

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Rodrigo da Silva Correia

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

Orientadora: Sandra Oda

Rio de Janeiro
Março de 2014

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Rodrigo da Silva Correia

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof^a. Dr^a. Sandra Oda

Prof. Dr. Giovani Ávila Manso

Eng. Leonardo Santana Cavancanti

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2014

“ A minha família ”

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Roseli e Jose Maria, pela educação, paciência, noites em claro e por sempre acreditarem em meu sucesso sempre me apoiando e nunca nunca desistirem.

A minha esposa Érica Correia por sempre estar ao meu lado principalmente nos momentos difíceis, e por toda sua paciência.

Aos meus Padrinhos por sempre estarem do meu lado me apoiando e me ajudando sempre que precisei.

A professora Sandra oda, pela excelente orientação, pela paciência, pelo apoio e ensinamento.

Ao amigo Fábio Zimbardi de Freitas, por dividir os conhecimentos de seu trabalho comigo.

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

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Rodrigo da Silva Correia

Março de 2014

Orientador: Sandra Oda

Curso: Engenharia Civil

Nos últimos anos, o cenário da construção civil vem sendo marcado pelo constante crescimento. Os princípios para uma construção sustentável tornaram-se então cada vez mais discutidos, resultando no surgimento de novas tecnologias e novos conceitos, como o reaproveitamento dos denominados resíduos de construção e demolição (RCD), gerados através de novas construções, reformas ou demolições daquelas já existentes. Na engenharia rodoviária são muitos os projetos e pesquisas de viabilidade técnica e econômica que apontam para uma alternativa sustentável com o uso de agregados reciclados em camadas de pavimentos após beneficiamento pela reciclagem. Assim, justifica-se o desenvolvimento das pesquisas de reaproveitamento de RCD para serem usados em pavimentação visto que as grandes metrópoles são as maiores produtoras desses resíduos. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo de viabilidade econômica para a reutilização dos resíduos de demolição gerados com a demolição do Hospital do Fundão Clementino Fraga Filho em numa obra de urbanização do Parque Tecnológico do Rio de Janeiro, nas camadas de base e sub-base dos pavimentos. O estudo foi desenvolvido através da análise comparativa entre material granular convencional e material granular tendo como base para os cálculos o estudo de caso apresentado. Dos resultados obtidos com a comparação econômica entre os dois materiais conclui-se que o uso de material de RCD mostrar-se viável economicamente para uso em base e sub-base de pavimentação.

Palavra Chave: RCD, Resíduos sólidos.

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

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY FOR THE USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN LAYERS OF BASE AND SUB-BASE PAVEMENTS

Rodrigo da Silva Correia

March/2014

Advisor: Sandra Oda

Course: Civil Engineering

In recent years, the scenario construction has been marked by steady growth. The principles for a sustainable building then became increasingly discussed, resulting in the emergence of new technologies and new concepts such as the reuse of so-called construction and demolition waste (CDW), generated by new construction, renovations or demolitions those already existing. In highway engineering are many projects and research of technical and economic feasibility pointing to a sustainable alternative to the use of recycled aggregates in pavement layers after processing by recycling. Thus, it is justified to research development of reutilization of CDW to be used in flooring for the large metropolises are the largest producers of such waste. The aim of this paper is to present a study of economic viability for the reuse of demolition waste generated by the demolition of the Hospital Clementino Fraga Filho of the precipice in a work of upgrading the technological park of Rio de Janeiro, the base layers and sub - base pavements. The study was developed by comparative analysis between conventional granular material and granular material based on the calculations for the case study. The results obtained with the economic comparison between the two materials it is concluded that the use of CDW material can be much more economically viable for use in sub- base and pavement base.

Keywords: Construction and demolition waste (CDW)

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Justificativa	3
1.2 - Objetivo	4
1.3 – Organização do trabalho	4
2 - RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD	6
2.1 - Classificação dos resíduos de construção e demolição	7
2.2 - Uso de RCD no mundo	7
2.3 - Uso de RCD no Brasil.....	8
2.3.1 - Belo Horizonte	10
2.3.2 – Guarulhos	11
2.3.3 - Rio de Janeiro.....	12
2.3.4 - São José do Rio Preto/SP	12
2.3.5 - São Paulo/SP.....	13
3 – DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO	14
3.1 - Método de Dimensionamento do DNER.....	14
3.2 - Parâmetros de Projeto.....	16
3.2.1 - Capacidade de Suporte do Subleito	16
3.2.2 - Tráfego.....	16
3.2.3 - Coeficientes de Equivalência Estrutural	17
3.2.4 - Espessura Mínima do Revestimento	18
3.2.5 - Dimensionamento do Pavimento.....	19
4 - ESTUDO DE CASO	21
4.1 – RCD	22
4.1.1 – Composição do RCD	22
4.2.2 – Distribuição Granulométrica	23
4.2.3 – Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	27
5 – CUSTOS	34
5.1 – Material convencional	34
5.2 – Material de RCD	35
5.3 – Comparação de custos de pavimentos com e sem RCD	35
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações gerais sobre a gestão de RCD em alguns municípios brasileiros (base:10/2005).....	3
Tabela 2: Coeficientes estruturais – Método do DNER.....	18
Tabela 3: Espessura mínima de revestimento em função do tráfego.....	19
Tabela 4:– Composição de RCD (Freitas, 2011).....	23
Tabela 5: Faixas granulométricas a serem atendidas para uso em base (DNIT, 2006).....	25
Tabela 6: Granulometria do RCD (Fonte: Fonte, 2011).....	26
Tabela 7: Faixas granulométricas de material para base.....	29
Tabela 8: Granulometria do material convencional utilizado na base.....	29
Tabela 9: Granulometria do material convencional utilizado na sub-base.....	30
Tabela 10: Coeficientes estruturais considerados neste projeto.....	32
Tabela 11: Características da estrutura do pavimento deste estudo.....	33
Tabela 12: Características da estrutura do pavimento com RCD deste estudo.....	34
Tabela 13: Custos das estruturas do pavimento com material convencional.....	35
Tabela 14: Custos das estruturas do pavimento com RCD.....	36
Tabela 15: Comparativo entre convencional e RCD.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Local de britagem do RCD	10
Figura 2: Blocos produzidos com RCD	10
Figura 3: Ponto de reciclagem de pequenos volumes, prefeitura de Guarulhos.....	11
Figura 4: Área de reciclagem privada	11
Figura 5: Ecoponto de entrega de pequenos volumes, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro	12
Figura 6: Central de processamento de resíduos	13
Figura 7: Ponto de coleta da prefeitura de São Paulo	13
Figura 8: Esquema das camadas do pavimento do Método do DNER	19
Figura 9: Gráfico de Dimensionamento de Pavimentos do Método do DNER (adaptado.....)	20
Figura 10: Projeto do Parque Tecnológico, em hachurado área executada com RCD.....	21
Figura 11: Execução de base realizada com RCD.....	22
Figura 12: Composição dos materiais retidos na peneira de 12,7 mm (Fonte: Freitas, 2011).....	23
Figura 13: Amostras dos RCD retidos nas peneiras consideradas para o estudo (Fonte: Freitas, 2011).....	24
Figura 14: Amostras do material descartado na pesquisa com diâmetro acima de 25 mm (Fonte: Freitas, 2011).....	25
Figura 15: Curva de distribuição granulométrica do RCD deste estudo (Fonte: Freitas, 2011).....	27
Figura 16: Esquema da estrutura adotada neste projeto.....	31

1 - INTRODUÇÃO

Todos os dias e cada vez mais escuta-se falar sobre o crescente mercado da construção civil e em o quanto essa atividade agride o meio ambiente através da grande quantidade de resíduos gerados. Ao longo dos últimos anos, o cenário da construção civil vem marcado pelo constante aquecimento devido, não só a Copa do Mundo de Futebol a ser realizada em 2014 no Brasil, assim como aos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro e ao maior poder aquisitivo da população brasileira o que acaba agitando também o mercado imobiliário.

Mesmo com o mercado da construção civil aquecido, o seguimento da reciclagem de resíduos da construção e demolição, RCD, no Brasil é incipiente. A reciclagem deste resíduo é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, em grande parte pela escassez de recursos naturais que esses países possuem (Freitas, 2011).

A cadeia produtiva da construção civil consome entre 14 e 50% dos recursos naturais extraídos do planeta. No Japão corresponde a cerca de 50% dos materiais que circulam na economia e nos EUA, o consumo de mais de dois bilhões de toneladas, representa cerca de 75% dos materiais circulantes (Freitas,2011)

No Brasil, os RCD também atingem elevadas proporções da massa dos resíduos sólidos urbanos: variam de 51 a 70%. Essa grande massa de resíduos, quando mal gerenciada, degrada a qualidade da vida urbana, sobrecarrega os serviços municipais de limpeza pública e reforça no país a desigualdade social, uma vez que escassos recursos públicos são continuamente drenados para pagar a conta da coleta, transporte e disposição de resíduos depositados irregularmente em áreas públicas, conta essa que, na realidade, é de responsabilidade dos geradores.

