CBR %	Expansão	Massa esp. seca máx. g/cm ³	Umidade ótima
0	10	0,49	1,710	23,0	10	1,80	1,950	13,47
10	18	0,45	1,710	23,0	18	1,50	1,910	13,5
20	20	0,40	1,710	22,0	21	0,80	1,860	13,4
30	38	0,32	1,725	21,0	22	0,40	1,850	13,4
40	42	0,20	1,725	20,0	38	0,20	1,840	13,52
50	60	0,20	1,740	19,0	40	0,10	1,820	13,52
60	70	0,18	1,740	16,0	50	0,00	1,805	13,52
70	80	0,10	1,748	15,0	60	0,00	1,805	13,52
80	85	0,09	1,851	14,5	78	0,00	1,790	13,70
90	95	0,02	1,848	15,0	90	0,00	1,790	14,30
100	100	0,00	1,778	15,0	100	0,00	1,790	14,70

Fonte: BODI, 1997.

Com a adição de apenas 20 % de resíduo reciclado ao solo saprolítico (siltoso) ocorreu um aumento de 100 % do CBR, sendo que nas misturas de solos com brita natural o aumento só é perceptível com dosagens a partir de 40 % de brita, mostrando que, sob esta análise, o uso do resíduo é vantajoso, e acordo com o autor.

Segundo BODI (1997) a fase executiva das camadas de reforço de subleito, sub-base ou base do pavimento para aplicação do resíduo reciclado ou sua mistura com solo são: abertura e preparo de caixa; corte e/ou escarificação e destorroamento do solo local (no caso de misturas); umedecimento ou secagem da camada; homogeneização e compactação.

Ainda segundo o autor, a fase de revestimento primário conta com serviços de regularização mecânica da rua de terra; corte e/ou destorroamento do solo local; umedecimento ou secagem; homogeneização e compactação.

Na execução desses serviços, os equipamentos utilizados são caminhões basculantes; pá-carregadeira; motoniveladora; caminhão com irrigadeira; trator com grade ou pulvimisturadora; rolo compactador; pequenas ferramentas manuais e os controles no campo e no laboratório.

Segundo CARNEIRO et al., (2001), a partir da implantação da usina de reciclagem, com capacidade de produzir duzentas toneladas por dia de agregado reciclado, foi necessário viabilizar o uso desse material. Foram desenvolvidos estudos de laboratório sobre o uso do agregado reciclado em pavimentos da cidade de Salvador.

Para os autores, a avaliação do uso dos agregados em camadas de base e sub-base de pavimentos, consistiu na determinação das características físicas dos solos e do agregado reciclado de Salvador; avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos materiais produzidos; identificação das proporções mais adequadas dos materiais; e análise das diferentes situações em que é viável a utilização do agregado reciclado em pavimentação, de modo que suas propriedades sejam maximizadas para esse uso.

No estudo de CARNEIRO et al., (2001) foram utilizados dois solos distintos e típicos da região de Salvador: um solo de comportamento laterítico e um solo de comportamento saprolítico, do horizonte pedológico C, de rocha metamórfica. Foi utilizado, também, RCD reciclado (britado e classificado) nas frações agregado reciclado miúdo (material passante na peneira 4,8 mm) e agregado reciclado graúdo (material passante na peneira 19 mm).

O agregado miúdo apresentou limites de consistência e equivalente de areia realizado de acordo com as especificações da NBR 11804. Com ausência de plasticidade, o agregado reciclado apresenta comportamento adequado para a estabilização de solos plásticos. Suas características granulométricas e seu coeficiente de permeabilidade também indicaram a possibilidade de utilização desse material na execução de camadas drenantes de pavimentos, indicado também para locais onde o lençol freático é elevado.

O agregado reciclado graúdo apresentou 45 % de desgaste no ensaio de abrasão “Los Angeles” e atenderam às especificações da NBR 11804 para sub-base e base de pavimentos (< 55 %), coerente com MOTTA (2005), que encontrou 50 %. As características dos materiais estudados por CARNEIRO et al., (2001), são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Características dos materiais.

Propriedades		Método Utilizado	Unidade	Solo Laterítico	Solo Saprolítico	Agregado Rec. Miúdo	Agregado Rec. Graúdo
Análise Granulométrica	Pedregulho	NBR 7181	%	0	0	0	50
	Areia		%	80	32	82	44
	Silte		%	1	30	2	3
	Argila		%	19	38	16	3
Coeficiente de permeabilidade		Hazen	--	--	--	--	$2,22 \times 10^{-2}$
Classificação AASHTO/HRB (Índice de grupo)		AASHTO/HRB	--	A-2-4	A-7-5(15)	A-2-4	A-2-4
Limite de liquidez		NBR 6459	%	20	62	NL	--
Limite de plasticidade		NBR 7180	%	5	42	NP	--
Equivalente de areia		NBR 12052	%	14	2	68	--
Massa unitária		NBR 7251	g/cm ³	1,27	1,05	1,30	1,07
Massa específica dos sólidos		NBR 6508	g/cm ³	2,59	2,65	2,6	2,19
Abrasão Los Angeles		NBR 6465	%	--	--	--	45
Absorção			%	--	--	8,43	11,13

Fonte: CARNEIRO et al., 2001. p.205.

Muitas normas Brasileiras utilizadas no meio rodoviário derivam da norma Americana AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). O sistema de classificação de solos e agregados utiliza-se de curvas granulométricas para avaliação e classificação do material de acordo com sua aplicação (vias secundárias, aterros, subleitos, bases e sub-bases de pavimentos flexíveis entre outros), segundo CARNEIRO et al., (2001).

O trabalho propõe a mistura dos solos citados acima com os resíduos de construção nas proporções apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29. Proporções e materiais avaliados CARNEIRO et al., (2005).

Identificação da amostra	Materiais	Proporção em massa de Ag. rec. na mistura (%)
Amostra 0	Solo Laterítico	0
Amostra 1	Solo Saprolítico	0
Amostra 2	Agregado Reciclado Miúdo	100
Amostra 3	Agregado Reciclado Graúdo	100
Amostra 4	Solo Laterítico / Ag. Rec. Miúdo	30
Amostra 5	Solo Laterítico / Ag. Rec. Miúdo	50
Amostra 6	Solo Laterítico / Ag. Rec. Miúdo	70
Amostra 7	Solo Saprolítico / Ag. Rec. Miúdo	30
Amostra 8	Solo Saprolítico / Ag. Rec. Miúdo	50
Amostra 9	Solo Saprolítico / Ag. Rec. Miúdo	70
Amostra 10	Solo Laterítico / Ag. Rec. Graúdo	70
Amostra 11	Solo Saprolítico / Ag. Rec. Graúdo	70
Amostra 12	Ag. Rec. Miúdo / Ag. Rec. Graúdo	70

Fonte: CARNEIRO et al., 2001. p. 207.

As curvas granulométricas obtidas dos materiais ilustram as Figuras 40A e 40B.

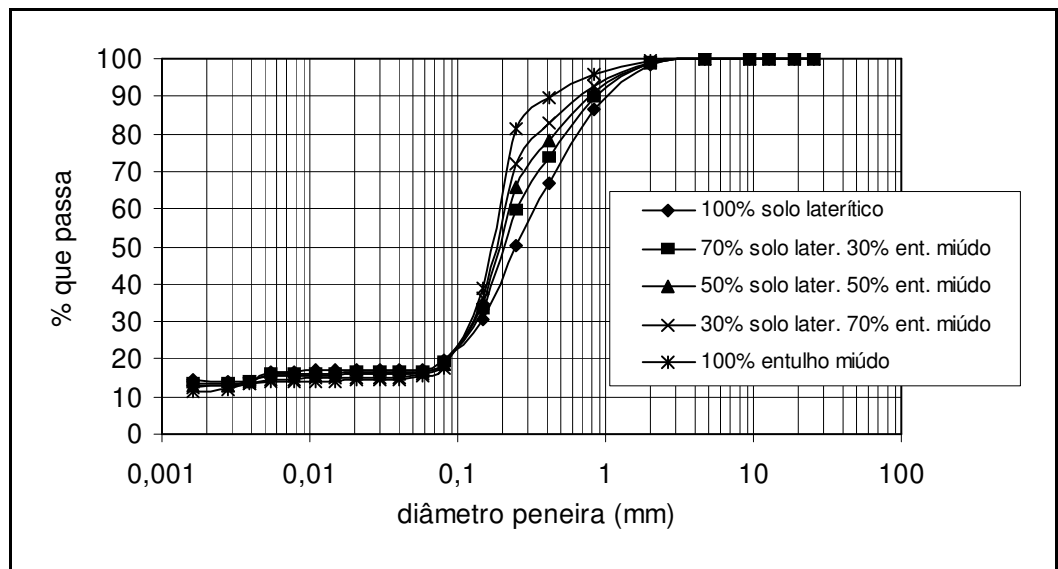
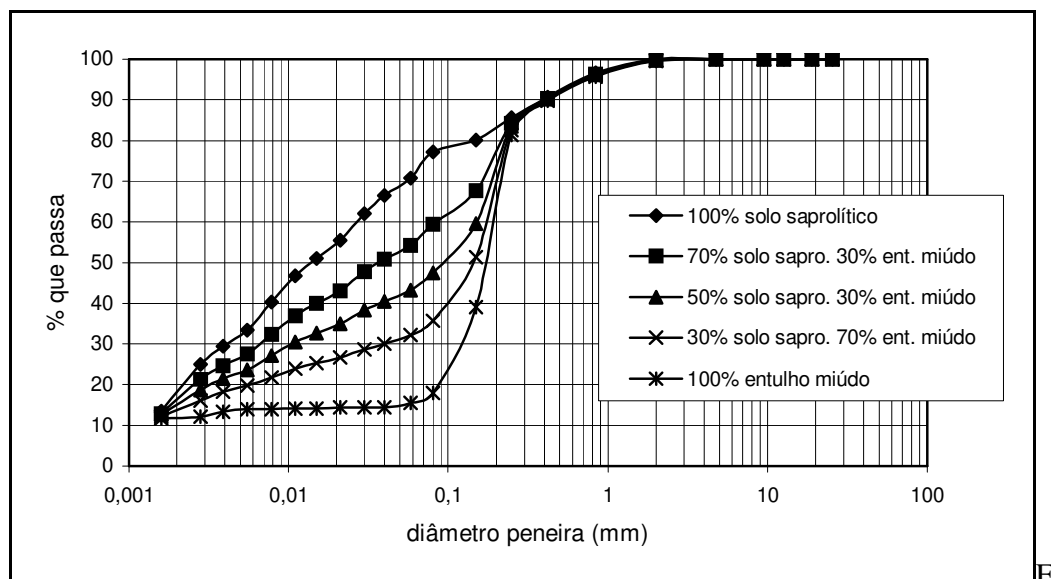


figura 40A. Curvas granulométricas do solo Laterítico, do agregado reciclado miúdo e suas misturas, CARNEIRO et al., (2001). p. 209.



gura 40B. Curvas granulométricas do solo Saprolítico, do agregado reciclado miúdo e suas misturas CARNEIRO et al., (2001). p. 209.

Os autores mostram no estudo que a curva granulométrica da mistura contendo agregado reciclado graúdo, conforme mostra a Figura 41, apresentaram-se dentro do intervalo das faixas granulométricas especificadas pela NBR 11804.

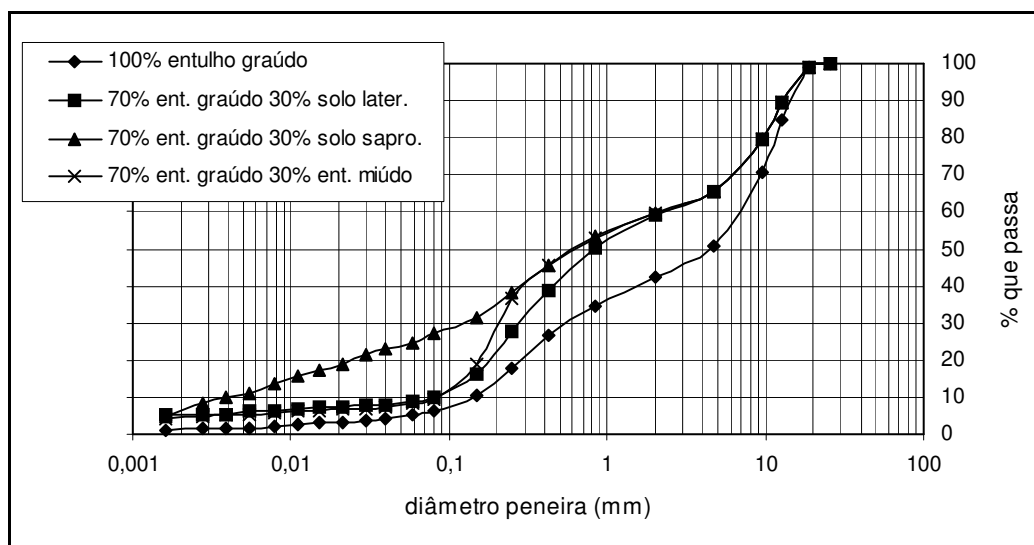


Figura 41. Curvas granulométricas do agregado reciclado graúdo e suas misturas com os solos e o agregado reciclado miúdo, CARNEIRO et al., (2001). p. 210.

A Figura 42 apresenta os resultados de CBR e expansão das misturas de solo laterítico e saprolítico com o entulho miúdo, segundo CARNEIRO et al., (2001).

