

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

**Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE EM PAVIMENTOS**

VALKIRIA CALHEIROS DA SILVA

**Campina Grande
Data: JULHO / 2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
ÁREA GEOTÉCNICA

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE EM PAVIMENTOS.**

VALKIRIA CALHEIROS DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande/PB – como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Campina Grande – Paraíba

Julho de 2012

Valkiria Calheiros da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE –
CAMPINA GRANDE/PB – COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL.

Área de concentração: Geotécnica

Dsc. Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena

Orientador

Campina Grande, Julho de 2012





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S586e Silva, Valkiria Calheiros da.
Estudo da aplicação de resíduos da construção e demolição da
Universidade Federal de Campina Grande em pavimentos / Valkiria
Calheiros Silva. – Campina Grande, 2012.
105 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e
Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dsc. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena.
Referências.

1. Resíduo de Construção e Demolição. 2. Base. 3. Sub-Base.
4. Reciclagem. I. Título.

CDU 628.4.036(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO


Autora: Valkiria Calheiros da Silva

Título: ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE EM PAVIMENTOS.

Dissertação Defendida e Aprovada em: 02/07/2012


Banca Examinadora

(Assinatura):



Prof. Dsc. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena (Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande – LEP/UAEC/CTRN/UFCG



Profa. Dsc. Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena (Examinadora Externa)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – ECT/UFRN



Profa. Dsc. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro (Examinadora Interna)

Universidade Federal de Campina Grande – LEP/UAEC/CTRN/UFCG

DEDICATÓRIA

*Às mulheres maravilhosas da minha vida,
pelo apoio, força e dedicação.*

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Arlete Calheiros, por sempre estar ao meu lado, com seu apoio, dedicação e amor.

As minhas irmãs Roberta e Flavia pela atenção, cuidado e incentivo.

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração.

Ao professor Dsc. Adriano Elísio pela orientação neste trabalho, pelo seu profissionalismo, ensinamento, dedicação e paciência.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da área de Geotecnia da UFCG, pelos ensinamentos.

A CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Aos amigos da Pós-Graduação Karine, João Neto, Larissa, Leonardo, Rander, Fabiano e Daniel que estiverem nessa caminhada.

Aos alunos de iniciação científica Manoel Galberto e Daniel Bezerra pela ajuda e amizade.

Aos laboratoristas do Laboratório de Engenharia de Pavimentos - LEP - UFCG pela ajuda durante a pesquisa.

RESUMO

Um dos efeitos da expansão urbana é a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). O destino final que se tem dado a esses resíduos tem provocado grande preocupação devido aos impactos negativos que causam ao meio ambiente, os quais, direta ou indiretamente, afetam a sociedade. No intuito de reduzir estes impactos, a utilização desse material como agregado em obras de pavimentação apresenta-se como uma alternativa viável. Diante do exposto, este trabalho objetiva o comportamento mecânico do agregado reciclado proveniente de obras de reforma realizadas na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – para emprego em camadas de base e sub-base e em misturas asfálticas. Deste modo, as propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado para uso em base e sub-base de pavimento foram determinadas por meio dos seguintes testes: composição, porcentagem de materiais indesejáveis, massa específica, forma dos grãos, compactação, influência da compactação, índice de suporte Califórnia. Os ensaios de misturas asfálticas compreenderam: ensaios fundamentais dos ligantes (Viscosidade Brookfields, Ponto de Amolecimento e Penetração). Quanto às misturas, foram realizadas análises por meio de ensaios mecânicos, tais como: Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência e Ensaio de Dano por Umidade Induzida, sendo todas as amostras submetidas ao processo de compactação Marshall. Os resultados obtidos indicaram que, o resíduo, quando compactado na energia intermediária, pode ser usado como sub-base e quando compactado na energia modificada tem grande potencial de uso em base. Como agregado em misturas asfálticas, a mistura com 3,9% de RCD apresentou resultado satisfatório. Portanto, é possível com base em estudos técnicos a construção de um pavimento utilizando em toda sua estrutura agregado reciclado, e desta maneira contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Resíduo de Construção e Demolição; Base; Sub-Base; Reciclagem.

ABSTRACT

One of the effects of urban expansion is the production of construction and demolition waste (CDW). The way these wastes have been discarded has caused great concern because of the negative impacts to the environment and, directly or indirectly, to the society. In order to reduce these impacts, we believe that the use of this material as aggregate in paving is a viable alternative. In this context, this study aims at analyzing the mechanical behavior of recycled aggregate from the Universidade Federal de Campina Grande - UFCG – in order to use it in base layers and sub-base and asphalt mixtures. The research consists of laboratory tests to analyze their physical and mechanical behavior. Thus, the physical and mechanical properties of the recycled aggregate for use in sub-base and base surface were determined by the following tests: composition, the percentage of detrimental materials, density, shape of the grains and compaction influence of compression, the California Bearing Ratio. The tests of asphalt mixtures included: fundamental tests of the binders (Brookfields Viscosity, Softening Point and Penetration). The mixtures were analyzed by means of mechanical tests such as Tensile Strength by Diametral Compression Module, Resilience and Testing for Moisture Induced Damage, and all samples submitted to the Marshall compaction process. The results showed us that, when compacted in the intermediate energy the residue can be used as sub-base and when compacted in the modified energy it can be used in as base. As aggregate in asphalt mixtures, the mixture with 3,9% of showed satisfactory results. Thus, we concluded it is possible to build pavement using throughout its structure recycled aggregate thus contributing to sustainable development.

Key words: Construction waste; Base; Sub-base; Recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de RCD Coletados por Região no Brasil em 2009 e 2010.	27
Figura 2 - Resíduo de Construção e Demolição do Bloco CT, UFCG.	47
Figura 3 - (a) Brita 25 mm e (b) Brita 9,5mm.	48
Figura 4 - (a) Pó de Pedra (b) Agregado Reciclado (c) Areia.	48
Figura 5 - Composição do agregado reciclado.	57
Figura 6 - Distribuição Granulométrica do RCD.	59
Figura 7 - Difração de Raios -X do RCD.	62
Figura 8 - Curvas de compactação (Intermediária e Modificada).	63
Figura 9 - Comparação das Curvas Granulométricas do agregado reciclado após a Compactação.	66
Figura 10 - Curva de Viscosidade Versus Temperatura.	72
Figura 11 - Curva Granulométrica dos Agregados Utilizados na Pesquisa.	74
Figura 12 - Curva de Fuller para a Mistura 1.	76
Figura 13 - Curva de Fuller para a Mistura 2.	77
Figura 14 - Curva de Fuller para a Mistura 3.	78
Figura 15 - Teor de Asfalto Mistura 1.	86
Figura 16 - Teor de Asfalto Mistura 2.	87
Figura 17 - Teor de Asfalto Mistura 3.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação dos RCDs na composição dos RSUs em diversas localidades.	27
Tabela 2 - Relação de Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.	39
Tabela 3 - Especificações normativas para utilização de RCD em relação a granulometria.	52
Tabela 4 - Normas utilizadas na caracterização física do agregado.	54
Tabela 5 - Normas utilizadas na caracterização física do ligante asfáltico.	55
Tabela 6 - Distribuição Granulométrica do RCD.	58
Tabela 7 - Resultado do Coeficiente de Uniformidade e Curvatura.	60
Tabela 8 - Resultado da Massa Especifica Real do RCD.	60
Tabela 9 - Composição química do RCD.	61
Tabela 10 - Resultado Massa Especifica Seca e Umidade Ótima.	64
Tabela 11 - Valores índice de Compactação para diferentes tipos de agregados.	64
Tabela 12 - Resultado da Granulometria apos Compactação.	65
Tabela 13 - Resultado do Coeficiente de Uniformidade e de Curvatura após a Compactação.	67
Tabela 14 - Resultado do Índice de Degradação.	67
Tabela 15 - Limites de ISC e Expansão (NBR 15115).	68
Tabela 16 - Resultado do ISC e de Expansão.	68
Tabela 17 - Valores índice de suporte Califórnia para diferentes tipos de agregados reciclados.	69
Tabela 18 - Nova Especificação Brasileira de Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP- (ANP, 2005).....	70
Tabela 19 - Resultado Ensaio de Penetração.	71
Tabela 20 - Resultado Ensaio de Ponto de Amolecimento.	71

Tabela 21 - Resultado Ensaio de Viscosidade Brookfield.	72
Tabela 22 - Resultado Distribuição Granulométrica dos Agregados Utilizadas na Pesquisa.....	73
Tabela 23 - Pontos de controle de acordo com o Tamanho Nominal Máximo do agregado (SUPERPAVE).....	75
Tabela 24 - Zona de restrição de acordo com o Tamanho Nominal Máximo (SUPERPAVE).....	75
Tabela 25 - Composição Granulométrica da Mistura 1.	76
Tabela 26 - Composição Granulométrica da Mistura 2.	77
Tabela 27 - Composição Granulométrica da Mistura 3.	78
Tabela 28 - Resultado Massa Específica do Agregado Graúdo.....	79
Tabela 29 - Resultado Massa Específica do Agregado Miúdo.	79
Tabela 30 - Resultado do Ensaio de Equivalente de Areia.	79
Tabela 31 - Resultado de Ensaio de Índice de Forma.	80
Tabela 32 - Resultado de Ensaio de Abrasão Los Angeles.	80
Tabela 33 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 1).....	81
Tabela 34 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 2).....	81
Tabela 35 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 3).....	82
Tabela 36 - Resultado de DMT para as Misturas.	83
Tabela 37 - Resultado de G_{mb} para as Misturas.....	83
Tabela 38 - Resultados da Dosagem Mistura 1.	84
Tabela 39 - Resultados da Dosagem Mistura 2.	85
Tabela 40 - Resultados da Dosagem Mistura 3.	85
Tabela 41 - Resultados de Verificação da Dosagem das Misturas.	88
Tabela 42 - Resultado de Ensaio de Resistencia à Tração Diametral.	88
Tabela 43 - Resultado de Ensaio de Resistencia ao dano por Umidade Induzida (LOTTMAN).....	89

Tabela 44 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 1.....	90
Tabela 45 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 2.....	90
Tabela 46 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 3.....	90

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Esquema da usina de reciclagem de RCD de Vinhedo, Estado de São Paulo, Brasil.....	38
Fluxograma 2 - Sequência de atividades e de ensaios realizados com RCD.....	49
Fluxograma 3 - Sequência de atividades e de ensaios realizados para misturas asfálticas.....	50

LISTRAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DMT	Densidade Máxima Teórica
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
EM	Especificação de Material
ES	Especificação de Serviço
IPC	Industrial Products Company
LEP	Laboratório de Engenharia de Pavimentos
ME	Método de Ensaio
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira
NM	Normas Mercosul
P.A.	Ponto de Amolecimento
PRO	Procedimento
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RBV	Relação Betume/Vazios
RRT	Relação da Resistência à Tração

RT	Resistência à Tração
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavements
TMN	Tamanho Máximo Nominal
UAEC	Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
UAEMa	Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UTM	Universal Testing Machine
VAM	Vazios do Agregado Mineral
Vv	Volume de Vazios

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. JUSTIFICATIVA.....	20
1.2. OBJETIVOS.....	21
1.2.1. Objetivo Geral.....	21
1.2.2. Objetivos Específicos.....	22
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. Classificações dos Resíduos.....	23
2.2. Resíduos de Construção e Demolição.....	26
2.2.1. Composição dos Resíduos de Construção e Demolição.....	30
2.2.2. Problemática Ambiental.....	32
2.2.3. Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição.....	34
2.3. Utilização de Resíduos na Construção Civil.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1. Materiais.....	47
3.1.1. Resíduos de Construção e Demolição.....	47
3.1.2. Agregado graúdo.....	48
3.1.3. Agregado miúdo.....	48
3.1.4. Cal hidratada.....	49
3.1.5. CAP.....	49
3.2. Métodos.....	49
3.2.1. Caracterização física, química e mineralógica do Resíduo de Construção e Demolição.....	51
3.2.1.1. Composição do agregado.....	51
3.2.1.2. Materiais indesejáveis.....	51

3.2.1.3.	Massa específica dos grãos e absorção	52
3.2.1.4.	Distribuição granulométrica	52
3.2.1.5.	Limite de liquidez e plasticidade	53
3.2.1.6.	Composição química por fluorescência de raios X (EDX)	53
3.2.1.7.	Difração de Raios – X (DRX).....	53
3.2.2.	Utilização de RCD em camadas de base e sub-base.....	53
3.2.2.1.	Compactação	53
3.2.2.2.	Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	54
3.2.3.	Utilização de RCD em misturas Asfálticas.....	54
3.2.3.1.	Caracterização dos Agregados	54
3.2.3.2.	Caracterização do Ligante Asfáltico	55
3.2.3.3.	Dosagem Marshall	55
3.2.3.4.	Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT).....	55
3.2.3.5.	Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN.....	56
3.2.3.6.	Módulo de Resiliência (MR)	56
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
4.1.	Caracterização física, química e mineralógica do Resíduo de Construção e Demolição	57
4.1.1.	Composição do agregado reciclado	57
4.1.2.	Materiais Indesejáveis	58
4.1.3.	Distribuição Granulometria	58
4.1.4.	Massa específica Real.....	60
4.1.5.	Limite de Liquidez e Plasticidade.....	61
4.1.6.	Composição química por fluorescência de raios X.....	61
4.1.7.	Difração de Raios – X.....	62
4.2.	Utilização de RCD em Camadas de Base e Sub-Base.....	62

4.2.1.	Ensaio de Compactação.....	62
4.2.2.	Índice de Suporte Califórnia	68
4.3.	Utilização do RCD em Misturas Asfálticas	70
4.3.1.	Caracterização do Ligante Asfáltico	70
4.3.2.	Caracterização dos Agregados.....	73
4.3.3.	Dosagem Marshall.....	80
4.3.4.	Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)	88
4.3.5.	Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN (RTu)	89
4.3.6.	Módulo de Resiliência (MR).....	89
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	92
5.1.	Conclusões	92
5.2.	Sugestões para Trabalhos Futuros	93
6.	REFERÊNCIAS	94

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável tornou-se, nos últimos anos, uma grande preocupação mundial. Por isso, em diversos países, como nos EUA, Austrália e os países da União Europeia, já existem planos e metas para redução dos impactos ambientais causados, principalmente, pelas grandes indústrias, que, em seus processos produtivos, geram uma quantidade considerável de resíduos. (LEITE, 2007)

Segundo o relatório final, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), de 2007, elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU), os resíduos sólidos e líquidos são responsáveis por 2,8% da emissão de CO₂ e outros gases que colaboram para o aquecimento global. Este relatório recomenda que sejam adotadas políticas de gerenciamento para reduzir a geração de resíduos e estimular a reciclagem destes por meio do desenvolvimento e da difusão de novas tecnologias. (LEITE, 2007)

No Brasil, a Indústria da Construção Civil é um dos grandes geradores de resíduos, aos quais, em sua maioria, não são dados um destino final adequado, causando assim impactos negativos ao meio ambiente. Segundo dados da ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) em 2010, os municípios brasileiros coletaram aproximadamente 31 milhões de toneladas destes resíduos, quantidade que, em geral, é composta por resíduos abandonados ou indevidamente lançados em áreas públicas. Porém, as quantidades reais podem ser ainda maiores, visto que os municípios em geral coletam somente os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) lançados nos logradouros públicos.

No intuito de minimizar esses impactos ambientais, pode-se citar um importante avanço na gestão dos resíduos provenientes de atividades construtivas, as diretrizes e procedimentos estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, em sua Resolução N° 307, de julho de 2002, cujos princípios são baseados em um modelo de gestão diferenciada, uma gestão sustentável.

Uma política pública é um processo de conscientização sustentável por meio da reciclagem dos resíduos de construção e demolição, este sendo um problema

ambiental existente há décadas nos centros urbanos, também seria uma das alternativas para solucionar esta questão. Na Holanda, por exemplo, 85% dos resíduos de construção são submetidos a um processo de beneficiamento para serem reutilizados. (HENDRIKS e JANSSEN, 2001)

Segundo Carneiro *et al.* (2001), o uso de agregado reciclado em camadas de pavimentos urbanos tem sido uma das maneiras mais difundidas para a destinação final dos resíduos. O aproveitamento deste material em pavimentação apresenta vantagens como a utilização de quantidade significativa de material reciclado, tanto na fração miúda quanto na graúda e a simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária). Estes aspectos contribuem para a redução dos custos e possibilita o uso desse resíduo que seria descartado.

Neste contexto, o presente trabalho busca investigar o comportamento mecânico e viabilidade técnica de agregados reciclados de Resíduos de Construção e Demolição oriundos de obras realizadas na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG com incorporação em camadas de base e sub-base de pavimentos e misturas asfálticas, visando sua aplicação em camadas de pavimentos de baixo tráfego na Universidade, reduzindo também os impactos que estes resíduos causam no meio ambiente e na sociedade.

