



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

TAMIRES TIEMI IWATA

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

Guaratinguetá
2013

TAMIRES TIEMI IWATA

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Guaratinguetá
2013

I96a	<p>Iwata, Tamires Tiemi</p> <p>Análise de características físicas de agregados de resíduos de construção e demolição, para fins de pavimentação / Tamires Tiemi Iwata – Guaratinguetá : [s.n], 2013. 52' f. : il. Bibliografia : f. 50-52</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira</p> <p>1. Pavimentos 2. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) 3. Demolição I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 625.8</p>
------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

TAMIRES TIEMI IWATA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. Yzumi Taguti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA SILVA
UNESP-FEG

Prof. Dr. WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE
UNESP-FEG

de modo especial, aos meus pais, que sempre acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente aos meus pais por possibilitarem os meus estudos e trabalhar muito para me dar a oportunidade de estudar em uma boa faculdade, pois sem eles nada disso seria possível;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira, que me auxiliou na obtenção da bolsa de iniciação científica e me instruiu na elaboração deste trabalho;

Aos amigos que fiz durante o curso de Graduação, que me ajudaram a não desanimar, mesmo quando foi preciso estudar horas sem parar;

Às companheiras de república, que fizeram da estadia em Guaratinguetá mais alegre e me apoiaram em todas as horas;

Ao meu namorado Helber Takao Miyata, que sempre me incentivou e ajudou a superar os momentos de crise.

“Pensar faz a grandeza do homem.”

Blaise Pascal

IWATA, T. T. Análise de características físicas de agregados de resíduos de construção e demolição, para fins de pavimentação 2013. 53 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos nas análises realizadas em agregados de resíduos de construção e demolição produzidos pela usina da Prefeitura Municipal de Guaratinguetá. Utilizando-se estes dados e confrontando com as especificações da NBR 15115, verificou-se que os materiais não possuem as características mínimas exigidas para ser utilizado como base de pavimento de baixo tráfego. Com o intuito de identificar as principais razões do material não se enquadrar na norma, utilizou-se os dados obtidos em um estudo realizado pelo Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira na usina da empresa AB Soluções Ambientais Ltda, localizada na cidade de Pindamonhangaba. Com características diferenciadas, os agregados de resíduos de construção e demolição produzidos por esta usina apresentaram a possibilidade do uso em pavimentos. O uso destes resíduos na pavimentação diminui o impacto causado no meio ambiente pela construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de Construção e Demolição. Pavimentação. Índice de Suporte Califórnia.

IWATA, T. T. **Analysis of physical characteristics for aggregations of construction and demolition waste, for paving purposes.** 2013. 53 f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

This work presents the results obtained in analyzes of aggregates from construction and demolition waste produced by the plant of the City of Guaratinguetá. Using this data and comparing with the specifications of NBR 15115, it was found that the materials do not possess the requisite minimum characteristics to be utilized as a basis for low-pavement traffic. In order to identify the main reasons of the material does not fit in the standard, we used the data obtained in a study conducted by Professor. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira at the plant of the company AB Environmental Solutions Ltd., located in Pindamonhangaba. With different characteristics, the aggregates from construction and demolition waste produced by this plant showed the possibility of using pavements. The use of these residues in paving reduces the impact on the environment caused by construction.

KEYWORDS: Construction and Demolition Waste. Paving. California Bearing Ratio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Local de deposição dos resíduos na usina. Data de registro da	16
Figura 2 – Corpo de prova para ensaio CBR durante o processo de envolvimento no pó de serra. Fonte: Autora.	18
Figura 3 – Vista geral do equipamento. Data de registro da imagem:	23
Figura 4 – Aspecto geral da amostra de brita 1. Fonte: Autora.	24
Figura 5 – Aspecto geral da amostra de pedrisco. Fonte: Autora.	25
Figura 6 – Composição física do agregado coletado após a britagem preliminar.	25
Figura 7 – Curvas granulométricas das amostras de agregados RCD, coletados na usina da PMG	26
Figura 8 – Curvas de distribuição granulométricas das amostras de brita nº 1, pedrisco e limites das Faixas A, C e E estabelecidas na Norma DNIT 141/2010 ES	27
Figura 9 - Material retido na peneira de 9,5 mm	28
Figura 10 - Material retido na peneira de 4,8 mm	28
Figura 11 - Material retido na peneira de 2,0 mm	28
Figura 12 - Material retido na peneira de 0,42 mm	28
Figura 13 - Material retido na peneira de 0,075 mm	28
Figura 14 - Material que passou na peneira de 0,075 mm	28
Figura 15- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa A.	31
Figura 16- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa C.	31
Figura 17- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa E.	32
Figura 18 - Usina móvel para produção de agregados de RCD. Fonte: OLIVEIRA (2013) ...	35
Figura 19 - Amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 20 - Amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 21 - Amostra 3 . Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 22 - Amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 23 - Amostra 6 (Brita 1). Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 24 - Amostra 7 (Brita 2). Fonte: OLIVEIRA (2013)	36
Figura 25 - Amostra 7 (Pedrisco). Fonte: OLIVEIRA (2013)	37
Figura 26 - Amostra 8 (Pó). Fonte: OLIVEIRA (2013)	37

Figura 27- Curva granulométrica da amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)	38
Figura 28 - Curva granulométrica da amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)	38
Figura 29 - Curva granulométrica da amostra 3. Fonte: OLIVEIRA (2013)	38
Figura 30 - Curva granulométrica da amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)	38
Figura 31 - Curva granulométrica da amostra 5. Fonte: OLIVEIRA (2013)	39
Figura 32 - Curva granulométrica da amostra 6. Fonte: OLIVEIRA (2013)	39
Figura 33 - Curva granulométrica da amostra 7. Fonte: OLIVEIRA (2013)	39
Figura 34 - Curva granulométrica da amostra 8. Fonte: OLIVEIRA (2013)	39
Figura 35 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)	41
Figura 36 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)	41
Figura 37 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 3. Fonte: OLIVEIRA (2013)	42
Figura 38 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)	42
Figura 39 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 5. Fonte: OLIVEIRA (2013)	42
Figura 40 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 6. Fonte: OLIVEIRA (2013)	43
Figura 41 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 7. Fonte: OLIVEIRA (2013)	43
Figura 42 - Curvas granulométricas da mistura 1 e limites da Faixa A (DNIT 141/2010 – ES). Fonte: OLIVEIRA (2012).	44
Figura 43 - Curvas granulométricas da mistura 2 e limites da Faixa A (DER-SP ET-DE- P00/010). Fonte: OLIVEIRA (2013).....	45
Figura 44 - Curvas granulométricas da mistura 3 e limites da Faixa B (DER-SP ET-DE- P00/010). Fonte: OLIVEIRA (2013).....	45
Figura 45 - Composição dos agregados produzidos pela Usina da Prefeitura de Guaratinguetá e da Empresa AB Soluções Ambientais.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de ISC e expansão. Fonte: Apud NBR 15115 (2004).	22
Tabela 2 - Características granulométricas das amostras de agregados RCD.....	26
Tabela 3 - Resultados dos ensaios de compactação Proctor.....	29
Tabela 4 - Resultados do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.	29
Tabela 5 - Índice de degradação de Ruiz.....	32
Tabela 6 - Valores obtidos e limites fixados pela NBR-15115 (2004) com relação à graduação	33
Tabela 7 - Porcentagem em massa dos materiais presentes na fração graúda do agregado reciclado de Santo André. Fonte: LEITE et al (2007).....	34
Tabela 8 - Índice de degradação de Ruiz para o agregado reciclado de Santo André. Fonte: LEITE et al. (2007).....	34
Tabela 9 - Composição das amostras de agregado. Fonte: OLIVEIRA, 2013.....	37
Tabela 10 - Características granulométricas das amostras. Fonte: OLIVEIRA (2013)	40
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de compactação Proctor e Índice e Suporte Califórnia (ISC). Fonte: Oliveira (2013)	41
Tabela 12 - Valores de índices de degradação (ID). Fonte: OLIVEIRA (2013).....	43
Tabela 13 - Composição das misturas determinadas pelo método gráfico de Rothfuchs. Fonte: OLIVEIRA (2013).....	44
Tabela 14- Resultados dos Ensaios de Compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia das misturas 1, 2 e 3. Fonte: OLIVEIRA (2013).....	46
Tabela 15 - Comparação entre o CBR dos agregados produzidos na cidade de Guaratinguetá e pela Usina da empresa AB Soluções Ambientais Ltda.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Sólidos
ARC	Agregados Reciclados de Concreto
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DER	Departamento De Estradas E Rodagem Do Estado De São Paulo
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem
DNIT	Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FDCT	Fundação de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
ID	Índice de Degradação
ISC	Índice de Suporte Califórnia
NBR	Norma Brasileira
PI	Proctor Intermediário
PM	Proctor Modificado
PMG	Prefeitura Municipal de Guaratinguetá
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PN	Proctor Normal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SP	São Paulo
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

#	Malha
Δi	Deslocamento da curva granulométrica
Σ	Somatório
Cu	Coefficiente de uniformidade
d10	Diâmetro no qual passa dez por cento do material
d60	Diâmetro no qual passa sessenta por cento do material
n	Número de peneiras utilizadas
γ_{dmax}	Peso específico máximo
ω_o	Umidade ótima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	16
3. METODOLOGIA	16
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	19
3.2. ASPECTOS REFERENTES AOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NA USINA DE PRODUÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ.	23
4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE	24
5. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS PELA EMPRESA ABSOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA.	35
5.1 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E CAPACIDADE DE SUPORTE CBR (SOLUÇÕES AMBIENTAIS)	40
6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS VALORES DE CAPACIDADE DE SUPORTE CBR OBTIDOS NOS DOIS ESTUDOS, FRENTE ÀS RECOMENDAÇÕES DA NORMA NBR-15115 (2004), PARA EMPREGO EM ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS.	47
7. CONCLUSÃO	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso trata-se de uma extensão da pesquisa de iniciação científica “Determinação da Influência de Energias de Compactação Proctor e do Tempo de Cura dos Corpos-de-Prova, dos Índices de Capacidade de Suporte “CBR” de Amostras de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Civil”, que foi desenvolvida com o apoio da FAPESP.

O atual estudo procura estudar algumas características físicas dos resíduos de construção e demolição, para o dimensionamento de um pavimento de baixo tráfego. O material analisado tem origem na cidade de Guaratinguetá-SP e é produzido pela usina da prefeitura da cidade. Como apoio à análise dos agregados base do estudo, é feita uma comparação com materiais produzidos pela usina AB Soluções Ambientais, que apresentam características diferenciadas.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe, a indústria da construção civil brasileira produziu em 2010 aproximadamente 31 milhões de toneladas de resíduos devido à construção e demolição. Neste mesmo ano, entrou em vigor a lei que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tende a reduzir a geração de resíduos e também divide a responsabilidade sobre a destinação final do material.