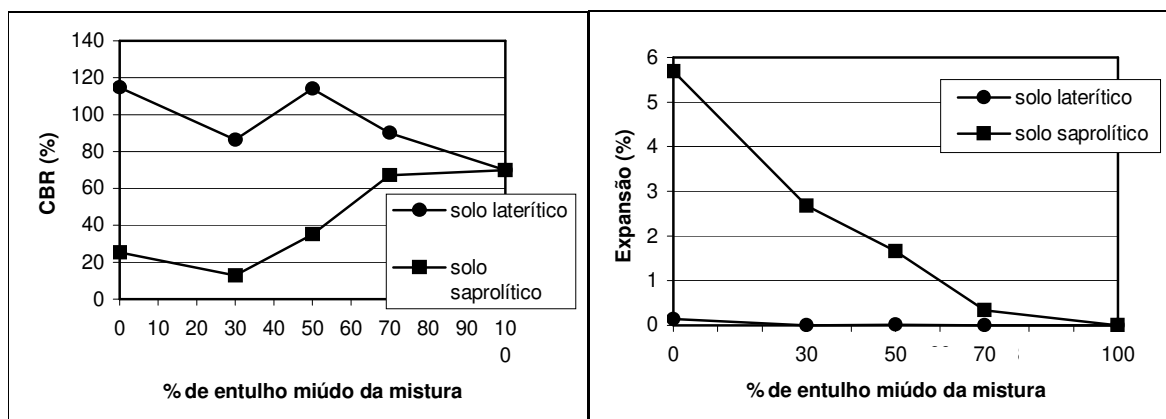


Figura 42. Resultados de CBR e expansão dos solos laterítico e saprolítico e das respectivas misturas com entulho miúdo, CARNEIRO et al., (2001) p. 213 e 214.

Em face dos resultados obtidos, concluem os autores que o agregado reciclado a partir do RCD da cidade de Salvador, tanto na fração miúda quanto na graúda, apresentou-se como material adequado para execução de bases e sub-bases de pavimentos. O uso do agregado reciclado nas camadas de base e sub-base pode proporcionar, ainda, uma economia significativa na redução dos custos na realização de pavimentos, quando comparado com os materiais convencionais.

LEITE et al., (2005) informaram que o trabalho de pavimentação do novo campus da Universidade de São Paulo (USP-Leste), localizado na Zona Leste da cidade de São Paulo, no parque ecológico do Tietê, empregou o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil como camadas de base e de sub-base do pavimento do sistema viário.

Em um primeiro momento, foram realizados cerca de 260 metros de pista com o “Pavimento Ecológico”. Este pavimento emprega como material de base e sub-base o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, conforme apresenta a Figura 43. Como camada de rolamento foi empregado um concreto betuminoso usinado a quente, utilizando asfalto-borracha, resultante da incorporação de borracha moída de pneus inservíveis na composição o asfalto.

A título comparativo foram construídos dois trechos consecutivos, sendo que em um deles foi substituído o material reciclado na base por brita graduada simples, como mostra a Figura 44. Neste trecho, todas as outras camadas foram mantidas com a mesma espessura e natureza de material, quais sejam: agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil na sub-base e revestimento asfáltico com asfalto-borracha. O projeto aplicado no pavimento é apresentado na Figura 45.

Est. 0+0,00 a 7+13,00	Est. 40+10,00 a 45+0,00
Revestimento 8	Revestimento 8
Brita Graduada Simples 15	Agregado Reciclado 15
Agregado Reciclado 15	Agregado Reciclado 15
Reforço do Subleito com Solo (CBR = 10%) 20	Reforço do Subleito com Solo (CBR = 10%) 20
Subleito (CBR = 3% a 8%)	Subleito (CBR = 3% a 8%)

Figura 43. Seções-tipo projetadas e construídas no campus da USP – Leste, medidas em cm, LEITE et al., (2005). p. 6.



Figura 44. Compactação de camada de RCD LEITE et al. (2005). p. 4.

Figura 45. Espalhamento de camada de brita graduada LEITE et al. (2005). p. 4.

Os resultados obtidos dos materiais ensaiados pelos autores estão dispostos na Tabela 30 e apresentam umidade ótima, peso específico seco, CBR em diferentes energias, coeficiente de uniformidade e curvatura. Pode-se observar a importância de aumento da energia de compactação nos agregados reciclados que apresentam ganho significativo de capacidade de suporte com o aumento do peso específico.

Tabela 30. Resultados dos ensaios encontrados por LEITE et al., (2005).

Material	Energia Normal			Energia Intermediária		Energia Modificada			
	h (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	CBR (%)	h (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	CBR (%)	h (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	CBR (%)
Santo André (1)	16,2	16,1	46	14,2	17,2	96	13,4	17,6	146
Usina Itaquera	12,2	17,4	96	9,0	19,1	145	8,4	19,5	152
Est. 41+ 0,00	--	--	--	15,3	17,6	59	--	--	--
Brita Graduada Simples	--	--	--	5,7	22,8	90	--	--	--
Santo André (2)	12,4	17,1	90	10,0	18,2	161	9,3	19,1	167
Material	Cu (coeficiente de uniformidade)			Cc (coeficiente de curvatura)		--		--	
Santo André 1	34			2,04		--		--	
Santo André 2	150			1,10		--		--	
Brita Graduada Simples	187			20,00		--		--	
Est. 41+ 0,00	183			0,54		--		--	
Est. 42 + 0,00	73			1,02		--		--	
Est. 44 + 0,00	67			0,81		--		-	

Fonte: LEITE et al., 2005. p. 10 e 11.

Os autores realizaram, também, controle deflectométrico com o uso da viga Benkelman e retroanálises utilizando o programa ELSYM5. Esta etapa teve como objetivo determinar o módulo de resiliência do agregado reciclado compactado, e comparar se o trecho com base de brita graduada simples apresentou significativas diferenças no comportamento quanto à deformação resiliente. Com os dados obtidos e pela retroanálise, foi possível verificar que o agregado reciclado utilizado como base apresentou valores próximos aos obtidos pela base de brita graduada.

A partir dos valores de deflexão encontrados e das seções projetadas, foram realizadas retroanálises utilizando-se o programa ELSYM 5. Esta etapa teve como objetivo determinar o módulo de resiliência do agregado reciclado compactado e comparar se o trecho com base de brita graduada simples apresentou significativas diferenças no comportamento quanto à deformação resiliente.

Para isto, foram utilizadas as duas estruturas ver Figura 45 anterior, com as respectivas espessuras. A Tabela 31 indica os valores de módulo de resiliência e coeficiente de Poisson empregados para as camadas.

Tabela 31: Módulo de resiliência e coeficiente de Poisson para cada camada por LEITE et al., (2005)

Camada	Módulo de Resiliência (MPa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento	2.000 (*)	0,30
Brita Graduada Simples	250	0,35
Agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil	Variável (**)	0,35
Reforço do Subleito + Subleito	30	0,45

Fonte: LEITE et al., 2005. p. 14.

(*) O valor de módulo de resiliência foi obtido em laboratório em amostras retiradas de pista;

(**) Foram empregados cinco diferentes valores: 100, 150, 250, 350 e 450 em MPa para a retroanálise.

Os valores médios das deflexões máximas e dos raios de curvatura são de 86×10^{-2} mm e de 101 m, respectivamente, no trecho com agregado reciclado como base e de 79×10^{-2} mm e de 94 m, respectivamente, no trecho com brita graduada simples como base.

Pela retroanálise, verificou-se que devido à baixa capacidade de suporte do subleito, a camada de reforço do subleito fica com a compactação prejudicada e também oferece uma baixa resistência. Por este motivo, a compactação da sub-base com agregado reciclado também não alcança o travamento necessário e apresenta um módulo de resiliência relativamente baixo, da ordem de 150 MPa pela retroanálise.

Com os dados obtidos pela retroanálise, é possível verificar que o agregado reciclado utilizado como base apresentou valores próximos aos obtidos pela base de brita graduada. Para ambos trechos os valores encontrados de módulo de resiliência são de aproximadamente 250 MPa. Acredita-se que a compactação poderia ter sido intensificada, o que acarretaria uma melhora nos valores de deformabilidade da estrutura.

Deve-se ressaltar que as obras foram realizadas em período de chuva, com grande dificuldade no movimento de terra e compactação. O levantamento deflectométrico foi feito também nesta época de ano, em situação de saturação intensa. Deve-se ainda observar que o

sistema de drenagem não se encontrava finalizado, o que prejudica mais ainda a resposta deflectométrica do pavimento.

De acordo com os resultados de laboratório e de campo, obtidos por LEITE et al., (2005), foi possível concluir que todas as amostras de agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil apresentaram grande variabilidade granulométrica, possivelmente relacionada à variabilidade de natureza dos componentes. Para os autores, este fato reforça a comprovação da heterogeneidade de agregados reciclados produzidos a partir de resíduos sólidos de construção civil.

Segundo LEIVE et al., (2005) foi construído um trecho experimental no final do ano de 2003, que está localizado na rua dos Ciprestes, bairro Mansões Bernardo Sayão, em Goiânia – GO, e corresponde à pista de acesso à CEASA (Centrais de Abastecimento S.A.).

Segundo os autores, o projeto da pista previu uma plataforma de nove metros em seção mista, cinco metros de comprimento e inclinada para a direita, onde utilizou-se o solo local na terraplenagem. Previu-se, ainda, uma sub-base e uma base de 15 cm cada, com revestimento de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), conforme Figura 46.

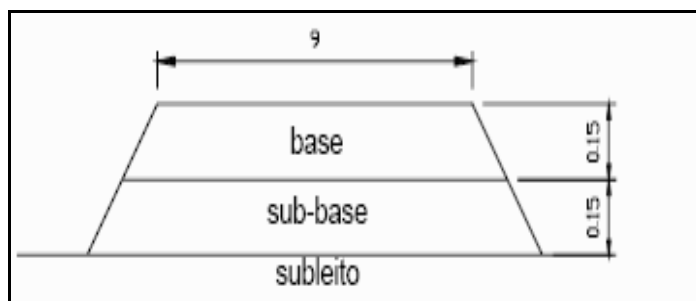


Figura 46. Estrutura do trecho experimental em Goiânia, medidas em metros, LEIVE et al., (2005). p. 38.

As amostras de RCD (resíduos de construção e demolição) foram britadas em três diferentes granulometrias: brita de 19 mm, brita de 9,5 mm e areia artificial, o que mostra a Figura 47. Por meio de ensaios realizados, definiram-se as misturas ideais entre o RCD e o solo local (argila) para serem utilizadas nas camadas de sub-base e base do trecho experimental, conforme a Figuras 48.

Resultados encontrados: $\gamma_{\text{dmax}} = 18,31 \text{ kN/m}^3$; $W_{\text{ot}} = 12,3 \%$ e $\text{CBR} = 90 \%$.

■ Base: 25 % brita com 19mm; 25 % brita com 9,5mm; 25 % areia artificial e 25 % de argila misturada e compactada na EC intermediária:

Resultados encontrados: $\gamma_{\text{dmax}} = 17,7 \text{ kN/m}^3$; $W_{\text{ot}} = 14,5 \%$ e $\text{CBR} = 83 \%$.



Figura 47. Materiais estudados para utilização em bases e sub-bases a partir do RCD (a) 19mm; (b) brita de 9,5mm; (c) areia artificial, Fonte: LEIVE et al., (2005). p. 40.



Figura 48. Execução do trecho experimental: (a) deposição do material na pista; (b) espalhamento; (c) compactação; (d) execução do revestimento, LEIVE et al., (2005). p. 40.

Conforme relatam os autores, a metodologia para a análise do comportamento do pavimento foi realizada com a viga Benkelman durante a execução e nove meses após e a retroanálise utilizou o programa Sigma/W (versão3).

A conclusão sobre este experimento é que o comportamento do trecho experimental a deflexão média obtida sobre o revestimento manteve-se praticamente a mesma (com valores de 43×10^{-2} e 41×10^{-2} mm). Com os parâmetros obtidos a partir do ensaio de viga Benkelman deflexão e raio de curvatura, conclui-se que o trecho analisado apresenta qualidade técnica, inexistindo problemas estruturais no momento da publicação deste artigo, em agosto de 2005.

Dentre os casos analisados na retroanálise, verificou-se que os valores mais coerentes obtidos para os módulos das camadas são: 160 MPa para o subleito argiloso, 330 MPa para as sub-base e base constituídas da mistura solo-entulho e 6000 MPa para o revestimento de concreto betuminoso usinado a quente.

Como estudo do RCD em camadas de pavimento já é suficiente para avaliar o potencial uso do material em camadas de reforço do subleito, sub-base e bases para pavimentos. O item a seguir tem a pretensão de estudar como se procede a reconstituição do

pavimento quando da abertura de valas pontuais em vias constituídas de pavimentos flexíveis e o material de preenchimento destas.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Materiais

O material estudado e utilizado para aplicação nas valas e para reconstruir a estrutura dos pavimentos danificados pelas aberturas de valas, quando da manutenção das redes de água e de esgoto em Piracicaba, realizado pelo SEMAE (Serviços Municipal de água e Esgotos), foi o agregado miúdo (areia) e o agregado graúdo (bica corrida) originário da britagem da parcela mineral do RCD (Resíduos de Construção e Demolição). Classificado como classe A pelo CONAMA 307. Estes resíduos, após a separação, foram britados (moídos) e utilizados como agregados, o que será detalhado mais adiante neste trabalho.

O RCD após passar pelo processo de reciclagem, transformou-se em agregados que foram empregados para a cobertura mecânica dos tubos como material de fechamento das valas, nas bases e sub-bases dos pavimentos, após intervenção realizada pelas equipes de manutenção do SEMAE.

Os agregados reciclados graúdos (bica corrida) e os miúdos (areia), obtidos a partir da britagem do RCD, têm como origem os materiais que contêm em sua constituição fração minerais como os tijolos de barro recozidos, cerâmicas vermelhas, brancas, lisas, concreto, argamassa, fragmentos de rochas e solos.