Em 2002, destaca-se no Brasil, o estabelecimento de políticas públicas, normas, especificações técnicas e instrumentos econômicos, voltados ao equacionamento

dos problemas resultantes do manejo inadequado dos resíduos da construção civil. Este conjunto de políticas, normas e instrumentos econômicos colocam o país em destaque entre os situados no Hemisfério Sul. E, por outro lado, possibilita que os agentes envolvidos na cadeia dos resíduos desenvolvam iniciativas no rumo da sustentabilidade dos processos de gestão.

Existe hoje um grande número de construtoras que, capitaneadas por suas instituições setoriais em diversas unidades da Federação, instituem sistemas de gerenciamento em seus canteiros de obra. Há, ainda, um interesse expressivo de empreendedores privados para a abertura de novos e rentáveis negócios nas atividades de triagem e reciclagem.

São ações que vem de encontro ao esforço crescente dos municípios, principalmente os que se posicionam como pólos regionais, de dar cumprimento às diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Informações gerais sobre estas iniciativas brasileiras estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Informações gerais sobre a gestão de RCD em alguns municípios brasileiros
(base: 10/2005)

Município	Plano de Gestão Desenvolvido	Legislação Específica Aprovada	Pontos de Entrega para Pequenos Volumes	Áreas Privadas para Manejo de Grandes Volumes	Áreas Públicas para Manejo de Grandes Volumes
Ribeirão Pires/SP	Sim	-	Sim	-	Sim
Ribeirão Preto/SP	-	-	-	-	Sim
Rio de Janeiro/RJ	-	Sim	Sim	-	-
Salvador/BA	Sim	-	Sim	-	-
Santo André/SP	-	-	Sim	-	-
São Bernardo/SP	-	-	-	Sim	-
São Carlos/SP	-	-	Sim	-	Sim
São Gonçalo/RJ	-	-	-	-	Sim
São José R. Preto/SP	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
São José Campos/SP	-	-	-	-	Sim
São Paulo/SP	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Socorro/SP	-	-	-	Sim	-
Uberlândia/MG	-	-	sim	sim	-
Vinhedo/SP	-	-	-	-	sim

1.1 - Justificativa

Areias e rochas para britagem ainda são facilmente encontradas na natureza, porém toda essa abundância já não é mais encontrada perto dos grandes centros consumidores, por serem produtos de baixo custo unitário, para ter um retorno financeiro sua extração tem que ser feita em grande escala, o que acaba esgotando as jazidas com maior rapidez.

Quanto mais as jazidas de extração vão ficando mais distantes dos centros consumidores, os valores unitários desses produtos vão ficando cada vez maiores, pois os custos com transporte aumentam cada vez mais, onerando assim mais e mais os custos das obras e agredindo cada vez mais a harmonia do meio ambiente.

A maioria dos resíduos da construção civil pode ser reaproveitada e reciclada. No entanto, a sua maioria é descartada em lixões ou aterros ou até mesmo em locais clandestinos, agredindo o meio ambiente, sendo que esse material quando descartado de forma errada e irregular pode trazer doenças, pragas e ainda agride visualmente o ambiente.

Se esse material for coletado e separado de forma correta e “ecológica”, além de preservar o meio ambiente ainda pode ser fonte de renda para prefeituras e empresas, servindo como matéria-prima em obras de construção civil e obras de infraestrutura, particularmente como material para camadas de base e sub-base para pavimentação de vias urbanas e de rodovias.

1.2 - Objetivo

O objetivo deste projeto é avaliar a viabilidade econômica dos resíduos de construção e demolição como agregado para base e sub-base de rodovias e vias urbanas.

1.3 – Organização do trabalho

Este projeto está dividido em 6 capítulos.

O capítulo 1 apresenta a introdução, justificativa e os objetivos do projeto de graduação.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica sobre resíduos de construção e demolição, abordando, desde definição, classificação, assim como da utilização em alguns países e no Brasil. Aborda também a aplicação em camadas de pavimentos rodoviários.

O capítulo 3 faz uma apresentação do método de dimensionamento de pavimentos do DNER e os parâmetros que devem ser considerados no projeto.

O capítulo 4 apresenta o estudo de caso, com dados da obra analisada e das características dos materiais empregados na execução dos pavimentos com camadas de base e sub-base com agregados convencionais e com RCD.

O capítulo 5 traz uma análise comparativa de custos entre projetos com material convencional e material de RCD.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 - RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

São considerados entulhos os materiais provenientes de restos de construção ou demolição (RCD).

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com o seguinte (Philippi, 1999):

- sua natureza física: seco ou molhado;
- sua composição química: matéria orgânica ou inorgânica;
- riscos potenciais que oferecem ao meio ambiente e a saúde pública: perigosos, não inertes e inertes.

Para poder utilizar o RCD é fundamental um estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídios para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração dos resíduos fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado. É também importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matéria-prima, sendo que é possível trabalhar com matéria-prima bastante variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição final do resíduo (Ângelo et al., 2002).

A caracterização química deve incluir não apenas a composição química média, mas também a caracterização e quantificação de diferentes fases eventualmente presentes, incluindo teor de umidade e de voláteis presentes, ela também deve considerar, sempre que pertinente, compostos químicos, que mesmo em baixas concentrações apresentam riscos aos trabalhadores, usuários e ao meio ambiente quando da produção, manipulação, utilização e deposição final. Isso se aplica especialmente no caso de resíduos classificados como nocivos ao meio ambiente (Jonh, 1997).

2.1 - Classificação dos resíduos de construção e demolição

A resolução N° 307, emitida pelo **CONAMA**, estabelece no ART. 3° que os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito dessa resolução, da seguinte forma.

I - Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- De construção, demolição, reformas e reparos de edificações; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto;
- De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzidos nos canteiros de obras;
- De construção, demolição, reformas e reparos pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem.

II - Classe B: são resíduo recicláveis para outras destinações tais como: plástico, 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 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.

2.2 - Uso de RCD no mundo

Na Alemanha, pioneira na adoção de medidas destinadas a equacionar a questão dos resíduos sólidos, a legislação vigente ampliou a responsabilidade do fabricante a todo o ciclo de vida de seu produto, desde a fabricação, passando pela distribuição e uso, até sua eliminação. Isto obriga os fabricantes e os distribuidores de mercadorias a aceitarem a devolução de vasilhames e embalagens conduzindo-as a uma recuperação material independente do sistema

público de eliminação de resíduos. Por isso, os fabricantes e os comerciantes alemães criaram uma sociedade sem fins lucrativos, a “Duales System Deutschland GmbH – DSD”, a qual se encarrega da organização da coleta, da seleção e da valorização dos vasilhames e resíduos comerciais (Freitas, 2011).

A França também está fortemente engajada na modernização do gerenciamento de resíduos sólidos. A política francesa de resíduos, estabelecida em 1975 e modificada em 1992, tem como objetivos principais: prevenir ou reduzir a produção e a nocividade dos resíduos; organizar o transporte e limitá-lo em distância e volume; valorizar os resíduos pela reutilização, reciclagem ou qualquer outra ação visando obter energia ou matérias a partir dos resíduos; não admitir, a partir de 1º de julho de 2002, nas instalações de disposição, resíduos que não os finais. O gerenciamento de resíduos na França está sob a responsabilidade das autoridades locais ou entidades por elas autorizadas. A eliminação dos resíduos domiciliares é de responsabilidade das autoridades locais, enquanto que a eliminação dos resíduos industriais, de transporte e da construção civil, é de responsabilidade do produtor dos resíduos (Juras, 2008).

A Espanha desenvolveu ações com objetivo de cumprir as regras da união Européia. Por exemplo, para embalagens e resíduos de embalagens, foi editada a lei 11/97, que estabeleceu metas, cumpridas a partir de 2001: valorizar 50% no mínimo, 65% no máximo, em peso, da totalidade dos resíduos de embalagens gerados; reciclar 25%, no mínimo, e 45%, no máximo, em peso, da totalidade dos materiais de embalagem que façam parte de todos os resíduos de embalagens gerados, com no mínimo de 15% em peso de cada material; reduzir em 10% em peso da totalidade dos resíduos de embalagens gerados. As empresas são obrigadas a recuperar suas embalagens, que já foram convertidas em resíduos e a dar-lhes um correto tratamento ambiental (Juras, 2008).