1.1. JUSTIFICATIVA

A grande quantidade de resíduos gerados por obras de construção civil tem despertado interesse em estudos na área de reciclagem desse material. Um exemplo disso são pesquisas recorrentes sobre o emprego do agregado reciclado em obras de pavimentação, como nos trabalhos desenvolvidos por Bodi *et al.* (1995), que estudou a construção de uma via com resíduo da construção civil na cidade de São Paulo; Trichês e Kryckyj (1999) que desenvolveram um estudo para reaproveitamento dos resíduos da construção civil de Florianópolis em pavimentação; Carneiro (2001) pesquisou a viabilidade do emprego de agregados reciclados de Salvador em pavimentação. Esse interesse justifica-se, principalmente, porque o uso de agregado reciclado apresenta as seguintes vantagens:

- diminuição dos custos da pavimentação, uma vez que estes materiais apresentam custos inferiores aos convencionais;
- diminuição dos custos de operação de aterros sanitários, devido a menor quantidade de resíduos envolvidos;
- economia com a limpeza urbana e melhoria das condições de saneamento;
- expansividade do material muito baixa ou nula;
- alto poder cimentante, em função da presença de atividade pozolânica; e
- diminuição das explorações de jazidas, com conseqüente desaceleração da degradação do meio ambiente.

Deste modo, observando a expansão e ampliação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), verifica-se a grande quantidade de resíduos gerados dentro do campus, ocasionando problemas quanto à sua disposição e destinação. Portanto, sabendo-se que os resíduos gerados nessas obras podem ser reaproveitados, reciclados e/ou beneficiados surge a motivação para estudar a viabilidade de emprego desse material em obras de pavimentação dentro do próprio campus da UFCG considerando os seguintes fatores:

- importância da seleção de uma alternativa que tenha em sua concepção a preocupação com o meio ambiente e a sociedade;
- a percepção da universidade como um modelo para sociedade, considerando o seu objetivo de promover o desenvolvimento sustentável, acredita-se na viabilidade da implantação dos métodos estudados no presente trabalho na própria UFCG.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Estudar o comportamento mecânico de agregados reciclados de RCD para emprego em camadas de base, sub-base e como agregado miúdo de misturas asfálticas de pavimentos de vias de baixo volume de tráfego.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudar a viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado a partir dos ensaios de caracterização física, química e mineralógica;
- Analisar a influência da energia de compactação no comportamento físico e mecânico do agregado reciclado;
- Analisar o comportamento do RCD puro para uso em base e sub-base de pavimentos;
- Analisar as misturas asfálticas após a utilização do RCD como agregado miúdo.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Essa dissertação encontra-se em um volume distribuído da seguinte forma:

Introdução - Apresenta uma visão geral a respeito do tema bem como uma breve justificativa para a realização do estudo, seus objetivos e sua estruturação.

Revisão de Literatura - Expõe a situação atual dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil, sua geração e os impactos que podem causar ao meio ambiente. Apresenta também algumas classificações e características desse material. E por fim, as formas de reciclagem e reutilização para fins rodoviários.

Materiais e Métodos - Descreve os materiais, procedimentos dos ensaios realizados e o método da pesquisa.

Resultados e Discussões - Apresenta os resultados obtidos e suas análises durante a fase experimental.

Conclusões e Sugestões - Apresenta as conclusões do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema estudado. Por fim, estão incluídas as Referências Bibliográficas e os Anexos, onde foram inseridas as referências citadas para a realização do trabalho, as planilhas e os gráficos resultantes dos ensaios realizados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Classificações dos Resíduos

A disposição de resíduos diretamente nos solos foi por muitos anos considerada uma prática aceitável. Não havendo uma preocupação com uma possível contaminação desse material no solo e nas águas subterrâneas. Porém, dependendo das suas características, alguns necessitam de tratamento diferenciado. Assim, caracterizá-los para determinar seu destino final tornou-se essencial, principalmente para evitar sua disposição em locais inadequados, que possam causar contaminação ao meio ambiente.

De forma geral, os resíduos podem ser classificados segundo sua fonte geradora, proveniente de atividades urbanas, industriais e agrícolas em (SCHALCH 2002, BIDONE & POVINELLI, 1999, CASTRO NETO & GUIMARÃES, 2000 e SANTOS & MARTINS, 1995):

- a) **Resíduos sólidos urbanos (RSU):** são os resíduos resultantes das residências (resíduo domiciliar ou doméstico), de serviços de saúde, de construção civil, de poda e capina, de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários e os resíduos de serviços, que abrangem os resíduos comerciais, os resíduos de limpeza de bocas de lobo e os resíduos de varrição, de feiras, entre outros.
- b) **Resíduos sólidos industriais (RSI):** abrangem os resíduos das indústrias de transformação, os resíduos radiativos e os resíduos agrícolas.
- c) **Resíduos sólidos especiais (RSE):** são ditos como especiais, em função de suas características diferenciadas, nos quais se inserem os pneus, as pilhas e baterias e as lâmpadas fluorescentes.
- d) **Resíduo de equipamentos eletro eletrônicos (REEE):** inclui computadores, televisores, geladeiras, telemóveis/celulares, entre outros dispositivos.

Com relação à classificação dos resíduos sólidos como potencialmente poluentes, existem as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- NBR 10.004/2004 – Resíduos sólidos – Classificação: classifica os resíduos sólidos como Perigosos e Não Perigosos.
- NBR 10.005/2004 – Lixiviação de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos: prescreve procedimentos para lixiviação de resíduos tendo em vista a sua classificação;
- NBR 10.006/2004 – Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos: prescreve sobre a solubilização de resíduos e fixa condições exigíveis para diferenciar os resíduos não inertes;
- NBR 10.007/2004 – Amostragem de resíduos: fixa condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de amostras de resíduos sólidos.

Ainda segundo a ABNT NBR 10.004/2004 os resíduos podem ser dispostos em três classes: **Resíduo Classe I – Perigosos** e **Resíduo Classe II – Não Perigosos – Inertes e Não Inertes**.

a) Resíduo Classe I – Perigosos

Segundo definição da NBR 10.004/2004, resíduo perigoso é aquele que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, possa apresentar:

- risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças;
- riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

b) Resíduo Classe II – Não Perigosos

Segundo a NBR 10004/2004 os Resíduos Classe II - denominados como não Perigosos podem ser: **Resíduo classe II A – Não Inerte** e **Resíduo classe II B - Inerte**.

- **Resíduo classe II A - Não Inerte:** são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos da Classe I – Perigosos ou daqueles

que não fazem parte dos resíduos Classe II B - Inertes. Podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

- **Resíduo classe II B – Inerte:** são aqueles que quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007/2004 e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006/2004, não obtiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme Anexo G da ABNT NBR 10004/2004.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da resolução CONAMA nº 307/2002 classifica os resíduos de construção e demolição segundo sua atividade geradora e seu potencial de reutilização e reciclagem, dividindo-os em quatro classes:

- **Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, edificações e de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto;
- **Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros e madeiras;
- **Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- **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.

Os Resíduos de Construção e Demolição são geralmente classificados para melhor identificar os materiais que os compõem, fator que influencia diretamente no seu comportamento físico e mecânico.

No Brasil, uma classificação simples que muitas usinas recicladoras fazem para uma pré-seleção do RCD, é a seguinte (ÂNGULO *et al.*, 2003; TRICHÉS & KRYCKYJ, 1999; FERNANDES, 2004):

- Agregado reciclado de concreto: chamado também de cinza ou branco, é principalmente composto por materiais cimentícios, como concretos e argamassas;
- Agregado reciclado vermelho: com predominância de materiais cerâmicos, como tijolos, telhas e pisos cerâmicos;
- Agregado reciclado misto: quando possui menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas é denominado misto.

Na Europa, o RCD é normalmente classificado em resíduos de concreto, resíduos de alvenaria e resíduos mistos de concreto e de alvenaria. Adicionalmente, na Alemanha, os resíduos de alvenaria podem ainda ser divididos em três classes diferentes (MULLER, 2004):

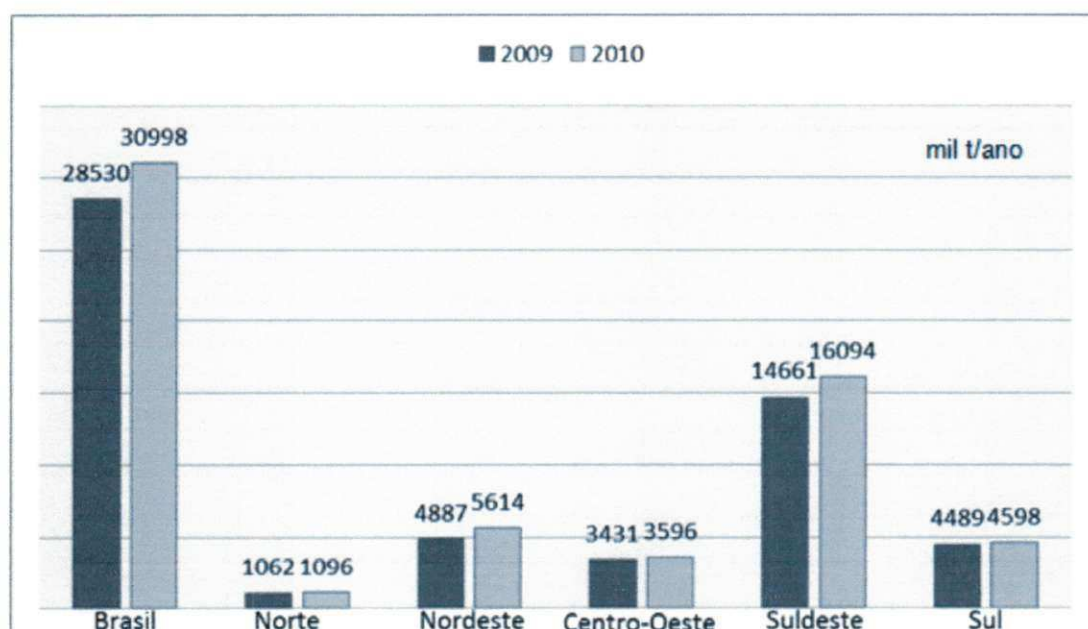
- Resíduos de tijolos: compostos por tijolos recuperados em coberturas ou na pré-seleção dos resíduos de alvenaria podendo ser de natureza cimentícia ou cerâmica.
- Resíduos com altos teores de tijolos: compostos 80% da massa de tijolos e o restante de argamassa de assentamento e revestimentos provenientes de demolição de alvenaria.
- Resíduos de alvenaria mistos: compostos por tijolos, argamassas, revestimentos, concretos leves, tijolos sílico-calcáreos, etc. provenientes da demolição de alvenarias.

2.2. Resíduos de Construção e Demolição

Em uma definição geral, Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são materiais sem utilidade para a construção civil, onde estes, em grande maioria, não possuem sua eliminação de forma apropriada, tornando-se assim um grave problema nos meios urbanos. São normalmente gerados em grandes volumes, representando assim uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos.

Conforme apresenta a Figura 1, os municípios brasileiros coletaram cerca de 31 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição em 2010, 8,7% a mais do que em 2009, e as quantidades são expressivas em todas as regiões do país. É importante destacar que os dados são referentes apenas aos RCDs coletados em logradouros públicos. A grande maioria dos municípios não possuem projetos de direcionamento destes materiais, porém estudos mostram que os poucos que desenvolvem projetos referentes a esse direcionamento, apresentaram considerável redução na poluição urbana.

Figura 1 - Total de RCD Coletados por Região no Brasil em 2009 e 2010.



Fonte: ABRELPE (2009/2010).

Na Tabela 1 são apresentados dados da participação dos RCD na composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em diversas localidades.

Tabela 1 - Participação dos RCDs na composição dos RSUs em diversas localidades.

Localidades	Participação dos RCD na Massa Total de RSU	
	(%)	
Santo André/ SP	54	
São José do Rio Preto/ SP	58	
São José dos Campos/ SP	67	
Ribeirão Preto/ SP	70	
Jundiaí/ SP	62	

Vitória da Conquista/ BA	61
Belo Horizonte/ MG	54
Campinas/ SP	64
Salvador/ BA	41
Europa Ocidental	~ 66
Suíça	~ 45
Alemanha	> 60
Região Bruxelas – Bélgica	> 66
EUA	39
Vermont State (EUA)	48

Fonte: PINTO (1999)

Observa-se que, no caso do Brasil, tal percentual varia de 41% (Salvador/ BA) a 70% (Ribeirão Preto/ SP), ficando a participação média em torno de 59%, não diferindo muito dos valores encontrados para outros países, como o caso da Alemanha, cuja participação é de 60%.

Com essa alta participação dos resíduos de construção e demolição na composição dos RSU's, a adoção de uma política de gerenciamento de resíduos é de grande importância. Contudo, o destino final para os RCD nem sempre é o mais adequado pois, muitas vezes os RCD são dispostos de forma ilegal, tanto no Brasil como no exterior (PINTO, 1999; EPA, 1998; EC, 2000).

Em quase todos os países do mundo são realizados investimentos de sistemas formais de gerenciamento para reduzir a deposição ilegal e sistemática, que além da poluição, provocam o assoreamento de rios e córregos e o entupimento de galerias e bueiros, contribuindo para as enchentes. A degradação das áreas urbanas é um fato lamentável, que influi diretamente sobre a saúde e a qualidade de vida da população (TRICHÊS & KRYCKYJ, 1999; PINTO, 1999; SCHNEIDER, 2003).

A União Europeia pratica, desde 1996, uma política de gerenciamento dos Resíduos de Construção e Demolição, por constituírem uma alta parcela dos resíduos totais gerados. Estima-se que sejam produzidas na Europa cerca de 180 milhões de toneladas destes resíduos anualmente (EC, 2000). Não são todos os países membros que adotam métodos de gerenciamentos para seus RCD, mas os países que introduziram este sistema atingem hoje elevados níveis de

reaproveitamento e reciclagem, como Holanda, Bélgica e Dinamarca, que chegam à marca de 80% de reaproveitamento ou reciclagem.

No Brasil, somente nas últimas décadas a questão da geração de resíduos tem sido vista como parte importante do saneamento dos ambientes urbanos, uma vez que tem influência direta na qualidade de vida da população. Por isso, em 2002 foi aprovada a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 307 (CONAMA) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. De acordo com esta resolução, os geradores são responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas. Além disso, eles devem ter como prioridade a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final (CONAMA, 2002).

A Resolução CONAMA 307/2002 é considerada o principal marco regulatório para gestão dos RCD, pois estabelece a necessidade da implantação de uma rede de serviço que possibilite a destinação correta por parte dos pequenos geradores e outras redes destinados aos grandes volumes. As obrigações de cada um dos agentes devem estar explicitadas em legislação municipal específica (Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil), participando o poder público como gestor, cumprindo seu papel com relação ao licenciamento de empreendimentos, no cadastramento de transporte, na fiscalização dos agentes, na promoção de ações sócioeducativas como também prover soluções para pequenos volumes de RCD. Com relação ao sistema de limpeza urbana local, os geradores de resíduos devem ser diferenciados de acordo com o volume de resíduos gerados. (CARELI, 2008).

É de responsabilidade dos municípios elaborarem o Plano Integrado de Gerenciamento que incorpore o Programa Municipal de Gerenciamento (para geradores de pequenos volumes), como também Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC – para aprovação dos empreendimentos dos geradores de grandes volumes. Quanto aos Geradores é de sua responsabilidade elaborar e implementar o PGRCC com o objetivo de estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente correta no decorrer da construção da obra, por meio da caracterização dos resíduos e

indicação de procedimentos para triagem, acondicionamento, transporte e destinação, conforme estabelecido pela resolução do CONAMA, nº 307/2002. (GUERRA, 2009).

Na construção civil, onde o consumo de matéria prima é altamente impactante na natureza, a reciclagem se insere nesse contexto para a minimização dos impactos ambientais causados pela extração dos recursos naturais não renováveis, uma vez que a construção civil pode reaproveitar grande percentual de materiais de construção que foram descartados (ÂNGULO, ZORDAN & JOHN, 2001).

Apesar da atenção que se tem dado em atender as leis e normas estabelecidas no Brasil sobre os resíduos de construção, ainda são poucos os municípios que conseguem implementar uma gestão eficiente desses resíduos, comparada especialmente com outros países. Entretanto, é importante destacar que a implantação dos critérios e procedimentos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 307/2002, representam uma importante iniciativa para a redução dos materiais de RCD e, conseqüentemente, uma minimização nos impactos ambientais.

2.2.1. Composição dos Resíduos de Construção e Demolição

O RCD tem, no mínimo, duas fontes de geração típicas: construção e demolição. Em diversos países os resíduos de construção representam de 19 a 52% do RCD, enquanto que os resíduos de demolição representam 50 a 81% do RCD. No Brasil, estima-se que mais de 50% do RCD é originado da construção (canteiros de obras e construções informais) (SINDUSCON-SP, 2005).