Estes resíduos têm a sua origem por grandes e pequenos geradores, das perdas da construção civil, da demolição e de reformas de obras de pequeno a grande porte. De acordo com informações da EMDHAP (Empresa Municipal de Desenvolvimento de Habitação de Piracicaba), em 2004 a composição do RCD indicava os percentuais especificados na Figura 49.

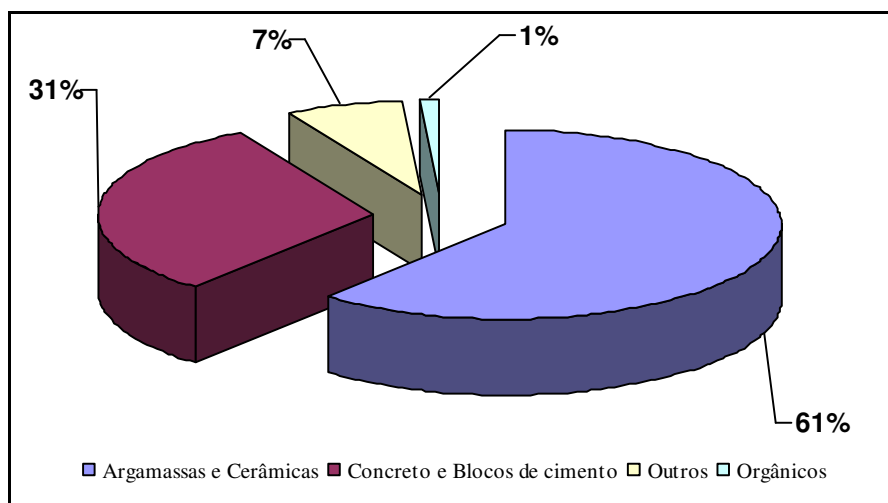


Figura 49. Composição do RCD de Piracicaba, EMDHAP (2004).

Os resíduos, quando gerados, são coletados comumente em sua origem por caçambas metálicas com capacidade variável a partir de cinco metros cúbicos, transportados por poliguindaste e encaminhados para a área de ATT (Área de Triagem e Transbordo). Essas áreas requerem licenciamento ambiental segundo NBR 15112:2004.

Existe no Município uma legislação específica que regulamenta esta atividade e as caçambas devem ficar dispostas conforme as recomendações ali previstas. A Figura 50 ilustra uma dessas caçambas disponibilizadas para coletar os resíduos; elas ficam com o gerador dos resíduos por um determinado período negociado com a empresa prestadora destes serviços, que varia conforme cada uma delas.



Figura 50. Caçambas metálicas para recolher os resíduos de construção.

O transporte é realizado por caminhões poliguindaste e, em Piracicaba, os resíduos são encaminhados para a área de ATT pelas próprias empresas prestadoras desses serviços, seguindo, além da legislação municipal, também as recomendações do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito). A Figura 51 ilustra um modelo desses equipamentos.



Figura 51. Poliguindaste para remoção de caçambas metálicas.

Os resíduos encaminhados para a área de ATT passam pelo primeiro processo de reciclagem e são separados as madeiras, o gesso, papéis, plásticos, papelão, aço e outros materiais não convenientes ao processo da reciclagem. Em Piracicaba esta triagem é realizada por funcionários formados por uma cooperativa, mantida pela associação dos caçambeiros e com a venda dos materiais recicláveis, conforme Figura 52, os materiais enfardados já estão prontos para a venda, os resíduos de origem cerâmico e concreto são empilhados para posterior encaminhamento para reciclagem e os demais são encaminhados para outros destinos conforme detalhamento a seguir.

MANEJO AMBIENTAL DO RCD

ATT: Áreas de Transbordo e Triagem – NBR 15112:2004



Figura 52. ATT de Piracicaba.

Segundo PINTO (2005) após levantamentos realizados em vários municípios o RCD tem potencial de reciclagem em mais de setenta e cinco por cento, sendo doze por cento com tecnologia já desenvolvida como: papelão; aço; madeira; plásticos; alumínio e outros.

Para os outros quinze por cento, não serão possíveis sua reciclagem, por não possuírem tecnologia adequada no momento, ou por estarem contaminados, ou misturados com outros resíduos de difícil separação, são destinados aos aterros de inerte classe A, construídos e controlados conforme NBR 15113, tomando todas as precauções previstas pelos órgãos ambientais, e os perigosos encaminhados aos aterros de classe especiais do tipo industrial, para incineração ou deverão ficar abrigados em locais protegidos até que se torne possível sua reciclagem ou outro encaminhamento seguro.

A Figura 53 representa uma célula de um aterro de inertes que contém em seu interior resíduos, que deverá dar garantia de proteção ao meio ambiente, ao homem e a biota.

Aterro de Inertes: Resíduos classe A da construção civil – projetado e controlado conforme NBR 15.113



Figura 53. Esquema da célula do aterro de inertes.

Após a triagem, o RCD que contém fração mineral em sua composição é encaminhado para a usina de reciclagem da EMDHAP conforme Figura 54, onde é usado um equipamento bastante simples que já existe no mercado e segue a mesma configuração dos equipamentos de mineradoras, que produz britas a partir de fragmentos de rochas. Além da simplicidade, esses equipamentos são econômicos, com baixo consumo de energia, pouca manutenção, fácil manutenção e operação.

Na usina de reciclagem de Piracicaba, o RCD é inserido na câmara de britagem por uma pá mecânica do tipo carregadeira, o material é triturado em um britador do tipo mandíbula, sai da câmara e é conduzido por uma correia transportadora, que passa por um eletroímã para retirar pequenos objetos metálicos.



Figura 54. Usina de reciclagem de Piracicaba.

Ficam ao lado desta correia dois funcionários, para retirarem pequenos materiais que passaram pela triagem, e foram britados como: pedaços de madeiras; papelão; plásticos; tubos de polietileno e outros materiais que possam contaminar os agregados.

Os agregados, após o processo de britagem, são peneirados em peneiras com aberturas convenientes ao projeto por vibração mecânica. Para este estudo foram separados em bica corrida (agregado graúdo) e areia (agregado miúdo). Somente o agregado miúdo que passa pela peneira, sendo que a bica corrida sai diretamente do britador para as pilhas, conforme ilustra a Figura 55.



Figura 55. Detalhe do sistema de peneiras, bica corrida e areia do RCD.

6.2 Ensaios realizados

6.2.1 Ensaios de CBR (Califórnia Bearing Ratio)

Para realização dos ensaios de CBR os materiais foram coletados na usina de reciclagem e foram realizados no laboratório da SEMOB (Serviço Municipal de Obras de Piracicaba) e no laboratório de Mecânica dos Solos da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas).

Este ensaio é muito utilizado na engenharia rodoviária, sendo um dos principais para o dimensionamento dos pavimentos e aferir a qualidade do material empregado nas rodovias e nos pavimentos urbanos.

Foram realizados cinco ensaios de CBR variando a EC em amostras virgens conforme recomenda a Norma do DNER ME - 049:94 – determinação do Índice Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas coletados em uma amostra única na usina de reciclagem, quatro com amostras trabalhadas, sendo um ensaio por semana, compactado na EC intermediária conforme NBR 7182.

O principal objetivo é verificar o comportamento do material, primeiramente em relação à variação da EC, começando abaixo da EC intermediária e aumentando até a modificada, e também verificar as alterações quanto poderia variar o CBR, em um mês de produção do material (bica corrida) da usina.

A partir dos resultados dos primeiros ensaios, notou-se que a energia mais conveniente para trabalhar com o material, é a intermediária. Foi coletada uma amostra por semana e ensaiada.

Dos cinco primeiros ensaios, o primeiro foi realizado com a compactação logo abaixo da EC intermediária com 19 golpes; o segundo, na intermediária com 26 golpes; o terceiro, com 36 golpes; o quarto, com 46 golpes; e, o último, na EC modificada com 55 golpes.

Os gráficos da Figura 56 mostram as curvas de compactação, teor ótimo de umidade e dos respectivos CBRs obtidos dos ensaios.

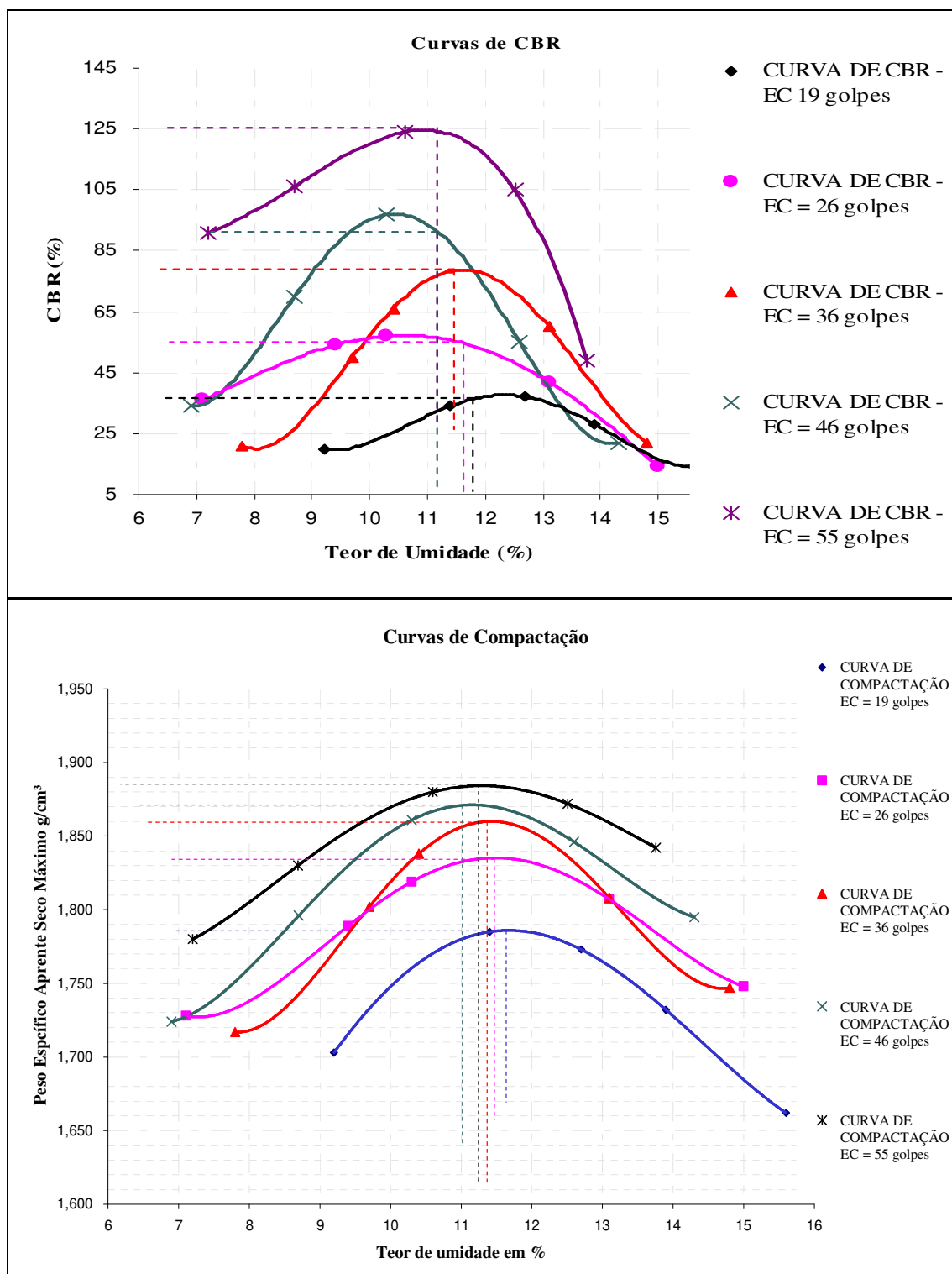


Figura 56. Curvas de compactação e CBR dos agregados reciclados graúdos (bica corrida).

A Figura 57 mostra a realização da penetração versus deformação na prensa de CBR, da amostra confinada no cilindro do ensaio, em um dos corpos de prova, após imersão de quatro dias em água, no laboratório da SEMOB, em Piracicaba. É possível observar na Figura a direita do operador o resultado da pequena profundidade de 12,70 mm que o pistão da prensa penetrou no corpo de prova, que, vale salientar que quanto mais drenante for o material, melhor será o resultado de CBR.

O ensaio de CBR é obtido para o maior valor na penetração versus deformação na amostra, entre as penetrações de 2,54 e 5,08 mm, após quatro dias imersos em água. O ensaio também permitiu medir a expansão do material, fator importante para escolha de materiais alternativos para bases de pavimentos.



Figura 57. Corpo de prova na prensa de CBR no laboratório da SEMOB em Piracicaba -SP.

6.2.2 Resistência a Compressão Simples (RCS)

Foram realizados ensaios de RCS (Resistência a Compressão Simples), conforme norma do DNER-ME 201:94, nas amostras de bica corrida originária do RCD, compactadas na umidade ótima, e na EC intermediária, no cilindro de Proctor pequeno, com adição de três, quatro, e seis por cento de cimento Porthand tipo CP II em massa.

O objetivo é avaliar a resistência do material quando adicionado cimento em sua composição após sete dias de cura em câmara úmida.

6.2.3 Análise Granulométrica

Foram realizados ensaios de granulometria, conforme recomenda a norma da ABNT NBR 7184, na bica corrida e na areia. Na bica corrida, foram realizadas análises antes e após o processo de compactação, para obter a curva Granulométrica, o Índice de Degradação, o Coeficiente de Uniformidade (CU), o Coeficiente de Curvatura (CC) e os diâmetros máximos e mínimos do material, conforme recomenda a NBR 15116:2004;

A Figura 58 mostra as curvas granulométricas obtidas com a areia (agregados reciclados miúdos).