2.3 - Uso de RCD no Brasil

Nos dias de hoje temos um real crescimento no setor de reciclagem de RCD no Brasil, principalmente na região Sudeste, não só pelo elevado número de obras em andamento, mas também pelo constante afastamento das pedreiras dos grandes centros das grandes cidades, o que acaba gerando um maior custo de

transporte até as obras, assim como os aterros saturados e cada vez mais caros para se lançar o material em áreas legalizadas.

Diante desse cenário temos um expressivo aumento de empresas que reciclam esse material, segundo (Creta, 2009) em 2009 eram cerca de 30 usinas de reciclagem de RCD no Brasil, em 2013, segundo pesquisa realizada pela ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – são 120 usinas de reciclagem de RCD no país, em que a região sudeste concentra mais da metade dessas usinas.

Segundo Levi Torres, coordenador da – ABRECON – 86% das empresas entrevistadas tem planos de ampliar os negócios nos próximos anos, o mercado brasileiro de RCD tem muito potencial para crescer, mais ainda sofre com a falta de incentivos fiscais e tributários. No entanto o momento é favorável para ampliar os negócios, estimulado pelas obras de infra-estrutura e da construção civil, em 2014 teremos um aumento significativo de novas usinas de RCD que deverão operar principalmente nas regiões mais adensadas, como São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Paraná.

Na cola desse crescimento tem-se o surgimento de novas tecnologias sendo importada de países da Europa, Ásia e Estados Unidos, como britadeiras móveis, o que facilita na montagem de plantas de britagem no próprio local da demolição diminuindo custos de transporte do entulho e também do produto final reciclado.

Os municípios brasileiros com ações mais expressivas em atividades de RCD são: Belo Horizonte - MG, Guarulhos-SP, Rio de Janeiro-RJ, São José do Rio Preto-SP e São Paulo-SP.

2.3.1 - Belo Horizonte

Município pioneiro na implantação de política pública para gestão dos resíduos, em processo iniciado em 1993. Existem 23 Pontos de Entrega (URPV – Unidades para o Recebimento de Pequenos Volumes), duas Áreas de Reciclagem, uma área para produção de artefatos para a construção e uma Área de Transbordo e Triagem privada. O processo de educação ambiental é constante. A Figura 1 mostra a britagem do RCD e a Figura 2 mostra os blocos produzidos com RCD.

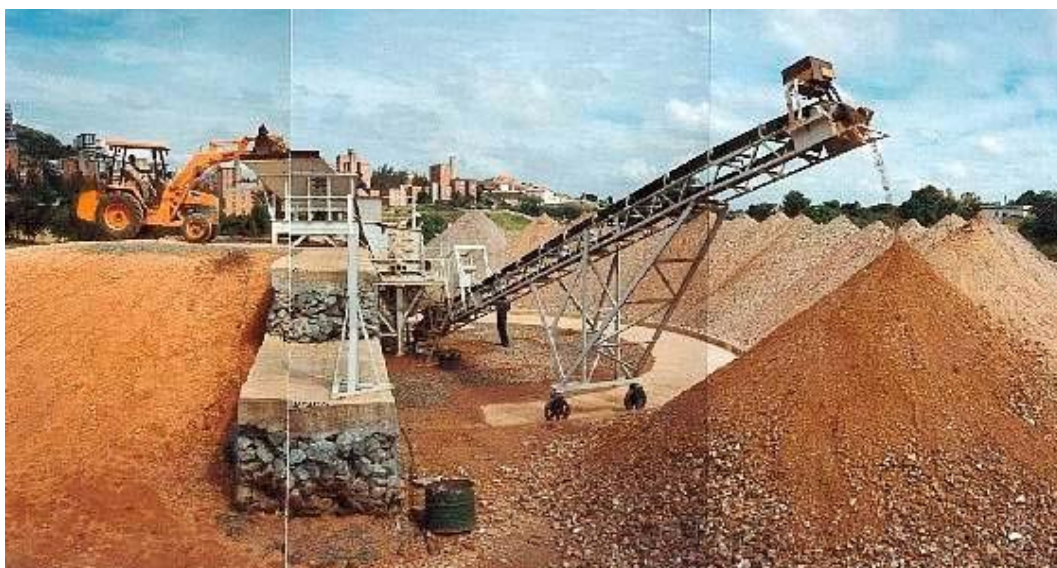


Figura 1: Local de britagem do RCD.



Figura 2: Blocos produzidos com RCD.

2.3.2 – Guarulhos

O Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção está em implantação. Existem 11 instalações públicas para o recebimento de pequenos volumes (Pontos de Entrega), uma Área de Triagem pública, três Áreas de Transbordo e Triagem privadas, uma Área de Reciclagem privada e outra pública, e dois Aterros de resíduos.



Figura 3: Ponto de reciclagem de pequenos volumes, prefeitura de Guarulhos.



Figura 4: Área de reciclagem privada.

2.3.3 - Rio de Janeiro

O município opera com uma rede de EcoPontos (Pontos de Entrega) para recebimento de pequenos volumes e já instituiu, por Resolução Municipal (ResSMAC 387/2005) os procedimentos para apresentação dos Projetos de Gerenciamento de Resíduos, pelos geradores.



Figura 5: Eco ponto de entrega de pequenos volumes, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

2.3.4 - São José do Rio Preto/SP

O Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção está instituído e regulamentado (Lei 9393/2004 e Dec 12751/2005). Existem instalações públicas para o recebimento de pequenos volumes (Pontos de Entrega) e uma Central de Processamento de Resíduos, convênio entre a municipalidade e a associação das empresas transportadoras, que opera a triagem de todos os resíduos gerados no município, reciclando os resíduos de classe A (concreto, alvenaria e outros) e madeira. A Central de Processamento inclui uma ação de parceria para a recuperação de jovens infratores.



Figura 6: Central de processamento de resíduos.

2.3.5 - São Paulo/SP

O Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção esta em implantação. Existe um bom numero de instalações públicas para o recebimento de pequenos volumes (Pontos de Entrega - EcoPontos), uma Área de Reciclagem pública, diversas Áreas de Reciclagem privadas e Aterros, varias Áreas de Transbordo e Triagem privadas, e uma portaria do executivo (Port 6787/2005) que institui a LETP - Licença Especial a Título Precário, para a agilização do processo de licenciamento das ATTs privadas, consideradas como essenciais. As planilhas de compra municipais permitem a aquisição de agregados reciclados em obras públicas.



Figura 7: Ponto de coleta da prefeitura de São Paulo.

3 – DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO

O pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem destinado a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorando as condições de rolamento e a segurança de tráfego.

O problema da definição da constituição e espessura das camadas que constituem os pavimentos é estabelecido no dimensionamento do mesmo.

Dimensionar um pavimento significa determinar as espessuras das camadas que o constituem de forma que estas camadas (reforço do subleito, sub-base, base e revestimento) resistam e transmitam ao subleito as tensões impostas pelo tráfego, sem levar o pavimento à ruptura ou a deformações e a desgastes excessivos.

O dimensionamento depende do tráfego que irá solicitar o pavimento, assim como das características do material do subleito e dos materiais disponíveis para compor cada camada do pavimento.

3.1 - Método de Dimensionamento do DNER

Durante a Segunda Guerra Mundial houve uma grande necessidade de se construir rapidamente aeroportos e rodovias, o que exigia métodos de dimensionamento rápidos e de fácil aplicação. Deste modo, as pesquisas sobre pavimentos flexíveis tomaram grande impulso, principalmente nos EUA, desenvolvendo-se métodos de dimensionamento, baseados numa classificação de solos e de um ensaio que reproduzisse as condições de solicitação do pavimento. A classificação adotada foi desenvolvida pelo HRB (Highway Research Board) e o ensaio de resistência foi desenvolvido no Estado da Califórnia e modificado pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (US Corps of Engineers), sendo denominado de CBR (California Bearing Ratio). Devido à sua praticidade e baixo custo de determinação, tanto a classificação HRB como o ensaio CBR, tiveram aceitação mundial, inclusive no Brasil, onde têm sido utilizados em larga escala.

Como esses estudos foram realizados nos Estados Unidos, cujas características pedológicas são de clima temperado, constataram-se algumas incoerências com

relação a solos brasileiros, não observadas na América do Norte e Europa. Tal constatação levou pesquisadores brasileiros (NOGAMI e VILLIBOR, 1995) a desenvolver uma metodologia mais adequada a solos tropicais, consistindo em uma nova Classificação dos solos e um conjunto de ensaios mais compatíveis com as características desses solos. De qualquer forma, a metodologia tradicional continua válida ao menos para solos não lateríticos.