A composição dos RCD está estritamente ligada às diversas características de sua fonte geradora e do momento de coleta da amostra. Dessa forma, há uma gama muito grande de aspectos que interferem na quantidade, composição e características desse resíduo. Entre esses aspectos, destacam-se (CARNEIRO et al., 2001):

1. O nível de desenvolvimento da indústria da construção local;
 - I. Qualidade e treinamento da mão-de-obra disponível;

- II. Técnicas de construção e demolição empregadas;
 - III. Adoção de programas de qualidade e de redução de perdas;
 - IV. Adoção de processos de reciclagem e reutilização no canteiro;
2. Os tipos de materiais predominantes e/ou disponíveis na região;
 3. O desenvolvimento de obras especiais na região (metrô, esgotamento sanitário, restauração de centros históricos, entre outros);
 4. O desenvolvimento econômico da região; e
 5. A demanda por novas construções.

Essa variabilidade na sua composição faz com que os RCD tenham características diferentes para cada país, estado, cidade e, em alguns casos específicos, até para bairros de uma mesma cidade, o que justifica seu caráter extremamente heterogêneo. De acordo com Zordan (2000), é importante ressaltar que o resíduo de construção e demolição talvez seja o mais heterogêneo de todos os resíduos industriais e, ainda, que a sua composição química está relacionada com a composição dos materiais que o compõe.

Os materiais de origem mineral, como concreto, argamassa, blocos, tijolos, telhas, solos gesso, etc. são predominantes no RCD, representando aproximadamente 90%, no Brasil, na Europa e em alguns países asiáticos. (ÂNGULO, 2005).

A Tabela 2 apresenta a composição de RCD de algumas cidades brasileiras. Observa-se que o somatório dos percentuais de concreto, argamassa e material cerâmico, para cada cidade apresentada, corresponde a mais de 60% do total de resíduos gerados. Esses resultados demonstram o potencial de reciclabilidade dos RCD, uma vez que os resíduos mencionados pertencem à Classe A, potencialmente recicláveis como agregados.

Tabela 2 - Composição do RCD de cidades brasileiras.

Município	Argamassa (%)	Concreto (%)	Mat. Cerâmico (%)	Cerâmica Polida (%)	Rochas e Solos (%)	Outros (%)
São Paulo/SP	25,2	8,2	29,6	n.d.*	32	5
Porto Alegre/RS	44,2	18,3	35,6	0,1	1,8	n.d.*
Ribeirão Preto/SP	37,4	21,1	20,8	2,5	17,7	0,5
Salvador/BA		53	9	5	27	6
Campina Grande/PB	28	10	34	1	9	18
Maceió/AL	27,82	18,65	48,15	3,06	n.d.*	2,32

* n.d. – não disponível.

Fonte: CABRAL e MOREIRA (2011).

2.2.2. Problemática Ambiental

A coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos são importantes para o saneamento e higiene de áreas urbanas, removendo grandes volumes de dejetos que são descartados sem tratamento, servindo como criadouros para uma série de vetores mecânicos (animais e insetos que servem como agentes transmissores de doenças), como ratos, moscas, pulgas e mosquitos. A produção crescente de resíduos é motivo de preocupação devido à escassez de áreas adequadas para a disposição final destes, pois, além de apresentarem custos altos, são raras as áreas disponíveis para acomodar os equipamentos urbanos necessários para dispor adequadamente estes resíduos, como *containers*, por exemplo.

Estes efeitos são chamados de impactos ambientais porque geram desequilíbrio no meio ambiente (TAUK, 2003). Assim, podemos dizer que impacto

ambiental é a alteração no meio ambiente provocada por uma determinada ação ou atividade, que precisa ser quantificada por apresentar variação relativa, seja positiva ou negativa, intensa ou superficial (RAFAEL, 2006).

Diante da situação desordenada da disposição dos resíduos nas cidades, o poder público municipal, frequentemente, com medidas paliativas, realiza serviços de coleta, arcando com os custos do transporte e da disposição final. Tal prática não soluciona definitivamente o problema de limpeza urbana porque, além de não conseguir a remoção da totalidade dos resíduos, incentiva a continuidade da disposição irregular nos locais atendidos pela limpeza pública.

Além disso, a existência de possíveis áreas que sofrem prejuízos devido ao contato com resíduos contaminados pode trazer sérias consequências ambientais e sanitárias, tornando-as limitadas para determinados usos, como, por exemplo, em áreas de loteamentos residenciais. A criação de aterros clandestinos, devido à falta de consciência ambiental, faz com que os resíduos sejam, na maioria dos casos, utilizados de forma incorreta, simplesmente para a elevação de cotas do terreno e minimização de custos pela não aquisição de materiais adequados para este fim. Assim, a contaminação pode atingir o lençol d'água e, com isso, inutilizar a fonte de abastecimento. As atividades da indústria da construção civil aparecem como importantes fontes de contaminação de áreas, principalmente nos processos em que empregam substâncias perigosas e, conseqüentemente, geram resíduos perigosos (BAGATINI, 2011).

Deste modo, todas as etapas do processo construtivo, tais como extração da matéria-prima, produção de materiais, construção e demolição geram resíduos que causam, direta ou indiretamente, impactos ambientais, tais como:

- Degradação das áreas de manancial e de proteção permanente;
- Proliferação de agentes transmissores de doenças;
- Assoreamento de rios e córregos;
- Obstrução dos sistemas de drenagem, tais como piscinões, galerias e sarjetas.

- Ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo à circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana;
- Acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade.

Segundo Santos (2007), para contornar esses problemas é necessária a existência de políticas públicas para o controle da geração de resíduos e para a avaliação dos impactos que estes causam ao meio ambiente.

2.2.3. Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição

Os agregados reciclados apresentam um custo de produção inferior aos agregados naturais, sendo a escolha desse produto um ganho ambiental, uma vez que se deixa de extrair matéria-prima natural e utiliza-se um tipo de resíduo que tem considerável participação nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). De forma geral, estes agregados apresentam grande potencial de utilização como insumo na construção civil, (CABRAL, 2007).

Na Holanda, o interesse pela reciclagem surgiu após a intervenção governamental através de altas taxas de disposição de resíduos em aterros públicos (SILVA, 2007).

No Brasil a reciclagem de RCD é bastante recente, mas vem despertando a atenção dos gestores urbanos pelas possibilidades que apresenta enquanto solução para a destinação dos RCD e solução para a geração de produtos a baixo custo. (PINTO, 1999). Segundo o autor os primeiros estudos sistemáticos foram realizados a partir de 1983 (PINTO, 1986), ocorrendo na sequência os estudos de Silveira (1993), Zordan (1997), Levy (1997), Latterza (1998) e Lima (1999), além de uma série de outros estudos desenvolvidos em várias instituições de pesquisa do País (PINTO, 1999).

Para Silva (2007) a reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, pode causar impacto ambiental. Alguns fatores como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a forma de utilização do material reciclado, poderão tornar

o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo antes de ser reciclado.

Nos países onde a reciclagem está mais consolidada, a utilização dos elementos e materiais recuperados da construção civil é muito diversificada, estando de acordo com as imposições de mercado e com a sofisticação dos métodos utilizados para obtenção dos resíduos, (PINTO, 1999).

A reutilização e a reciclagem como estratégias de minimização de resíduos oferecem três benefícios: reduzem a procura sobre novos recursos naturais; diminuem a energia necessária para a produção de novos materiais e utilizam resíduos que, de outra forma, teriam o aterro como destino final.

Os esforços para promover a reutilização e a reciclagem de RCD têm levado bastante tempo para se desenvolver, por implicarem em uma mudança de percepção entre todas as partes envolvidas na indústria de construção, que sempre viram os RCD como um resíduo sem qualquer tipo de utilidade. Para acelerar esta mudança de ideias, as seguintes condições devem ser satisfeitas (MALIA, 2010):

- I. Aceitar que os RCD são um recurso valioso, que podem ser reutilizados tal como são, ou reprocessados num novo produto; para implementar este conceito, é necessário desenvolver investigações. Conscientizar sobre o impacto ambiental da indústria da construção, desenvolver projetos-piloto, campanhas informativas e outro tipo de atividades;
- II. Ser mais rentável reutilizar e reciclar os RCD do que depositá-los em aterros; um mecanismo eficaz para isso é impor taxas elevadas sobre a deposição em aterro, e pesadas multas para os despejos ilegais; subsídios e isenções fiscais para a reciclagem são meios adicionais para incentivar a reutilização e a reciclagem;
- III. Para reutilizar e reciclar os RCD, então deve existir um mercado para estes materiais e subprodutos; ou seja, o preço dos RCD reciclados deve ser suficientemente baixo para atrair compradores e, ao mesmo tempo, rentável para quem os recicla;

- IV. Os produtos reciclados devem idealmente ter uma qualidade igual ou superior à dos produtos convencionais; se não puder ser alcançada a mesma qualidade dos novos produtos, as normas e especificações deverão ser ajustadas para permitir que os produtos de menor qualidade possam ser usados em aplicações menos exigentes; a criação de um sistema de certificação de qualidade para produtos reciclados contribuirá para reforçar a confiança dos consumidores;
- V. Para os RCD poderem ser reutilizados ou reciclados, a demolição dos edifícios tem de ser cuidadosamente planejada, devidamente organizada e estritamente controlada; esta demolição, com mão-de-obra qualificada e motivada, deve suceder na ordem inversa da construção;
- VI. É de extrema importância que os RCD sejam triados na fonte e que cada fracção seja armazenada e transportada separadamente, protegendo-a de qualquer contaminação ou mistura com outros resíduos;
- VII. Um importante incentivo para a reutilização e reciclagem de RCD seria implementar certificações de boas práticas, similares à certificação ISO 14001 para sistemas de gestão ambiental.

Estudos mostram que os resíduos produzidos numa obra podem ser reutilizados na mesma obra, desde que utilizados procedimentos adequados e disponibilidade de recursos que poderão ser utilizados para esse aproveitamento. Esses procedimentos e disponibilidades de recursos dependerão das características socioeconômicas e culturais de cada município.

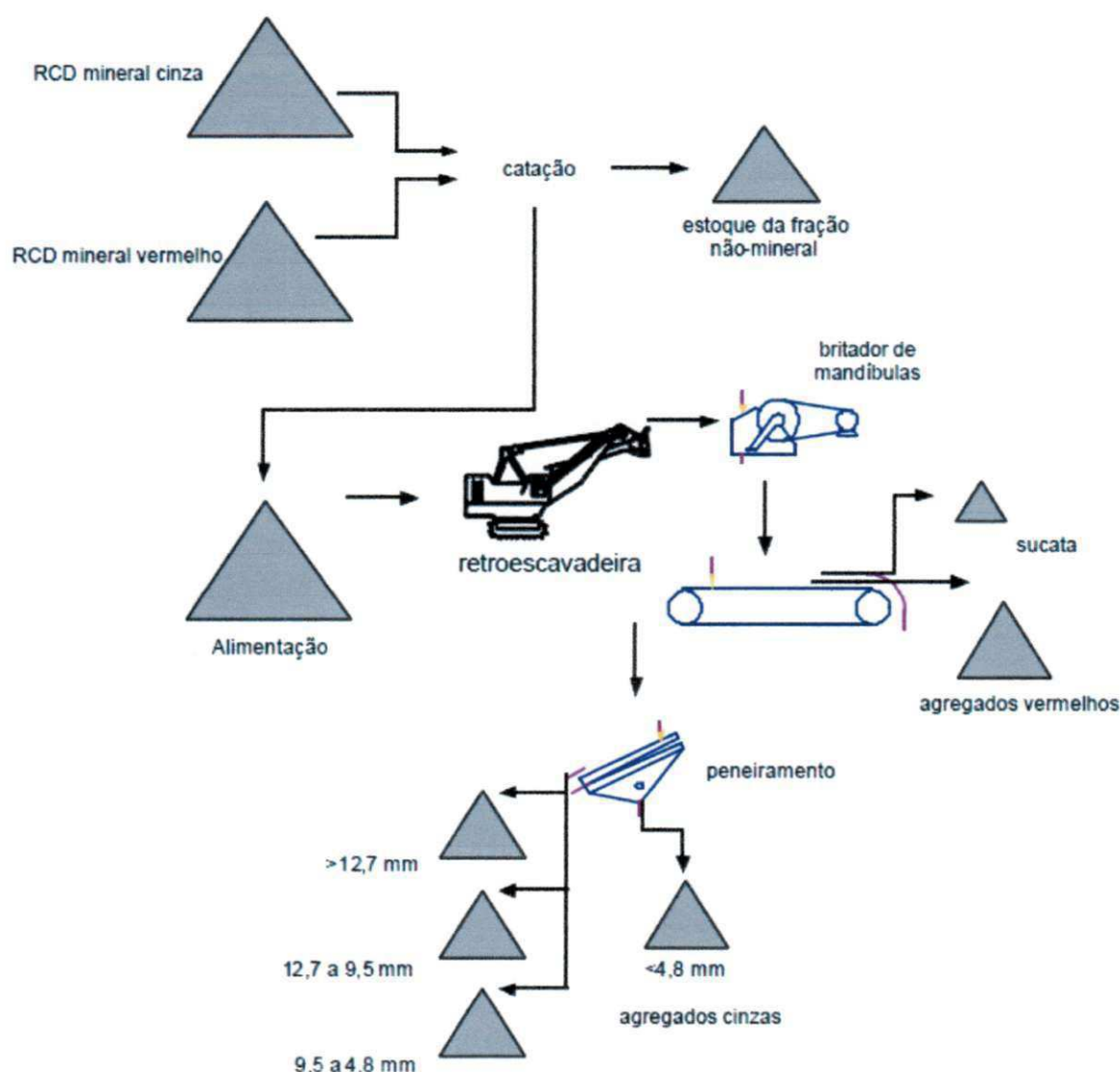
Em países como: Holanda, (1997); Dinamarca, (1997); Bélgica, (1998); Alemanha, (2001) e Suécia, (2002), um dos instrumentos mais utilizados para facilitar o reaproveitamento dos RCD, é a triagem obrigatória desses materiais no local de sua geração com o intuito de proteger o solo quanto à deposição de materiais recicláveis e reutilizáveis (MURAKAMI *et al.*, 2002).

No Brasil, para utilização como material de construção, o RCD deve ser do tipo classe A segundo a classificação da resolução CONAMA nº 307/ 2002 e deve sofrer um processo de reciclagem originando um novo produto: o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil. O uso dos materiais reciclados chega a gerar uma economia de até 30% em relação a similares com matéria-prima não reciclada, dependendo dos gastos indiretos e da tecnologia empregada nas instalações de reciclagem.

A transformação do RCD em agregado reciclado é realizada, normalmente, em usinas recicladoras. Estas usinas apresentam uma planta bastante semelhante a uma usina de britagem convencional (BODI *et al.*, 1995), utilizando os mesmos equipamentos empregados na produção de agregados naturais, no entanto, algumas etapas para limpeza e seleção são necessárias.

O Fluxograma 1 apresenta a sequência de atividades da usina de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição do Estado de São Paulo (ÂNGULO, 2005).

Fluxograma 1 - Esquema da usina de reciclagem de RCD de Vinhedo, Estado de São Paulo, Brasil.



Fonte: ÂNGULO (2005)

O processo de reciclagem consiste basicamente na britagem do RCD do tipo classe A, diminuindo o tamanho dos grãos e produzindo assim o agregado reciclado. Entretanto, o resíduo antes da britagem já deve ser pré-selecionado e passar por uma fase de catação, onde os materiais indesejáveis, como vidro, metais, borracha, gesso e madeira devem ser retirados. Além disso, comumente são instaladas nas correias transportadoras sistemas para realizar a separação magnética de elementos metálicos, como armaduras e pregos (ÂNGULO, 2005).

Alguns materiais como cerâmica, blocos, concretos, pisos e azulejos podem ser transformados em agregados reciclados como areia, pedrisco, brita e bica corrida. Esses agregados são utilizados como base e sub-base de pavimentação, concreto para ser usado, entre outros fins, em guias, sarjetas e blocos de vedação. O material reciclado ainda pode ser muito útil para o controle de erosões, recuperação de estradas rurais e pavimentação (bloquetes para pisos intertravados).

Há estudos recentes que demonstram e comprovam tanto a eficácia da usinagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), quanto a viabilidade, para estados e municípios, de utilização deste tipo de material. Entretanto, ainda é pequeno o número de estados e municípios que mantêm usinas de reciclagem RCD ativas no Brasil, como pode ser visto na Tabela 3 abaixo:

Tabela 2 - Relação de Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.