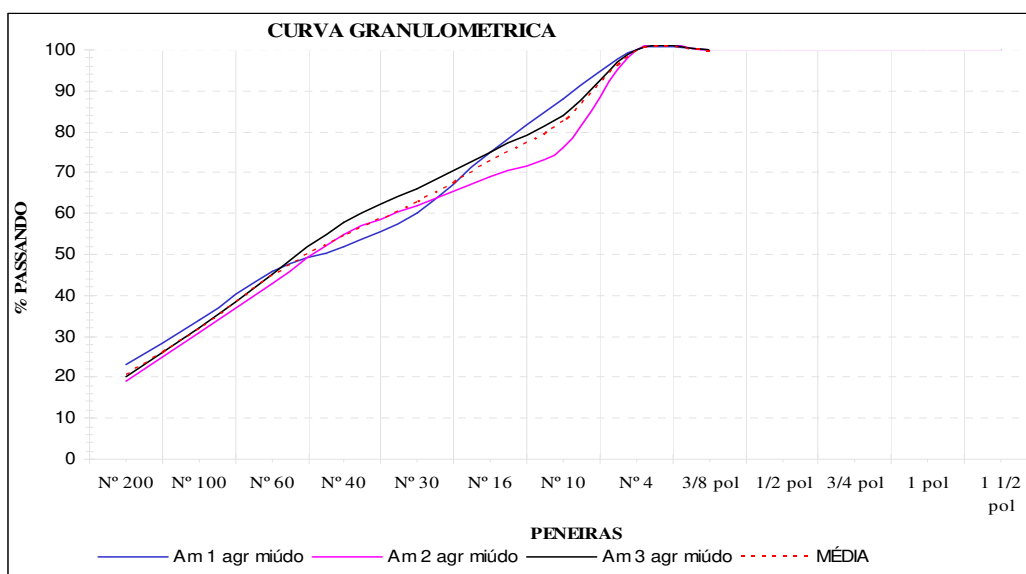


Figura 58. Curvas granulometria nos agregados reciclados miúdos

A Figura 59 são apresentadas as curvas granulométricas obtidas da bica corrida (agregados graúdos).

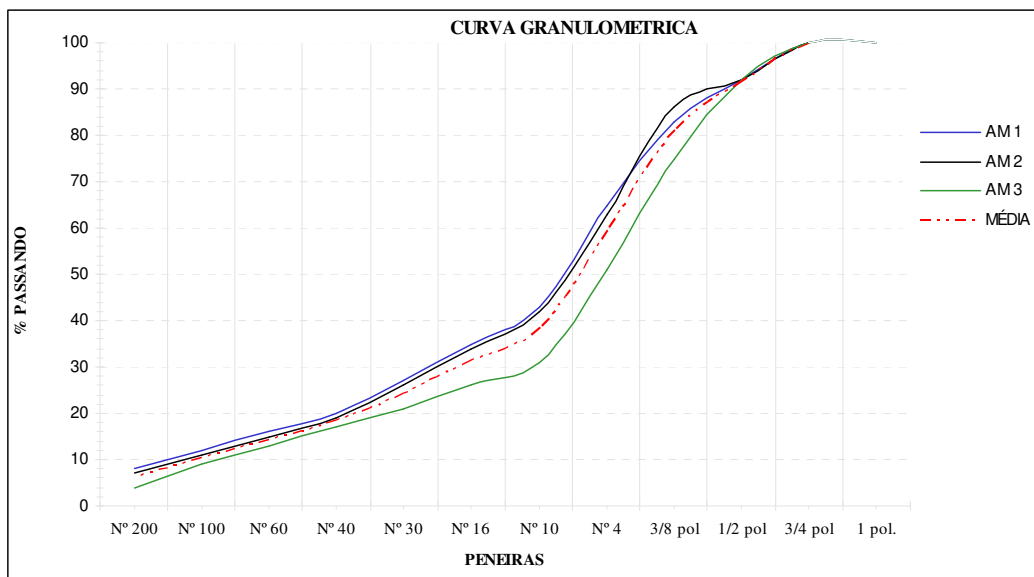


Figura 59. Curvas granulométricas do material reciclado graúdo (bica corrida) do RCD, antes da compactação.

6.2.4 Índice de Degradação

Foram realizadas três análises granulométricas na bica corrida antes, e três após o processo de compactação, para obtenção do índice de degradação. Com este índice é possível verificar o comportamento do material após o processo de compactação. As amostras foram compactadas na EC intermediária e as análises realizadas.

O valor crítico do índice de degradação ocorre quando a curva granulométrica ultrapassa os limites especificados para a faixa adotada, ou quando é possível identificar uma brusca inflexão da curva granulométrica, causada por uma fratura mais significativa de certo tamanho das partículas CARNEIRO et al., (2001), apud Macedo; Lima; Costa (1986).

Pode-se fazer esta comparação em função da faixa granulométrica recomendada pelo DNIT, a faixa “D”, para bases e sub-bases de material granular, para uma vida útil de projeto de até $N < 5 \times 10^6$. A Figura 60 ilustra o comportamento das curvas granulométricas nos dois momentos. As linhas contínuas indicam os resultados antes da compactação e, as tracejadas, o resultado após o processo de compactação, observa-se que o material antes encontrava fora da faixa e após a compactação houve uma melhora no seu enquadramento.

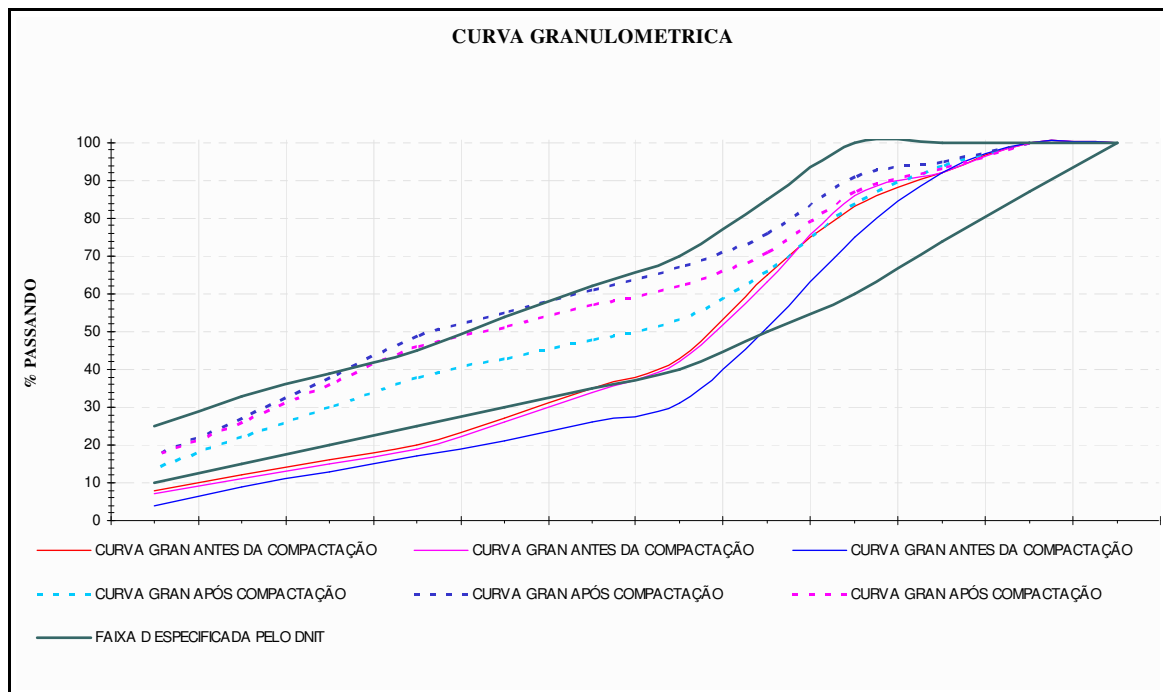


Figura 60. Curva da distribuição granulométrica obtida da bica corrida do RCD, antes e após a compactação.

6.2.5 Limite de Liquidez e Plasticidade

Foram realizados ensaios de Limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) conforme recomenda a NBR 6459, o ensaio de limite de liquidez foi realizado conforme a NBR 6459, lembrando que o limite de liquidez indica a quantidade de água que pode ser absorvida pela fração do solo que passa pela peneira 0,42 mm de abertura da malha, (peneira n.º 40). Quanto maior o limite de liquidez (LL) tanto mais compressível será o solo e estes limites são em função da quantidade e do tipo de argila. Quando um material não tem plasticidade (areia, por exemplo), escreve-se NP (não plástico).

6.2.6 Ensaio de DCP (Cone de Penetração Dinâmica)

É possível verificar a qualidade dos serviços realizados na valas com o ensaio de DCP, (Cone Sul Africano) pela resistência que o material de reaterro impõe a penetração do equipamento, e também é possível verificar a espessura de cada camada realizada, quando a curva de penetração faz uma mudança brusca.

Os ensaios de DCP foram realizados em duas intervenções, com cinco ensaios em cada uma delas, intercalados, distante um ensaio do outro em 80 centímetros, após sete dias da realização dos serviços (tempo mínimo de cura). Na primeira intervenção a vala ocupou meia rua em sua largura, e com 85cm de largura, conforme mostra a Figura 61 da localização.



Figura 61. Localização do ensaio de DCP, na primeira intervenção.

Na segunda intervenção a vala ocupou a largura total da rua e com 85 centímetros de largura também, sendo os ensaios foram realizados distante um do outro em 100 centímetros, intercalados, conforme mostra a Figura 62.

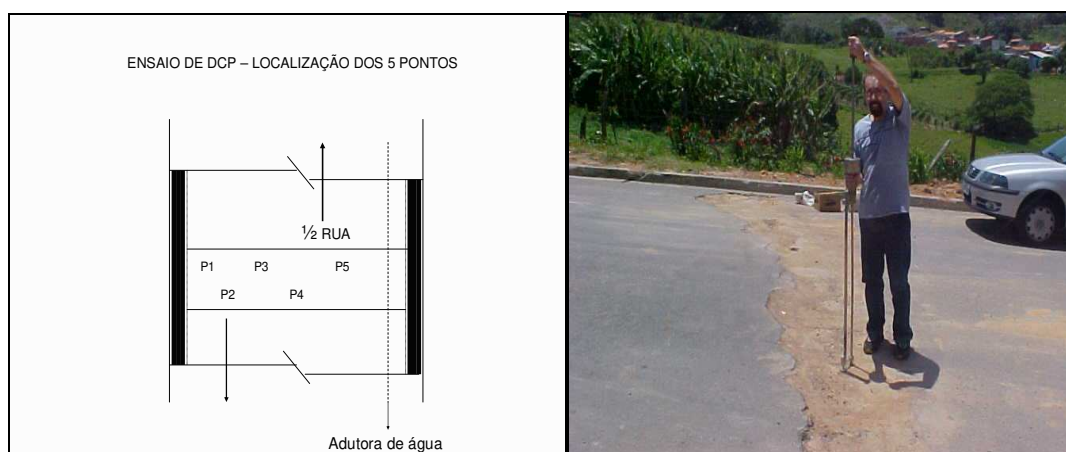


Figura 62. Localização do ensaio de DCP, na segunda intervenção.

6.2.7 Determinação do grau de compactação – Método do frasco de areia

Verificação do grau de compactação - pelo método do frasco de areia, método do DNER – ME 092:94;

No mesmo local onde foram realizados os ensaios de DCP também foi realizado um ensaio para a determinação do grau de compactação pelo método do frasco de areia, segundo a orientação da norma do DNER-ME 092:94, conforme ilustra a Figura 63.



Figura 63. Realização do ensaio do frasco de areia para verificação do grau de compactação.

O ensaio de frasco de areia não foi adequado para o controle da compactação, neste tipo de material, em função da grande variação do material de origem na britagem (materiais cerâmicos e de concreto), portanto, seu Peso Específico Aparente sofre alterações constantes, não sendo recomendado seu uso.

6.2.8 Lixiviação e Solubilização

Os ensaios foram realizados no IQ (Instituto de Química), no Laboratório Thomson de Espectrometria de Massas da UNICAMP. Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduo sólido – Lixiviação NBR 10005. Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduo sólidos – Solubilização NBR 10006.

As análises de Lixiviação foram realizadas conforme metodologia: “Stand methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th ed.” and “USEPA SW- 846 – Test Methods for Evaluation Solid Waste-Physical/Chemical Methods”.

As análises de Solubilização, conforme metodologia “Stand methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th ed.” and “USEPA SW- 846 – Test Methods for Evaluation Solid Waste-Physical / Chemical Methods”,

6.3 Resultados

6.3.1 Ensaios de CBR

Para os ensaios de CBR os resultados obtidos na bica corrida são os que apresentam a Tabela 32. Foram realizados nove ensaios, os cinco primeiros com amostras não trabalhadas e os quatros últimos da referida tabela com amostras trabalhadas.

Tabela 32. Resultado dos ensaios de CBR, após imersão em água por quatro dias.

Ensaios	CBR (%)	Expansão (%)	Peso Específico Aparente Seco Máximo g/cm ³	Teor Ótimo (%)
ENSAIOS COM AMOSTRAS NÃO TRABALHADAS do 1º ao 5º				
1º ensaio com 19 golpes	37	0,5	1,790	12,0
2º ensaio com 26 golpes	54	0,3	1,836	11,6
3º ensaio com 36 golpes	78	0,2	1,854	11,4
4º ensaio com 46 golpes	92	0,0	1,870	11,3
5º ensaio com 55 golpes	124	0,0	1,883	11,3
ENSAIOS COM AMOSTRAS TRABALHADAS do 6º ao 9º				
6º ensaio com 26 golpes	75	0,1	1,883	12,2
7º ensaio com 26 golpes	71	0,0	1,862	12,6
8º ensaio com 26 golpes	60	0,0	1,897	12,2
9º ensaio com 26 golpes	64	0,3	1,824	11,0

O material apresentou uma variação de valor quando o ensaio foi realizado a partir de amostras coletado uma vez por semana e compactado na EC intermediária.