Os resíduos da construção civil possuem uma composição altamente variada, desde materiais cerâmicos até argamassas e papéis, o que dificulta a sua reutilização. A separação dos materiais com vista à reciclagem é feita, em grande parte, manualmente, o que a torna morosa e onerosa.

Devido a problemas com a fiscalização, os resíduos de construção e demolição geralmente param em deposições clandestinas, tanto no Brasil quanto no exterior (PINTO, 1999). A utilização dos resíduos em pavimentação é uma alternativa que busca diminuir os impactos causados no meio ambiente, como também, diminuir o custo da execução.

Um pavimento completo possui uma camada de sub-leito, regularização do sub-leito, reforço do sub-leito, sub-base, base e revestimento. A estrutura de um pavimento deve ter resistência e distribuir as cargas verticais que recebe, propiciando conforto aos usuários e apresentando durabilidade. Assim, é necessário que os materiais que compõem as camadas de um pavimento enquadrem-se nas exigências mínimas encontradas nas normas.

2. OBJETIVO

O trabalho objetivou avaliar e comparar algumas características físicas de um agregado produzido a partir de resíduos de construção e demolição pela Prefeitura do município de Guaratinguetá, com uma usina na cidade de Pindamonhangaba, para uso em pavimento urbano de baixo volume de tráfego.

3. METODOLOGIA

Para o estudo do uso em pavimento de baixo tráfego, têm-se como material analisado os resíduos de construção e demolição. Os agregados utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram coletados na usina de produção de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição, de propriedade da Prefeitura Municipal de Guaratinguetá (PMG). Nesta usina, os resíduos utilizados são oriundos somente da cidade de Guaratinguetá, e coletados por empresas particulares, cadastradas na prefeitura, que os recolhem através de caçambas e depois despejam na usina localizada no bairro Santa Luzia. Os coletores, para poderem depositar o entulho nas dependências da usina, efetuam o pagamento de uma pequena taxa à prefeitura. Através da Figura 1 apresenta-se uma visão geral da área da usina.



Figura 1 - Local de deposição dos resíduos na usina. Data de registro da imagem: 16/06/2011. Fonte: Autora.

Após coletados, os agregados de resíduos de construção e demolição (RCD's) foram encaminhados ao laboratório de Transportes da FEG-UNESP. No laboratório, foram retirados os materiais poluentes, tais como ferro, vidros, papéis, e madeiras e submetidos à ensaios de granulometria, conforme o Método de Ensaio DNER-ME 083/98 (Agregados – análise granulométrica).

Posteriormente, considerando-se que a NBR 15115 (2004) especifica que para o agregado graúdo, a fração retida na peneira 4,8 mm (no 4), a porcentagem de grãos de forma lamelar, obtida nas amostras de ensaios não pode ser superior a 30%, procedeu-se ao estudo da forma do agregado, a qual pode ser alongada, esférica, cúbica ou lamelar. Por serem os agregados lamelares quebradiços, quando sofrem a aplicação de uma carga, procura-se não utilizá-los em pavimentação ou limitar sua participação. A determinação da forma da fração graúda (> 4,8mm) foi realizada como especificado na NBR 6954 (1989). Medindo-se a espessura, a largura e o comprimento grãos, classifica-se o material como sendo cúbico, alongado, lamelar ou alongado-lamelar.

Devido os agregados produzidos na usina não se enquadrarem nas faixas granulométricas estabelecidas na Norma DNIT 141/2010 ES (Pavimentação – base estabilizada granulometricamente) e, também, não atenderem as condições estabelecidas na NBR 15115 (2004), quanto às características físicas desejáveis, procedeu-se à preparação de amostras de forma a enquadrá-las nas faixas A, C e E da Norma DNIT 141/2010 ES. A escolha destas faixas decorreu do interesse em avaliar-se o potencial para emprego dos agregados em pavimentos com diferentes níveis de solicitação de tráfego, uma vez que a citada norma recomenda as faixas A e C para pavimentos submetidos a números de repetições do eixo padrão superiores a 5×10^6 , e a faixa E para pavimentos com números de solicitações inferiores a 5×10^6 .

Posteriormente foram realizados ensaios de compactação Proctor (NBR 7182/84) em diferentes níveis de energia de compactação, obtendo-se os correspondentes valores de teores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo. Na sequência, foram realizados ensaios de capacidade de suporte CBR (DNER-ME 050/64) moldando-se corpos-de-prova na energia normal e intermediária. A energia modificada não foi adotada por objetivar-se neste estudo, a utilização dos agregados RCDs em pavimentos de baixo tráfego, e esta energia é comumente adotada em pavimentos sujeitos a elevadas intensidades de tráfego. Os corpos de prova para os ensaios CBR foram compactados nas condições de teor de umidade ótima e massa específica aparente seca, obtidas nos ensaios de compactação Proctor.

Para cada conjunto de amostras, representativas das três faixas granulométricas (A, C e E), constantes na norma DNIT 141/2010 ES, foram moldados três corpos de prova para cada condição de energia de compactação (normal e intermediária). Após a moldagem, estes foram armazenados em uma caixa d'água com pó de serra úmido, conforme ilustra a Figura 2, objetivando a manutenção do teor de umidade de moldagem durante o período de cura.



Figura 2 – Corpo de prova para ensaio CBR durante o processo de envolvimento no pó de serra. Fonte: Autora.

Para cada condição faixa e energia de compactação, três corpos de prova foram mantidos em processo de cura durante 30, 60 e 90 dias, e o quarto foi ensaiado conforme os procedimentos normais, ou seja, após 4 dias em imersão em água. Enfatiza-se que, o tempo de cura é considerado como o tempo de armazenamento no pó de serra, excluindo-se os 4 dias de imersão em água.

No prosseguimento da pesquisa, objetivando-se avaliar as alterações na granulometria após a compactação, foi determinado o índice de degradação de Ruiz (ID) para as amostras representativas das três faixas granulométricas da norma DNIT 141/2010 ES, consideradas neste estudo. O índice de degradação de Ruiz é obtido a partir do somatório dos deslocamentos Δ_i da curva granulométrica em cada peneira, dividido pelo número de peneiras usadas no ensaio (BUZATTI, 1987). O ID é obtido pela expressão (1):

$$ID = \frac{\sum \Delta_i}{n} \quad (1)$$

Onde:

ID: índice de degradação de Ruiz;

n: número de peneiras utilizadas no ensaio; e

Δ_i : deslocamentos da curva granulométrica.

Inicialmente, foram determinadas as distribuições granulométricas do material, sem sofrer compactação. Posteriormente, as amostras foram compactadas em moldes com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, nas energias normal e intermediária. Após a compactação o material foi desmoldado, levemente destorroado e submetido à lavagem na peneira 0,075 mm. Os ensaios de granulometria foram executados de acordo com a DNER-ME 083/98 (1998).

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Conforme definição da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n° 307, de 5 de Julho de 2002, os resíduos de construção e demolição (RCD) são aqueles provenientes das construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, e os resultados da preparação e escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc, comumente chamados de entulhos de obra, caliça ou metralha.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 15114 (2004), os resíduos de construção e demolição são classificados em quatro classes:

- Classe A - São os resíduos reutilizáveis ou reciclados como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, etc), argamassas e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidos nos canteiros de obras;

- Classe B - São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, etc;

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

- Classe D - São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: amianto, tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

-

A reciclagem de resíduos da construção e demolição (RCD), além de ser uma contribuição para a preservação dos recursos naturais limitados, também pode ser vista como uma fonte de faturamento. Em caráter público, a gestão adequada de RCD's pode acarretar:

- Redução de custos de limpeza urbana e recuperação das áreas degradadas;
- Preservação de sistemas de aterro;
- Redução dos impactos provenientes de exploração de jazidas naturais de agregados para a construção;
- Preservação de paisagens urbanas;
- Incentivo a parcerias da geração nas atividades construtivas.

Os RCD's são classificados, geralmente, como materiais inertes. Porém, quando reciclados de modo correto, apresentam propriedades físicas e químicas apropriadas para seu emprego como material de construção. Os resíduos são compostos basicamente de:

- Concretos, argamassas e rochas, que apresentam bom potencial para reciclagem;
- Blocos, tijolos e cerâmicas, que também possuem bom potencial de reutilização, sem a necessidade de sofisticação em seu tratamento;
- Solos, areias e argilas;
- Asfalto, que pode ser utilizado em obras viárias;
- Metais ferrosos, que podem ser reciclados pelo setor de metalurgia;
- Madeiras (material parcialmente reciclável, que merece atenção quando estiver protegido por impermeabilizantes e vernizes);
- Outros materiais.

Pinto (1998) aponta que os resíduos de construção apresentam alguns componentes com propriedades relevantes para o desempenho de materiais de construção, entre os quais partículas de cimento e cal não-inertizadas e partículas finas de material cerâmico com potencial pozolânico. Sobre sua forma e textura, o agregado reciclado é uma mistura de

agregado graúdo e agregado miúdo, obtido da britagem. A porcentagem de cada fração está diretamente ligada a características como granulometria e o diâmetro máximo do agregado produzido pelo britador.

Geralmente, o agregado reciclado apresenta uma forma mais irregular e uma textura superficial mais áspera e porosa. Dentre as aplicações dos agregados reciclados, destacam-se os materiais destinados a base e sub-base de pavimentos, aterros, agregados para concretos e argamassas e materiais para a fabricação de tijolos e blocos de concreto ou solo-cimento. O uso de agregado reciclado em camadas de pavimentos urbanos tem sido uma das maneiras mais difundidas para o seu fim. O aproveitamento deste material em pavimentação apresenta muitas vantagens como utilização de quantidade significativa de material reciclado, tanto na fração miúda quanto na graúda; simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária). Todos estes aspectos contribuem para a redução dos custos, a difusão dessa forma de reciclagem e a possibilidade de uso dos diversos materiais componentes do resíduo (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.).

As camadas de base e sub-base, produzidas com agregado reciclado, apresentam custo de construção significativamente menor do que as produzidas com brita graduada ou adicionada ao solo. A sub-base é uma camada situada entre o reforço ou regularização do subleito e a camada de base da estrutura de um pavimento. A camada de base é a parte da estrutura do pavimento situada imediatamente abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito. Base reciclada é uma mistura em campo de materiais de pavimentos existentes mais agregados adicionais e água. Estes materiais são espalhados, misturados e compactados formando assim a base reciclada de pavimentos. A investigação sobre o uso dos RCD's em obras de pavimentação foi iniciada por técnicos da Prefeitura Municipal de São Paulo/ SP, no ano de 1989, tendo sido ancorada em metodologias que consideram as características específicas dos solos tropicais típicos.