Outros métodos de dimensionamento de pavimentos foram elaborados a partir de então. Através de ensaios na pista experimental da AASHO (AASHO Road Test) foi desenvolvido, na década de 60, outro método empírico, o qual utiliza-se de modelos matemáticos elaborados a partir desses ensaios. Algumas falhas têm sido corrigidas ao longo do tempo e a última versão foi apresentada em 1986. Este método, como outros, apresenta falhas, que neste caso consiste no fato de ter sido estudado apenas um tipo de subleito, ou seja, foi utilizado um único valor de CBR.

O método CBR foi e ainda é amplamente utilizado no mundo. Vale aqui ressaltar que a realidade atual converge para a elaboração de modelos com embasamento teórico bem definido e que possam representar com fidelidade as condições de campo. No entanto, isso ainda está em desenvolvimento.

O método do DNER (atual DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) foi desenvolvido pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza¹, na década de 1980, a partir de uma adaptação do método da AASHO (American Association of State Highways Officials - Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume) apresentado na International Conference in the Structural Design os Pavement por TURNBULL, FOSTER E AHLVIN, realizada na Universidade de Michigan, em 1962.

Esse método considera o desempenho dos materiais do subleito e das camadas granulares fornecido pelo índice de suporte California (ISC, mais conhecido como

¹ SOUZA, M. L. - **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 3ª Edição. Publicação 667 – Rio de Janeiro, RJ, 1981.

CBR - California Bearing Rating), e o das bases cimentadas pela resistência à compressão simples (RCS).

Ainda é oficialmente o único método de dimensionamento de pavimentos existente no Brasil e, portanto, foi o método utilizado nesse projeto.

O método CBR utiliza-se do ensaio de penetração CBR e relaciona a capacidade de suporte do subleito (CBR) e a intensidade do tráfego com a espessura mínima necessária ao pavimento.

Com base na espessura total são determinadas as espessuras das camadas constituintes, multiplicando-se as espessuras obtidas para o material padrão (base granular) pelos coeficientes estruturais parciais correspondentes a cada tipo de material.

3.2 - Parâmetros de Projeto

O método do DNER, como é conhecido, possibilita realizar o dimensionamento de pavimentos flexíveis em função dos seguintes parâmetros:

- capacidade do subleito (CBR) e índice de grupo IG;
- número equivalente de operações do eixo padrão (N) e
- espessura total do pavimento durante um período de projeto.

3.2.1 - Capacidade de Suporte do Subleito

Para a avaliação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais que irão compor as camadas do pavimento é utilizado o ensaio CBR em amostras deformadas ou moldadas em laboratório, nas condições de serviço e submetidas a embebição por quatro dias.

3.2.2 - Tráfego

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido. Desse modo, deve-se definir o prazo de duração do pavimento, o tipo de veículos que vão transitar pela via e as cargas por eixo de cada tipo de veículo. Assim, define-se a quantidade de veículos que deverá transitar pela via, em termos médios.

O número de operações do eixo padrão, N, é dado por:

$$N = 365 \times p \times V_m \times FE \times FC \times FR$$

onde:

p = período de projeto;

V_m = volume diário médio;

FE = Fator de Eixo, soma ponderada do número de eixos dos veículos x % de veículos no tráfego total;

FC = Fator de Carga, é o número de eixo padrão equivalente ao tráfego considerado, obtido de ábacos;

FR = Fator Climático Regional, que é função da altura média anual de chuva. No Brasil, adota-se FR = 1,00.

3.2.3 - Coeficientes de Equivalência Estrutural

Adota-se a expressão "capacidade estrutural" para designar um conjunto desejável de características da camada do pavimento. Seria um conjunto de atributos que tornam uma camada boa para desempenho da sua função dentro da estrutura.

Para caracterização da "capacidade estrutural" de cada camada foi criado o conceito de equivalência estrutural: uma camada de material e espessura determinados é equivalente a outra camada de outro material e outra espessura, se o desempenho do pavimento com cada uma das camadas for igual. Para essa equivalência foi necessário o estabelecimento de um padrão de comparação. Foi adotado o "material granular" como referência, e em função da vantagem oferecida, em termos de desempenho do pavimento, sobre o material granular, foi estabelecido o "coeficiente de equivalência estrutural" ou mais exatamente, a faixa de variação do coeficiente estrutural de cada material.

Portanto, os valores dos coeficientes de equivalência estrutural dependem do tipo de material utilizado em cada camada do pavimento, ou seja, cada camada possui um coeficiente de equivalência estrutural (k), que relaciona a espessura que a camada deve possuir de material padrão (base granular), com a espessura

equivalente do material que realmente irá compor a camada.

As bases para o estabelecimento das faixas de variação do coeficiente estrutural foram estabelecidas experimentalmente, a partir de avaliações de desempenho de trechos e pistas experimentais. As fontes básicas para isso foram a pista experimental da AASHO e experimentos do U.S. Army Corps of Engineers. Ajustes posteriores foram e têm sido feitos com base na experiência local. A fonte mais atualizada de recomendações sobre coeficientes estruturais é o método atual da AASHTO para dimensionamento de pavimentos: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes estruturais considerados no método do DNER.

Tabela 2: Coeficientes estruturais – Método do DNER.

Componentes do Pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,80
Melhoria do subleito	0,70
Solo-cimento com $\sigma_{r_{7\text{dias}}} > 45 \text{ kgf/cm}^2$	1,70
Solo-cimento com $38 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{r_{7\text{dias}}} < 45 \text{ kgf/cm}^2$	1,40
Solo-cimento com $\sigma_{r_{7\text{dias}}} < 38 \text{ kgf/cm}^2$	1,20

3.2.4 - Espessura Mínima do Revestimento

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é utilizada tanto para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, como para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. A Tabela 3 apresenta os valores de espessuras mínimas da camada de revestimento em função no tráfego recomendadas pelo Método do DNER.

Tabela 3: Espessura mínima de revestimento em função do tráfego.

N	Espessura mínima de revestimento
$N < 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N < 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

3.2.5 - Dimensionamento do Pavimento

O gráfico de dimensionamento relaciona, para valores de CBR ou IS, valores de espessura com coeficiente de equivalência estrutural $k=1$, com número de operações do eixo padrão. Desse modo, sabendo-se o valor de N e o valor de CBR correspondente, determina-se a espessura da camada. A espessura mínima a considerar para camadas granulares é 15 cm. A espessura H_m é a espessura total necessária para um material com CBR ou IS = m ; h_n é a espessura da camada do pavimento com CBR ou IS = n etc. Mesmo que o CBR (IS) do material da sub-base seja superior a 20, determina-se a espessura para CBR (IS) = 20, por esta razão, usam-se sempre, os símbolos H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente (Figura 8).

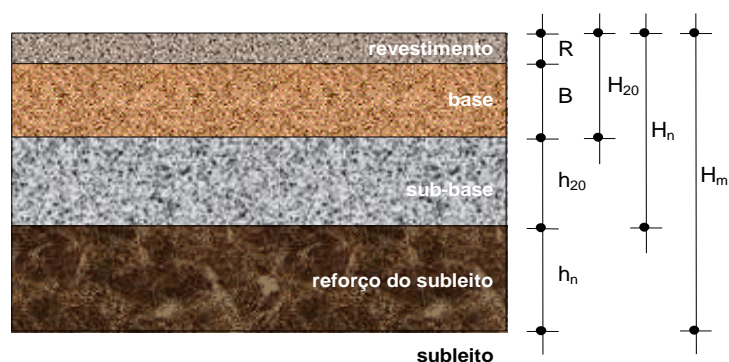


Figura 8: Esquema das camadas do pavimento do Método do DNER.

Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras da base e do revestimento. Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n e H_{20} pelo gráfico da Figura 9 e R pela Tabela 3 de espessura mínima de revestimento betuminoso, as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$Rk_R + Bk_B > H_{20} \quad (1)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S > H_n \quad (2)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S + h_nk_{Ref} > H_m \quad (3)$$

Para sub-base com $CBR \geq 40$ e $N > 10^6$, admite-se substituir na inequação (1), H_{20} por $0,2 \times H_{20}$.

Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir, na inequação (1), H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

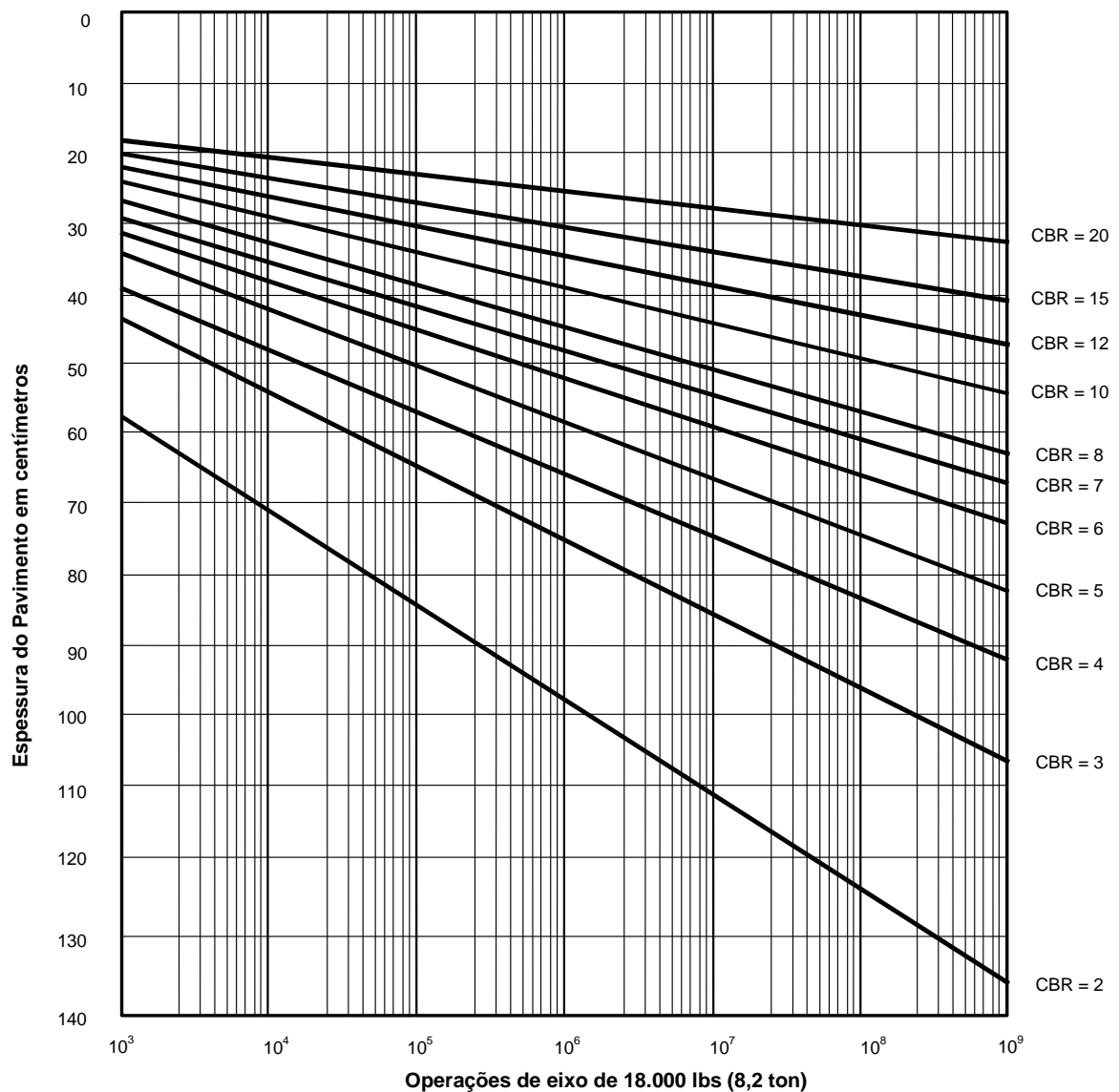


Figura 9: Gráfico de Dimensionamento de Pavimentos do Método do DNER (adaptado).

4 - ESTUDO DE CASO

O projeto analisado neste estudo de caso consiste na segunda fase da implantação da infraestrutura do Parque Tecnológico do Rio de Janeiro, localizado na Ilha do Fundão. Foram executados serviços de infraestrutura de redes de abastecimento de água potável, esgoto sanitário, iluminação pública, telefonia e dados, energia elétrica, incêndio, calçamento, drenagem urbana e pavimentação.

O Parque Tecnológico é formado por uma área de aproximadamente 110 mil m², sendo que a área a ser pavimentada é de 12.772 m² (Figura 10). Para este estudo de caso foi dada ênfase para a construção das camadas de base (Figura 11) e sub-base dos pavimentos, nas quais foram usados os resíduos da demolição do Hospital Universitário do Fundão.



Figura 10: Projeto do Parque Tecnológico, em hachurado área executada com RCD.



Figura 11: Execução de base realizada com RCD.

4.1 – RCD

A demolição de parte do Hospital Universitário do Fundão gerou um montante de 137 mil toneladas de resíduo que foi leiloado, sendo vencedora a empresa Britex Soluções Ambientais, com sede em São Paulo, pelo valor de R\$ 1,00. A empresa construiu uma mini usina com britadores móveis capazes de produzir materiais como brita corrida, pedras brita e pó de pedra.

O RCD gerado pela demolição de parte do Hospital Universitário foi analisado em laboratório em um trabalho desenvolvido por (Freitas, 2011). Inicialmente foi feita a identificação da composição do resíduo, em seguida foi determinada a granulometria e o ISC (índice de suporte Califórnia) do material.

4.1.1 – Composição do RCD

A composição dos resíduos sólidos de demolição e construção é um dos aspectos mais relevantes a serem considerados na caracterização física do agregado reciclado, já que o comportamento mecânico de um dado material está ligado intimamente à natureza de seus componentes. A determinação da composição do RCD foi realizada através de análise visual para determinar o tipo e a concentração de cada material presente nos resíduos de demolição coletados. Devido à dificuldade em verificar a composição dos materiais de partículas muito pequenas, foi feita uma divisão e foram considerados os grãos retidos entre as peneiras de 19 mm e 12,7 mm, entre 12,7 mm 9,5 mm e retidos na 9,5 mm. A Figura 12 mostra, por exemplo, a composição dos materiais retidos na peneira de 12,7 mm.



Figura 12: Composição dos materiais retidos na peneira de 12,7 mm (Fonte: Freitas, 2011).

Para a análise visual do material, as amostras de cada uma destas dimensões foram separadas em função da natureza de seus componentes em 3 grupos: (i) materiais cimentícios (concretos e argamassas), (ii) materiais cerâmicos, (iii) materiais indesejáveis.

A tabela 4 apresenta os valores encontrados, em função da massa dos constituintes em cada peneira:

Tabela 4 – Composição de RCD (Freitas, 2011).

Peneira	Materiais Cimentícios (kg)	Materiais Cerâmicos (kg)	Materiais Indesejáveis (kg)
3/4"	3,414	0,405	0,014
1/2"	3,266	0,277	0,008
3/8"	1,888	0,282	0,011

4.2.2 – Distribuição Granulométrica

O ensaio para determinar a composição granulométrica dos resíduos de demolição coletados na obra foi executado conforme o Método de Ensaio DNER-ME083/98. Este ensaio consiste na realização do peneiramento do material seco pela agitação mecânica de um conjunto de peneiras de malhas quadradas. Após o peneiramento foi realizada a pesagem do material retido em cada peneira e realizada a soma de todas as parcelas retidas para a obtenção da curva granulométrica (Figura 13).



Figura 13: Amostras dos RCD retidos nas peneiras consideradas para o estudo (Fonte: Freitas, 2011).

Apesar da amostra apresentar pequena fração do material nas peneiras de diâmetro acima de 25 mm (Figura 14), esta parcela foi descartada por não representar uma quantidade significativa para o estudo do comportamento mecânico.



Figura 14: Amostras do material descartado na pesquisa com diâmetro acima de 25 mm
(Fonte: Freitas, 2011).

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), os materiais a serem empregados em base granular de pavimentos devem estar obrigatoriamente enquadrados em uma das faixas especificadas na Tabela 5. A distribuição granulométrica do material indica que o agregado reciclado deste estudo se enquadra na Faixa C e a fração que passa pela peneira nº 200 é inferior a 2/3 da fração que passa na peneira nº40, conforme prescreve o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) para aplicação do agregado em camada de bases.

Tabela 5: Faixas granulométricas a serem atendidas para uso em base (DNIT, 2006).

TIPOS	I				II	
	A	B	C	D	E	
PENEIRAS	% em peso passando					
2"	100	100	-	-	-	-
1"		75-90	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25

A Tabela 6 apresenta as peneiras consideradas nesta pesquisa e a granulometria do RCD utilizado neste estudo.

Tabela 6: Granulometria do RCD (Fonte: Freitas, 2011).

Peneira (mm)	% que passa em cada peneira
25,4	100,00
19,0	94,31
12,7	84,49
9,5	78,65
4,76	64,39
2,00	49,96
0,42	24,71
0,177	11,06
0,074	4,67
< 0,074	0,00

Em relação à classificação granulométrica dos agregados reciclados para aplicação em camadas de pavimentos, a NBR 15115 (ABNT, 2004) prescreve que a dimensão característica máxima do agregado deve ser de 63,5 mm e que a porcentagem de material passante na peneira 0,42 mm deve estar entre 10% e 40%. A Tabela 6 mostra que 100% dos resíduos de demolição considerados nesta pesquisa passam pela peneira de 25,4 mm e que a taxa de material passante na peneira de 0,42 mm é de 24,7%, atendendo aos limites preconizados pela norma (Freitas, 2011).