É explicável que, provavelmente em função da desuniformidade do material de origem, na usina, brita-se aqueles que possuem maior resistência, como os de concreto e também os de menor como: cerâmicas; (tijolos, telhas, pisos, azulejos); argamassas, asfaltos, solos; tudo junto, e não pretende-se separa-los, pois traria problemas com a logística.

Normas como a do DNIT e da PMSP, para projetos de pavimentos, admitem as seguintes condições valores de CBR para materiais de base, sub-base e reaterro de valas:

O DNIT admite materiais para base de pavimentos com CBR maior que 80 %, mas é aceitável valor maior ou igual a 60 % para pavimentos com valores de $N = 5 \times 10^6$, para as sub-bases admite-se valor de CBR maior que 20 %.

A PMSP admite materiais para base de pavimentos com CBR maior ou a 60 % para $N \leq 10^5$ (Tráfego Leve) para os demais maior ou igual a 80%, e admite-se como: Tráfego Médio $N = 5 \times 10^5$; Tráfego Pesado $N = 2 \times 10^7$. Para a sub-base CBR maior que 20 % e reaterro de valas maior e reforço do subleito CBR maior ou igual a 12 %.

O valor de N será a vida útil do projeto para um pavimento, considerado para eixo simples em Tandem de 80 kN.

6.3.2 Ensaio de RCS (Resistência a Compressão Simples)

Para os ensaios de RCS obtidos após ruptura dos corpos de provas, que ficaram por sete dias em câmara úmida, são apresentados na Tabela 33 e na Figura 64 pode-se observar a evolução do crescimento da resistência do material.

O material apresentou resistência possível de ser utilizada já com uma dosagem de quatro por cento de cimento, mas através do gráfico de evolução das resistências é possível verificar que a dosagem mais indicada é de cinco por cento.

Tabela 33. Resultado dos ensaios de RCS (Resistência a Compressão Simples).

Ensaio	Cimento tipo CP II	Cura	Resultados
Am 1	com 3 %	7 dias	1,7 MPa
Am 2	com 3 %	7 dias	1,6 MPa
Am 3	com 3 %	7 dias	1,7 MPa
Am 1	com 4 %	7 dias	Resultado não compatível
Am 2	com 4 %	7 dias	2,2 MPa
Am 3	com 4 %	7 dias	2,4 MPa
Am1	com 6 %	7 dias	2,7 MPa
Am 2	com 6 %	7 dias	2,8 MPa
Am 3	com 6 %	7 dias	2,7 MPa

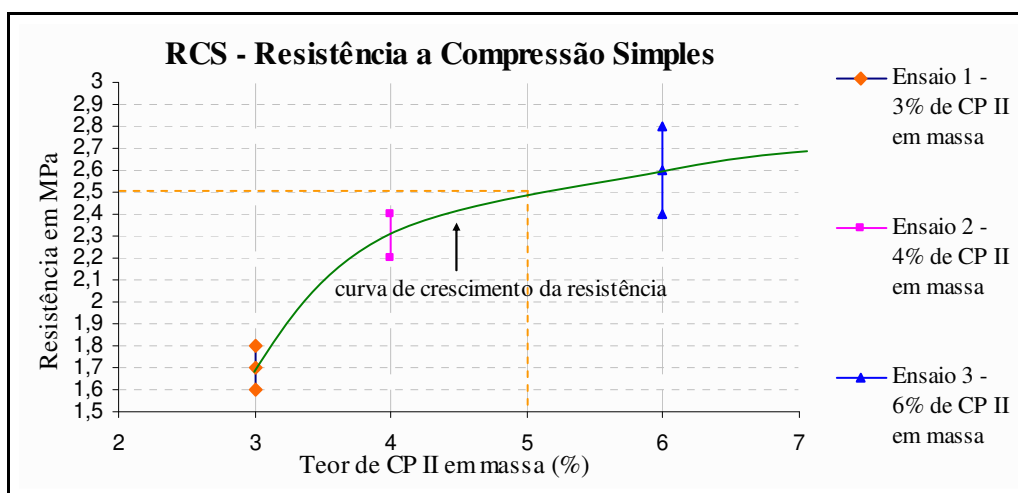


Figura 64. Curva de crescimento da resistência da bica corrida + CP II em massa.

A PMSP/SP ETS – 001/2002 – camadas de reforço do subleito, sub-bases, base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos da construção civil, admite materiais adicionados com cimento resistência à compressão simples, após 7 dias de cura e apresentar resistência mínima de 2,1 MPa, em corpos de prova moldados na energia de compactação especificada.

6.3.3 Análises granulométricas

Foram realizadas análises granulométricas nos agregados miúdos e graúdos do material produzido e coletado na usina de reciclagem. Apresentam-se na Tabela 34 os resultados.

Tabela 34. Análises granulométricas nos agregados graúdos e miúdos.

Peneira	Abertura mm	Análise granulométrica Agregado miúdo			Média	Análise granulométrica Agregado graúdo			Média
		Am1	Am2	Am3		Am1	Am2	Am3	
3/4"	19,5	--	--	--	--	100	100	100	100
1/2"	12,7	--	--	--	--	92	92	92	92
3/8"	9,5	--	--	--	--	83	86	75	81
N.º 4	4,8	100	100	100	100	65	63	51	60
N.º 10	2,0	88	76	84	83	43	42	31	39
N.º 16	1,2	75	69	75	73	35	34	26	32
N.º 30	0,6	60	62	66	63	27	26	21	25
N.º 40	0,42	52	55	58	55	20	19	17	19
N.º 60	0,18	46	43	45	134	16	15	13	15
N.º 100	0,015	34	31	32	32	12	11	9	11
N.º 200	0,0074	23	19	20	21	8	7	4	6

- dimensão máxima encontrada abaixo de 19 mm: 100 %;
- Coeficiente de Uniformidade (CU): 3,5;
- Coeficiente de Curvatura (CC): 1,5;
- Material menor que 0,42 mm (peneira n.º 40): 19 %.

A NBR 15116 recomenda valores de coeficiente de uniformidade maior que 10, sendo que o resultado encontrado de 3,5 ficou muito a baixo deste parâmetro, mas sua aplicação prática não foi prejudicada e não houve nenhuma dificuldade para compactar o material.

6.3.4 Índice de degradação

Na Tabela 35 apresentam-se os valores obtidos nas análises granulométricas, e os respectivos índices de degradação em cada fração subtraindo a média após e antes da compactação em cada peneira.

Tabela 35. Índice de degradação da bica corrida do RCD.

Peneira	Abertura mm	Análise granulométrica antes da compactação			Média	Análise granulométrica após a compactação			Média	Índice de degradação (%)
		Am1	Am2	Am3		Am1	Am2	Am3		
3/4"	19,5	100	100	100	100	100	100	100	100	0
1/2"	12,7	94	95	93	94	100	100	100	100	6
3/8"	9,5	84	91	87	87	94	95	93	94	7
N.º 4	4,8	66	76	71	71	84	91	87	87	16
N.º 10	2,0	53	67	62	61	66	76	71	71	10
N.º 30	0,6	48	61	57	55	53	67	62	61	6
N.º 16	1,2	43	55	51	50	48	61	57	55	5
N.º 40	0,42	38	49	46	44	43	55	51	50	14
N.º 60	0,18	30	38	36	35	38	49	46	44	9
N.º 100	0,015	22	27	26	25	30	38	36	35	10
N.º 200	0,0074	14	17	17	16	22	27	26	25	9

O Índice Médio de Degradação foi obtido pela diferença entre as porcentagens das frações passando nas peneiras antes e após a compactação, obtendo-se o valor de 8,4 %, variando de 5,0 a 16,0 % , lembrando que o índice de degradação serve para verificar quando o material tenha uma mudança brusca na curva granulométrica.

O material antes da compactação apresenta-se fora do DNIT, mas após sofrer o processo de compactação, melhorou seu enquadramento na referida faixa.

6.3.5 Limites de consistência

O valor obtido para o limite de liquidez foi de 21 %; para o limite de plasticidade não foi possível realizar o ensaio, atribuindo-se, assim, NP (não plástico).

6.3.6 Ensaio de DCP (Cone Sul Africano)

Foram realizados dez ensaios, sendo cinco em cada intervenção, dois deles após o furo do ensaio de frasco de areia (dentro da abertura do furo). A Figura 65 apresenta-se o resultado da primeira intervenção.

Nas duas intervenções a camada de base não foi possível ser atravessada, pela elevada resistência que o material impôs ao equipamento de penetração, ficaram descartados, mas estão postos na figura como demonstração da resistência da base. Mas foi possível verificar a qualidade do reaterro da vala, da sub-base que o ensaio proporcionou.

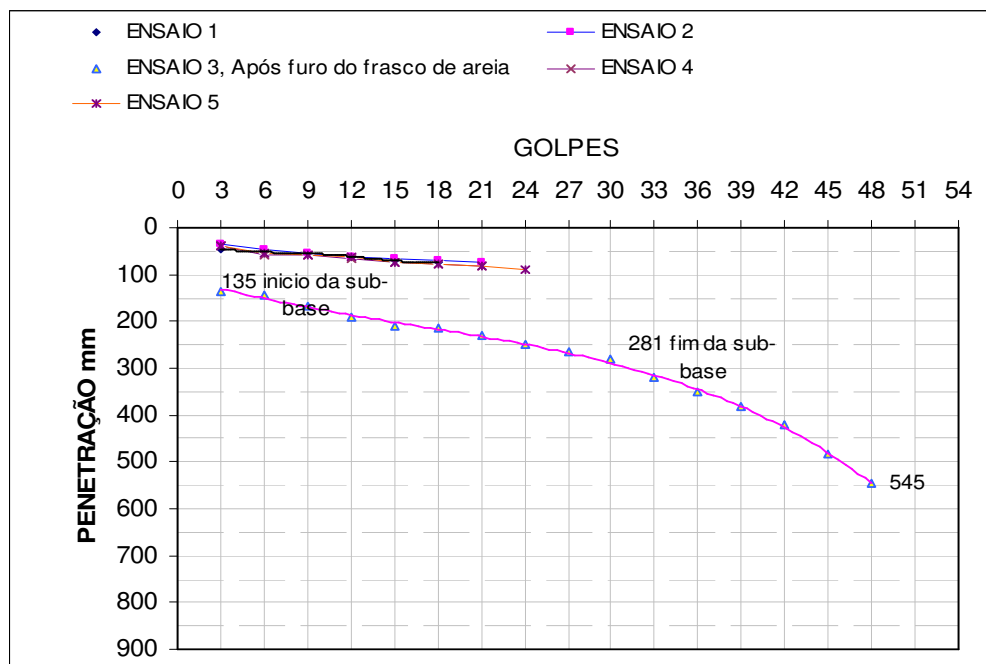


Figura 65. Gráfico do resultado do ensaio DCP na primeira intervenção, nos pontos de 1 a 5.

Apresentam-se na Figura 66 os resultados dos ensaios de DCP, na segunda intervenção, também realizado após sete dias da sua realização.

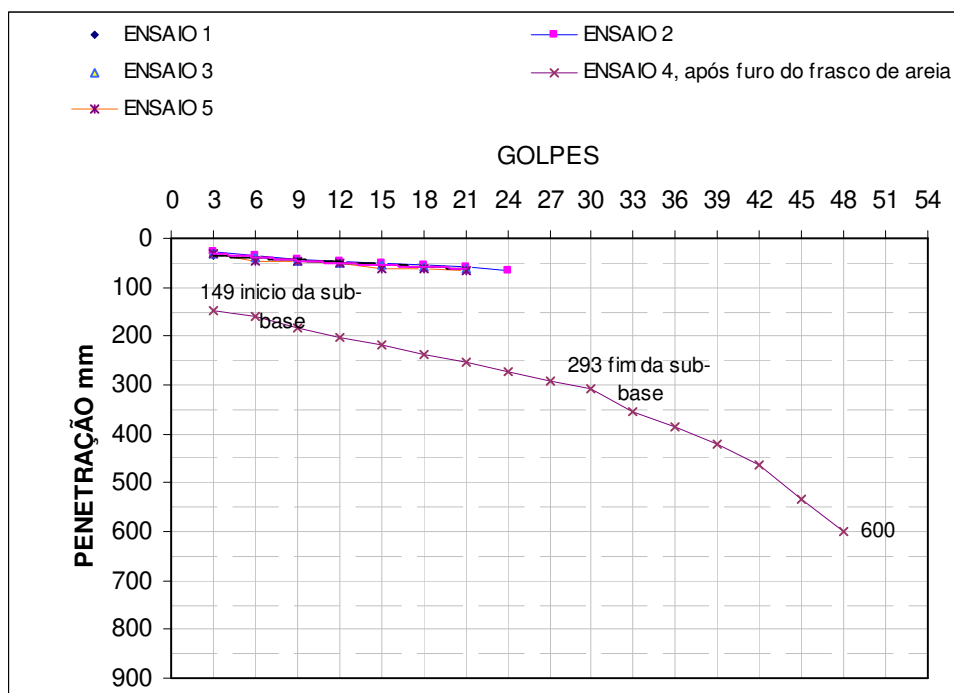


Figura 66. Gráfico do resultado do ensaio DCP na segunda intervenção, nos pontos de 1 a 5.