Em 2003, a Prefeitura Municipal de São Paulo, concebeu sua própria especificação relacionada ao uso de agregados reciclados em camadas de pavimentos, a PMSP/SP ETS – 001/2003. Esta foi a primeira norma brasileira desenvolvida para essa finalidade. Atualmente, no Brasil, realiza-se o aproveitamento dos RCD na construção de base e sub-base de acordo com as especificações das normas da ABNT NBR 15115/04 e ABNT-NBR 15116/04.

Os principais resultados produzidos pela reciclagem do entulho são benefícios ambientais. A equação da qualidade de vida e da utilização não predatória dos recursos naturais é mais importante que a equação econômica. Os benefícios são conseguidos não só

por se diminuir a deposição em locais inadequados (e suas consequências indesejáveis já apresentadas) como também por minimizar a necessidade de extração de matéria-prima em jazidas, o que nem sempre é adequadamente fiscalizado. Reduz-se, ainda, a necessidade de destinação de áreas públicas para a deposição dos resíduos.

As experiências indicam que é vantajoso também economicamente substituir a deposição irregular do entulho pela sua reciclagem. O custo para a administração municipal é de US\$ 10 por metro cúbico clandestinamente depositado, aproximadamente, incluindo a correção da deposição e o controle de doenças. Estima-se que o custo da reciclagem representa, aproximadamente, 25% desses custos. A produção de agregados com base no entulho pode gerar economias de mais de 80% em relação aos preços dos agregados convencionais.

Em relação à caracterização física do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição, a NBR 15115 (2004) determina que a curva granulométrica tenha um Coeficiente de Uniformidade (Cu), que é a razão entre os diâmetros que correspondem a 60% e a 10% passantes na curva granulométrica, maior ou igual a 10. A norma também define que a granulometria passante na peneira 0,42mm (no. 40) deve ficar entre 10% e 40%. A curva granulométrica deve garantir que a distribuição seja contínua, facilitando o embricamento entre os grãos menores e maiores.

A NBR 15115 (2004) especifica valores mínimos de ISC e máximos de expansão, conforme Tabela 1, para as diferentes aplicações em camadas de pavimentos.

Tabela 1 – Limites de ISC e expansão. Fonte: Apud NBR 15115 (2004).

Tipo de Camada	ISC (%)	Expansão (%)
Reforço do sub-leito	≥ 12	$\leq 1,0$
Sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$
Base	≥ 60	$\leq 0,5$

3.2. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NA USINA DE PRODUÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ.

Os procedimentos operacionais observados na usina de produção de agregado reciclado de resíduos sólidos de construção e demolição, da Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, SP, podem ser resumidos através dos relatos abaixo:

Quando o material chega à usina, é feita a primeira separação, retirando-se os resíduos indesejados, como madeiras, materiais metálicos, papéis, plásticos e outros. Após, uma segunda separação é feita outra para garantir a melhor composição do material final, antes da alimentação do equipamento que realizará a britagem.

Após as duas separações prévias do material, este é depositado em um novo local, de onde um trator retira os resíduos e os põe na máquina.

No britador, o material primeiramente passa por uma peneira, chegando até a parte chamada de primário da máquina. Depois vai até a parte secundária localizada na parte mais baixa da máquina onde tem uma correia transportadora que carrega o material até um local mais alto, onde o material é separado de acordo com três peneiras. Através das figura 3 é apresentado alguns detalhes do equipamento.



Figura 3 – Vista geral do equipamento. Data de registro da imagem: 16/06/2011. Fonte: Autora.

Após passar pelas três peneiras finais, os resíduos ficam depositados em montes de acordo com os tamanhos dos grãos.

São produzidos aproximadamente de 15 a 20 caminhões (porte médio) de agregados diariamente, dentre brita no 1, pedrisco e pó de pedra. Atualmente, a utilização destes produtos pela PMG restringe-se à manutenção das estradas rurais do município.

Destaca-se que, em decorrência de falhas nos processos de retiradas de materiais contaminantes, principalmente, metálicos, o britador apresenta avançado estado de deterioração, prejudicando a qualidade final do agregado produzido.

4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Inicialmente, apresenta-se através das figuras 4 e 5 os aspectos gerais das amostras de brita 1 e pedrisco, coletadas na usina da PMG.



Figura 4 – Aspecto geral da amostra de brita 1. Fonte: Autora.



Figura 5 – Aspecto geral da amostra de pedrisco. Fonte: Autora.

Avaliando-se visualmente a composição do agregado RCD, após a britagem preliminar, antes de obter-se a brita 1 e o pedrisco, pode-se estabelecer as proporções indicadas na Figura 6. Destaca-se a grande heterogeneidade do material, com grande participação de materiais cimentícios (concreto e argamassa), materiais asfálticos, brita e materiais cerâmicos.

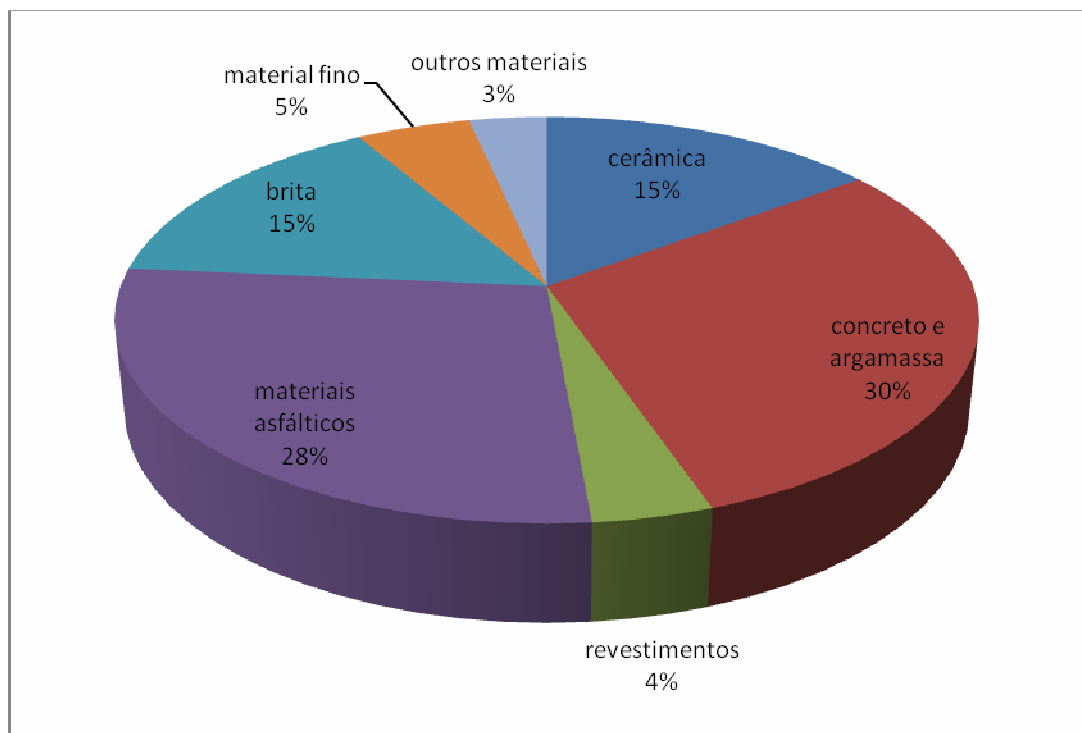


Figura 6 – Composição física do agregado coletado após a britagem preliminar.

Na Figura 7 apresentam-se as curvas de distribuição granulométrica da brita 1 e do pedrisco, e na Tabela 2 algumas características destas curvas granulométricas.

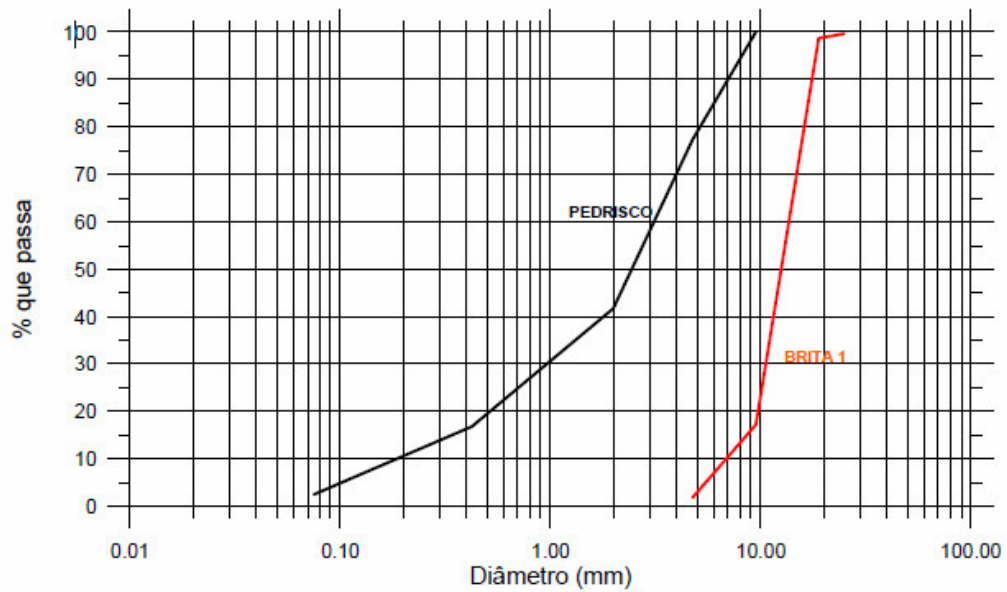


Figura 7 – Curvas granulométricas das amostras de agregados RCD, coletados na usina da PMG

Tabela 2 - Características granulométricas das amostras de agregados RCD.

	Brita nº 1	Pedrisco
Cu	2,86	15,0
% que passa # nº40 (0,42mm)	1,0	17,0

Confrontando-se os resultados obtidos, indicados na Tabela 2, com as exigências constantes da NBR 15115 (2004), observa-se que a brita nº 1 produzida na usina da PMG não atende os requisitos estabelecidos na citada norma, pois apresenta percentuais de materiais passante na peneira nº 40 e coeficiente de uniformidade (Cu) inferiores aos preconizados. Já o pedrisco, que, conforme se observa na Figura 7, é constituído de mistura de materiais agregados e finos, apresenta parâmetros granulométricos que atendem os limites impostos na NBR 15115 (2004).

Através da Figura 8, apresentam-se as curvas granulométricas das amostras de brita no. 1 e pedrisco, e os limites das Faixas A, C e E indicadas na Norma DNIT 141/2010 ES.

Observa-se que os agregados produzidos na usina da PMG possuem distribuições granulométricas que não se enquadram nos limites estabelecidos nas citadas faixas.