Em geral, os resultados obtidos no ensaio de granulometria são representados pela curva de distribuição granulométrica, o que possibilita caracterizar o agregado em função da continuidade da curva apresentada, através da determinação dos coeficientes de uniformidade (Cu) e de curvatura (Cc). Cabe ressaltar, que é muito importante a existência de uma granulometria contínua dos agregados, para que os grãos menores promovam melhor embricamento com os grãos maiores existentes no material (Freitas, 2011).

A Figura 15 representa a curva de distribuição granulométrica obtida a partir do ensaio de granulometria realizado na amostra de RCD do estudo (Freitas, 2011).

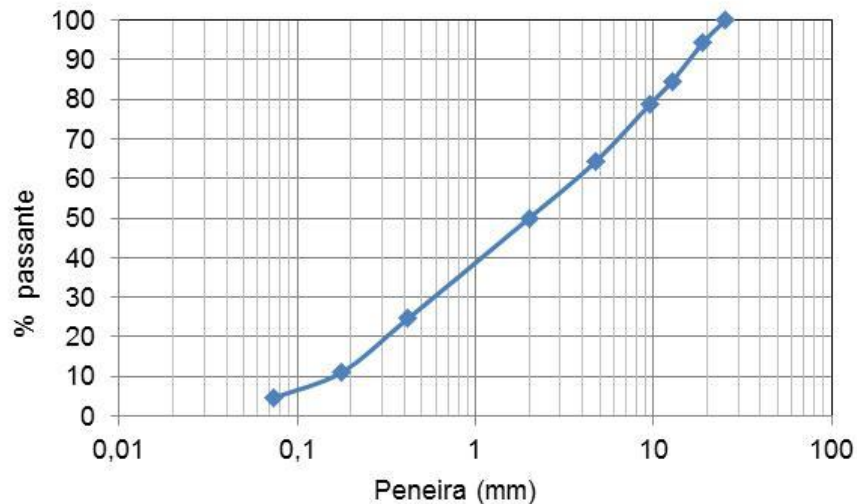


Figura 15: Curva de distribuição granulométrica do RCD deste estudo (Fonte: Freitas, 2011).

O Coeficiente de Uniformidade (C_u), que é a relação entre os diâmetros correspondentes a 10% e 60% da porcentagem passante do agregado, representa a ausência de uniformidade granulométrica no material, uma vez que quanto menor é o valor de C_u , mais uniforme é o material. A NBR 15115 (ABNT, 2004) estabelece que Coeficiente de Uniformidade do agregado reciclado deva ser igual ou superior a 10. No caso dos resíduos de demolição avaliados nesta pesquisa, o valor de C_u encontrado foi de 23,3%, o que caracteriza o agregado deste estudo como não-uniforme e bem graduado, satisfazendo plenamente aos requisitos prescritos pela norma (Freitas, 2011).

4.2.3 – Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O resultado obtido neste estudo foi de 194% para o Índice de Suporte Califórnia e expansibilidade nula, o que atende os limites estabelecidos pela NBR 15115 (ABNT, 2004), tanto para o uso do agregado reciclado na camada de sub-base, quanto para a sua aplicação na base do pavimento para o tráfego do parque.

4.3 - Agregados Convencionais

Para efeito de comparação dos ensaios dos agregados de RCD foram utilizadas as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Norma DNIT 141/2010 – ES e Norma DNIT 139/2010 – ES, para base e sub-base estabilizada granulometricamente. Como esse projeto tem como objetivo avaliar a

utilização de RCD somente em camadas de base e sub-base foram comparados apenas materiais para essas duas camadas e foram considerados que as outras camadas serão compostas pelos mesmos materiais e espessuras.

4.3.1 - Base

A estabilização granulométrica é o processo de melhoria da capacidade resistência de materiais “in natura” ou mistura de materiais, mediante emprego de energia de compactação adequada, de forma a se obter um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade.

Os materiais utilizados em camadas de base podem ser solos, mistura de solos, mistura de solos e materiais britados. Quando submetidos aos ensaios de caracterização (DNER-ME 080/94, DNER-ME082/94, DNER-ME 122/94 e DNER-ME 054/97), os materiais devem possuir composição granulométrica satisfazendo a uma das faixas da Tabela 7, de acordo com o Número N de tráfego calculado segundo a metodologia do USACE.

- Para $N > 5 \times 10^6$, o material deve se enquadrar em uma das 4 Faixas: A, B, C e D
- Para $N \leq 5 \times 10^6$, o material deve se enquadrar em uma das 6 Faixas: A, B, C, D, E e F

Além disso, deve atender os seguintes parâmetros:

- Limite de liquidez $\leq 25\%$;
- Índice de plasticidade $\leq 6\%$
- Fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles $< 50\%$.

Quando esses limites forem ultrapassados:

- Equivalente de areia $>30\%$;
- Fração que passa na peneira 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira 40.

Tabela 7: Faixas granulométricas de material para base.

Faixas de Projeto	A	B	C	D	E	F	Tolerância da Faixa de Projeto
Peneiras	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75 - 90	100	100	-	-	± 7
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	100	100	± 7
Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	± 5
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	± 5
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	± 2
Nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25	± 2

O Índice Suporte Califórnia deve ser determinado através dos ensaios de compactação - DNER-ME 129/94, na energia do Proctor modificado e ensaio de Índice Suporte Califórnia - DNER-ME 049/94, com a energia do ensaio de compactação.

- Para $N \leq 5 \times 10^6 \Rightarrow ISC \geq 60\%$;
- Para $N > 5 \times 10^6 \Rightarrow ISC \geq 80\%$;
- Expansão $\leq 0,5\%$.

O material convencional utilizado na base deste projeto foi uma brita corrida, material retirado da pedreira Tamoio localizada na taquara, que apresentou as características mostradas na Tabela 8.

Tabela 8: Granulometria do material convencional utilizado na base.

Peneiras	% em peso passando
1"	100,0
3/8"	83,0
Nº 4	69,0
Nº 10	57,0
Nº 40	26,0
Nº 200	5,0
ISC =	82,0%
Expansão =	0,0%

4.3.2 - Sub-Base

Os materiais constituintes são solos, mistura de solos, mistura de solos e materiais britados, quando submetidos aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, os materiais devem apresentar as seguintes características:

- Índice de Grupo - IG = 0;
- Fração retida na peneira nº 10 no ensaio de granulometria deve ser constituída de partículas duras, isentas de fragmentos moles, material orgânico ou de outras substâncias prejudiciais;
- Índice de Suporte Califórnia – ISC \geq 20% e Expansão \leq 1%, determinados através dos ensaios:
 - Ensaio de Compactação - DNER-ME 129/94;
 - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia -DNER-ME 049/94, com a energia do ensaio de compactação.

O material convencional utilizado na sub-base deste projeto foi um pó de pedra, retirado da Pedreira Tamoio localizada na Taquara, que apresentou as características mostradas na Tabela 9.

Tabela 9: Granulometria do material convencional utilizado na sub-base.

Peneiras	% em peso passando
1"	100,0
3/8"	100,0
Nº 4	95,0
Nº 10	90,0
Nº 40	40,0
Nº 200	6,0
ISC =	26,7%
Expansão =	0,00%

4.4 – Dimensionamento de pavimentos com e sem RCD

Foram consideradas duas estruturas de pavimento, uma com material convencional e outra com RCD nas camadas de base e sub-base. A Figura 16 apresenta esquematicamente a estrutura.

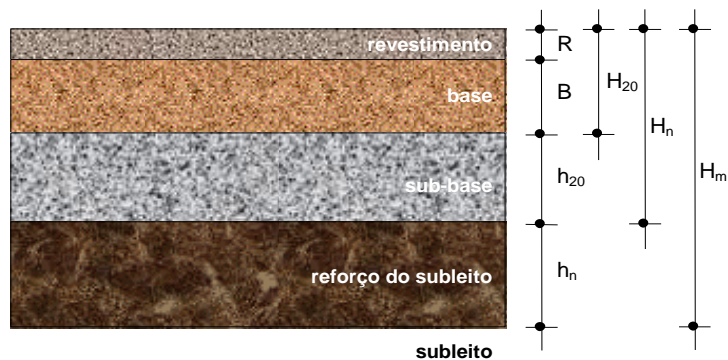


Figura 16: Esquema da estrutura adotada neste projeto.