Foi possível, também, através do ensaio DCP estimar o CBR “in situ” dos materiais aplicados nas valas, como: das camadas de reaterro; e da sub-base. A base não foi avaliada, com a adição de cimento, pois o material descaracteriza o resultado do ensaio. Através de correlações, com equação já desenvolvida com materiais compatíveis, para a primeira intervenção, resolvendo (8) obtém se:

a) camada de sub-base: $DCP = (281 - 135) / 30 = 4,86 \text{ mm/golpe}$

$$CBR_{in situ} = 292 / 4,86 = 60 \%;$$

b) camada do reaterro: $DCP = (545 - 281) / 18 = 14,67 \text{ mm/golpe}$

$$CBR_{in situ} = 292 / 14,67 = 20 \%;$$

Os valores de CBR “in situ” para a segunda intervenção para as camadas de sub-base e reaterro da vala, serão de:

c) camada de sub-base: $DCP = (293 - 149) / 30 = 4,8 \text{ mm/golpe}$

$$CBR_{in situ} = 292 / 4,8 = 61 \%;$$

d) camada do reaterro: $DCP = (600 - 293) / 18 = 17,05 \text{ mm/golpe}$

$$CBR_{in situ} = 292 / 17,05 = 17 \%$$

6.3.7 Ensaios de Lixiviação e Solubilização

A classificação do RCD de Piracicaba foi obtida a partir dos agregados miúdos (areia) de uma amostra coletada na usina de reciclagem, realizados conforme as exigências da ABNT NBR 10004:2004, como material CLASSE II A - NÃO PERIGOSO NÃO INERTE.

O material apresentou aspecto sólido, cor marrom, umidade 5,04 por cento. Segundo EST PAINT FILTER, o resíduo não apresentou líquidos livres, quando 100 gramas do material foi suspenso durante cinco minutos no funil de malha 60 mesh. Parâmetros complementares para classificação, conforme Tabela 364.

Tabela 36: Parâmetros complementares para classificação, conforme BNR 10004:

Parâmetros	Unid.	Cód. De Identificação ⁽¹⁾	V.M.P ⁽²⁾	Resultados	Interpretação	L.D. ⁽³⁾
pH 1:1	----	D002	2,00-12,50	9,73	Dentro dos limites	0,01
CARATERÍSTICA DA AMOSTRA						
Presença de líquidos livres ⁽⁴⁾				Não		
% voláteis (105°C)				7.76		
% não-voláteis				92,24		
Aspecto				Terra		

1- Código de Identificação conforme NBR-10004; 2- V.M.P. – Valor Máximo Permitido;
3- L.D. – Limite de Detecção.

6.3.7.1 Ensaios de Lixiviação

O resultado do ensaio e os limites máximos permitidos estão apresentados na Tabela 37. Todos os elementos estão dentro dos limites permitidos, e a tabela também demonstra os valores de detecção que o ensaio permite realizar.

Tabela 37. Análises Físico-Químico – Norma ABNT – NBR 10005 Lixiviação.

Parâmetros	Unid.	Código de Identificação ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultados	Interpretação	L.D. ⁽³⁾
INORGÂNICOS						
Arsênio	mg/L	D0005	1,0	<	Abaixo do L.D.	0,1
Bário	mg/L	D0006	70,0	0,8	Abaixo do V.M.P.	0,1
Cádmio	mg/L	D0007	0,50	<	Abaixo do L.D.	0,02
Chumbo	mg/L	D0008	1,00	<	Abaixo do L.D.	0,02
Crômio total	mg/L	D0009	5,00	2,6	Abaixo do V.M.P.	0,02
Mercurio	mg/L	D0010	0,100	<	Abaixo do L.D.	0,001
Prata	mg/L	D0011	5,00	<	Abaixo do L.D.	0,01
Selênio	mg/L	D0012	1,0	<	Abaixo do L.D.	0,1
Fluoreto	mg/L	D0013	150,00	0,50	Abaixo do V.M.P.	0,02
Tempo de lixiviação: 18 h Solução de lixiviação n.º 1 pH final: 6,80 (1) Código de Identificação (2) V.M.P. Valor Máximo Permitido (3) L.D. Limite de Detecção.						

6.3.7.2 Ensaios de Solubilização

O resultado do ensaio e os limites máximos permitidos estão na Tabela 38, sendo que apenas o Nitrato ficou fora dos parâmetros permitidos. Foi encontrado no ensaio 24,5 mg/L quando o permitido até 10 mg/L, embora este resultado seja desfavorável para o material, sua utilização não fica inviabilizada, pois trata-se de um contaminante que tem solução, o Nitrato não é originário do resíduo de construção e sim pela bio-degradação de restos de organismos orgânicos presentes junto aos resíduos de construção (restos de comida dos operários, papelão, limpeza de jardins e outros), que pode ser facilmente eliminado, bastando que se faça um manejo mais adequado das caçambas coletoras deste resíduos e campanhas de esclarecimento junto aos geradores.

Tabela 38. Análises Físico-Químico – Norma ABNT – NBR 10006 Solubilização.

Parâmetros	Unid.	VMP ⁽¹⁾	Resultados	Interpretação	L.D. ⁽²⁾
Alumínio	mg/L	0,2	0,1		0,1
Arsênio	mg/L	0,01	<	Abaixo do L.D.	0,01
Bário	mg/L	0,7	<	Abaixo do L.D.	0,1
Cádmio	mg/L	0,005	<	Abaixo do L.D.	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<	Abaixo do L.D.	0,01
Cianeto	mg/L	0,07	0,02	Abaixo do L.D.	0,01
Cloreto	mg/L	250	<	Abaixo do L.D.	5
Cobre	mg/L	2,00	<	Abaixo do L.D.	0,02
Crômio total	mg/L	0,05	<	Abaixo do L.D.	0,02
Fenóis totais	mg/L	0,01	<	Abaixo do L.D.	0,01
Ferro	mg/L	0,30	<	Abaixo do L.D.	0,02
Fluoreto	mg/L	1,50	0,50	Abaixo do L.D.	0,02
manganês	mg/L	0,10	<	Abaixo do L.D.	0,02
Mercúrio	mg/L	0,001	<	Abaixo do L.D.	0,001
Nitrato	mg/L	10,0	24,5	Acima do V.M.P.	0,1
Prata	mg/L	0,05	<	Abaixo do L.D.	0,01
Selênio	mg/L	0,01	<	Abaixo do L.D.	0,01
Sódio	mg/L	200,0	11,8	Abaixo do L.D.	0,1
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	50	Abaixo do L.D.	10
Surfactantes	mg/L	0,50	0,005	Abaixo do L.D.	0,01
Zinco	mg/L	5,00	<	Abaixo do L.D.	0,002

pH final da solubilização 10,03

(1) V.M.P. – Valor Máximo Permitido

(2) L.D. Limite de Detecção.

7. MÉTODO DE APLICAÇÃO

Os agregados reciclados do RCD (Resíduos de Construção e Demolição) são utilizados neste método como matéria-prima para o fechamento de valas e nos pavimentos realizados pelo SEMAE em Piracicaba.

A Figura 67 apresenta um corte típico de uma vala e o modo como deverão ser realizados os serviços de fechamento destas e para recuperar a estrutura danificada dos pavimentos após sua abertura, para fazer manutenção nas redes de abastecimento de água ou nas de retirada dos esgotos da cidade.

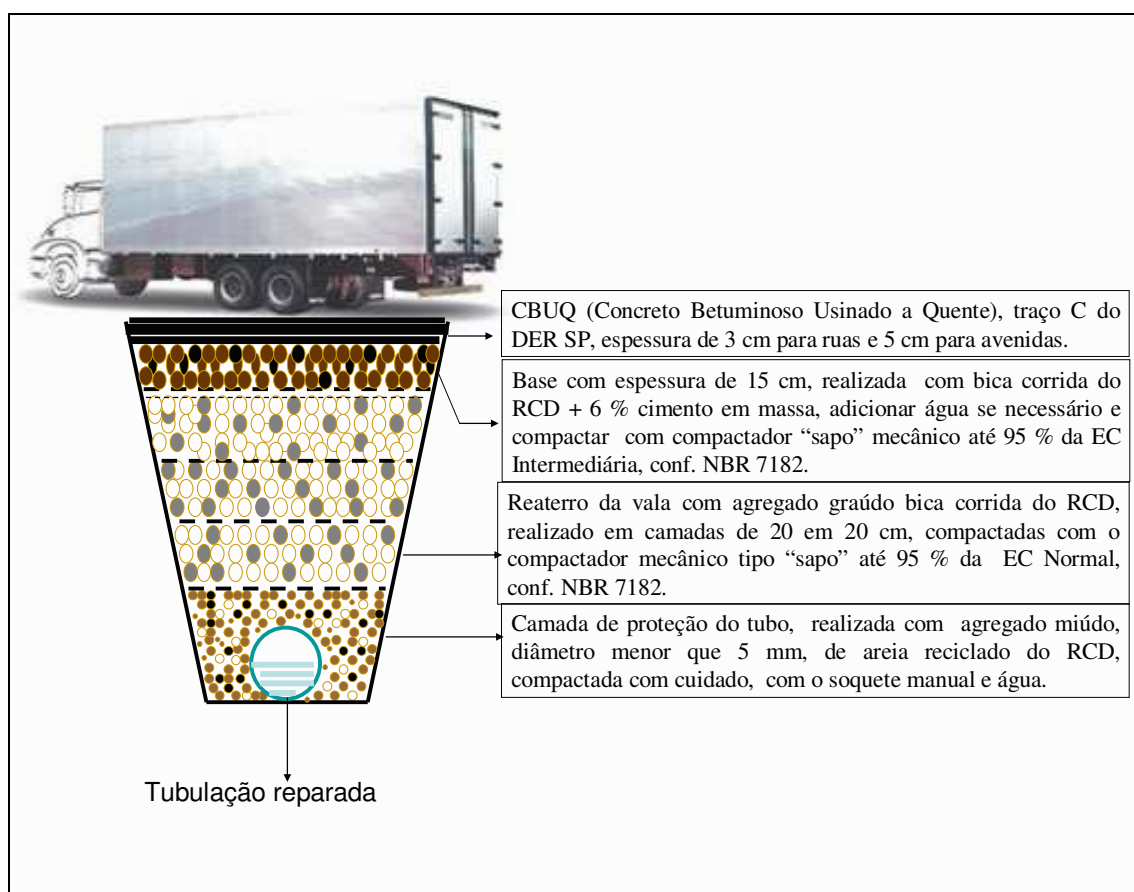


Figura 67. Corte típico do método proposto para fechamento de vala

O processo de intervenção se dá no escritório central do SEMAE, que recebe uma ocorrência da população, através de um número de telefone que é disponibilizado, ou de uma outra forma qualquer, informando um problema na rede que faz o abastecimento de água ou na que faz a retirada dos esgotos. Um funcionário capacitado é deslocado até a origem do

problema, faz-se um diagnóstico preliminar e dependendo do caso, aciona uma das equipes mais próxima para realizar a devida intervenção. Quando trata-se de casos mais complicados, engenheiros especializados em manutenção são acionados para ajudar na solução definitiva do problema encontrado.

O processo todo pode se repetir por várias vezes quer seja para as redes de águas ou de esgotos, separando suas proporcionalidades, é claro. Existe desde uma pequena intervenção até uma obra de grandes proporções, como é o caso do rompimento de adutoras de água.

Localizado o problema e sua exata dimensão, faz-se a demarcação no asfalto para o corte no pavimento. A abertura da vala é feita com a retroescavadeira ou um outro equipamento capaz de executar o mesmo serviço, removendo o solo para um caminhão basculante, que fará o transporte para a usina de reciclagem.

Como demonstra a Figura acima típica, o processo começa pela reparação da tubulação. Após a realização do conserto na tubulação, faz-se o envelopamento (recobrimento) desta com a areia reciclada (agregado miúdo), até 30 centímetros acima da geratriz da tubulação se for de água - caso a tubulação seja de esgoto, pode-se passar para 50 cm, compacta-se com cuidado com soquetes manuais para não danificar a tubulação e, se necessário, adiciona-se água ao material, realizando uma compactação hidráulica.

As camadas seguintes são realizadas com a bica corrida em camadas de 20 em 20 cm, que após a compactação deva-se atingir uma espessura de 15 cm, com o compactador manual (sapo) - acrescentado água se necessário - até 18 cm da superfície final da vala (cota de tráfego dos veículos), para ruas de baixo volume de tráfego ou 20 cm para ruas ou avenidas de tráfego intenso.

A camada de base do pavimento de 15 cm deixando uma espessura final de três ou de cinco centímetros para ser preenchido com uma camada de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), nas condições de exigência de tráfego do local conforme descrito acima. Esta camada deverá ser realizada adicionando cimento Portland, na proporção de seis por cento em massa, e se faz a compactação com o compactador manual, acrescentado água se necessário. Este processo permite a reconstrução da base do pavimento no local da intervenção.

A camada final, passado o tempo de cura, que é de, no mínimo, três dias, é realizado o preenchimento com CBUQ nas espessuras convenientes para ruas e avenidas conforme recomenda acima.

Antes da aplicação do CBUQ uma limpeza de superfície é necessária e, também, uma pintura com material de origem de petróleo, emulsão de ruptura rápida tipo RR IC ou RR IIC recortada em água na porção de cinquenta por cento.

Em seguida, após a cura por alguns minutos, aplica-se o CBUQ na espessura recomendada. Será preferível adotar como granulometria a faixa C do DER-SP de São Paulo, material mais fino, mais apropriado para aplicá-lo manualmente, conferidos os perfis transversais e longitudinais, e caso necessário far-se-á correção e liberação da via para o tráfego.