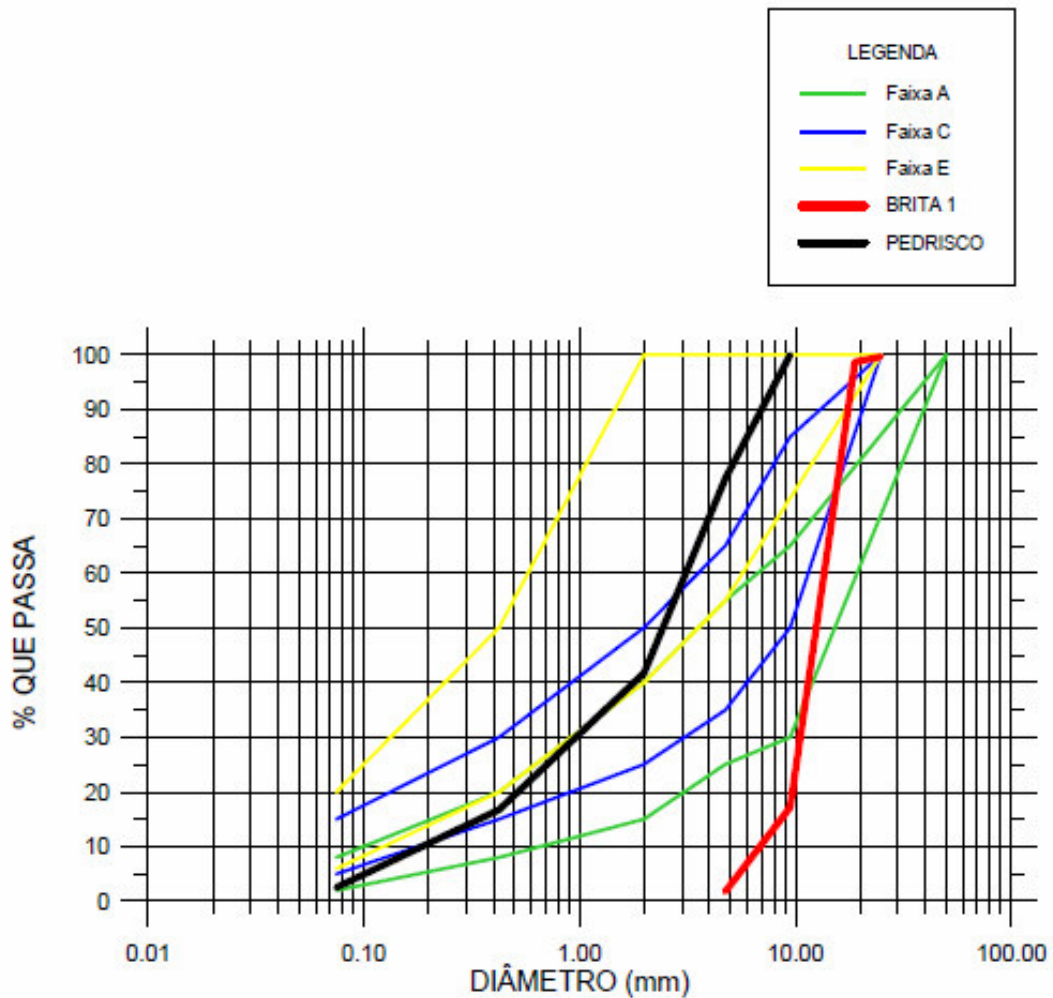


Figura 8 – Curvas de distribuição granulométricas das amostras de brita nº 1, pedrisco e limites das Faixas A, C e E estabelecidas na Norma DNIT 141/2010 ES

Face ao exposto, para o prosseguimento da pesquisa, optou-se pela composição de amostras em laboratório, de forma que as curvas de distribuição granulométrica representassem as curvas médias das faixas A, C e E da Norma DNIT 141/2010 ES.

Utilizando-se um conjunto de peneiras, separou-se o material conforme foram retidos nas peneiras. Os aspectos físicos dos materiais podem ser observados nas figuras 9 a 14.



Figura 9 - Material retido na peneira de 9,5 mm



Figura 10 - Material retido na peneira de 4,8 mm



Figura 11 - Material retido na peneira de 2,0 mm

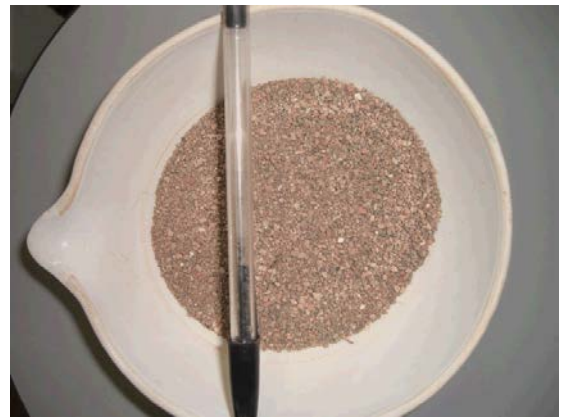


Figura 12 - Material retido na peneira de 0,42 mm



Figura 13 - Material retido na peneira de 0,075 mm



Figura 14 - Material que passou na peneira de 0,075 mm

Após preparadas, as amostras foram submetidas à ensaios de compactação (sem reuso de material), para a determinação dos respectivos valores de peso específico seco máximo (γ_{dmax}) e umidade ótima (ω_o). Esses ensaios foram realizados de acordo com o descrito na norma NBR 7182/84, nas energias normal, intermediária e modificada. Através da Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de compactação Proctor

AMOSTRA	COMPACTAÇÃO PROCTOR					
	ENERGIA NORMAL		ENERGIA INTERMEDIÁRIA		ENERGIA MODIFICADA	
FAIXA	γ_{dmax} (kN/m ³)	ω_o (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	ω_o (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	ω_o (%)
A	16,9	11,5	17,3	10,5	17,8	10,0
C	17,3	13,2	18,0	10,5	19,0	10,0
E	15,9	17,4	16,3	14,0	16,8	13,2

Analisando-se a Tabela 3, verifica-se que os resultados obtidos apresentam-se consistentes, pois, para energias de compactação crescentes observa-se o aumento do peso específico seco máximo e redução do teor de umidade ótima.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as amostras enquadradas nas faixas estabelecidas anteriormente. Nenhum corpo de prova apresentou expansão, tanto na energia normal quanto na energia intermediária.

A partir resultados, nota-se que, com o aumento dos dias de cura, o índice demonstra crescimento elevado, para as faixas A e C em ambas as condições de energia de compactação. Para a faixa E, a maior influência do tempo de cura no crescimento do índice de suporte foi notada na condição de energia intermediária.

Tabela 4 - Resultados do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

Faixa	Tempo de Cura	Índice de Suporte Califórnia (%)	Expansão (%)
-------	---------------	----------------------------------	--------------

		Energia Normal	Energia Intermediária	Energia Normal	Energia Intermediária
A	4	17	32	0	0
	30	25	37	0	0
	60	34	45	0	0
	90	40	46	0	0
C	4	19	34	0	0
	30	24	36	0	0
	60	35	44	0	0
	90	38	47	0	0
E	4	12	11	0	0
	30	12	13	0	0
	60	13	17	0	0
	90	16	20	0	0

Os resultados dos ensaios que permitiram avaliar as alterações na granulometria das amostras, após a compactação, são apresentados através das figuras 15, 16 e 17. Na Tabela 5 apresentam-se os valores de ID e de outras características observadas nas curvas granulométricas. Na Tabela 6 confrontam-se alguns parâmetros das curvas obtidas com os limites estabelecidos na NBR 15115 (2004).

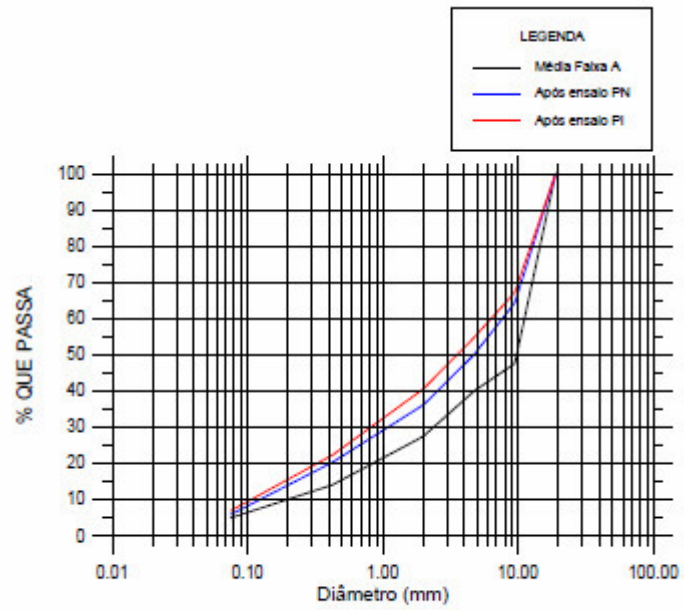


Figura 15- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa A.

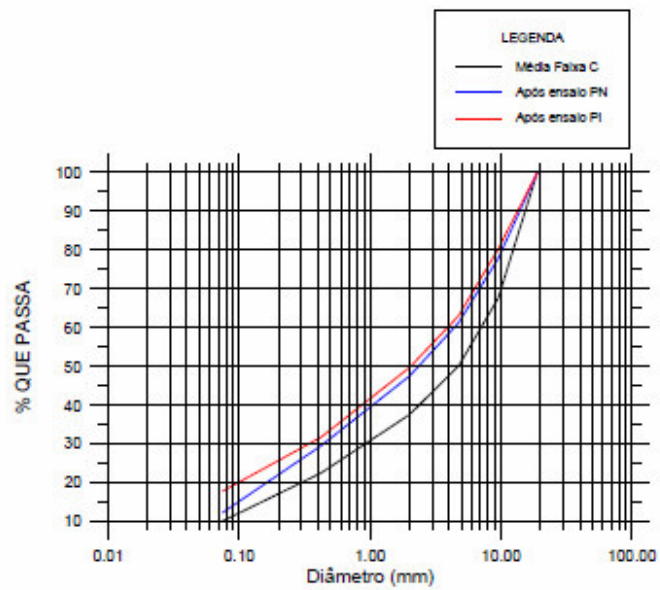


Figura 16- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa C.

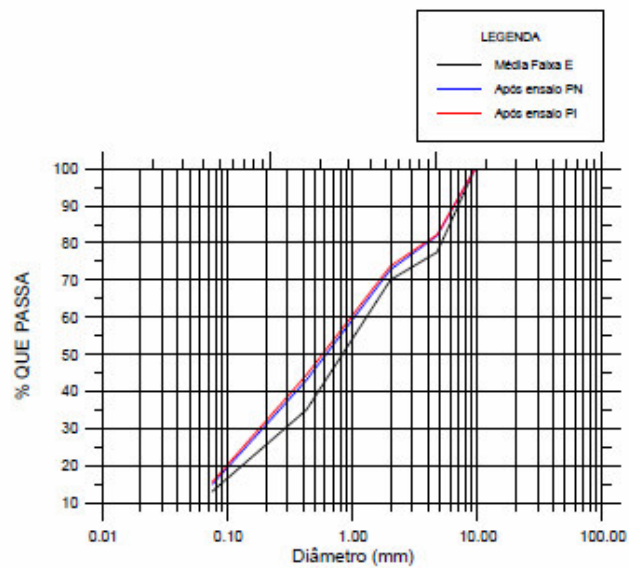


Figura 17- Comparativo granulométrico antes e após a compactação do material composto Faixa E.