Usinas de Reciclagem de RCD no Brasil

Cidade	Propriedade	Instalação	Cap. (t/h)	Situação
São Paulo/SP	Prefeitura	1991	100	Desativada
B. Horizonte (Estoril)	Prefeitura	1994	30	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Emdhap	1996	15	Operando
Guarulhos/SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15	Operando
Brasília/DF	Caenge	2001	30	Operando
Fortaleza/CE	Usifort	2002	60	Operando
Campinas/SP	Prefeitura	2004	70	Operando
São Carlos/SP	Prefeitura/Prohab	2005	20	Operando
Ponta Grossa/PR	P. Grossa Amb.	2006	20	Operando
Taboão da Serra/SP	Estação Ecologia	2006	20	Operando
João Pessoa /PB	Prefeitura/Emlur	2007	25	Operando
Colombo/PR	Soliforte	2007	40	Operando
Americana/SP	Cemara	2007	25	Operando

Piracicaba/SP	Autarquia/Semae	2007	20	Operando
Santa Maria/RS	GR2	2007	15	Operando
Brasília/DF	CAENGE	2008	30	Operando
Londrina/PR	Kurica Ambiental	2008	40	Operando
São Luís/MA	Limpel	2008	40	Operando
São J. dos Campos/SP	RCC Ambiental	2008	70	Operando
Paulínia/SP	Estre Ambiental	2008	100	Operando

Fonte: CRETA (2012)

Para que os resíduos de construção e demolição deixem de ser um problema e passem a ser uma solução, a reciclagem desses materiais constitui-se na técnica mais simples e rentável em termos econômicos e sociais. Além de diminuir os volumosos montantes de entulho depositados nos diversos tipos de ambientes urbanos, a reciclagem ainda pode reduzir o custo na construção civil. A reciclagem do resíduo de construção e demolição transforma um material aparentemente sem uso em uma fonte de matéria prima que serve tanto para obras prediais comerciais como residenciais, e também soluciona os problemas que as municipalidades enfrentam com o gerenciamento desses resíduos (VIEIRA, 2003).

Em São Paulo, na cidade de São Carlos, está em funcionamento, desde 2005, uma usina de triagem e reciclagem de RCD, que teve como finalidade principal acabar com os depósitos irregulares de resíduos em córregos e áreas verdes, e fornece o agregado utilizado na sub-base e pisos intertravados para a pavimentação. Como exemplo desta prática, em algumas ruas do Bairro Santa Angelina foram utilizados agregados reciclados na composição da sub-base e pavimentada com piso intertravado (SANTOS, 2007).

Em Belo Horizonte, data de 1995, o início do programa de gerenciamento com a implantação de usina de beneficiamento de entulhos, da qual são obtidos agregados reciclados para uso em atividades de manutenção, como tapa-buracos, ou em construção de novas ruas da cidade; aproximadamente 10% da malha viária municipal possuem agregados reciclados na sub-base do pavimento. Os agregados reciclados também são usados em construção de calçadas e espaços públicos, contenção de encostas e na produção de blocos para construção civil (RADIOBRAS,

2000; MOTTA & FERNANDES, 2003). Segundo Grubba (2009), a cidade é uma referência na gestão dos resíduos de construção e demolição, possuindo três estações de reciclagem de entulhos. Conforme ressalta Blumenschein (2004), aproximadamente 35% dos resíduos sólidos provenientes de canteiros sofrem o processo de reciclagem.

Na Região Metropolitana de Salvador e Feira de Santana, um grupo foi criado (Universidades, Entidades de Classes, Órgãos Públicos, Empresas Privadas entre outros) com vistas a identificar as necessidades, definir um conjunto de ações para deposição correta de entulhos e reaproveitar agregados reciclados em novas obras de construção civil (CARNEIRO *et al.*, 2000; CARNEIRO *et al.*, 2001).

Em João Pessoa, uma usina de reciclagem com capacidade de processar 20 toneladas de entulho por hora, fornece matéria-prima para construção de casas populares e pavimentação de ruas e avenidas da cidade (NÓBREGA, 2009).

2.3. Utilização de Resíduos na Construção Civil

As formas adequadas de aproveitamento de resíduos, ou de subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem envolver um completo conhecimento do processo das unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e identificação do potencial de aproveitamento, identificando as características limitantes do uso e da aplicação. Já para os resíduos originados pelo setor da Construção Civil, durante as diversas etapas da construção, devem ser aprimoradas formas de minimização da geração, e quando possível a introdução dos resíduos no próprio processo ou unidade de serviço onde este foi gerado.

Cabe salientar que, para as soluções visando o reaproveitamento dos resíduos, existem tecnologias e procedimentos diversos, mais ou menos sofisticados, mão-de-obra ou capital intensivos, processos importados e desenvolvidos no país. Sua escolha, entretanto, deve ser feita tendo em vista se atingir o aproveitamento ambientalmente adequado, ao menor custo possível, respeitando-se as características socioeconômicas e culturais de cada município (ROCHA & CHERIAF, 2012).

Os resíduos oleosos originados na Exploração e Produção (E & P) são um exemplo de reaproveitamento. Os resíduos industriais ou subprodutos, quando disponíveis próximos às áreas em que são produzidos, resultam, geralmente, em soluções de baixo custo. A estabilização de solos em conjunto com o reaproveitamento de resíduos industriais tem permitido aplicações proveitosas na execução de bases e sub-bases de estradas (CORDEIRO, 2007).

Os resíduos gerados na indústria de calçados, especialmente os de EVA (Etileno Acetato de Vinila), também podem ser reaproveitados e transformados em material que pode ser usado como insumo no processo produtivo da indústria da construção civil. Esses resíduos podem ser utilizados como agregado sintético leve, em compósitos cimentícios, para produção de blocos vazados de vedação, sem função estrutural (BEZERRA, 2002; GARLET & GREVEN, 1997).

O Resíduo de Construção e Demolição, apesar de possuir uma composição muito variável, apresenta grande potencial para a reciclagem, sendo a produção de agregados reciclados a sua maior utilização. Normalmente apresentam boa resistência e baixa expansão, características que indicam seu grande potencial para utilização em pavimentação.

Este tipo resíduo pode ainda, após passar por um processo de reciclagem, ser empregado nas mais diferentes formas como, por exemplo, na confecção de elementos pré-moldados e na execução de camadas em estruturas de pavimentos (TRICHÊS & KRYCKYJ, 1999; MOTTA, 2003).

Lima (1999) acrescenta que o agregado obtido a partir da reciclagem de resíduo de construção pode ser aplicado em serviços tais como: argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, briquetes, meio-fio e outros), serviços de drenagem, etc. Podem-se melhorar as características das argamassas com a aplicação do reciclado em substituição total ou parcial à areia natural, mas ainda faltam determinar algumas características dessas argamassas para uma aplicação racional e segura. O uso em pavimentação é um dos mais praticados nos municípios que reciclam resíduos de construção, obtendo-se ótimos resultados e consumindo-se quantidades significativas de resíduos. Outras aplicações simplificadas como cobertura de aterros, controle de erosão, camadas drenantes, rip-rap etc. podem ser realizadas com sucesso. Pinto

(1997), também indica usos para reciclados produzidos no Brasil: base para pavimentação; execução de habitações e outras edificações; execução de muros e calçadas; contenção de encostas; produção de artefatos (guias, sarjetas, tubos).

Na Dinamarca, grande parte dos resíduos reciclados é absorvida na construção civil como material de aterro e como sub-base e base de estradas ou construção de espaços abertos (SILVA, 2007).

As camadas de pavimento incluem componentes de alto custo e que merecem atenção, onde deve ser realizada uma análise do custo/ benefício. Os derivados de petróleo e a redução da disponibilidade de materiais naturais, ligados às exigências da construção, estabelecem uma busca por elementos que possam apresentar bom desempenho e custo baixo.

A ABNT normatizou em 2004 procedimentos para utilização de materiais da classe A para fins de uso em pavimentação. Estas normas envolvem as diretrizes para implantação de áreas de transbordo e triagem, de aterros inertes e de reciclagem dos RCD, além de procedimentos para a execução da pavimentação com agregados reciclados e de concreto sem função estrutural. Cinco especificações da ABNT foram publicadas e tratam desde a disposição de resíduos até a utilização de agregados reciclados de RCD em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Estas normas são:

- NBR 15112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterro - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Área de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;
- NBR 15116 - Agregados reciclados de resíduos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto em função estrutural - Requisitos.

O uso de RCD em camadas dos pavimentos tem-se mostrado viável diante a disponibilidade deste material e da existência de uma tecnologia de reciclagem. Assim, várias cidades do Brasil e no exterior, tem utilizado agregados reciclados em pavimentos visto que seus resultados são satisfatórios, por serem alternativas muito interessantes na substituição de materiais naturais, não renováveis, principalmente na pavimentação de vias de baixo volume de tráfego.

Motta (2005) cita que a utilização do RCD na pavimentação vem ocorrendo em todo o mundo já há muitos anos. Como exemplo, alguns países europeus se uniram para a formação de um grupo chamado ALT-MAT (*Alternative Materials in Road Construction*) em 1999, em que analisaram em laboratório e em campo, materiais alternativos destinados aos pavimentos. Tal pesquisa durou dois anos e os dados obtidos foram resultantes das características dos locais tais como clima e experiências realizadas em campos, que apresentaram desempenhos melhores do que os previstos em laboratório

Os RCDs quando utilizados como agregado para pavimentação e destinados à camadas de base e sub-base apresentam as seguintes vantagens (CARNEIRO *et al.*, 2001; TRICHÉS & KRYCKYJ, 1999):

- a. Utilização de quantidade significativa de material reciclado tanto na fração miúda quanto na graúda;
- b. Simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado;
- c. Possibilidade de utilização dos diversos materiais componentes do entulho (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.);
- d. Utilização de parte do material em granulometrias graúdas;
- e. Utilização em locais com presença de água, por ser considerado material não plástico e com baixa ou nula expansibilidade;
- f. Redução dos custos da administração pública municipal com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d' água e encostas;

g. Aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para implantação de novos aterros; e

h. Diminuição nos custos de pavimentação.

Motta (2005) estudou em laboratório as características físicas e o comportamento mecânico do agregado reciclado RCD produzido na cidade de São Paulo com a finalidade de uso em camadas de sub-base, base e reforço de subleito em vias urbanas de baixo volume de tráfego. Suas conclusões são de que o agregado RCD apresenta propriedades físicas e mecânicas satisfatórias comparáveis inclusive aos materiais tradicionais e de uso em pavimentação.

Bodi *et al* (1995), avaliaram três tipos de agregados reciclados em São Paulo: branco, vermelho e misto. A pesquisa analisou a mistura de agregado reciclado com solo siltoso (saprolítico) e argiloso (de comportamento laterítico). Foram realizados ensaios de compactação e ISC - Índice de Suporte Califórnia e os resultados foram considerados positivos.

Silva *et.al.* (2008) verificaram o potencial de aplicação dos resíduos da construção e demolição (RCD), em diferentes energias de compactação, para fins de pavimentação na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado do Ceará, Brasil. Utilizaram materiais como: RCD graúdo, RCD miúdo e um solo na cidade de Fortaleza que foram misturados nos teores de 50%, 40% e 10%, respectivamente. A experiência constou da execução de ensaios de caracterização dos materiais, compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e módulo de resiliência (MR).

A partir do emprego de três tipos de energia (intermediária, intermodificada e modificada) foi estudada, também, a influência da variação da energia de compactação no desempenho das propriedades mecânicas da mistura. Os resultados comprovaram, à luz de uma análise mais empírica, a eficiência da estabilização do solo com o uso de resíduos da construção civil qualificou a mistura para uso até em pavimentos de alto volume de tráfego.

Kryckyj e Trichês (1999) pesquisaram agregados reciclados na Cidade de Florianópolis (SC) misturados com solo areno-siltoso e solo argiloso. Além da análise granulométrica, foram realizados compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Segundo os pesquisadores, os resultados demonstram que o material se

apresenta como uma excelente alternativa para uso em camadas de reforço do subleito e sub-base, além de possuir potencial para ser empregado na redução da plasticidade do solo de fundação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados as características dos materiais utilizados, e os procedimentos para a realização dos ensaios. Foram realizados ensaios físicos, químicos, mineralógicos dos materiais, a fim de caracterizar suas propriedades e ensaios mecânicos do RCD e das misturas asfálticas projetadas. Os métodos de ensaios utilizados foram baseados em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

3.1. Materiais

3.1.1. Resíduos de Construção e Demolição

O Resíduo de construção e demolição utilizado na pesquisa para base e sub-base de pavimentos e na composição das misturas asfálticas é proveniente de uma reforma realizada no bloco CT na UFCG – CAMPUS I, localizado na cidade de Campina Grande-PB (Figura 2). O material foi coletado na referida obra de reforma, transferido para o laboratório onde foram retirados os materiais indesejáveis como gesso, prego, fios, entre outros. Posteriormente esse material foi homogeneizado e passou por um processo de britagem realizado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP da UFCG, sendo, em seguida, armazenado em sacos plásticos.

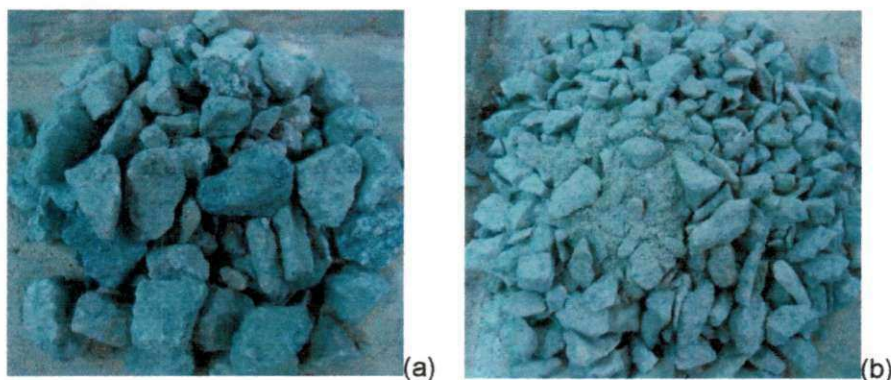
Figura 2 - Resíduo de Construção e Demolição do Bloco CT, UFCG.



3.1.2. Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na pesquisa para a composição das misturas asfálticas foi o agregado britado, de origem granítica, foram fornecidos pela empresa Maia Melo Engenharia LTDA, e extraídos de uma pedreira localizada próxima as margens da BR-230. Os agregados possuem diâmetros de 25mm e 9,5mm.

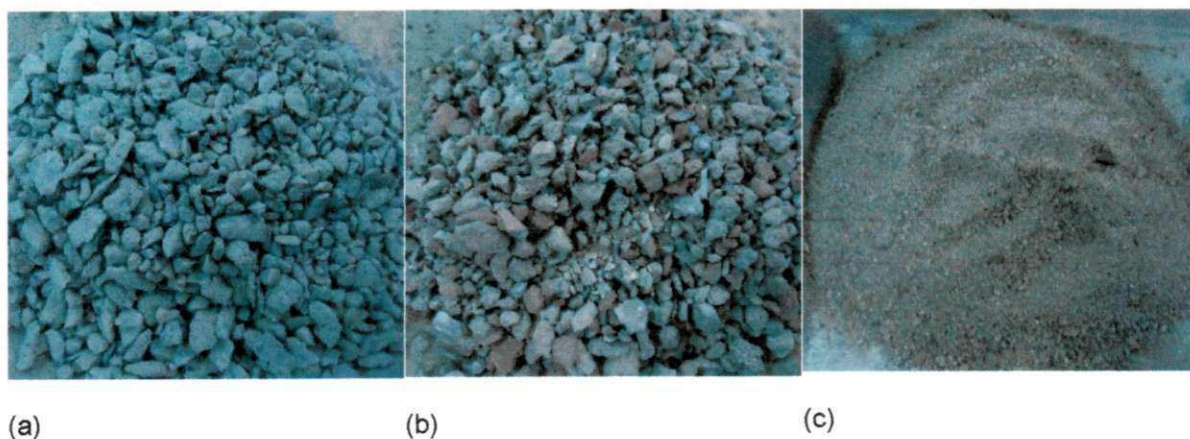
Figura 3 - (a) Brita 25 mm e (b) Brita 9,5mm.



3.1.3. Agregado miúdo

Os agregados miúdos empregados nas misturas asfálticas foram RCD, areia, pó-de-pedra. A areia e o pó-de-pedra foram fornecidos pela empresa Maia Melo Engenharia LTDA, e extraídos de uma pedreira localizada próxima as margens da BR-230.

Figura 4 - (a) Pó de Pedra (b) Agregado Reciclado (c) Areia.