Apresenta-se, a seguir, a seqüência da aplicação do método com Figuras do processo executivo de uma intervenção na via. As fotos são todas obtidas de uma seção, exceto a da camada de rolamento que foi tirada em um outro local, mas sobre as mesmas especificações aqui apresentadas.

Na primeira etapa do serviço é recomendável que se faça um pré-corte no pavimento com a serra tipo Clipper para facilitar a escavação da vala, evitando, assim, causar um dano maior ao pavimento.

A Figura 68 ilustra a realização da primeira camada de proteção da tubulação (envelopamento), que neste caso foi para a que fornece água, realizada com areia reciclada (agregado miúdo), diâmetros abaixo de 4,8 mm, que foi preenchida aproximadamente 30 cm acima do tubo, este material além dar proteção a tubulação contribuiu também com a absorção da água e da umidade do local conforme constatado na realização dos serviços.

Estes agregados por ter sua origem dos materiais de queima de cerâmica, argamassas e concretos, estão secos e ao absorverem a água que vazou quando da reparação da tubulação, torna-se extremamente vantajoso sua utilização.



Figura 68. Fechamento da vala após substituição da tubulação que fornece água.

Na seguinte etapa dos serviços foi utilizada a bica corrida (agregados graúdos) como material de reaterro da vala, com o auxílio da retroescavadeira e acerto manual do material em camadas de 20 centímetros, adicionando água até a umidade desejada. A bica corrida foi compactada com compactador manual tipo sapo até atingir o grau de compactação desejável, que é próximo de 95 % da EC normal, conforme mostra a Figura 69.



Figura 69. Fechamento da vala em camadas de 20 cm com bica corrida.

A Figura 70 ilustra a realização da camada de base, etapa que deve ser realizada com mais cuidado, por ser a camada que vai absorver e transferir às camadas inferiores a maioria dos esforços transmitidos pelo tráfego local.

Foi adicionado à bica corrida seis por cento de cimento tipo Portland CP II em massa, cuja função é garantir mais uniformidade de resistência ao material. Procedeu-se a compactação com compactador manual do tipo sapo até atingir-se um grau de compactação satisfatório, maior ou igual a 95 % da EC intermediária do laboratório.



Figura 70. Realização da camada de base de bica corrida com seis por cento de cimento em massa.

A última etapa do método conforme Figura 71, consiste na aplicação da camada final, realizada por uma equipe especializada para este tipo de operação. Neste caso não foi aplicado na mesma intervenção citada anteriormente, porém manteve-se o mesmo princípio do método proposto neste trabalho.

Esta camada que é também chamada de camada de rolamento e tem a função de dar as condições e conforto ao tráfego local, foi realizada com CBUQ faixa C do DER SP, neste caso com três centímetros de espessura, resguardado o tempo de cura de três dias do material de base.

Antes da aplicação do material, foi realizada uma limpeza da superfície e uma pintura de ligação com emulsão betuminosa do tipo cura rápida RR IIC, recortada com cinquenta por cento em água, conferido e corrigidos os perfis transversais e longitudinais, compactado com o rolo vibratório e em seguida liberado para o tráfego.



Figura 71. Aplicação da camada final com CBUQ, faixa C do DER SP.

8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, estão relacionadas as principais Normas técnicas e especificações de órgãos que regulamentam e utilizam materiais na pavimentação, sendo o objetivo comparar os resultados encontrados quando do uso dos agregados reciclados de Piracicaba a estas.

■ A norma da PMSP/SP ETS – 001/2002 (Prefeitura Municipal de São Paulo) traz especificação de serviço sobre camadas de reforço do subleito, sub-base, e base mista de pavimento, com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil. De acordo com a norma, o agregado deverá apresentar curva granulométrica contínua e bem graduada, com coeficiente de curvatura CC compreendido entre 1 e 3 e coeficiente de uniformidade $CU \geq 10$; a porcentagem que passa na peneira de malha quadrada de 0,42 mm (n.º 40) deverá ficar entre 10 e 30 %; subleitos $CBR \geq 12$ %, expansão $\leq 1,0$ % compactados na EC normal; sub-bases $CBR \geq 20$ % e expansão $\leq 1,0$ % compactado na EC intermediária; bases mistas somente para vias de tráfego com $N \leq 10^5$ repetições do eixo padrão de 80 kN ou (8,2 tf), no período, valor

de CBR ≥ 60 % e expansão $\leq 0,5$ %; no caso de adição de cimento e/ou cal hidratada, o material deverá ser submetido ao ensaio de resistência à compressão simples após sete dias de cura e apresentar resistência de, no mínimo, 2,1 MPa em corpos de prova moldados na energia de compactação especificada.

■ A ABNT NBR 15115:2004 define os requisitos básicos para a utilização dos agregados reciclados em camadas de pavimentos. A curva granulométrica deverá ser bem graduada com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$; a porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (n.º 40) deve ficar entre 10 e 40 %; para o reforço do subleito o valor de CBR deverá ser ≥ 12 %, expansão $\leq 1,0$ %, compactado na energia normal; e sub-base o CBR deverá ser ≥ 20 %, expansão $\leq 1,0$ % compactado na EC intermediária.

■ A ABNT NBR 15116:2004 define os requisitos dos agregados reciclados para a utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, cujo coeficiente de uniformidade $CU > 10$ e $CBR \geq 20$ %.

■ ABNT NBR 11804 traz especificação para materiais de base e sub-base de pavimentos estabilizados granulometricamente. Determina que a porcentagem de material que passa pela peneira de 0,074 mm deve ser inferior a 2/3 da porcentagem que passa pela peneira de 0,42 mm, e que o valor para o limite de liquidez seja ≤ 25 %.

■ O DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte), antigo DNER, permite a utilização de materiais alternativos quando o projeto de tráfego tem repetições do eixo padrão de 82 kN para o período de projeto até $N \leq 10^6$, com CBR ≥ 60 %, expansão $\leq 0,5$ %, compactados no Proctor intermediário e valores para LL ≤ 25 %.

Submetendo-se os valores encontrados no RCD (Resíduos de Construção e Demolição) reciclado de Piracicaba, aquele que contém fração mineral em sua constituição compatível com as normas e especificações acima descritas, verifica-se que apenas que: apenas o coeficiente de uniformidade antes e depois de compactado; e a porcentagem do material que passa na peneira de malha com abertura de 0,42 mm após a compactação, não apresentaram índices compatíveis com os recomendados, como era esperado deste material.

Um outro índice que extrapolou o limite recomendado foi o Nitrato, tendo sido encontrados valores acima do recomendado pela norma da ABNT 10004 na análise de solubilização. O Nitrato é considerado uma fonte de poluição, e pode contaminar o lençol

freático, sendo seu controle é fundamental para o uso seguro do material. Sua presença deve-se a materiais orgânicos misturados ao RCD.

Quando do acompanhamento dos serviços foi possível observar que a aplicação do material não impõe dificuldade na realização dos serviços, e que absorve toda umidade presente no local, facilitando a compactação, pois não impregna no equipamento.

Verifica-se também que os valores encontrados nos ensaios realizados nos agregados reciclados foram compatíveis com resultados obtidos em outros experimentos conforme revisão bibliográfica apresentada neste trabalho.

Através dos resultados encontrados por outros autores, e confirmados neste trabalho, é possível afirmar que o comportamento do material melhora após o processo de compactação, tendendo a um novo arranjo após sofrer com a quebra de seus grãos.

Tendo em vista as aplicações das normas da ABNT, do DNIT e da Prefeitura Municipal de São Paulo anteriormente descrito, e considerando os dois últimos como responsáveis pela maior malha rodoviária nacional pavimentada, e com a submissão do RCD a estas normas e especificações, é possível sua utilização conforme método de aplicação sugerido.

9. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Como conclusão: tendo em vista os objetivos iniciais deste estudo de caso e os resultados obtidos do RCD de Piracicaba, confrontados com as exigências das normas estabelecidas e praticadas, é possível utilizar o material nos fechamentos de valas e nas reabilitações dos pavimentos urbanos em Piracicaba e em outros municípios conforme método proposto neste trabalho.

Segundo Normas atuais e especificações técnicas o RCD (Resíduos de Construção e Demolição) de Piracicaba pode ser utilizado para fins específicos.

A aplicação do RCD só foi possível após o município ter implantado o sistema de gestão sustentável dos resíduos de construção, pois o sistema garante a disponibilidade dos

resíduos como matéria-prima e, a partir dos ensaios realizados, foi possível fazer uma análise “à luz” das exigências para utilização do RCD.

Foram realizados dois ensaios para verificar os contaminantes destes materiais, tendo apenas o Nitrato ficado acima dos valores recomendados. O resultado não impossibilita a utilização do RCD, pois o Nitrato não é originário dos resíduos de construção conforme já comentado anteriormente.

A energia de compactação que melhor adequou-se ao método foi a intermediária, que apresentou um bom valor de suporte e praticamente nenhuma expansão.

Com a utilização do ensaio de DCP (Cone Sul Africano), foi possível avaliar a qualidade dos serviços realizados e visualizar as espessuras das camadas inferiores e estimar o CBR “in situ” delas.

Passado dois anos após a aplicação do método pela equipe de manutenção do SEMAE, verifica-se que o pavimento não apresentou problemas ou qualquer outra patologia após a utilização do material como fechamento das valas nos pavimentos de Piracicaba.

Podem muito bem ser utilizados em fechamentos de valas e para reparar estruturalmente pavimentos danificados pela abertura destas, estes materiais conforme métodos demonstrados anteriormente, estão adequados sob métodos tradicionais de verificação.

Recomendação: Porém, para garantir-se que a qualidade do material se encontre dentro das normas, é necessário um controle mais rigoroso na seleção e no manejo ambiental, para que a quantidade de Nitratos não fique acima dos padrões estabelecidos.

Orienta-se uma melhor educação da população para que não utilize a caçamba disponibilizada para recolher os resíduos como forma de descarte de matéria orgânica, possível fonte para formação do Nitrato.

Recomenda-se que na utilização do material, sejam feitas mais análises para seu uso seguro, e que seja criado um banco de dados com estes valores e desta forma faça-se um monitoramento deste contaminante.

Há a necessidade apenas de melhorar a seleção do material para a reciclagem. Também é possível diminuir a taxa de cimento sugerida de seis por cento, conforme valores

obtidos nos ensaios de compressão, mas somente a partir do aprimoramento das equipes com a aplicação do método e maiores quantidades de ensaios.

Espera-se, com este estudo, oferecer à construção civil mais uma opção de utilização destes resíduos, diminuindo, assim, a pressão impactante sobre o meio ambiente, seja na extração de matérias-primas, nos aterros de inertes, no ciclo energético.

A Figura 72 trata-se uma pirâmide invertida sobre proposta de gerenciamento dos resíduos do CIMM (Centro de Informação Metal Mecânica). Fica neste estudo de caso como a principal recomendação, no topo deve-se evitar se possível, no meio reciclar que é o principal objetivo deste trabalho, e na ponta aterrar, somente aqueles resíduos impróprios ou o mínimo o possível.

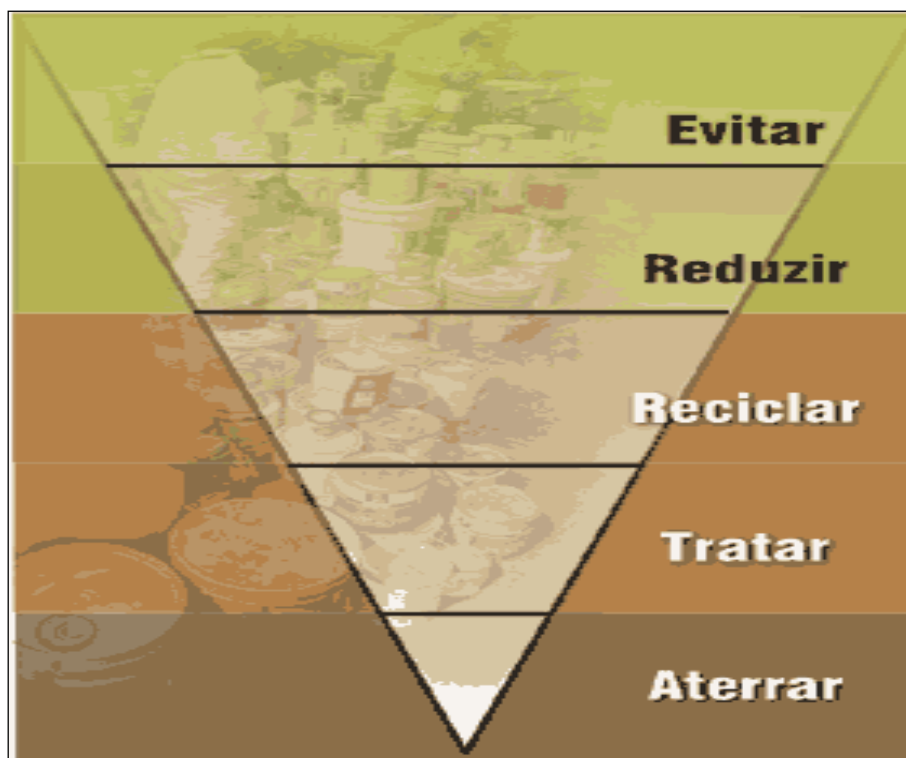


Figura 72. Pirâmide invertida sobre o gerenciamento dos resíduos, Fonte: CIMM.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do limite de liquidez: método de ensaio. NBR – 6459** - Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Agregado graúdo: determinação da abrasão Los Angeles: método de ensaio – NBR – 6465.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm: determinação da massa específica: método de ensaio. – NBR – 6508.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Densidade in situ pelo método do frasco de areia. – NBR –7175.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Solo: determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. – NBR –7180.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Solo: análise granulométrica: método de ensaio. – NBR –7181.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Solo: ensaio de compactação: método de ensaio. – NBR –7182.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Densidade in situ pelo método do cilindro de cravação – NBR –9813.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Resíduos sólidos: classificação - NBR 10004.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Lixiviação de resíduos: procedimentos - NBR 10005.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Solubilização de resíduos: procedimentos - NBR 10006.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente: especificação. NBR 11804.** – Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Índice de vazios máximos de solos não coesivos. NBR 12004.** – Rio de Janeiro, 1990.