Nota-se que quanto maior é a energia de compactação empregada, maior é a porcentagem de grãos passantes em peneiras com menores dimensões de malha. Os gráficos são simplificados pelas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Índice de degradação de Ruiz.

Faixa	Parâmetros	Energia empregada	
		Normal	Intermediária
A	Índice de degradação de Ruiz (ID)	8,5	11,6
	Deslocamento máximo	16,8 (#19,0mm)	19,7 (#19,0mm)
	Deslocamento mínimo	0,8 (#0,075mm)	1,9 (#0,075mm)
	Desvio padrão	5,7	6,7
C	Índice de degradação de Ruiz (ID)	8,2	11,0
	Deslocamento máximo	11,2 (#4,75mm)	12,9 (#4,75mm)
	Deslocamento mínimo	2,3 (#0,075mm)	7,7 (#0,075mm)
	Desvio padrão	3,6	2,3
E	Índice de degradação de Ruiz (ID)	4,3	5,1
	Deslocamento máximo	8,0 (#0,425mm)	9,5 (#0,425mm)
	Deslocamento mínimo	1,9 (#0,075mm)	2,5 (#0,075mm)
	Desvio padrão	2,7	3,0

Tabela 6 - Valores obtidos e limites fixados pela NBR-15115 (2004) com relação à graduação .

Faixa	Condição	Dimensão característica máxima dos grãos (mm)	Porcentagem que passa na peneira 0,42 mm	Coefficiente de Uniformidade Cu
A	Inicial	20,0	14,0	55
	Após compactação	20,0	20,2 (PN) – 22,3 (PI)	61,5 (PN) – 70 (PI)
	NBR-15115 (2004)	63,5	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10
C	Inicial	20,0	22,5	100
	Após compactação	20,0	29,5 (PN) – 31,7 (PI)	70 (PN) – 195 (PI)
	NBR-15115 (2004)	63,5	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10
E	Inicial	10,0	35,0	21,7
	Após compactação	10,0	43,1 (PN) – 44,5 (PI)	20 (PN) – 19 (PI)
	NBR-15115 (2004)	63,5	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10

PN: Proctor Normal; PI: Proctor Intermediário.

Da análise dos resultados apresentados observou-se que o agregado reciclado é suscetível à quebra pelo processo de compactação. Isto faz com que aumente a fração fina, como pôde ser visto em distinção nas Figuras 15, 16 e 17. Nota-se, também, através da Tabela 5, que o ID cresce com o aumento da energia de compactação. Para todas as faixas granulométricas estudadas, as menores modificações ocorreram na peneira 0,075mm, tanto para a energia normal como para a intermediária. Os deslocamentos máximos, para as faixas A, C e E, nas duas condições de energia de compactação, ocorreram, respectivamente, nas peneiras 19,0 mm, 0,475 mm e 0,425 mm.

Os valores de ID obtidos foram bastante elevados, notadamente para as faixas A e C, que são constituídas por agregados de maiores dimensões. Na Tabela 6 observa-se que houve uma significativa alteração nos valores de porcentagem passante na peneira 0,42 mm e de coeficiente de uniformidade (Cu). Mesmo ocorrendo valores elevados de ID após a compactação, as amostras representativas das faixas A e C atenderam os limites estabelecidos na NBR 15115 (2004) em relação à graduação. A amostra da faixa E apresentou porcentagem de partículas passante através da peneira de 0,42mm, superior ao limite máximo estabelecido na NBR 15115 (2004).

LEITE et al (2007), estudando a influência da composição e da energia de compactação nas propriedades físicas e mecânicas de agregado RCD, obtiveram para agregados do tipo misto, composto por cinco grupo de materiais, conforme indicado na Tabela 7, os valores de ID apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Porcentagem em massa dos materiais presentes na fração graúda do agregado reciclado de Santo André. Fonte: LEITE et al (2007).

Natureza do Material	Concentração (%)
Cimentícios	55,3
Brita	11,8
Telhas/Tijolos	15,9
Pisos/Azulejos	13,5
Resíduos Indesejáveis	3,5

Tabela 8 - Índice de degradação de Ruiz para o agregado reciclado de Santo André. Fonte: LEITE et al. (2007).

Parâmetros	Energia Empregada	
	Intermediária	Modificada
Índice de degradação Ruiz (ID)	3,7	6,3
Deslocamento máximo	5,1 (#0,60mm)	8,1 (#25,0mm)
Deslocamento mínimo	1,5 (#0,075mm)	5,1 (#0,075mm)
Desvio padrão	1,3	1,0

Comparando-se os resultados obtidos neste estudo com os apresentados por LEITE et al. (2007), notou-se que os resultados correspondentes à energia de compactação intermediária, possuem uma grande diferença nos valores ID e que devem-se, provavelmente, às diferenças de composições dos agregados utilizados. Pode-se, com base nesta comparação, inferir que agregados com maiores percentuais de materiais pétreos e cimentícios apresentem menores índices de degradação.

5. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS PELA EMPRESA AB SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA.

A usina de reciclagem da empresa AB Soluções Ambientais está localizada na cidade de Pindamonhangaba, SP, e produz agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) e agregados reciclados de concreto (ARC).

Com foco na comercialização desses agregados, foi realizado um estudo através do FDCT – Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo Professor Doutor Luiz Eduardo de Oliveira, onde foram analisadas as características físicas e mecânicas do material. Com base neste relatório, foram apresentadas as principais propriedades dos materiais produzidos.

Na Figura 18 é possível visualizar as máquinas utilizadas para a produção dos agregados que possuem sistema separador de diferentes granulometrias.



Figura 18 - Usina móvel para produção de agregados de RCD. Fonte: OLIVEIRA (2013).

Nas figuras 19 a 22 são apresentados os agregados de RCD coletados na usina no dia 14 de novembro de 2012. O material é bastante heterogêneo, característica comum desse tipo de resíduo e que influencia no resultado dos ensaios.



Figura 19 - Amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 20 - Amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 21 - Amostra 3. Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 22 - Amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)

A segunda coleta ocorreu no dia 12 de março de 2013. Os materiais coletados neste dia apresentaram uma homogeneidade significativa, além da separação do material por granulometria. Nas figuras 23 a 26 é possível ver as características físicas dos materiais.



Figura 23 - Amostra 6 (Brita 1). Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 24 - Amostra 7 (Brita 2). Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 25 - Amostra 7 (Pedrisco). Fonte: OLIVEIRA (2013)



Figura 26 - Amostra 8 (Pó). Fonte: OLIVEIRA (2013)

Foi efetuada uma separação visual dos materiais da amostra de acordo com a sua natureza. Os grãos com dimensão inferior a 4,76 mm foram classificados como materiais finos. Na Tabela 9 é apresentada a composição de todas as amostras coletadas na usina. Notou-se que as amostras 5, 6, 7 e 8 são compostas somente por material cimentício, porém durante a separação foram encontrados pequenos pedaços de madeira e plástico.

Tabela 9 - Composição das amostras de agregado. Fonte: OLIVEIRA, 2013

Amostra	Material Cimentício (%)	Material Cerâmico (%)	Reboco (%)	Brita (%)	Material Indesejável (%)	Material Fino (%)
1	50,0	23,0	21,0	3,0	3,0	0
2	10,0	15,0	10,0	5,0	0	60,0
3	25,0	20,0	30,0	0	7,0	18,0
4	98,0	2,0	0	0	0	0
5, 6, 7 e 8	100,0	0	0	0	0	0

As curvas de distribuição granulométrica são apresentadas nas figuras 27 a 34. Durante a análise da amostra 6, foram desconsiderados os grãos com dimensão superior a 63,5mm, devido a baixa ocorrência considerando o volume total da amostra.

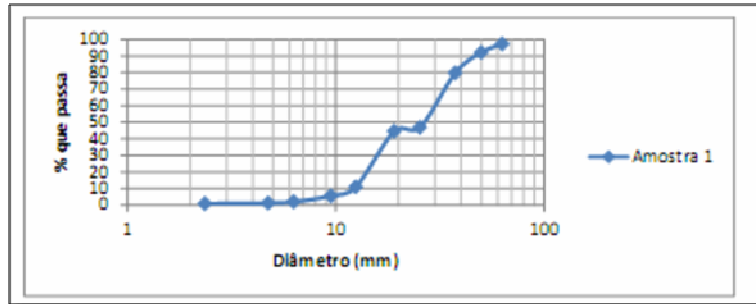


Figura 27- Curva granulométrica da amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)

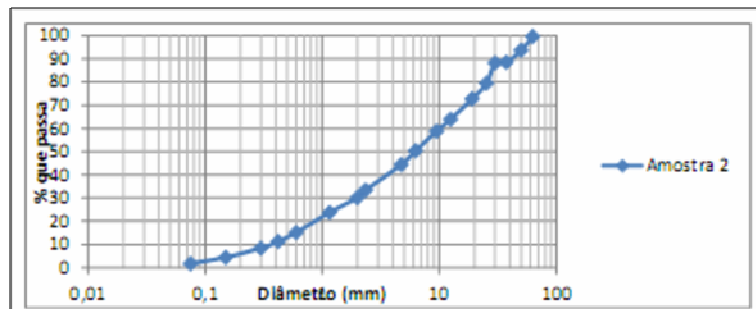


Figura 28 - Curva granulométrica da amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)

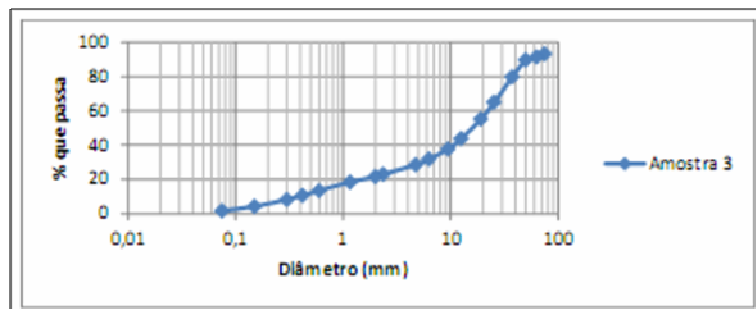


Figura 29 - Curva granulométrica da amostra 3. Fonte: OLIVEIRA (2013)