Os parâmetros de projeto considerados neste trabalho são apresentados em seguida.

4.4.1 - Capacidade de Suporte dos Materiais

Os valores de CBR e expansão obtida nesse projeto foram:

- Subleito
 - ISC = 3,0%
 - Expansão = 0,49%

- Material convencional da base
 - ISC = 82,0%
 - Expansão = 0,00%

- Material convencional da sub-base
 - ISC = 26,7%
 - Expansão = 0,49%

- Material de RCD para base e sub-base
 - ISC = 194%
 - Expansão = 0,00%

4.4.2 - Tráfego

Por se tratar de vias internas do Parque Tecnológico, o tráfego considerado foi:

$N = 1 \times 10^6$ operações do eixo padrão

4.4.3 - Coeficientes de Equivalência Estrutural

Os coeficientes estruturais considerados nesse projeto são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Coeficientes estruturais considerados neste projeto.

Componentes do Pavimento	Coeficiente k
Revestimento de concreto asfáltico	2,00
Base granular	1,00
Sub-base granular	1,00
Material de RCD	0,80
Reforço do subleito	0,70

4.4.4 - Espessura Mínima do Revestimento

O tipo e a espessura mínima do revestimento foram determinados em função do tráfego, $N = 1 \times 10^6$ operações do eixo padrão. Para esse projeto foi adotado um revestimento asfáltico com 5,0 cm de espessura.

4.4.5 – Dimensionamento das Estruturas do Pavimento

4.4.5.1 – Pavimento com base de material convencional

Para dimensionar a estrutura do pavimento com material convencional foram consideradas as seguintes características:

Camada	Material	ISC	K
Revestimento	CA	-	2,00
Base	Brita corrida	82,0%	1,00
Sub-base	Pó de pedra	26,7%	1,00
Reforço do subleito	Selec. CBR>10	10,0%	0,70
Subleito	Solo local	3,0%	-

Foram determinados os valores de H_m , H_n e H_{20} pela Figura 9 e determinados os valores de R , B e h_{20} pelas equações 1, 2 e 3.

- $H_{20} = 25$ cm
- $H_{10} = 39$ cm
- $H_3 = 76$ cm

$$R \times k_R + B \times k_B > H_{20} \rightarrow 5,0 \times 2,0 + B \times 1,0 > 25 \rightarrow B = 15 \text{ cm}$$

$$R \times k_R + B \times k_B + h_{20} \times k_S > H_n \rightarrow 5,0 \times 2,0 + 15 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 39 \text{ cm}$$

$$\rightarrow 10 + 15 + h_{20} \geq 39 \text{ cm} \rightarrow h_{20} \geq 39 - 25 = 14 \text{ cm} \rightarrow h_{20} = 15 \text{ cm}$$

→ adota-se $h_{20} = 15 \text{ cm}$, pois a espessura mínima é de 15 cm.

$$R \times k_R + B \times k_B + h_{20} \times k_S + h_n \times k_{Ref} > H_m \rightarrow 10 + 15 + 15 + h_n \times 0,70 \geq 76 \text{ cm}$$

$$\rightarrow h_n \geq (76 - 40)/0,70 \rightarrow h_n = 52 \text{ cm}$$

A Tabela 11 apresenta as características da estrutura de pavimento com material convencional construídas no empreendimento.

Tabela 11: Características da estrutura do pavimento deste estudo.

Camada	Material	Espessura (cm)	ISC
Capa	CBUQ	5,0	-
Base	Brita corrida	15,0	82,0%
Sub-base	Pó de pedra	15,0	26,7%
Reforço do subleito	Selec. CBR>10	60,0	3,0%
Subleito	Terraplenagem	-	-

4.4.5.2 – Pavimento com base de material de RCD

Para dimensionar a estrutura do pavimento com material de RCD foram consideradas as seguintes características:

Camada	Material	ISC	K
Revestimento	CA	-	2,00
Base	Brita corrida de RCD	194,0%	0,80*
Sub-base	Pó de pedra de RCD	194,0%	0,80*
Reforço do subleito	Selec. CBR>10	10,0%	0,70
Subleito	Solo local	3,0%	-

*Em função da não homogeneidade do material foi considerado um $K = 0,80$.

Foram determinados os valores de H_m , H_n e H_{20} pela Figura 9 e determinados os valores de R , B e h_{20} pelas equações 1, 2 e 3.

- $H_{20} = 25 \text{ cm}$
- $H_{10} = 39 \text{ cm}$
- $H_3 = 76 \text{ cm}$

$$R \times k_R + B \times k_B > H_{20} \rightarrow 5,0 \times 2,0 + B \times 0,80 > 25 \rightarrow B = 19 \text{ cm}$$

$$R \times k_R + B \times k_B + h_{20} \times k_S > H_n \rightarrow 5,0 \times 2,0 + 15 \times 0,80 + h_{20} \times 0,80 \geq 39 \text{ cm}$$

$$\rightarrow 10 + 19 + h_{20} \times 0,80 \geq 39 \text{ cm} \rightarrow h_{20} \geq (39 - 29) / 0,80 = 12,5 \text{ cm} \rightarrow h_{20} = 15 \text{ cm}$$

→ adota-se $h_{20} = 15 \text{ cm}$, pois a espessura mínima é de 15 cm.

$$R \times k_R + B \times k_B + h_{20} \times k_S + h_n \times k_{Ref} > H_m \rightarrow 10 + 19 + 15 + h_n \times 0,70 \geq 76 \text{ cm}$$

$$\rightarrow h_n \geq (76 - 44) / 0,70 \rightarrow h_n = 46 \text{ cm}$$

Apesar dos valores obtidos no dimensionamento, foram adotados mais altos para as espessuras das camadas de base, sub-base e reforço do subleito. A Tabela 12 apresenta as características da estrutura de pavimento com material de RCD deste estudo.

Tabela 12: Características da estrutura do pavimento com RCD deste estudo.

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

5 – CUSTOS

Os custos aqui apresentados foram obtidos do sistema de custos da empresa de obras públicas do estado do Rio de Janeiro - EMOP, e os custos com material reciclado foi retirado diretamente dos valores pagos pela empresa que executou a obra com a empresa Britex, que foi a fornecedora do RCD beneficiado para a base e sub-base desse projeto.

Os custos aqui explicitados são referentes aos materiais e transporte, que são os custos mais relevantes para a execução de uma obra de pavimentação.

5.1 – Material convencional

Custos dos materiais

- Brita corrida: 54,74 R\$/m³
- Pó pedra: 52,05 R\$/m³

Custos de transporte dos materiais

Transporte em caminhão basculante de 17 toneladas

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/Km

5.2 – Material de RCD

Custos dos materiais

- Brita corrida de RCD: 25,00 R\$/m³
- Pó pedra de RCD: 25,00 R\$/m³

Transporte para material de RCD

Transporte em caminhão basculante de 17 toneladas

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/km

5.3 – Comparação de custos de pavimentos com e sem RCD

Para verificar a viabilidade econômica foi feita uma comparação das estruturas com agregados convencionais e RCD, considerando os seguintes itens:

- Custo do material
- Custo de transporte
- Custo de aplicação

As Tabelas 13 e 14 apresentam os valores para as estruturas com material convencional e com RCD nas camadas de base e sub-base, respectivamente.

Tabela 13: Custos das estruturas do pavimento com material convencional.

Camada	Material	Espessura (cm)	Custo
Capa	CBUQ	5,0	22,02 R\$/m ²
Base	Brita corrida	15,0	54,74 R\$/m ³
Sub-base	Pó de pedra	15,0	52,05 R\$/m ³
Reforço do subleito	Selec. CBR>10	60,0	3,04 R\$/m ³
Subleito	Terraplenagem	-	

Tabela 14: Custos das estruturas do pavimento com RCD.

Camada	Material	Espessura (cm)	Custo
Capa	CBUQ	5,0	22,02 R\$/m ²
Base	Brita corrida	20,0	25,00 R\$/m ³
Sub-base	Pó de pedra	20,0	25,00 R\$/m ³
Reforço do subleito	Selec. CBR>10	60,0	3,04 R\$/m ³
Subleito	Terraplenagem	-	

Analisando os valores apresentados nas Tabelas 13 e 14 pode-se verificar que os custos para o revestimento e reforço do subleito para as duas estruturas adotadas, com base e sub-base de material convencional e com base e sub-base de resíduo de construção e demolição, são os mesmos.

Sendo assim esse trabalho irá fazer a comparação para os materiais de base e sub-base levando em consideração para efeito de comparação o material de brita corrida e pó de pedra com custos do material, transporte da usina até a obra, e execução das camadas.