3.1.4. Cal hidratada

A cal utilizada na pesquisa foi do tipo hidratada da marca Megaó, com massa específica igual a 2,30 g/cm³. Optou-se pelo uso da cal como material de enchimento (filer) na mistura asfáltica para proporcionar melhor desempenho as propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

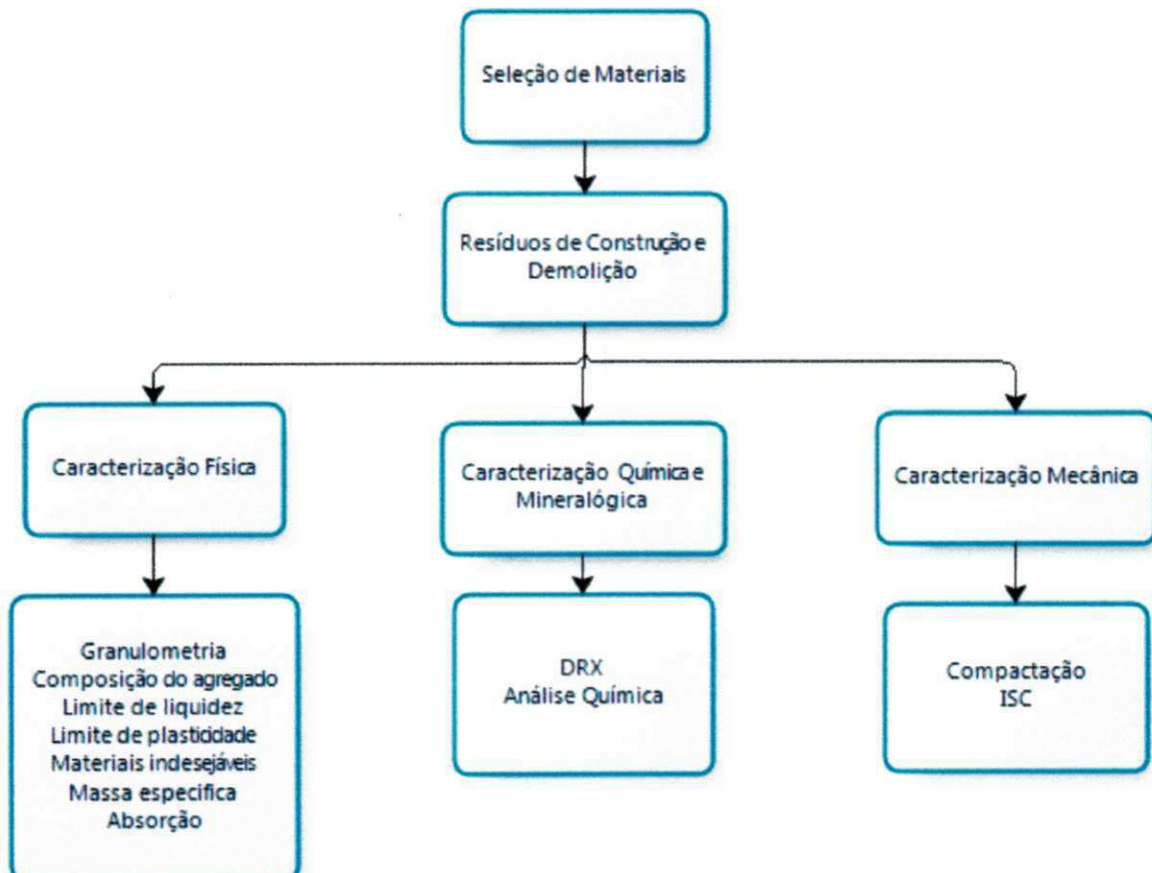
3.1.5. CAP

O ligante asfáltico utilizado para realização dessa pesquisa foi o CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo do tipo 50/70.

3.2. Métodos

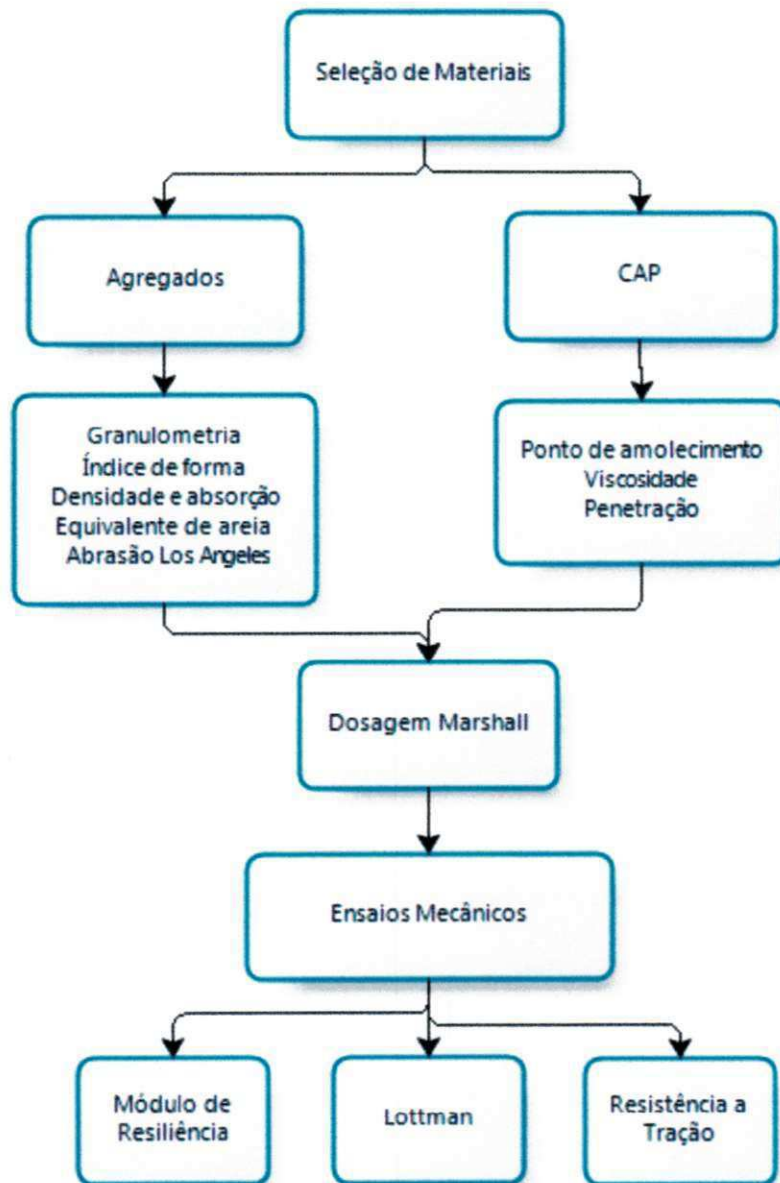
Neste item serão descritos os métodos de ensaios utilizados. O fluxograma 2 apresenta a sequência de atividades e dos ensaios realizados para uso de RCD em base e sub-base de pavimentos.

Fluxograma 2 - Sequência de atividades e de ensaios realizados com RCD.



O fluxograma 3 apresenta os ensaios realizados para as misturas asfálticas, onde numa primeira etapa foram realizados ensaios de caracterização dos agregados e do ligante e em seguida realizados os ensaios mecânicos da mistura com os teores ótimos encontrados.

Fluxograma 3 - Sequência de atividades e de ensaios realizados para misturas asfálticas.



3.2.1. Caracterização física, química e mineralógica do Resíduo de Construção e Demolição

A caracterização física de um material é de grande importância uma vez que suas propriedades físicas tem forte influência no seu comportamento mecânico. Nesta primeira etapa, foram determinados alguns aspectos físicos, químicos e mineralógicos do agregado reciclado que serão descritos a seguir.

3.2.1.1. Composição do agregado

Determinar a composição do agregado reciclado de RCD é uma etapa muito importante na sua caracterização física. Os diferentes materiais que o constituem influem diretamente em muitas de suas propriedades, tais como resistência mecânica, absorção de água e massa específica (LIMA, 1999). Dessa forma, é possível compreender melhor o comportamento do agregado reciclado conhecendo-se a natureza dos seus componentes (LEITE, 2007)

A determinação da composição dos agregados reciclados é realizada através de um processo simplificado de identificação visual das partículas, por meio de separação manual. Os componentes do agregado reciclado foram subdivididos em grupos distintos, conforme a natureza dos materiais encontrados na amostra, onde os resultados foram apresentados em forma de porcentagem, indicando a natureza e a concentração dos componentes do agregado reciclado estudado em laboratório, além de se conhecer qual é o material predominante.

3.2.1.2. Materiais indesejáveis

Os materiais indesejáveis que podem vir a compor os Resíduos de Construção e Demolição são considerados contaminantes do agregado. Segundo a ABNT NBR 15115/2004, esses resíduos são os pertencentes às classes B, C e D da Resolução CONAMA nº 307/2002 e fazem parte deles: madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas, papéis e outros.

A porcentagem destes materiais indesejáveis deve ser investigada para a utilização do agregado reciclado em pavimentação. De acordo com a ABNT NBR 15115/2004, a porcentagem máxima aceita de materiais indesejáveis de grupos distintos é de 3%, e de mesma característica, limita-se em até 2% em massa.

O resultado obtido é apresentado em porcentagem de materiais indesejáveis em relação à massa total da amostra, ou seja, considerando-se também a parcela fina. Foi analisada também a natureza dos materiais indesejáveis que compõem o agregado reciclado estudado em laboratório.

3.2.1.3. Massa específica dos grãos e absorção

A determinação da massa específica e absorção dos grãos de resíduo reciclado foi realizada de acordo com a ABNT NBR 6508/1984 e ABNT NM 30/2001. Para a realização do ensaio separou-se a fração fina (menor que 4,8mm) de uma amostra após passar pelo processo de britagem.

3.2.1.4. Distribuição granulométrica

As análises granulométricas dos agregados foram realizadas por peneiramento e seguiram os procedimentos estabelecidos pela norma DNIT ME – 083/1998.

Para uso Rodoviário, a ABNT NBR 15115/2004 estabelece alguns pontos que devem ser atendidos, como dimensão característica máxima dos grãos, porcentagem de material passante na peneira 0,42mm, C_u (Coeficiente de Uniformidade) e C_c (Coeficiente de Curvatura). A tabela 4 a seguir mostra os limites granulométricos para a utilização de RCD.

Tabela 3 - Especificações normativas para utilização de RCD em relação a granulometria.

Norma	Dimensão característica máxima dos grãos (mm)	Porcentagem que passa na peneira 0,42mm (%)	C_u	C_c
NBR 15155 (ABNT, 2004)	63,5	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10	Não consta

Os resultados obtidos com o ensaio de granulometria são apresentados por meio de curvas granulométricas com porcentagens passantes e porcentagens acumuladas e tabelas com frações e porcentagens.

3.2.1.5. Limite de liquidez e plasticidade

Os ensaios de Limite de Liquidez e Plasticidade seguiram as recomendações da ABNT NBR 6459/84 e NBR 7180/84 respectivamente.

3.2.1.6. Composição química por fluorescência de raios X (EDX)

As análises químicas (EDX) foram realizadas no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

As amostras foram passadas em peneira ABNT N° 200 (abertura de 0,074mm) e submetidas à análise química por fluorescência de raios X em equipamento EDX 720 da Shimadzu .

3.2.1.7. Difração de Raios – X (DRX)

As análises de DRX foram conduzidas em aparelho XRD 6000 da Shimadzu utilizando radiação $K\alpha$ do cobre, tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, modo fixe time, com passo de $0,02^\circ$ e tempo de contagem de 1,0 segundo. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - PB

3.2.2. Utilização de RCD em camadas de base e sub-base

3.2.2.1. Compactação

Segundo a norma DNIT ME 162/1994, que estabelece os procedimentos desse ensaio, a compactação pode ser realizada em três energias distintas, sendo elas: normal, intermediária e modificada. Porém a ABNT NBR 15115/2004 recomenda que o agregado reciclado seja compactado no mínimo na energia intermediária.

Nesta pesquisa foram realizados em laboratório ensaios de compactação empregando-se a energia intermediária e a energia modificada para poder avaliar se o aumento da energia de compactação influenciaria na granulometria do RCD após o processo de compactação.

Os resultados deste ensaio foram expressos através das curvas de compactação, tendo no eixo das abscissas os teores de umidade utilizados e no eixo

das ordenadas os respectivos valores de pesos específicos aparentes secos obtidos.

3.2.2.2. Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio de ISC foi realizado segundo o Método de Ensaio (ME 049/94) normatizado pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT).

Os resultados do ISC e sua expansão são apresentados em forma gráfica, comparando os valores obtidos dos corpos-de-prova compactados na energia intermediária com os compactados na energia modificada, verificando assim se os ISC estão de acordo com a ABNT NBR 15115/ 2004 para emprego em camadas de base e sub-base.

3.2.3. Utilização de RCD em misturas Asfálticas

3.2.3.1. Caracterização dos Agregados

Os ensaios para a obtenção da distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados graúdos e miúdos por peneiramento, bem como os ensaios de massa específica, de equivalente areia e de Abrasão "Los Angeles" foram realizados após quarteamento do material. Na Tabela 5 estão inseridas as normas que foram adotadas para realização dos referidos ensaios.

Tabela 4 - Normas utilizadas na caracterização física do agregado.

ENSAIO	METODOLOGIA
Análise granulométrica dos agregados por peneiramento	DNER – ME 083/98
Massa específica dos agregados graúdos	DNER – ME 081/98
Massa específica dos agregados miúdos	DNER – ME 084/95
Equivalente de areia	DNER – ME 093/94
Abrasão Los Angeles	DNER – ME 035/98

3.2.3.2. Caracterização do Ligante Asfáltico

Os ensaios de caracterização do ligante asfáltico utilizado na pesquisa foram: ponto de amolecimento, viscosidade e penetração. As normas que foram adotadas para realização dos referidos ensaios estão dispostas na Tabela 6.

Tabela 5 - Normas utilizadas na caracterização física do ligante asfáltico.

ENSAIO	METODOLOGIA
Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola	DNIT – ME 131/10
Viscosidade Brookfield	NBR 15184/04 ASTM D 4402
Determinação da penetração	DNIT – ME 155/10

3.2.3.3. Dosagem Marshall

O Ensaio Marshall foi realizado segundo a Norma do DNIT ME 043/95 com corpos de prova compactados de forma automática. Para determinação do teor ótimo de CAP foram moldados quinze (15) corpos de prova na faixa granulométrica B (DNIT 031/2004-ES), encontrada através da Curva *Fuller*, para cada teor de RCD em análise, totalizando quarenta e cinco (45) corpos de prova. As quantidades de RCD na mistura foram de 0%, 3,9% e 6,5% do agregado miúdo.

3.2.3.4. Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT)

Nesta etapa foram moldados três (3) corpos de prova correspondente a cada teor de RCD analisado e rompido utilizando-se do pórtico de Lobo Carneiro. O ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral foi conduzido segundo a Norma do DNIT ME 138/94.

Como forma de estabelecer uma relação direta com as condições de compactação que ocorrem na execução dos revestimentos asfálticos, os corpos de

prova foram preparados com o teor ótimo de asfalto e índice de vazios correspondentes aos obtidos pela Dosagem Marshall.

3.2.3.5. Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN

O ensaio de Lottman foi realizado segundo a Norma do DNIT ME 138/94 e a Norma da AASHTO T 283-02, com o auxílio da prensa Marshall e do pórtico de Lobo Carneiro.

A Norma T 283-02 da AASHTO estipula que as condições para realização do ensaio devem ser de dezoito graus Célsius negativo (-18°C). Porém a Região Nordeste dificilmente apresentará este valor na temperatura dos revestimentos asfálticos. Com isso, foram moldados três (3) corpos de prova para cada teor de RCD analisados e submetidos ao condicionamento, de ciclo de resfriamento, com a temperatura do revestimento estimada em dez (10) graus Celsius (10°C) que corresponde à mínima atingida para a região Nordeste em Geral.

3.2.3.6. Módulo de Resiliência (MR)

O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado de acordo com as Normas ASTM e do DNIT D4123 - 82 e ME - 133/94, respectivamente. O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP/DEC/UFCG).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

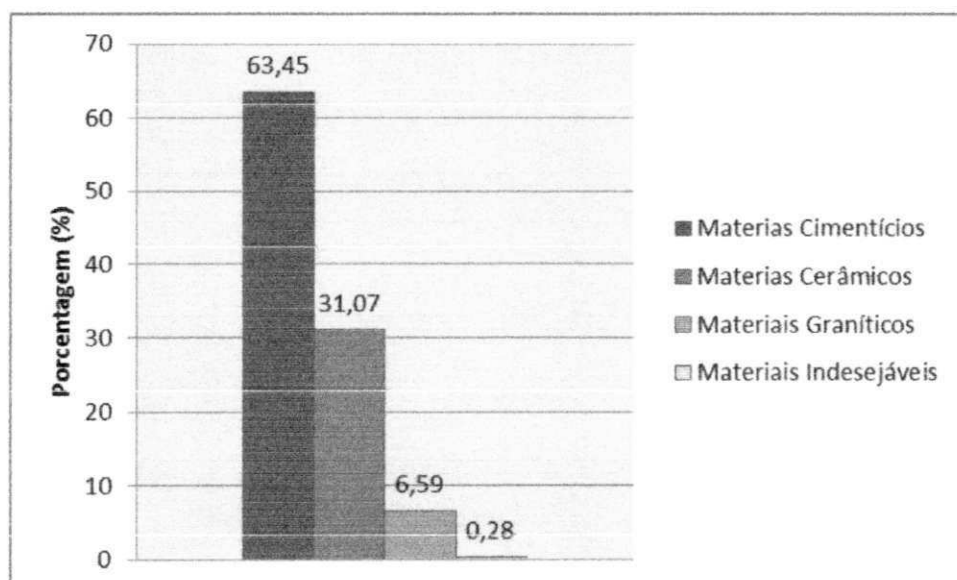
4.1. Caracterização física, química e mineralógica do Resíduo de Construção e Demolição

4.1.1. Composição do agregado reciclado

Por meio da identificação visual e posterior separação manual, os componentes do agregado reciclado foram subdivididos em grupos distintos, conforme a natureza dos materiais encontrados na amostra. Os grupos de materiais encontrados na amostra estudada foram classificados como sendo: (i) cimentícios, (ii) materiais cerâmicos, (iii) materiais graníticos; (iv) materiais indesejáveis.