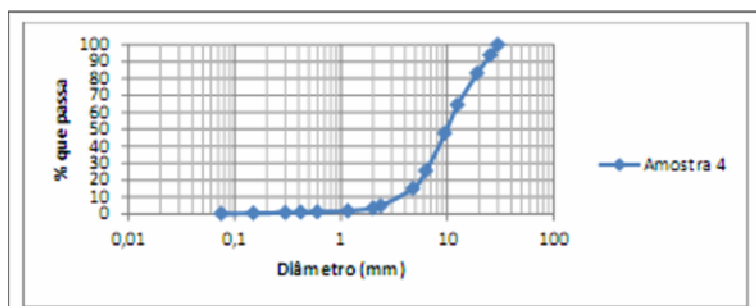


Figura 30 - Curva granulométrica da amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)

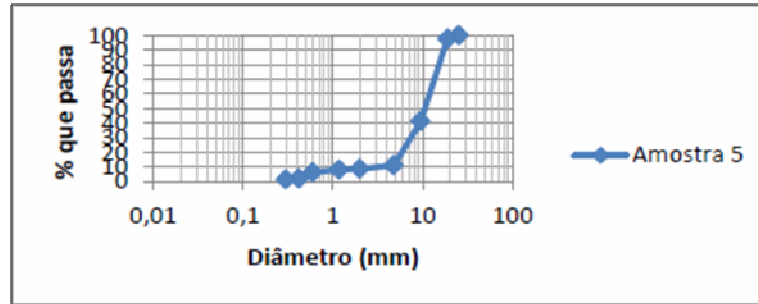


Figura 31 - Curva granulométrica da amostra 5. Fonte: OLIVEIRA (2013)

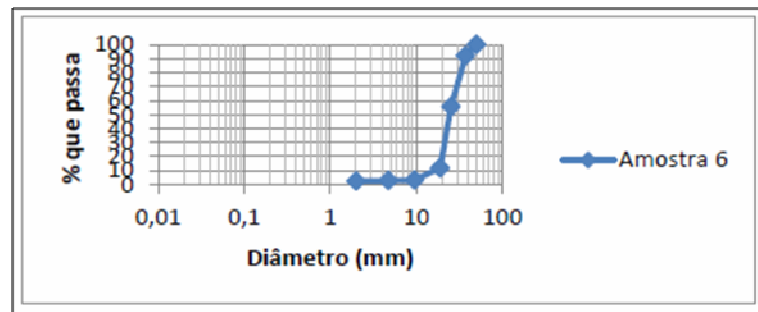


Figura 32 - Curva granulométrica da amostra 6. Fonte: OLIVEIRA (2013)

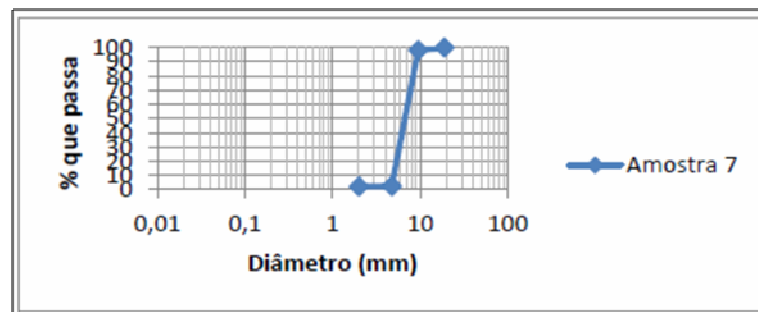


Figura 33 - Curva granulométrica da amostra 7. Fonte: OLIVEIRA (2013)

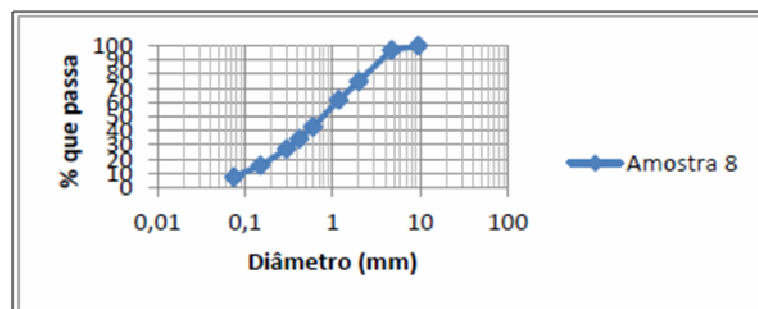


Figura 34 - Curva granulométrica da amostra 8. Fonte: OLIVEIRA (2013)

Com base nas curvas granulométricas das amostras estudadas, obteve-se o coeficiente de uniformidade (C_u) e as porcentagens passantes nas peneiras de número 4 (0,42mm) e 200 (0,075mm). Ainda foram definidas as dimensões máximas dos grãos de cada amostra.

Na Tabela 10, verifica-se que a amostra 3 apresenta uma pequena parcela de seus grãos com dimensão superior a 63,5mm, diâmetro máximo estabelecido pela NBR 15115 (2004). As amostras 1, 4, 5, 6 e 7 possuem coeficiente de uniformidade inferior ao mínimo especificado na referida norma. Somente a amostra 2 enquadrou-se em todos os quesitos da NBR 15115 (2004).

Tabela 10 - Características granulométricas das amostras. Fonte: OLIVEIRA (2013)

Parâmetro	Amostra							NBR 15115 (2004)
	1	2	3	4	5	6	7	
d10	12,0	0,37	0,40	4,5	4,0	18,0	4,5	-
d60	30,0	9,6	21,0	12,0	11,0	26,0	7,0	-
Cu (d60/d10)	2,5	25,94	52,5	2,7	2,75	1,44	1,55	≥ 10
%p #40	0,0	11,34	10,6	1,1	2,02	0	0	$10 \leq a \leq 40$
%p #200	0,0	1,74	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	-
Dimensão máxima característica dos grãos (mm)	63,5	63,5	80,0	30,0	25,4	50,0	19,0	63,5

5.1 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E CAPACIDADE DE SUPORTE CBR (SOLUÇÕES AMBIENTAIS)

Aplicando-se os ensaios de compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia, obtiveram-se os resultados de massa específica máxima, umidade ótima, ISC e expansão, apresentados na Tabela 11, para as amostras de RCD.

Conforme é aumentada a intensidade da compactação Proctor, o Índice de Suporte Califórnia sofre um acréscimo significativo. Os valores de ISC foi maior para as amostras 1 e 3 e bem inferior para a amostra 4. Nenhum dos ensaios realizados apresentou expansão em seus corpos de prova.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de compactação Proctor e Índice e Suporte Califórnia (ISC). Fonte: Oliveira (2013)

Amostra	Proctor Normal		Proctor Intermediário		Proctor Modificado		ISC (%) (PN)	ISC (%) (PI)	ISC (%) (PM)	EXP. (%) (PN)	EXP. (%) (PI)	EXP. (%) (PM)
	$\rho_{d_{max}}$	Wót	$\rho_{d_{max}}$	Wót	$\rho_{d_{max}}$	Wót						
	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)						
1	1,77	14	1,80	12	1,84	10	55	76	80	0	0	0
2	1,78	15	1,82	13	1,85	10	36	50	61	0	0	0
3	1,76	16	1,84	14	1,88	9	52	65	70	0	0	0
4	1,75	16	1,77	15	1,80	13	22	26	30	0	0	0

Através das figuras 35 a 41 são apresentadas as curvas granulométricas das amostras antes e após a compactação. Os agregados produzidos a partir de resíduos de construção e demolição são suscetíveis à quebra, principalmente as partículas com dimensões medianas.

Nota-se nas figuras 35 a 38 que a quebra ocorreu ao longo de toda a distribuição granulométrica, com aumento significativo na parcela passante próximo ao diâmetro de 4 mm.

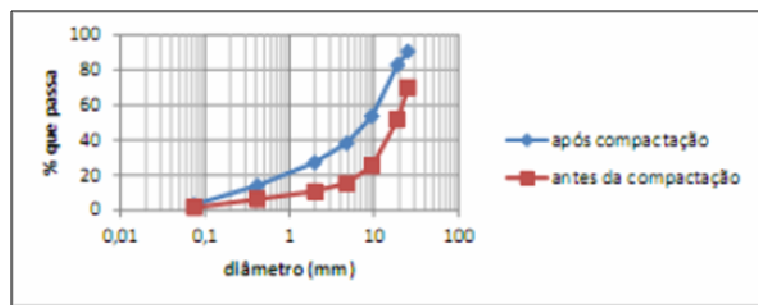


Figura 35 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 1. Fonte: OLIVEIRA (2013)

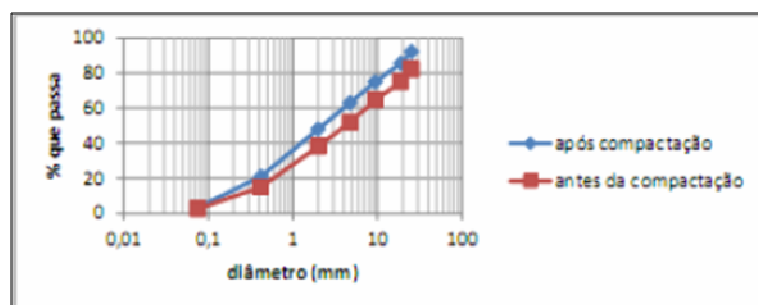


Figura 36 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 2. Fonte: OLIVEIRA (2013)

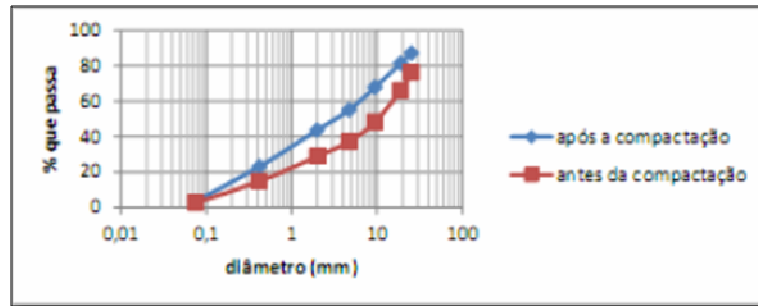


Figura 37 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 3. Fonte: OLIVEIRA (2013)

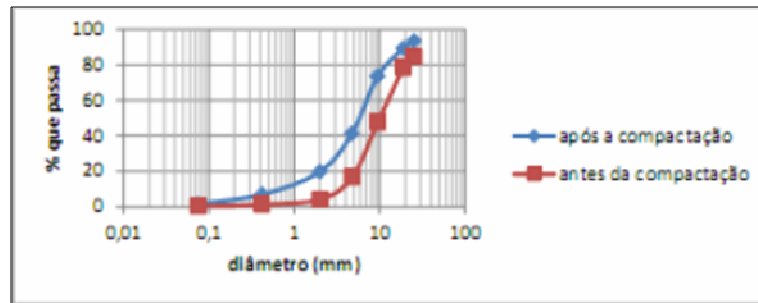


Figura 38 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 4. Fonte: OLIVEIRA (2013)