A área total de pavimentação do projeto é de 12.772 m²

Custos com material convencional

Base de Brita corrida com espessura de 15 cm

Tendo uma área de 12.772 m² x 0,15 m = 1.915,80 m³

Custo: 54,74 R\$/m³

Custo para base material convencional: 1.915,80 x 54,74 = R\$ 104.870,90

Sub-base de pó pedra com espessura de 15 cm

Tendo uma área de 12.772 m² x 0,15 m = 1.915,80 m³

Custo: 52,05 R\$/m³

Custo para base material convencional: 1.915,80 x 52,05 = R\$ 99.717,39

Transporte para material convencional

Transporte em caminhão basculante de 17 toneladas

Volume de transporte para brita corrida: 1.915,80 m³

Densidade da brita corrida: 1,7 t/m³

Peso em toneladas: 1.915,80m³ x 1,7 t/m³ = 3.256,86 t

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/km

Distancia da pedreira até a obra: 25,0 km

Valor do transporte pedreira – obra: 3.256,86 x 0,36 x 25 = R\$ 29.309,04

Volume de transporte para pó de pedra: 1.915,80 m³

Densidade do pó de pedra: 1,56 t/m³

Peso em toneladas: 1.915,80m³ x 1,56 t/m³ = 2.988,65 t

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/km

Distancia da pedreira até a obra: 25,0 km

Valor do transporte pedreira – obra: 2.988,65 x 0,36 x 25 = R\$ 26.897,85

Custos com material de RCD

Base de Brita corrida com espessura de 20 cm

Tendo uma área de 12.772 m² x 0,20 m = 2554,40 m³

Custo: 25,00 R\$/m³

Custo para base material convencional: 2.554,40 x 25,00 = R\$ 63.860,00

Sub-base de pó pedra com espessura de 20 cm

Tendo uma área de 12.772 m² x 0,20 m = 2.554,40 m³

Custo: 25,00 R\$/m³

Custo para base material convencional: 2.554,40 x 25,00 = R\$ 63.860,00

Transporte para material de RCD

Transporte em caminhão basculante de 17 toneladas

Volume de transporte para brita corrida: 2.554,40 m³

Densidade da brita corrida: 1,7 t/m³

Peso em toneladas: 2.554,40 m³ x 1,7 t/m³ = 4.342,28 t

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/Km

Distancia da pedreira até a obra: 4,0 Km

Valor do transporte pedreira – obra: 4.342,28 x 0,36 x 4,0 = R\$ 6.252,17

Volume de transporte para pó de pedra: 2554,40 m³

Densidade da brita corrida: 1,56 t/m³

Peso em toneladas: 12.554,40 m³ x 1,56 t/m³ = 3.984,86 t

Valor do transporte em t/km: 0,36 t/Km

Distancia da pedreira até a obra: 4,0 Km

Valor do transporte pedreira – obra: 3.984,86 x 0,36 x 4,0 = R\$ 5.788,20

Vale lembrar que os custos referentes ao material convencional foram retirados do sistema de custos da Empresa de Obras públicas do Governo do Estado do Rio de Janeiro, e a pedreira utilizada como referencia foi a Pedreira Tamoio, que fica localizada a aproximadamente 25 km de distância da obra deste estudo.

A Tabela 15 apresenta os custos para as duas estruturas, com materiais convencionais e com materiais de RCD.

Tabela 15: Comparativo entre convencional e RCD.

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

A partir dos resultados obtidos na Tabela 15 pode-se verificar que existe uma diferença no custo total de R\$ 121.034,81, sendo que a estrutura de pavimento com RCD é bem mais barata do que a estrutura com material convencional.

Vale ressaltar que esse custo baixo de transporte de RCD se deve ao fato do material estar a uma distância pequena do local da obra (4 km), enquanto que o material convencional está localizado a 25 km.

Com os resultados apresentados, pode-se concluir nesse estudo que o uso de RCD como matéria-prima para base e sub-base de pavimentos se mostra como uma alternativa economicamente viável.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A reutilização dos resíduos de construção e demolição em camadas de pavimentos representa uma alternativa interessante, principalmente pelo fato dessas obras consumirem quantidades substanciais dos materiais provenientes da natureza. Assim, o emprego dos agregados reciclados não só proporcionam uma redução na extração da matéria-prima proveniente de jazidas, como também apresentam uma solução significativa para a destinação das grandes quantidades dos resíduos gerados nas cidades.

Além dos benefícios ambientais que são obtidos utilizando o material reciclado para bases e sub-bases de pavimentos pode-se verificar neste trabalho que também ocorre um ganho substancial de custos na obra, ou seja, uma economia considerável (46,4%), uma vez que o material reciclado é bem mais barato que o convencional e principalmente se for considerado que o RCD não apresenta perdas em relação a sua resistência.

Portanto, nesse trabalho fica demonstrado que o uso de RCD é viável economicamente para sua utilização em base e sub-base de pavimentos se mostrando uma alternativa tanto para o descarte dos resíduos da construção civil como matéria-prima mais barata.

Sugestões para trabalhos futuros

Como forma de incentivo ao uso de RCD recomenda-se realizar um estudo mais detalhado para obter custos com a implantação de usinas de RCD em outros locais na cidade do Rio de Janeiro, tendo em vista que esse material também pode ser utilizado em outras áreas da construção civil, como agregados miúdos e graúdos para confecção de concretos magros, blocos de vedação, bancos de praça etc.

Além disso, deve ser considerada a necessidade de realizar outros ensaios para avaliar o comportamento mecânico do RCD como material de pavimentação em camadas de base e sub-base, mas também avaliar a possibilidade de se utilizar esse material em misturas asfálticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR NM 51 - *Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

ABNT NBR 11804 - *Materiais para Sub-base ou Base de Pavimentos Estabilizados Granulometricamente – Especificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991.

ABNT NBR 12052, 19925, *Solo ou agregado miúdo - determinação de equivalente de areia*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

ABNT NBR 15113 - *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT NBR 15114 - *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT NBR 15115 - *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT NBR 15116 - *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

Avaliação do Módulo de Resiliência de Resíduos de Construção e Demolição para Uso em Camadas de Base e Sub-Base de Pavimentos, 2012.

CARNEIRO, A. P., BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. - *Uso do Agregado Reciclado em Camadas de Base e Sub-base de Pavimentos. Projeto Entulho Bom*, 2001.

CARNEIRO, F.P. - *Diagnóstico e Ações da Atual Situação Dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife e João Pessoa*, p. 51, João Pessoa, PB, 2005.

CAVALCANTI. C et al. - *Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável*. Fundação Joaquim Nabuco, Recife PE, 1994. Disponível em <www.ufbaecologia.efba.br>. Acesso em setembro de 2011.

DER/SP - ET-P00/041: Sub-base ou base de bica corrida, Departamento de Estradas de Rodagem, São Paulo, SP 2006.

DNER/ES: 301/97 - *Pavimentação - Sub-base Estabilizada Granulometricamente*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1997.

DNER 697 - *Manual de Pavimentação - IPR/DNER/ABNT - Publicação 697, 2º Edição*, Rio de Janeiro. RJ, 1976.

DNER-ME 049/94 - *Solos- Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

DNER-ME 129/94 - *Solos-Compactação utilizando amostras não trabalhadas*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

DNER-ME 035/98 - *Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles"* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1998.

DNER-ME 083/98 - *Agregados - Análise granulométrica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1998.

DNERME131/94 - *Solos. Determinação do módulo de resiliência*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

EDUFBA / Caixa Econômica Federal, pp.190-227. Salvador, BA. Disponível em:

http://www.ufrj.br/mostranoticia.php?noticia=12074_Entulho-do-HUCFF-comeca-a-ser-retirado-em-setembro.html

FREITAS, Fábio Zimbardi de, Estudo de Viabilidade Técnica para uso de Resíduos de Construção e Demolição em camadas de Base e Sub-base de Pavimentos / Fábio Zimbardi de Freitas. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2011

JOHN, V. M. - *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. Tese (Livre-Docência em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

JURAS, I. A. G. M. - Legislação sobre resíduos sólidos> Exemplos da Europa, Estados Unidos e Canadá, 2008. Disponível em <<http://bd.camara.gov.br>. Acesso em agosto de 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) No Brasil. Brasília. DF. Brasil,

MOTTA, R. S. - *Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de tráfego*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; São Paulo, SP, 2005.

PHILIPPI JR A. Agenda 21 e resíduos sólidos. São Paulo, SP. In: Anais do RESID'99 – Seminário sobre Resíduos Sólidos; ABGE, 1999.

PINTO, T. P. - *Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana* - Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; São Paulo, SP, 1999.

RAMOS, C. R., 2003, *Estudo para o Desenvolvimento de um Catálogo de Pavimentos Flexíveis do Município do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.