Após esta separação por classes, determinou-se a porcentagem em massa de cada material constituinte do agregado reciclado, em relação à fração retida na peneira 4,8mm, desconsiderando a parcela fina, para melhor identificação. A Figura 5 apresenta o resultado da composição do agregado reciclado.

Figura 5 - Composição do agregado reciclado.



Observa-se que a porcentagem de material cimentício tem maior concentração (63,45%), seguido de materiais cerâmicos (31,07%). Deste modo, o Resíduo de Construção e Demolição do bloco CT da UFCG possui menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento e rochas é denominado de resíduo de composição mista.

4.1.2. Materiais Indesejáveis

O agregado reciclado apresenta materiais indesejáveis de diferentes naturezas. Os contaminantes encontrados foram: gesso, metais, madeira, plástico, papel, tecido/fibras. Verificou-se que a quantidade total em massa de materiais contaminantes presente foi de 0,28% (Figura 5). Portanto, o agregado reciclado atende a ABNT NBR 15115/2004, já que o valor está abaixo do limite de 3% especificado para materiais de diferentes origens.

4.1.3. Distribuição Granulometria

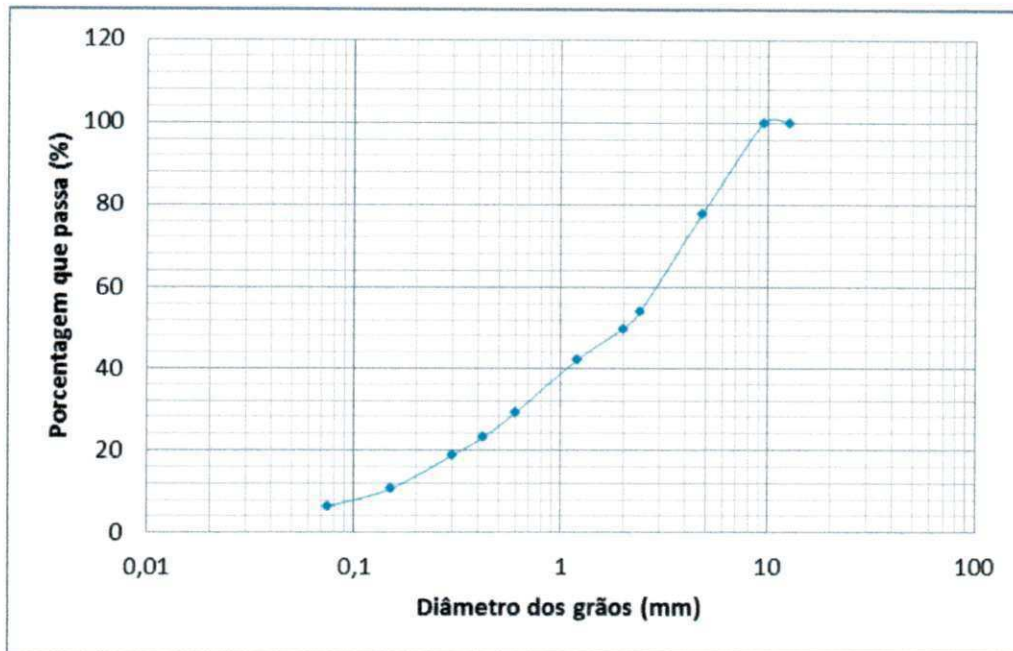
A distribuição granulométrica do agregado reciclado foi determinada utilizando-se 11 peneiras e o resultado está apresentado na Tabela 7.

Tabela 6 - Distribuição Granulométrica do RCD.

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem Passante
12,7	100
9,5	99,68
4,8	77,67
2,4	53,97
2	49,81
1,2	42,11
0,6	28,95
0,42	23,04
0,3	18,77
0,15	10,62
0,075	6,29

O resultado obtido com o ensaio de granulometria está expresso por meio da curva granulométrica. No eixo das abscissas estão em escala logarítmica às dimensões das partículas, ou as aberturas das peneiras, e no eixo das ordenadas estão as porcentagens passantes acumuladas em cada peneira analisada (Figura 6):

Figura 6 - Distribuição Granulométrica do RCD.



Complementando a análise granulométrica, foram determinados os coeficientes de uniformidade (C_u) e de curvatura (C_c) através da curva granulométrica. Não é desejável que os agregados apresentem uniformidade, pois dessa forma o material é mal graduado, ocasionando muitos vazios e maiores quebras durante o processo de compactação ou pelo tráfego usuário após conclusão da obra. O coeficiente de curvatura C_c deve se situar entre 1 e 3 para indicar que o material é bem-graduado. Estes coeficientes foram calculados pelas expressões (1) e (2), respectivamente.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (2)$$

onde:

C_u : coeficiente de uniformidade;

C_c : coeficiente de curvatura;

d_{10} : diâmetro correspondente a 10% da porcentagem passante, em [mm];

d_{30} : diâmetro correspondente a 30% da porcentagem passante, em [mm];

d_{60} : diâmetro correspondente a 60% da porcentagem passante, em [mm].

Os resultados podem ser observados através da Tabela 8 para o agregado reciclado comparados com os limites fixados pela ABNT NBR 15115/2004.

Tabela 7 - Resultado do Coeficiente de Uniformidade e Curvatura.

Norma	Porcentagem que passa na peneira 0,42mm (%)	C_u	C_c
RCD	23,04	19,33	0,97
NBR 15155 (ABNT, 2004)	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10	Não consta

Portanto, com relação à dimensão característica máxima, à porcentagem passante na peneira 0,42mm e C_u , o agregado reciclado atende a ABNT NBR 15115/2004. O parâmetro C_c , que não é contemplado na ABNT NBR 15115/2004, mas a amostra estudada possui C_c muito próximo a 1 (um), podendo ser considerado bem graduado.

4.1.4. Massa específica Real

As massas específicas dos grãos de agregado reciclado passantes na peneira 4,8mm são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 8 - Resultado da Massa Específica Real do RCD.

Amostra	Massa específica dos grãos [g/cm ³]
I	2,70
II	2,72

Segundo a ABNT NBR 6508/1984, a diferença da massa específica dos grãos obtida para as duas amostras analisadas não pode ser maior que 0,02g/cm³. Desse modo, conclui-se que o desvio dos resultados é aceitável.

De acordo com Pinto (2000), os valores de massa específica dos grãos para solo arenoso situam-se em torno de $2,70\text{g/cm}^3$, sendo este valor adotado sempre quando não se dispõe do resultado específico para um determinado solo em estudo.

4.1.5. Limite de Liquidez e Plasticidade

O agregado reciclado apresentou comportamento não líquido e não plástico demonstrando comportamento tipicamente de solos arenosos. Tanto o ensaio de limite de liquidez como de plasticidade não puderam ser realizados por completo, devido ao comportamento do material. Observou-se que as bordas inferiores da ranhura se uniam antes de se completar um golpe e, durante o ensaio de limite de plasticidade, não foi possível moldar o cilindro. Os mesmos resultados foram obtidos por vários autores, como, por exemplo, Silva (2008) que afirma que as amostras de RCDs estudadas não apresentaram LL e LP.

4.1.6. Composição química por fluorescência de raios X

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos a partir da análise química do RCD. Os resultados evidenciam a presença de um teor de 53,50% de óxido de silício, teor de 21,30% de óxido de alumínio e teor de 11,60% de óxido de cálcio. O RCD, portanto, é um complexo sílico aluminoso, cujos componentes cristalinos serão identificados na DRX.

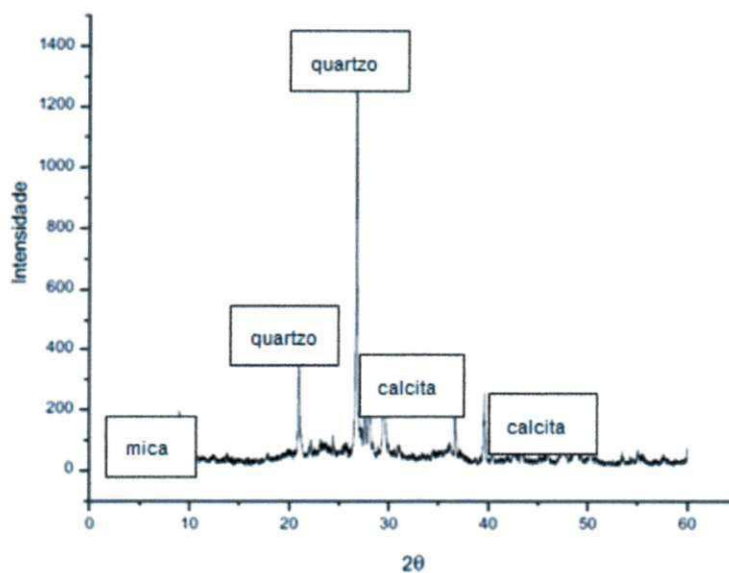
Tabela 9 - Composição química do RCD.

Componentes	Porcentagem (%)
SiO ₂ (óxido de silício)	53,50
Al ₂ O ₃ (óxido de alumínio)	21,60
K ₂ O (óxido de potássio)	2,55
MgO (óxido de magnésio)	2,05
Fe ₂ O ₃ (óxido de ferro)	6,51
CaO (óxido de cálcio)	11,60
SO ₃ (trióxido de enxofre)	0,65
TiO ₂ (óxido de titânio)	1,10
Outros Óxidos	0,45

4.1.7. Difração de Raios – X

A Figura 7 apresenta a DRX do RCD. Através de sua análise pôde-se concluir que se trata de substância composta essencialmente por quartzo, com quantidades de calcita e mica. O resultado encontrado está consoante com um complexo sílico-aluminoso.

Figura 7 - Difração de Raios -X do RCD.



4.2. Utilização de RCD em Camadas de Base e Sub-Base

4.2.1. Ensaio de Compactação

O agregado reciclado analisado em laboratório foi submetido ao ensaio de compactação conforme prescreve a ABNT NBR 7182/1986, utilizada normalmente para solos. Como a ABNT NBR 15115/2004 recomenda que para emprego em camadas de base o agregado reciclado seja compactado no mínimo na energia intermediária, foram realizados em laboratório ensaios de compactação empregando-se a energia intermediária e a energia modificada.

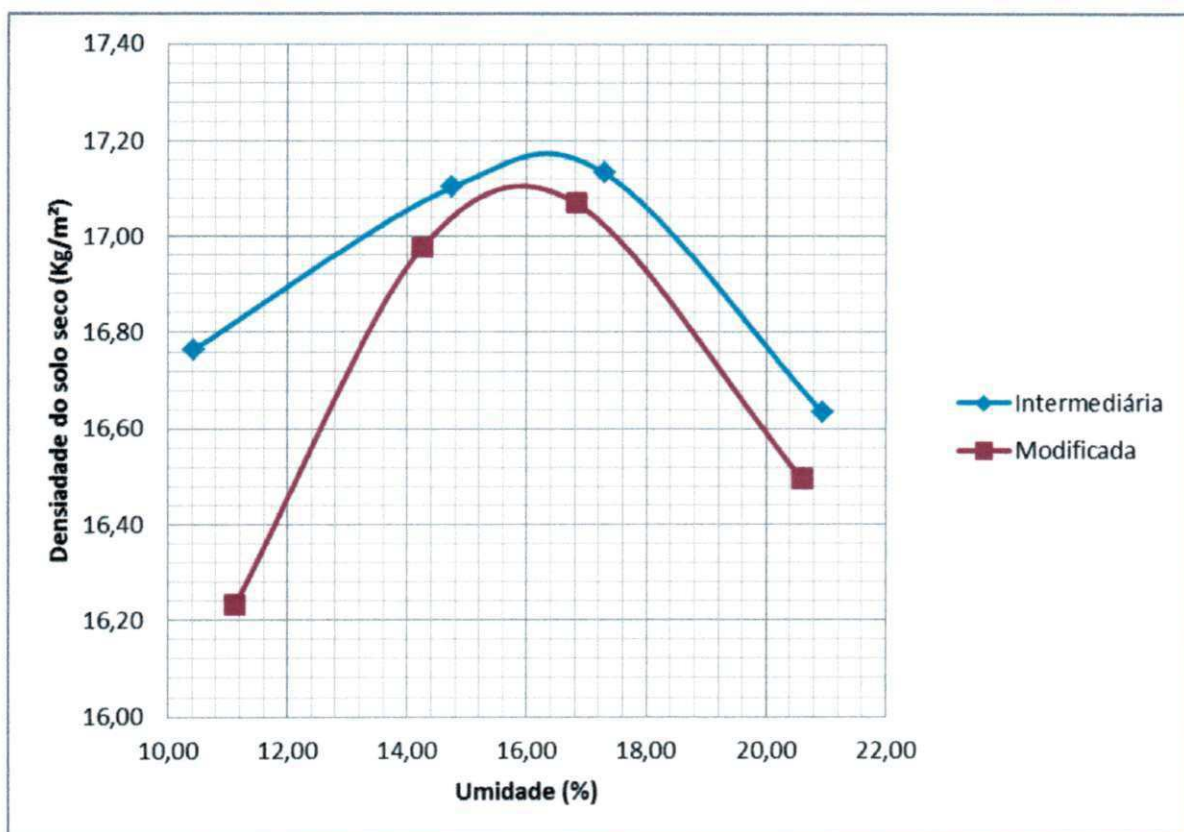
A ABNT NBR 7182/1986 indica que a curva de compactação deve ser obtida com, no mínimo, cinco pontos, sendo dois no ramo seco, um próximo à umidade ótima e dois no ramo úmido da curva. Porém o agregado reciclado apresentou comportamento atípico, dificultando a realização do ensaio. Após algumas tentativas

de encontrar a umidade ótima, foi possível traçar a curva de compactação para o ensaio com energia intermediária com quatro pontos e a curva de compactação com energia modificada com cinco pontos.

Outros autores também destacam que é muito difícil determinar a umidade ótima de agregados reciclados (LEITE, 2007) ; O'MAHONY & MILLIGAN, 1991). Em função da grande variabilidade das amostras, os resultados com agregados reciclados são, em geral muito dispersos, dificultando a obtenção de uma curva de compactação.

As curvas de compactação obtidas para energia modificada e intermediária podem ser observadas na Figura 8:

Figura 8 - Curvas de compactação (Intermediária e Modificada).



A Tabela 11 apresenta os valores obtidos para a massa específica seca e umidade ótima para os ensaios de compactação nas energias intermediária e modificada. Notasse que o da energia de compactação proporciona um aumento na densidade da amostra.

Tabela 10 - Resultado Massa Especifica Seca e Umidade Ótima.

Energia de Compactação	Massa Específica Seca (kN/m ³)	Umidade Ótima (%)
Intermediária	17,12	16
Modificada	17,16	16,4

Pela Tabela 11 é possível verificar que os valores obtidos na curva de compactação para energia intermediária e modificados apresentaram uma umidade ótima e peso específico aparente seco muito próximo.

A Tabela 12 apresenta valores encontrados na bibliografia para agregados reciclados de diferentes composições e origens.

Tabela 11 - Valores índice de Compactação para diferentes tipos de agregados.

Composição do RCD	Procedência	Energia de compactação	Peso específico aparente seco (kN/m ³)	Umidade (%)	Autor
Misto	Santo André	Intermediária	17,6	14,6	Leite (2007)
		Modificada	18,2	13,5	
Misto	Rio de Janeiro	Intermediária	18,3	13,8	Fernandes (2004)
		Modificada	18,5	12,5	
Misto	São Paulo	Intermediária	18,3	11,0	Motta (2005)
Misto	Uberlândia	Intermediária	19,8	9,3	Moreira <i>et al.</i> (2006)
		Modificada	20,5	9,1	
Branco ¹	Goiânia	Intermediária	17,6	18,2	Ribeiro <i>et al.</i> (2002)
Vermelho ²			14,2	26,0	

(1) Resíduos brancos com predominância de concreto e argamassa

(2) Resíduos vermelhos com predominância de materiais cerâmicos

Influência da compactação

A Tabela 13 apresenta as peneiras utilizadas e as frações passantes para o material no estado inicial e após a compactação nas energias intermediária e modificada.