_____. **Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. NBR 12266.** – Rio de Janeiro, 1992.

_____. **Índice de vazios mínimos de solos não coesivos. NBR 12051.** – Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação - NBR 15112.** – Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Resíduos da construção civil e resíduos inertes – Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação - NBR 15113.** – Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Resíduos da construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação - NBR 15114.** – Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos NBR 15115.** – Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos - NBR 15116.** – Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Geotêxteis – Instalação em trincheiras drenantes - NBR 15224.** – Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, P. C. G. Textura e Análise Granulométrica - Faculdade de Engenharia – Departamento de Transporte da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, 2005. 26p. Notas de Aula.

ALTHEMAN, D. Avaliação da durabilidade de concretos confeccionados com entulhos da construção civil. Campinas, 2002. 114p. Relatório final das atividades de iniciação científica – FEC Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

ANDRADE, A. C. Método para quantificação de perdas de materiais em obras de construção de edifícios. São Paulo, 1999. 235p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ANGULO, S. C. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição. São Paulo, 2000. 154p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BAESSO, P. D. et al. Estradas Rurais Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis, DER, 2003. 204p. SC.

BODI, J. Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental, experiência Brasileira com entulho reciclado na pavimentação. São Paulo, 1997. 56p – 63p. Seminário sobre reciclagem na construção civil, PCC – USP.

BRASIL, DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte – Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio e Janeiro, 2005. 334p.

CAMPOS, A. A. Programa de Gestão Ambiental de Resíduos Em Canteiros de obra: Sinduscon-SP., 2005- http://www.downloads/gestao_residuos_construcao_civil_Sao%20Paulo.pdf, disponível em 6/9/2005.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Projeto Entulho Bom _Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.; il.

COELHO, P. E.; CHAVES, A. P. Reciclagem de entulho – Uma opção de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente simpática. Revista Areia & Brita, Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, n.5, abr./maio/jun.,p.31-35.

CLEGG, B. Application of an Impact Test to Field Evaluation of marginal Base Course Materials. Transportation Research Record, Washington D.C, n 898, p 174- 181, 1983.

D’ ALMEIDA O. M. L. et al. Manual de gerenciamento integrado, 2^a.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 179p. – (Publicação IPT 2622).

DNER:ME:049:94 – Solos determinação do índice Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Rio de Janeiro, 1994.

_____. 082:94 – Solos – determinação do Limite de plasticidade – Rio de Janeiro, 1994.

_____.092:94 – Solo-determinação da massa específica aparente “in situ”, com o emprego do frasco de areia. – Rio de Janeiro, 1994.

_____. **122:94 – Solos – determinação do limite de liquidez** – Rio de Janeiro, 1994.

_____. **201:94 – Solo-cimento compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos**, – Rio de Janeiro, 1994.

_____. **-700-GTTR-Glossário de Termos Técnicos Rodoviários** – Rio de Janeiro, 199. 296p. (IPR Publi. 700).

FORTES, M. R.; NETO, A. Z.; MENETTI, N. C.; BARBOSA, A. S.; MERIGLI, C. F. A importância do controle tecnológico e de qualidade na reabilitação de pavimentos após a intervenção de concessionárias em São Paulo. Curitiba PR, Trabalho 36.^a RAPv-97. 11p – 36^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36^a RAPv Curitiba Brasil – 24 a 26 de agosto de 2005.

GUSMÃO, D. A. et al. Projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil – PGRCC – POLI-Sinduscon/PE e SEBRAE: POLI / UPE: 2006 – Disponível em: http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=apresentacao_residsolidos&btnG=Pesquisa+Google&meta=lr%3Dlang_pt.

HANSEN, T. C. (1992) Recycling of demolished concret and masonry. Londres, E&FN Spon.

IR – 01/2004 PMSP, INSTRUÇÃO DE REPARAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEVÍVEIS DANIFICADOS PRO ABERTURA DE VALAS. – São Paulo, 11p.

JASSEN, R.; NIJKAMP, P.; VOOGD, H. Environmental Policy Analysis: Which Method for Which Problem?, In Revue d'Economie Regionale et Urbaine, N5., 1984.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____, **V. M. & AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção.** São Paulo, ...12p. Seminário de Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo; CETESB e Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental REGEO', 32p, 2003, Porto Alegre.

JURAS, M. G. A. I. A questão dos resíduos sólidos na Alemanha, na França, na Espanha e no Canadá. Câmara dos Deputados Praça dos 3 Poderes Consultoria Legislativa Anexo III-Térreo Brasília – DF, 2001.

JÚNIOR, F. A. S; RODRIGUES, J. K. G; MORAIS, C. A. S. Cone de penetração dinâmica (DCP) uma alternativa ao dimensionamento de pavimentos urbanos. Curitiba PR. Trabalho 36.^a RAPv-40. 12p – 36^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36^a RAPv Curitiba Brasil – 24 a 26 de agosto de 2005.

JÚNIOR, G. B. A.; JÚNIOR, M. J. F.; PAULA, E. A.; BORLINI, F. R.; DINIZ, M. D.; ALMEIDA, M. O. Viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de entulhos em Governador Valadares. Minas Gerais, 2003. 8p, Faculdade de Engenharia Vale do Rio Doce - Minas Gerais.

KLEYN, E. G. The Use of Dynamic Cone Penetrometer, Transvaal Road Department, Africa do Sul, Report L2/74, 1975, 50p.

LIMA, L. C. O ensaio DCP aplicado no controle de qualidade de compactação de obras viárias executadas com Solos Lateríticos de Textura Fina. São José dos Campos, 2000. 164p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA.

LIMA, R. A. J. Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e suas aplicações em argamassas e concreto. São Carlos, 1999. 240p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

LEITE, C. F.; BARIANI B. L. L.; SILVA, P. F. A. Controle tecnológico de trecho experimental empregando agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil como base e sub-base de pavimento. São Paulo, 18p - Departamento de Engenharia de Transportes Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP.

LEIVE, M. R. A.; VILELA, T. M.; SOUSA, V. R.; REZENDE L. R.; OLIVEIRA, C. J.; CARVALHO, C. J. Análise comportamental de um pavimento com base e sub-base compostas com resíduos sólidos da indústria da construção civil (entulho). Trabalho 36.^a RAPv-82. 12p – 36^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36^a RAPv Curitiba Brasil – 24 a 26 de agosto de 2005.

LEVY, S. M. Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos. São Paulo, 1977. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP.

LEVY & HELENE. Origem e produção do entulho. São Paulo, 1997, 3p. – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LUZ, da B. A. et al. Tratamento de Minérios. 3º Edição – Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2002. 847p.

MACÊDO, J. A. G.; LIMA, R. C.; COSTA, C. R. V. Estudos dos solos lateríticos: índice de degradação e sua influência na compactação e I.S.C. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 21., Salvador, 1986. Anais... Salvador, 1986.

MIRANDA, L. F. R. Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado. São Paulo, 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP.

MEDINA, J. Mecânica dos pavimentos. Rio de Janeiro, 1997. 380p. Editora UFRJ.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 1994. Concreto, estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini. P.251-254.

MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2001. 193p. IBAM.

MOTTA, S. R. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. São Paulo, 2005. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP.

NETTO, A. M. J.; ALVAREZ, G. A. Manual de hidráulica. 7ª edição revista e complementada volume I. São Paulo, Edgard Blücher, 1973,1977,1982. 335p.

NEVILLE, M. A. Propriedades do concreto; tradução Salvador E. Gimmusso. – 2ª ed. Atual. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, K. R. A. Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição. Rio de Janeiro, 2004. 277p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NORMA P-01 da Prefeitura do Município de São Paulo. Estudo de adequação das Normas e especificações e métodos de dimensionamento de pavimento-GT-92. Diário Oficial do Município de São Paulo. 04/11/1992. p. 25-50.

NORMA TÉCNICA SABESP NST 224. SOPAC – Sistema otimizado de pavimento concomitante. Procedimento – São Paulo, Julho – 2006, 8p.

OLIVEIRA, C. J.; REZENDE, L. R.; GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, J. C. Variação dos parâmetros de compactação e CBR de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Curitiba PR. Trabalho 36.^a RAPv-89 – 36.^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36.^a RAPv Curitiba Brasil – 24 a 26 de agosto de 2005.

PINTO, S. C. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/2^a Edição – São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

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

PINTO, T. P. et al. Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP: São Paulo, 2005. 48p. Publicação SindusCon-SP.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil volume 1 Brasília DF: CAIXA 2005.

PMSP/SP ETS – 001/2002 – Camadas de reforço do subleito, sub-base, base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil. São Paulo, 2002, 14p.

SACHET, T. et al., Controle tecnológico da reciclagem de bases granulares de pavimentos Rodoviários através do ensaio DCP (Dynamic Cone Penetrometer), Anais do III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. Curitiba, Volume Único, agosto de 2006, 125p – 129p.

SCHMITZ, C. S. Análise do comportamento estrutural de sistemas de drenagem viária constituído por tubos plásticos flexíveis envolvidos com areia. São Paulo, 2002. 170p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transporte – USP.

SINDUSCON-DF, UnB. Programa Entulho Limpo (1ª etapa) – Coleta Seletiva – Uma forma racional de tratar os resíduos sólidos gerados nos canteiros de obra, Dep. De Engenharia Civil e Ambiental – UnB, 2002, 34p.

SWANA - THE SOLID WASTE ASSOCIATION OF NORTH AMERICA (1993). Construction waste e demolition debris recycling ...a primer. Maryland, SWANA.

VEDRONI, W. J.; CARVALHO, de D.; VIDRIH. F. C. A utilização de resíduos de construção na restauração de bases de pavimentos danificados: In congresso internacional de João Pessoa – PB – UFF – agosto de 2005 – 687p - 703p.

WELLENKAMP, F. J. et al. Tratamento de Minérios. - Reciclagem 3º Edição – Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2002. 847p.

ZORDAN, S. E. A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto. Campinas. 1997. 140p Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.

Internet: SITES

http://caixa.gov.br/urbanizacao/publicacao/texto/programa/Manual_RCD_vol1.pdf

<http://federativo.bndes.gov.br/dicas/D007.htm> (03de agosto de 2006)

<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios.asp>

<http://www.cimm.com.br/primitus/didactamaterial/Indexaction.do>

<http://www.ipplap.com.br>

http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=apresentacao_residsolidos&btnG=Pesquisa+Google&meta=lr%3Dlang_pt

<http://www.sjriopreto.org.br>

<http://www.sinduconsp.cm.br/PUBLICACOES/index.htm> - Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil – A experiência do SindusCon-SP: São Paulo, 2005, 48p.

<http://www.semaepiracicaba.org.br/historia.htm>

<http://www.piracicaba.sp.gov.br/portal/>

<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>

<http://www.resol.com.br>

<http://www.resol.com.br/curiosidade2.asp?id=1826#bla#bla>

11. LEIS CITADAS

CONAMA 307 – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - 5 Julho de 2002.

CONAMA 348 – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – 16 Agosto 2004.

SMA n.º 41 – SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE – 17 de Outubro de 2002.

ANEXO I

Resolução CONAMA 307 de 5 de julho de 2002.

Dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil.

Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe foram conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 326, de 15 de dezembro de 1994, e Considerando a política urbana de pleno desenvolvimento da função social da cidade e da propriedade urbana, conforme disposto na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001;

Considerando a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil;

Considerando que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;

Considerando que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;

Considerando que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;

Considerando a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil; e

Considerando que a gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental, resolve:

Art. 1º Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Art. 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - 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;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - Gerenciamento de resíduos: é o 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;

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

IX - Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área,

utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;

X - Áreas de destinação de resíduos: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - 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 infra-estrutura, 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, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

§ 1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei, obedecidos os prazos definidos no art. 13 desta Resolução.

§ 2º Os resíduos deverão ser destinados de acordo com o disposto no art. 10 desta Resolução.

Art. 5º É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, o qual deverá incorporar:

I - Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil; e

II - Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Art 6º Deverão constar do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil:

I - as diretrizes técnicas e procedimentos para o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e para os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores.

II - o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;

III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e de disposição final de resíduos;

IV - a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;

V - o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;

VI - a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;

VII - as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;

VIII - as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

Art 7º O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil será elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal, e deverá estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local.

Art. 8º Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos geradores não enquadrados no artigo anterior e terão como

objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

§ 1º O Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, de empreendimentos e atividades não enquadrados na legislação como objeto de licenciamento ambiental, deverá ser apresentado juntamente com o projeto do empreendimento para análise pelo órgão competente do poder público municipal, em conformidade com o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

§ 2º O Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de atividades empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, deverá ser analisado dentro do processo de licenciamento, junto ao órgão ambiental competente.

Art. 9º Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas:

I - caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

II - triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;

III - acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

IV - transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

V - destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução.

Art. 10. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

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, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Art. 11. Fica estabelecido o prazo máximo de doze meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, contemplando os Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes, e o prazo máximo de dezoito meses para sua implementação.

Art. 12. Fica estabelecido o prazo máximo de vinte e quatro meses para que os geradores, não enquadrados no art. 7º, incluam os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento dos órgãos competentes, conforme §§ 1º e 2º do art. 8º.

Art. 13. No prazo máximo de dezoito meses os Municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de "bota fora".

Art. 14. Esta Resolução entra em vigor em 2 de janeiro de 2003.