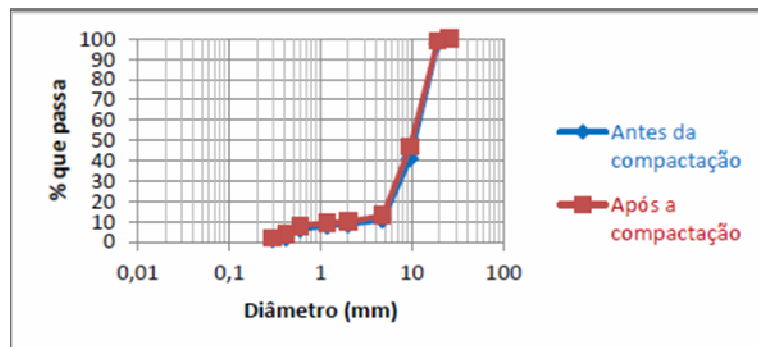


Figura 39 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 5. Fonte: OLIVEIRA (2013)

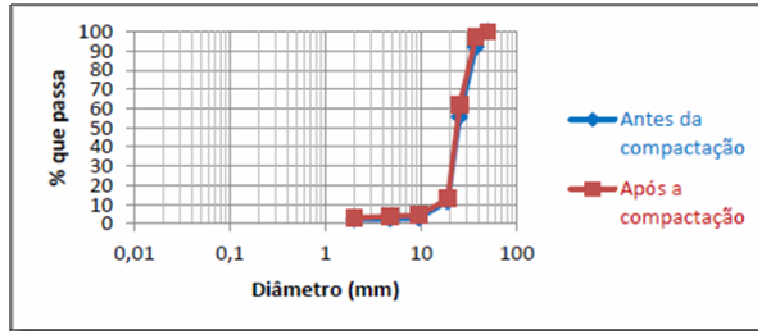


Figura 40 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 6. Fonte: OLIVEIRA (2013)

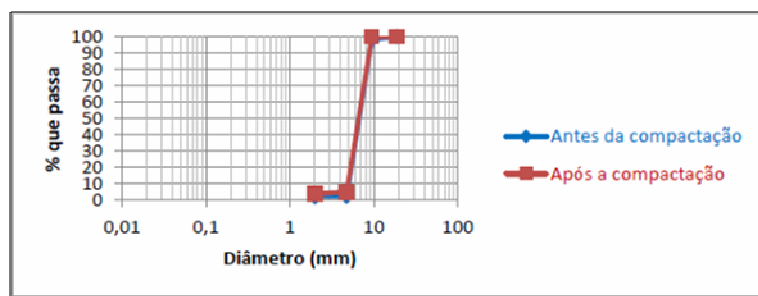


Figura 41 - Curvas de distribuição granulométrica antes e após a compactação. Amostra 7. Fonte: OLIVEIRA (2013)

As amostras 5, 6 e 7, compostas somente por material cimentício apresentaram curva após a compactação muito próxima à distribuição anterior ao ensaio. Na tabela 12, com os valores de índice de degradação (ID), nota-se que as amostras 1, 3 e 4 sofreram alterações mais significativas no tamanho dos grãos. Os agregados de resíduos de concreto (ARC), amostras 5,6,7 e 8, foram os que tiveram menores valores de ID.

Tabela 12 - Valores de índices de degradação (ID). Fonte: OLIVEIRA (2013).

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
ID	21,2	9,7	14,5	15,4	0,8	0,8	0,6

Avaliando-se a distribuição granulométrica das amostras 5,6 e 7, observou-se que os agregados ARC não se enquadram nas faixas delimitadas recomendadas pelas normas. A amostra 8 enquadrou-se na faixa II da especificação DER-SP ET-DE-P00/012 (Sub-base ou base de macadame hidráulico). Para analisar todas as amostras de agregado reciclado de

concreto, foram realizados estudos de estabilização granulométrica utilizando-se o método gráfico de Rothfuchs e os parâmetros da Norma DNIT 141/2010 – ES (Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de Servio) e DER-SP ET-DE-P00/010 (Sub-base ou base de bica corrida).

Com o método Rothfuchs, foram determinadas 3 misturas, com os percentuais apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Composição das misturas determinadas pelo método gráfico de Rothfuchs. Fonte: OLIVEIRA (2013).

Mistura	Faixa	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8
1	Faixa A (DNIT 141/2010 ES)	40%	25%	0%	35%
2	Faixa A (DER-SP ET-DE-P00/010)	25%	25%	0%	50%
3	Faixa B (DNIT 141/2010 ES)	25%	20%	0%	60%

Através das figuras 42, 43 e 44 é verificado que a curva granulométrica das misturas enquadra-se quase que totalmente nos limites das faixas determinadas nas normas.

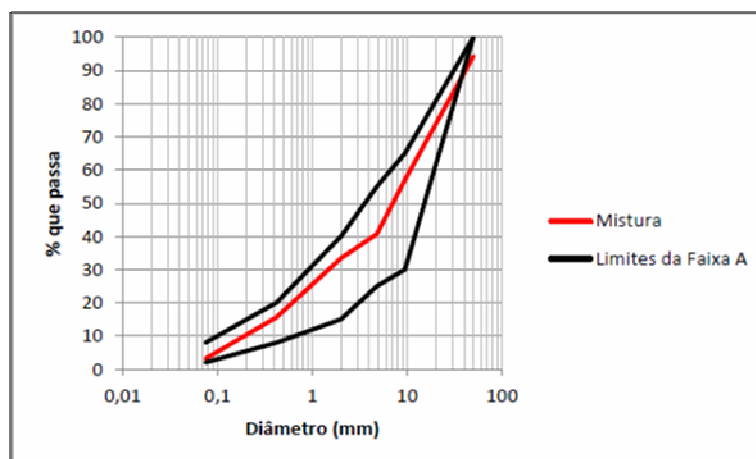


Figura 42 - Curvas granulométricas da mistura 1 e limites da Faixa A (DNIT 141/2010 – ES). Fonte: OLIVEIRA (2012).

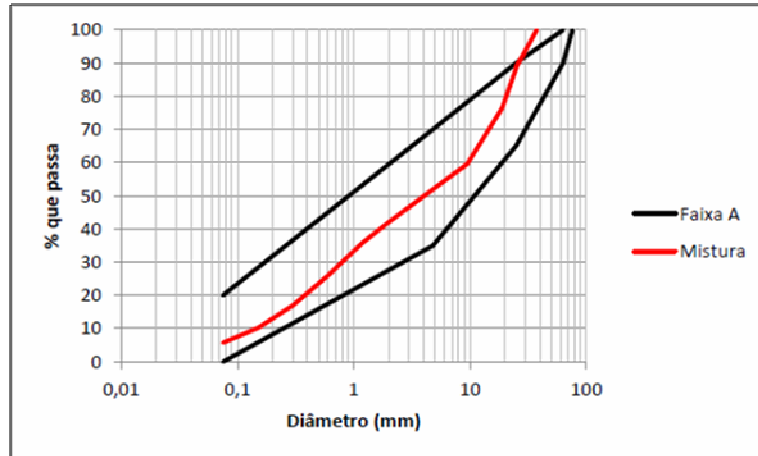


Figura 43 - Curvas granulométricas da mistura 2 e limites da Faixa A (DER-SP ET-DE-P00/010). Fonte: OLIVEIRA (2013).

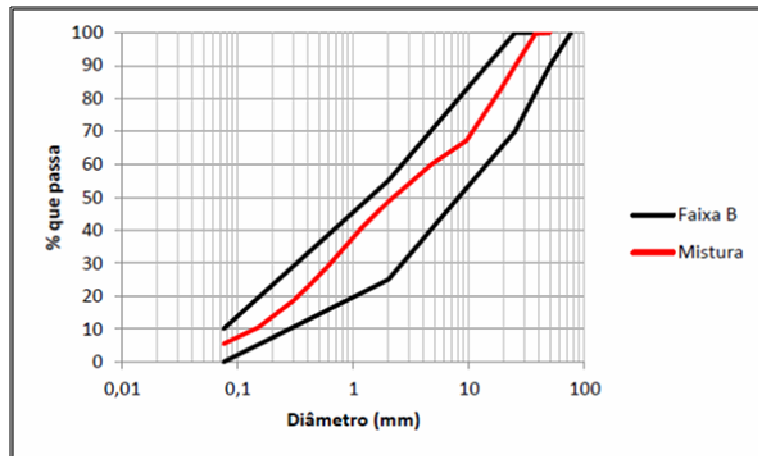


Figura 44 - Curvas granulométricas da mistura 3 e limites da Faixa B (DER-SP ET-DE-P00/010). Fonte: OLIVEIRA (2013).

Após a composição das misturas, foram realizados ensaios de compactação Proctor e de Índice de Suporte Califórnia nas energias intermediária e modificada. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 14.

A energia modificada não é usualmente utilizada para a execução de pavimentos de baixo tráfego, principalmente pelo custo e tamanho dos equipamentos necessários. Pode-se notar que o índice de suporte Califórnia eleva-se significativamente com a utilização desta energia.

Tabela 14- Resultados dos Ensaios de Compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia das misturas 1, 2 e 3. Fonte: OLIVEIRA (2013).

Amostra	Energia	Proctor		ISC	
		Pd (g/cm ³)	Wót (%)	CBR (%)	Expansão (%)
Mistura 1	Intermediária	1,91	9,5	132,0	0,0
	Modificada	1,95	9,0	172,0	0,0
Mistura 2	Intermediária	1,87	11,0	110,0	0,0
	Modificada	1,90	9,5	121,0	0,0
Mistura 3	Intermediária	1,85	11,5	112,0	0,0
	Modificada	1,89	10,0	116,0	0,0

Os valores obtidos de CBR para as misturas compostas de agregado reciclado de concreto foram bem superiores aos índices encontrados para os agregados de RCD. Estes resultados são consistentes, comparando-se os valores encontrados nas referências bibliográficas disponíveis. Conforme OLIVEIRA (2013) verificou, no relatório “The Development of a Performance Specification for Granular Base and Subbase Material”, publicado pela FHWA (2005), o ARC moldado em energia modificada apresentou um CBR de 205%. Ainda utilizando como referência a FHWA (1997), o CBR típico do agregado reciclado de concreto varia entre 94% a 148%, e segundo Saeed, Hammons e Reed (2007), o valor do índice consta entre 94% a 184%.

Notou-se também que nenhuma das misturas apresentou expansão durante os quatro dias de imersão em água, na realização do ensaio CBR.