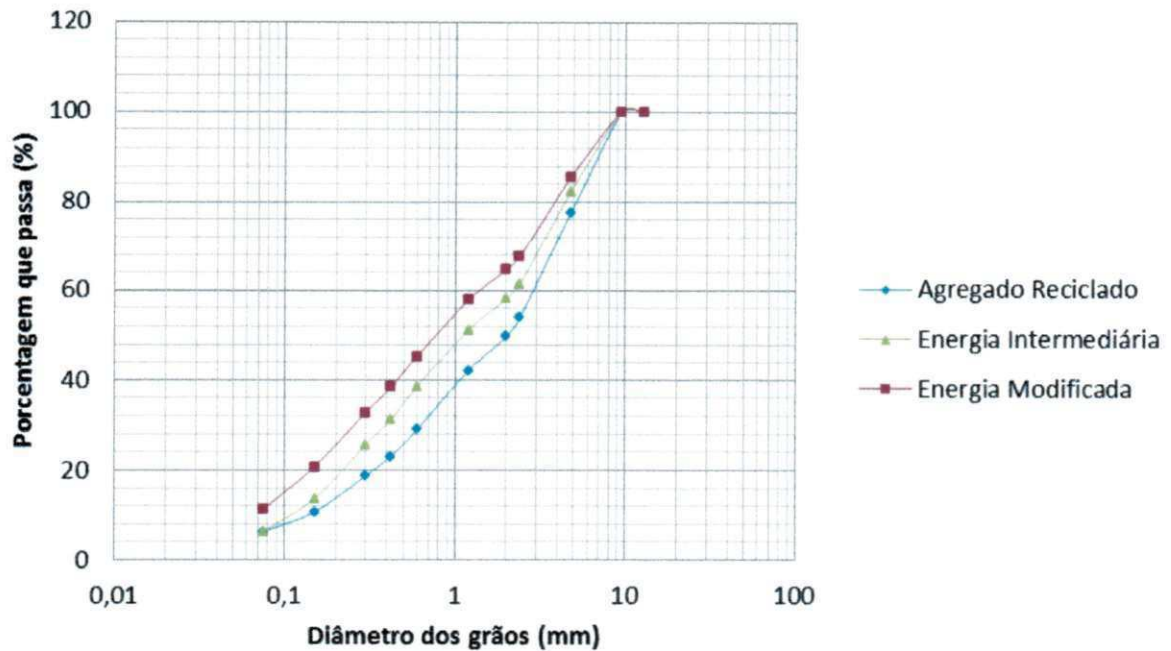
Tabela 12 - Resultado da Granulometria após Compactação.

Abertura (pol)	RCD	RCD após compactação com energia Intermediária	RCD após compactação com energia Modificada
1/2 pol.	100,0	100,0	100,0
3/8 pol.	100,0	100,0	100,0
Nº 4	77,7	82,4	85,6
Nº 8	54,0	61,5	67,7
Nº 10	49,8	58,1	64,6
Nº 16	42,1	51,2	57,8
Nº 30	29,0	38,6	45,3
Nº 40	23,0	31,2	38,4
Nº 50	18,8	25,6	32,7
Nº 100	10,6	13,5	20,7
Nº 200	6,3	6,3	11,3

Pode-se verificar através da Tabela 12 que em todas as malhas de peneiras houve modificações na porcentagem do material passante após o ensaio de compactação na energia intermediária e modificada.

As curvas granulométricas do agregado reciclado inicial e após a compactação nas energias intermediária e modificada podem ser vistas na Figura 9.

Figura 9 - Comparação das Curvas Granulométricas do agregado reciclado após a Compactação.



Na Figura 9 pode-se observar que ocorreram deslocamentos nas curvas granulométricas, indicado que houve quebra das partículas nas duas energias aplicadas, sobretudo na compactação com energia modificada. Isso ocorre, pois embora o RCD esteja disposto em partículas pequenas, estes não possuem materiais com resistência que suporte a energia aplicada na compactação.

Apesar da mudança granulométrica após a compactação, o agregado reciclado continua dentro dos limites da ABNT NBR 15115/ 2004, em relação à porcentagem passante na peneira 0,42mm e ao coeficiente de uniformidade (Cu). A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 13 - Resultado do Coeficiente de Uniformidade e de Curvatura após a Compactação.

Condições	Porcentagem que passa na peneira 0,42mm (%)	C_u	C_c
Inicial	23,04	19,33	0,97
Intermediária	31,18	14,38	0,43
Modificada	38,40	20	0,69
NBR 15155 (ABNT, 2004)	$10 \leq a \leq 40$	≥ 10	Não consta

Observa-se que ocorreu um aumento de 35,5% e 67% da porcentagem passante na peneira 0,42mm nas energias intermediária e modificada, respectivamente, em relação à condição inicial do agregado, indicando que houve uma maior degradação do agregado com o aumento da energia de compactação. O aumento dos valores de C_u depois da compactação nas energias intermediária e modificada, deve-se a maior quantidade de finos passantes nas peneiras de diâmetro equivalente a 10%.

Também foi determinado o índice de degradação. A Tabela 15 apresenta os resultados de ID obtido após o emprego da energia intermediária e modificada.

Tabela 14 - Resultado do Índice de Degradação.

Energia Empregada	Índice de Degradação (ID)	Deslocamento Mínimo	Deslocamento Máximo
Intermediária	5,2	0,0 (#0,075)	9,6 (#0,60)
Modificada	10,3	5 (#0,075)	16,4 (#0,60)

Observa-se pelos resultados da Tabela 14 que o ID duplicou com o aumento da energia de compactação. As menores e maiores modificações ocorreram nas

mesmas peneiras para as duas energias. Também não houve deslocamento mínimo na energia intermediária.

Através dos resultados nota-se que a análise da degradação do material após a compactação é muito importante, pois durante a aplicação e compactação no campo, ocorrem alterações granulométricas na bica corrida reciclada. Assim, um material que não atende às especificações de projeto antes da compactação poderá, após a quebra, apresentar-se de acordo com as especificações e vice-versa.

4.2.2. Índice de Suporte Califórnia

Na Tabela 16 são inseridos os valores de referência para ISC e de Expansão (ambos na energia Proctor Intermediário) agregado reciclado, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Tabela 15 - Limites de ISC e Expansão (NBR 15115).

Norma	Camadas	ISC (%)	Expansão (mm)
NBR 15115 (2004)	Sub-Base	≥ 20	≤ 1,0
	Base	≥ 60	≤ 0,5

Estes valores podem ser comparados com os da pesquisa apresentados na Tabela 17. Os resultados foram obtidos para o ensaio de ISC para a energia intermediária e modificada, preparados com umidade de 16% e 16,4%, respectivamente.

Tabela 16 - Resultado do ISC e de Expansão.

Energia	ISC (%)	Expansão (%)	ISC médio (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
	37,2	-0,017			
Intermediária	53,7	0,063	49,10	7,93	16,16
	56,4	0,079			

	69	0,035			
Modificada	87	0,036	80,03	7,36	9,19
	84,1	0,035			

As médias encontradas para o ISC nas energias intermediária e modificadas foram 49,10% e 80,03%, respectivamente. Pode-se observar que os valores encontrados para os ensaios realizados nos primeiros corpos-de-prova moldados divergiram consideravelmente dos valores encontrados para os ensaios posteriores. Este resultado pode ser explicado pela heterogeneidade do material e também por erros inerentes ao ensaio.

Com os resultados obtidos, o RCD em estudo pode ser utilizado como material de camada de sub-base quando compactado na energia intermediária e pode ser utilizado como camada de base quando compactada na energia modificada sem a necessidade de incorporação de estabilizantes, como cal e cimento.

A Tabela 18 apresenta valores de ISC encontrados na bibliografia consultada, para diferentes tipos de agregados reciclados. Pode-se notar que os valores encontrados para o ISC no RCD utilizado nesta pesquisa estão abaixo dos encontrados na literatura citada, este fato pode ser justificado pela característica bastante heterogênea dos RCDs.

Tabela 17 - Valores índice de suporte Califórnia para diferentes tipos de agregados reciclados.

Composição do RCD	Procedência	Energia de compactação	Umidade (%)	ISC (%)	Autor
Misto	Santo André	Intermediária	14,6	73	Leite (2007)
		Modificada	13,5	117	
Misto	Goiânia	Intermediária	14,6	88	Mendes <i>et al.</i> (2004)
Misto	São Paulo	Intermediária	11,0	75	Motta (2005)
Branco ¹	Florianópolis	Normal	12	26	Trichês e Kryckyj (1999)
Vermelho ²			13	24	

(1) Resíduos brancos com predominância de concreto e argamassa

(2) Resíduos vermelhos com predominância de materiais cerâmicos

4.3. Utilização do RCD em Misturas Asfálticas

4.3.1. Caracterização do Ligante Asfáltico

A caracterização física do ligante asfáltico é importante para verificar se o material está de acordo com as especificações prescritas por norma. Alguns desses limites estão expostos na Tabela 19.

Tabela 18 - Nova Especificação Brasileira de Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP- (ANP, 2005).

Características	Unidade	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Brookfield							
A 135°C, mín. SP 21, 20 rpm, mín.	cP	374	274	214	155	NBR 15184	D 4402
A 150°C, mín.		203	112	97	81		
A 177°, SP 21		76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114		

I. Ensaio de Penetração

Foi realizado o ensaio de penetração em duas amostras de CAP 50/70, obtendo-se o resultado de cada amostra através da média de cinco leituras. Os resultados podem observados na Tabela 20. De acordo com o resultado obtido o CAP pode realmente ser classificado como 50/70.

Tabela 19 - Resultado Ensaio de Penetração.

Amostra I	Amostra II
(mm)	(mm)
53	48
54	52
51	52
51	50
54	51
Médias	
(mm)	
52,6	50,6
Penetração	
(mm)	
51,6	
ABNT NBR 6576	
(mm)	
50 a 70	

II. Ensaio de Ponto de Amolecimento

O ensaio foi realizado em duas amostras, com seu valor final apresentado como a média desses dois valores. Os resultados deste ensaio para a amostra em estudo pode ser vistos na Tabela 21.

Tabela 20 - Resultado Ensaio de Ponto de Amolecimento.

Amostra I	Amostra II
(T°C)	(T°C)
46	46
Ponto de Amolecimento	
(T°C)	
46	
ABNT NBR 6560	
(°C)	
≥ 46	

III. Ensaio de Viscosidade

Através de resultados obtidos para o ensaio de viscosidade rotacional (Brookfield) foi possível plotar a curva viscosidade x temperatura para definir as temperaturas de misturas e de compactação.

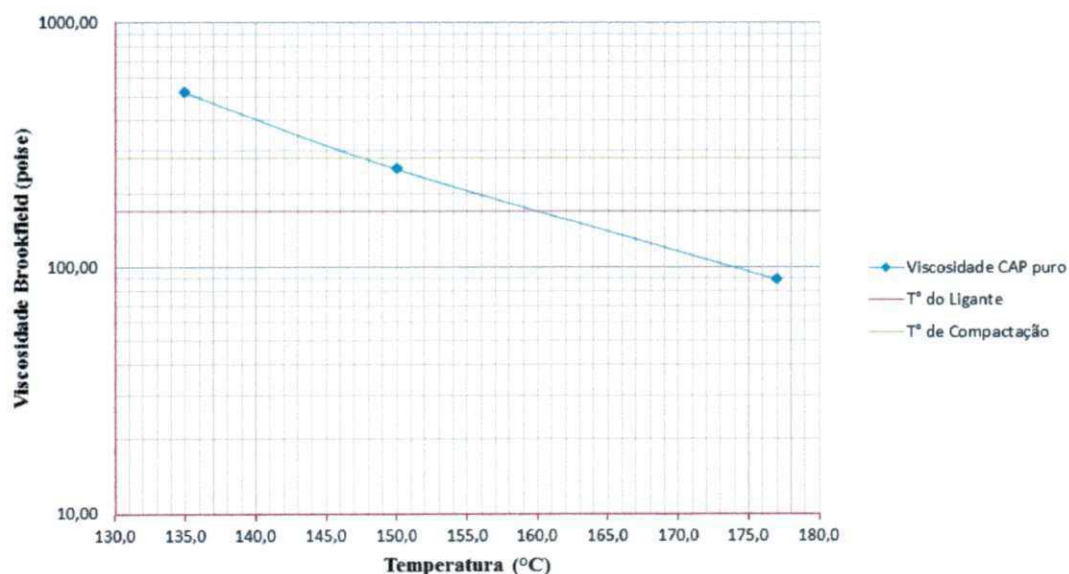
A Tabela 22 apresenta os resultados do ensaio para determinação da viscosidade Brookfield.

Tabela 21 - Resultado Ensaio de Viscosidade Brookfield.

CAP 50/70	Amostra I	Amostra II	Média	NBR 15184
a 135° C, 20 rpm (cP)	522,2	520	521,1	≥ 274
a 150° C, 50 rpm (cP)	250	252	251	≥ 112
a 177° C, 100 rpm (cP)	89	89	89	57 a 285

A partir dos dados apresentados na Tabela 21, foi possível plotar o gráfico da Figura 10 de viscosidade x temperatura do CAP 50-70 e, deste modo, determinar as temperaturas do ligante e da compactação dentro dos limites aceitáveis de viscosidades.

Figura 10 - Curva de Viscosidade Versus Temperatura.



Observa-se que as temperaturas encontradas para o ligante e agregado na compactação foram de 160°C e 170°C, respectivamente.

4.3.2. Caracterização dos Agregados

I. Distribuição Granulométrica

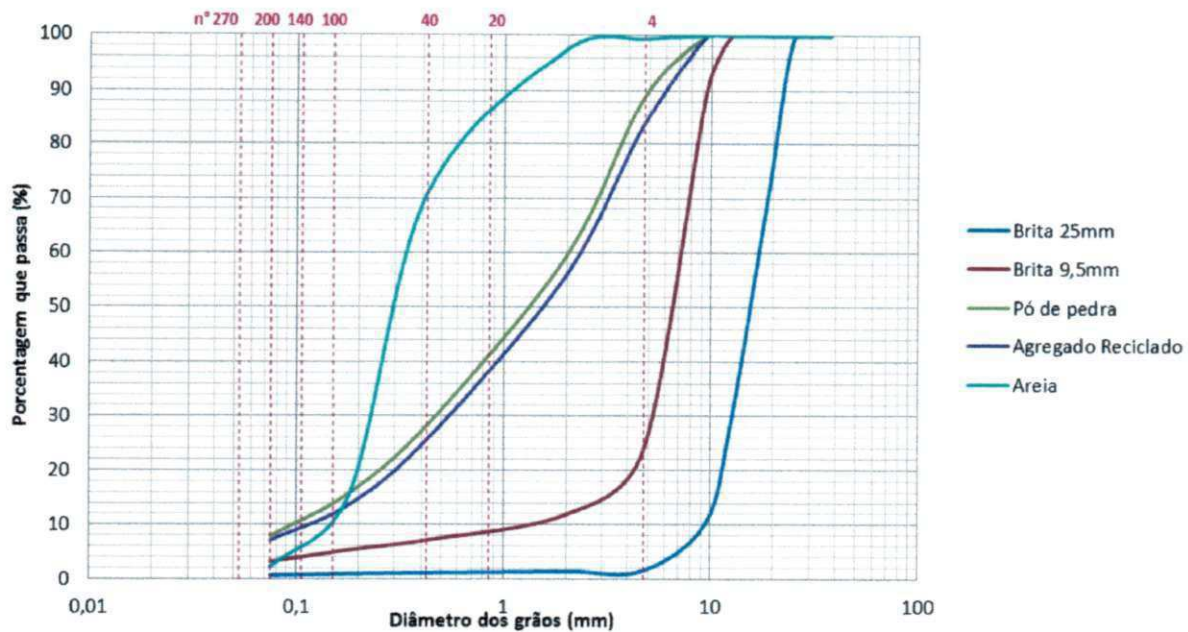
Com a distribuição granulométrica dos materiais foi possível estabelecer a composição dos agregados para as misturas e fixar a faixa granulométrica para mistura asfáltica estabelecida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Deste modo, a Tabela 23 apresenta a distribuição granulométrica de cada material utilizado e na Figura 11 estão inseridas as curvas de granulometria dos agregados utilizados nesta pesquisa.

Tabela 22 - Resultado Distribuição Granulométrica dos Agregados Utilizadas na Pesquisa.

Peneiras	Diâmetro (mm)	Brita 25 (%)	Brita 9,5 (%)	RCD (%)	Pó de Pedra (%)	Areia (%)	Filler – CAL (%)
1 1/2"	38,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	25,4	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,1	71,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,7	29,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	10,4	90,3	100,0	100,0	100,0	100,0
Nº 4	4,8	1,5	23,8	83,8	88,8	99,3	100,0
Nº 10	2	1,4	11,9	56,0	59,4	97,5	100,0
Nº 40	0,42	1,1	7,1	25,7	28,3	70,9	100,0
Nº 80	0,18	0,9	5,2	13,6	15,8	15,5	100,0
Nº 200	0,075	0,6	3,1	7,1	7,9	2,2	99,0

Figura 11 - Curva Granulométrica dos Agregados Utilizados na Pesquisa.



De posse das curvas granulométricas foi possível classificar o solo quanto a sua graduação. Segundo Bernucci *et al.* (2006) as mais importantes graduações são:

- Agregados de graduação densa – são aqueles que apresentam uma distribuição granulométrica contínua e próxima da densidade máxima, com material fino suficiente para preencher os vazios das partículas maiores.
- Agregados de graduação aberta – são aqueles que apresentam uma distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino, o que resulta em maior volume de vazios.
- Agregados de graduação uniforme – são aqueles que apresentam uma curva granulométrica bastante íngreme devido à uniformidade dos tamanhos de suas partículas.
- Agregados de graduação descontínua – são aqueles cuja curva granulométrica apresenta um patamar devido à pequena quantidade de partículas de tamanho intermediário.