Analisando o aumento do valor do CBR, a mistura 3 apresentou pequena diferença nos resultados com a aplicação das energias intermediária e modificada, assim, o uso da energia intermediária neste material apresenta melhor eficácia. Já na mistura 1 o resultado obtido é mais significativo, apresentando um aumento de 30% no CBR da amostra com a aplicação da energia intermediária em relação à energia modificada.

6. ANALISE COMPARATIVA ENTRE OS VALORES DE CAPACIDADE DE SUPORTE CBR OBTIDOS NOS DOIS ESTUDOS, FRENTE ÀS RECOMENDAÇÕES DA NORMA NBR-15115 (2004), PARA EMPREGO EM ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS.

Comparando-se os resultados obtidos nos estudos realizados com os resíduos de construção e demolição da usina de Guaratinguetá com os agregados de RCD e ARC produzidos pela usina da empresa AB Soluções Ambientais Ltda, verifica-se que os índices de CBR são muito diferentes. Na tabela 15 verifica-se que todas as amostras foram ensaiadas na energia de compactação intermediária.

Tabela 15 - Comparação entre o CBR dos agregados produzidos na cidade de Guaratinguetá e pela Usina da empresa AB Soluções Ambientais Ltda.

	Amostra	Tempo de Cura	Índice de Suporte Califórnia (%)			
			Energia Normal	Energia Intermediária	Energia Modificada	
MATERIAL PRODUZIDO NA USINA DA PREFEITURA DE GUARATINGUETÁ	Material - Faixa A	4	17	32	-	
		30	25	37	-	
		60	34	45	-	
		90	40	46	-	
	Material - Faixa C	4	19	34	-	
		30	24	36	-	
		60	35	44	-	
		90	38	47	-	
	Material - Faixa E	4	12	11	-	
		30	12	13	-	
		60	13	17	-	
		90	16	20	-	
	MATERIAL PRODUZIDO PELA EMPRESA AB SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA	Amostra 1	4	55	76	80
		Amostra 2	4	36	50	61
		Amostra 3	4	52	65	70
		Amostra 4	4	22	26	30
Mistura 1		4	-	132	172	
Mistura 2		4	-	110	121	
Mistura 3		4	-	112	116	

Segundo a NBR 15115 (2004), para a utilização do material como base de uma via de tráfego com $N \leq 10^7$, o índice de suporte Califórnia deve ser superior a 60%, com energia de compactação intermediária ou modificada.

Analisando-se os resultados verificou-se que os materiais produzidos pela prefeitura de Guaratinguetá não apresentaram o CBR mínimo exigido por norma, mesmo sendo compactados na energia intermediária. Os agregados de RCD produzidos pela usina da

Empresa AB Soluções Ambientais Ltda obtiveram maiores índices de suporte Califórnia, porém, a amostra 4 não atingiu CBR 60% mesmo utilizando-se a energia de compactação modificada. As amostras 1 e 3 apresentaram valores de índice de suporte Califórnia que permitem a sua utilização em base de pavimentos, tanto na energia de compactação intermediária quanto na modificada. A amostra 2 somente apresenta o CBR mínimo exigido para bases de pavimento se compactada na energia modificada.

As diferenças entre os valores dos índices nas amostras podem ser relacionadas à composição dos agregados, como é visto na Figura 45.

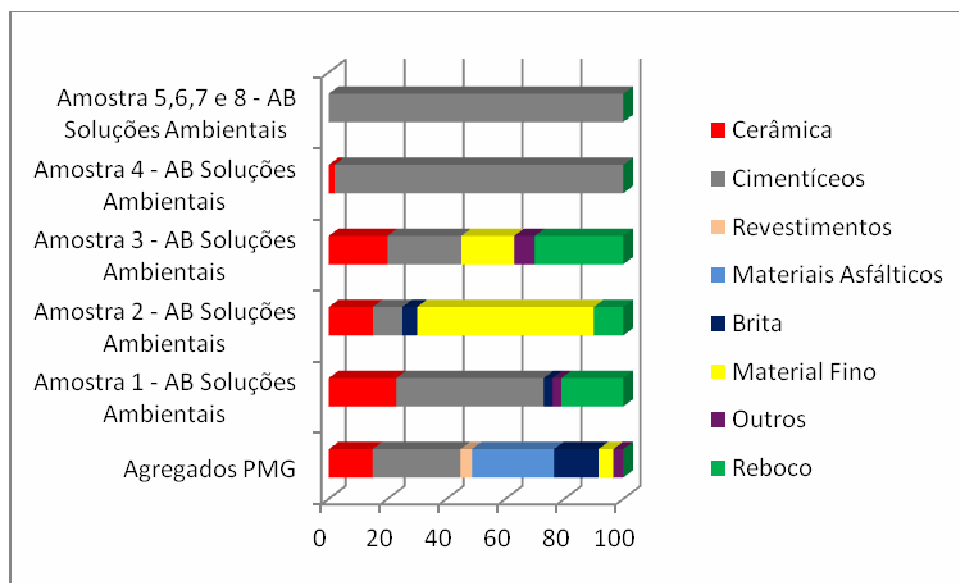


Figura 45 - Composição dos agregados produzidos pela Usina da Prefeitura de Guaratinguetá e da Empresa AB Soluções Ambientais.

Notou-se que os agregados de RCD da prefeitura de Guaratinguetá possuem composição mais heterogênea do que os materiais produzidos pela empresa AB Soluções Ambientais Ltda. Os agregados de concreto reciclado, com sua composição 100% de materiais cimentícios são os que desenvolveram maior índice de suporte Califórnia.

Considerando os requisitos da norma, somente a amostra 2 de resíduos de demolição e construção da AB Soluções Ambientais encontra-se dentro dos parâmetros preconizados em relação à granulometria e índice de suporte Califórnia.

Os agregados reciclados de concreto, devido a sua mistura definida através do método Rothfuchs enquadram-se em todos os parâmetros estudados das normas NBR 15115 (2004), DNIT 141 (2010) e DER-SP ET-DE-P00/010 (2005).

7. CONCLUSÃO

Através dos dados apresentados, verificou-se que os materiais produzidos pela usina localizada na cidade de Guaratinguetá possuem grande heterogeneidade na sua composição. Os resultados obtidos através das amostras enquadradas nas faixas A, C e E (DNIT 141/2010 ES), mostraram que este material não é próprio para o uso em base de pavimentos de baixo tráfego, do modo como estava sendo produzido na época da coleta dos agregados.

Analisando-se as características dos materiais produzidos pela empresa AB Soluções Ambientais Ltda, conclui-se que um fator que pode influenciar significativamente no índice de suporte Califórnia é a composição do material. A grande presença de materiais cerâmicos e a menor incidência de materiais cimentícios nas amostras produzidas pela usina da PMG diminuem a resistência do agregado.

O município de Guaratinguetá apresenta um potencial expressivo para a produção de agregado de RCD. Entretanto, é preciso aumentar a coleta de resíduos e introduzir melhorias na infraestrutura física da usina de produção de agregado RCD. Pode ser adotada uma maior separação do material, ajudando assim a melhorar a qualidade do agregado. O fato da principal fonte de resíduos serem as pequenas obras, torna esta separação mais difícil.

Destaca-se que os valores de CBR obtidos, mesmo não permitindo a utilização dos agregados em camadas de base, aumentaram com o tempo de cura. Este aspecto torna-se uma propriedade importante dos agregados RCDs, podendo prever a melhoria de desempenho estrutural do pavimento ao longo do tempo. Através dos resultados de CBR, pode-se inferir que realizando-se a compactação na energia modificada e tornando a composição mais homogênea e com grande participação de materiais cimentícios, os agregados preparados segundo as faixas A e C da norma DNIT 141/2010 ES poderão apresentar maiores valores de CBR e, portanto, serem empregados em camadas de base

Os resíduos de construção e demolição da amostra 2 e 3, da empresa AB Soluções Ambientais Ltda, apresentaram índices de suporte Califórnia favoráveis ao uso em base de pavimentos de baixo tráfego, necessitando apenas de algumas modificações. A amostra 2 precisa ser compactada na energia PM e a amostra 3 necessita da limitação de grãos com dimensão superior a 63,5 mm.

Os agregados reciclados de concreto, após a estabilização granulométrica e a definição das misturas 1, 2 e 3, podem ser utilizados em bases de pavimentos sem necessitar de nenhuma outra modificação em suas características.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, M.R.; BERNUCCILLI, L.B. **Pavimento ecológico: Uma opção para a pavimentação de vias das grandes cidades.** In: Bayer Young Environmental Envoy, 2007, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6954:** Lastro Padrão: determinação da forma do material. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – área de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterro – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114:** Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem - diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e concretos sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BUZATTI, D. J. **Índice de abrasão Los Angeles e índice de degradação: análise comparativa para diversas naturezas de agregados.** Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais, Publicação Técnica n°.23, Belo Horizonte, 1987.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 307:** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DER-SP ET-DE-P00/010:** Sub-base ou base de bica corrida, São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 050-64:** Índice de suporte Califórnia de solos, Brasília, 1964.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 303/97:** Pavimentação – base estabilizada granulometricamente, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 083/98:** Agregados – Análise Granulométrica, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2010 – ES:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço, 2010.

JOHN, V. M. **Projeto busca metodologias para reciclagem do entulho da construção.** Habitare. Rio de Janeiro, Ano 3. Agosto 2003.

KAZMIERCZAK, C.S. **Resíduos de construção e demolição: um problema ou uma oportunidade de negócios?** Conselho em Revista, Porto Alegre, n 43, p 28, mar. 2008.

LEITE, F.C.; BERNUCCI, L.L.B.; MOTTA R.S.; MOURA, E. **Influência da composição e da energia de compactação nas propriedades físicas e mecânicas de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil.** In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. 2007. Anpet, Rio de Janeiro, 2007.

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^a. ABPv, Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, L.E.; **Estudos sobre a viabilidade técnica para utilização de agregados RCD e ARC, produzidos pela empresa AB Soluções Ambientais Ltda, em obras civis.** 2013. FDCT, Guaratinguetá, 2013.

PINTO, T. P. **Manual de uso dos resíduos de construção reciclados.** São Paulo: I&T, 1998.

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

PINTO, T. P. et. al. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência da SindusCon-SP.** 2005. Sinduscon-SP, São Paulo, 2005.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **PMSP/SP ETS – 001/2003** – Camadas de Reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil, 2003.

QUEIROZ, B. O.; MELO, R. A. **Estudo da viabilidade técnica dos resíduos sólidos oriundos da construção civil para aplicação em camadas de pavimentos.** Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB.

RICCI, G. **Estudo de Características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e demolição para pavimentação.** 2007. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, A. **Lei tende a reduzir resíduos sólidos na construção civil.** Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/lei-tende-a-reduzir-residuos-solidos-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 30 de maio de 2011