Para os agregados utilizados na pesquisa, as classificações ficaram da seguinte forma:

- Brita 25 mm: Graduação Uniforme
- Brita 9,5 mm: Graduação Uniforme
- Pó de pedra: Graduação Densa

- Agregado Reciclado: Graduação Densa
- Areia: Graduação Aberta

A partir desses resultados, foi possível também estabelecer a faixa granulométrica para o presente trabalho, como também a composição dos agregados para as misturas. A partir na definição da faixa granulométrica utilizada é possível traçar a curva *Fuller*, que leva em consideração, além da faixa granulométrica, zonas de restrição e pontos de controle, encontradas a partir da fixação do Tamanho Nominal Máximo (TNM) do agregado, que é definido como sendo o tamanho da peneira maior do que a primeira peneira que reter mais de 10% do agregado. As Tabelas 24 e 25 apresentam os valores para os pontos de controle e zona de restrição, de acordo com o tamanho nominal máximo.

Tabela 23 - Pontos de controle de acordo com o Tamanho Nominal Máximo do agregado (SUPERPAVE).

Abertura (mm)	Pontos de controle									
	Porcentagem em massa, passando									
	37,5mm		25,0mm		19,0mm		12,5mm		9,5mm	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
50	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
25	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
19	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-
12,5	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
4,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

Tabela 24 - Zona de restrição de acordo com o Tamanho Nominal Máximo (SUPERPAVE).

Abertura (mm)	Zona de restrição									
	Porcentagem em massa, passando									
	37,5mm		25,0mm		19,0mm		12,5mm		9,5mm	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4,75	34,7	34,7	39,5	39,5	-	-	-	-	-	-
2,36	23,3	27,3	26,8	30,8	34,6	34,6	39,1	39,1	47,2	47,2
1,18	15,5	21,5	18,1	24,1	22,3	28,3	25,6	31,6	31,6	37,6
0,6	11,7	15,7	13,6	17,6	16,7	20,7	19,1	23,1	23,5	27,5
0,3	10	10	11,4	11,4	13,7	13,7	15,5	15,5	18,7	18,7

Nas Tabelas 26, 27 e 28 podem-se observar os resultados para as misturas sem o agregado reciclado, com 3,9% e 6,5% do agregado reciclado, respectivamente na faixa B do DNIT e em seguida são apresentadas as curvas Fuller utilizadas para enquadramento das misturas de projeto.

Tabela 25 - Composição Granulométrica da Mistura 1.

PENEIRAS	MISTURA 1														ESPECIFICAÇÃO FAIXA B		
	BRITA 25		BRITA 9,5		RCD		PÓ DE PEDRA		FILLER - CAL		AREIA LEP		PROJETO	PT. MED.	LIMITE S		
	TOTAL	31,0%	TOTAL	28,0%	TOTAL	0,0%	TOTAL	13,0%	TOTAL	5,0%	TOTAL	23,0%					
1 1/2"	100,00	31,00	100,00	28,00	100,00	0,00	100,00	13,00	100,00	5,00	100,00	23,00	100,00	100	100	100	
1"	99,59	30,87	100,00	28,00	100,00	0,00	100,00	13,00	100,00	5,00	100,00	23,00	99,87	97,50	95	100	
3/4"	71,36	22,12	100,00	28,00	100,00	0,00	100,00	13,00	100,00	5,00	100,00	23,00	91,12	90	80	100	
1/2"	28,98	8,98	100,00	28,00	100,00	0,00	100,00	13,00	100,00	5,00	99,59	22,91	-	-	-	-	
3/8"	10,43	3,23	90,34	25,29	100,00	0,00	100,00	13,00	100,00	5,00	99,00	22,77	69,30	62,5	45	80	
Nº 4	1,54	0,48	23,83	6,67	83,79	0,00	88,80	11,54	100,00	5,00	97,18	22,35	46,04	44	28	60	
Nº 10	1,36	0,42	11,87	3,32	55,96	0,00	59,41	7,72	100,00	5,00	92,07	21,18	37,64	32,5	20	45	
Nº 40	1,12	0,35	7,13	2,00	25,65	0,00	28,27	3,67	100,00	5,00	39,37	9,06	20,08	21	10	32	
Nº 80	0,92	0,29	5,23	1,47	13,63	0,00	15,76	2,05	100,00	5,00	5,24	1,21	10,01	14	8	20	
Nº 200	0,65	0,20	3,14	0,88	7,14	0,00	7,91	1,03	99,00	4,95	0,93	0,21	7,27	5,5	3	8	

Figura 12 - Curva de Fuller para a Mistura 1.

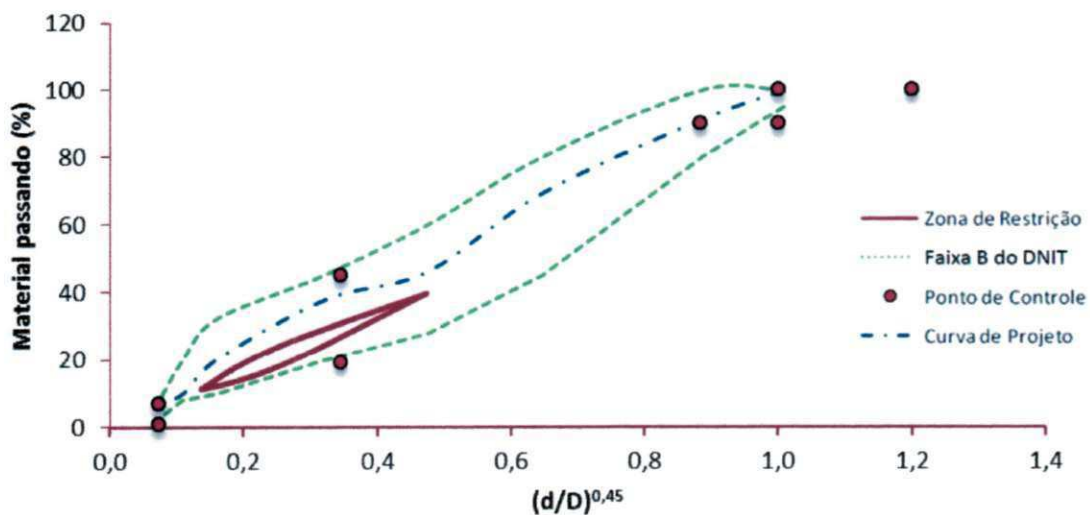


Tabela 26 - Composição Granulométrica da Mistura 2.

PENEIRAS	MISTURA 2															
	BRITA 26		BRITA 9,6		RCD		PÓ DE PEDRA		FILLER - Cal		AREIA LEP		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO FAIXA B		
	TOTAL	31,0%	TOTAL	28,0%	TOTAL	3,9%	TOTAL	9,1%	TOTAL	5,0%	TOTAL	23,0%		PT. MED.	LIMITES	
1 1/2"	100,00	31,00	100,00	28,00	100,00	3,90	100,00	9,10	100,00	5,00	100,00	23,00	100,00	100	100	100
1"	99,59	30,87	100,00	28,00	100,00	3,90	100,00	9,10	100,00	5,00	100,00	23,00	99,87	97,50	95	100
3/4"	71,36	22,12	100,00	28,00	100,00	3,90	100,00	9,10	100,00	5,00	100,00	23,00	91,12	90	80	100
1/2"	28,98	8,98	100,00	28,00	100,00	3,90	100,00	9,10	100,00	5,00	100,00	23,00	-	-	-	-
3/8"	10,43	3,23	90,34	25,29	100,00	3,90	100,00	9,10	100,00	5,00	100,00	23,00	69,53	62,5	45	80
Nº 4	1,54	0,48	23,83	6,67	83,79	3,27	88,80	8,08	100,00	5,00	99,34	22,85	46,35	44	28	60
Nº 10	1,36	0,42	11,87	3,32	55,96	2,18	59,41	5,41	100,00	5,00	97,45	22,41	38,75	32,5	20	45
Nº 40	1,12	0,35	7,13	2,00	25,65	1,00	28,27	2,57	100,00	5,00	70,91	16,31	27,23	21	10	32
Nº 80	0,92	0,29	5,23	1,47	13,63	0,53	15,76	1,43	100,00	5,00	15,46	3,56	12,27	14	8	20
Nº 200	0,65	0,20	3,14	0,88	7,14	0,28	7,91	0,72	99,00	4,95	2,22	0,51	7,54	6,5	3	8

Figura 13 - Curva de Fuller para a Mistura 2.

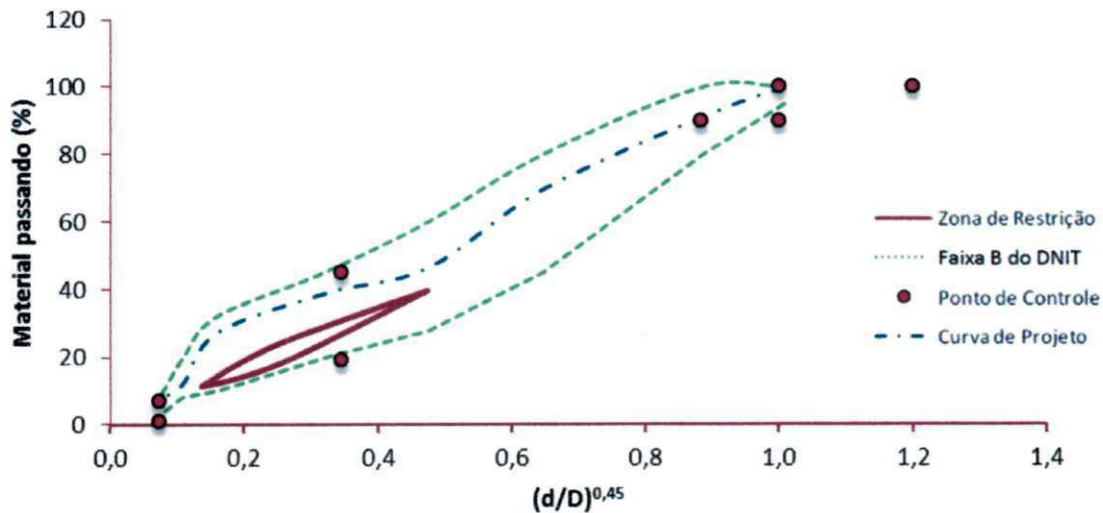
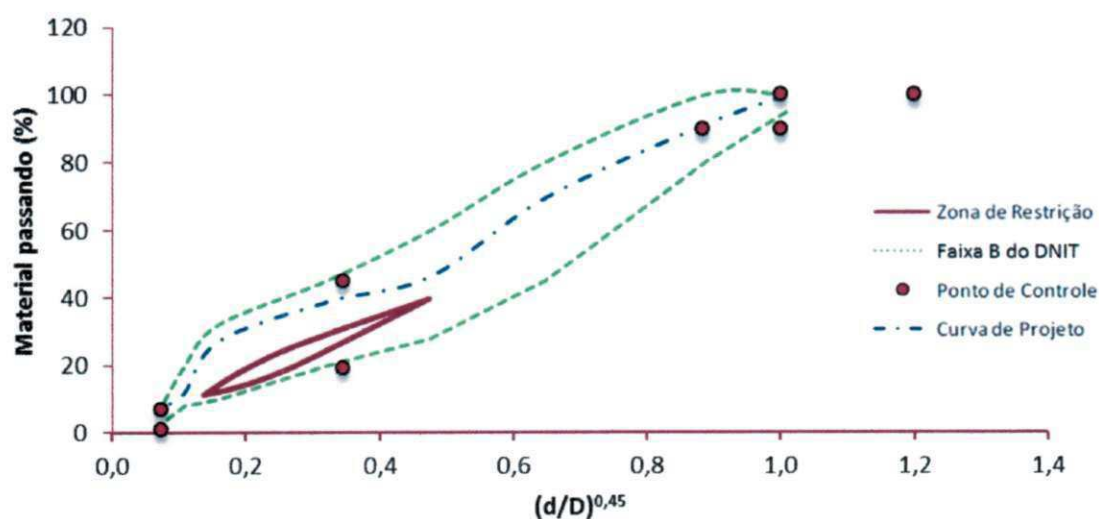


Tabela 27 - Composição Granulométrica da Mistura 3.

PENEIRAS	MISTURA 3														ESPECIFICAÇÃO FAIXA C		
	BRITA 25		BRITA 9,5		RCD		PÓ DE PEDRA		FILLER - Cal		AREIA LEP		PROJETO	PT. MED.	LIMITES		
	TOTAL	31,0%	TOTAL	28,0%	TOTAL	6,5%	TOTAL	6,5%	TOTAL	6,0%	TOTAL	23,0%			100	100	100
1 1/2"	100,00	31,00	100,00	28,00	100,00	6,50	100,00	6,50	100,00	5,00	100,00	23,00	100,00	100	100	100	
1"	99,59	30,87	100,00	28,00	100,00	6,50	100,00	6,50	100,00	5,00	100,00	23,00	99,87	97,50	95	100	
3/4"	71,36	22,12	100,00	28,00	100,00	6,50	100,00	6,50	100,00	5,00	100,00	23,00	91,12	90	80	100	
1/2"	28,98	8,98	100,00	28,00	100,00	6,50	100,00	6,50	100,00	5,00	100,00	23,00	-	-	-	-	
3/8"	10,43	3,23	90,34	25,29	100,00	6,50	100,00	6,50	100,00	5,00	100,00	23,00	69,53	62,5	45	80	
Nº 4	1,54	0,48	23,83	6,67	83,79	5,45	88,80	5,77	100,00	5,00	99,34	22,85	46,22	44	28	60	
Nº 10	1,36	0,42	11,87	3,32	55,96	3,64	59,41	3,86	100,00	5,00	97,45	22,41	38,66	32,5	20	45	
Nº 40	1,12	0,35	7,13	2,00	25,65	1,67	28,27	1,84	100,00	5,00	70,91	16,31	27,16	21	10	32	
Nº 80	0,92	0,29	6,23	1,47	13,63	0,89	16,76	1,02	100,00	5,00	16,46	3,56	12,22	14	8	20	
Nº 200	0,65	0,20	3,14	0,88	7,14	0,46	7,91	0,51	99,00	4,95	2,22	0,51	7,52	5,5	3	8	

Figura 14 - Curva de Fuller para a Mistura 3.



II. Massa Específica

a) Massa específica do agregado graúdo

Na Tabela 29 está inserida a massa específica real dos agregados graúdos que compõem as misturas asfálticas utilizados nessa pesquisa.

Tabela 28 - Resultado Massa Específica do Agregado Graúdo.

Diâmetro (mm)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)	Absorção (%)
25	2,673	2,699	0,357
9,5	2,617	2,648	0,450

b) Massa específica do agregado miúdo

Os agregados miúdos utilizados (areia e o pó de pedra) apresentaram massa específica real conforme demonstrado na Tabela 30.

Tabela 29 - Resultado Massa Específica do Agregado Miúdo.

Material	Massa específica real (g/cm ³)
Pó de pedra	2,63
Areia	2,60

c) Equivalente de Areia , Índice de Forma e Abrasão “Los Angeles”

O equivalente de areia (EA), ensaio prescrito pela norma DNIT – ME 054/94, foi realizado através de duas amostras, e tem por objetivo determinar a presença de finos plásticos no agregado miúdo. Seu valor foi obtido através da média do resultado das duas amostras, que pode ser observado na Tabela 31. É importante salientar que seu valor tem que ser igual ou superior a 55%, como recomendado pela norma.

Tabela 30 - Resultado do Ensaio de Equivalente de Areia.

Amostra	EA (%)	EA final
I	62,45	63,23
II	64,01	

O ensaio para determinação da forma das partículas foi realizado para as britas 25mm e 9,5mm de acordo com a norma DNIT-ME 086/94. Os seus resultados estão apresentados na Tabela 32. Os valores obtidos para as duas britas foram bastante satisfatórias, já que o valor mínimo para o índice de forma é de 0,50, indicando que os materiais granulares utilizados na pesquisa apresentam uma boa cubicidade.

Tabela 31 - Resultado de Ensaio de Índice de Forma.

Diâmetro (mm)	Índice de forma (\bar{f})
25	0,87
9,5	0,71

As especificações brasileiras para serviços de pavimentação que envolvem o uso de agregados na construção de camadas de base e de revestimento, normalmente limitam o valor máximo da abrasão "Los Angeles" (LA) de 40%. Portanto, as britas utilizadas na pesquisa atendem essa especificação (Tabela 33).

Tabela 32 - Resultado de Ensaio de Abrasão Los Angeles.

Diâmetro (mm)	Abrasão Los Angeles (%)
Brita 25	29
Brita 9,5	21

4.3.3. Dosagem Marshall

Na Dosagem Marshall, inicialmente, é necessário a determinação do teor ótimo de ligante asfáltico que será incorporado nas misturas.

Portanto, faz-se necessário o ajuste do percentual em massa dos agregados em função do teor de asfalto para as três misturas em estudo. As Tabelas 34, 35 e

36 apresentam os resultados das misturas com 0% de RCD (Mistura 1), 3,9% de RCD (Mistura 2) e 6,5% de RCD (Mistura 3), respectivamente.

Tabela 33 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 1).

Agregado	Teores de Asfalto				
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
Brita - 25mm	29,76	29,61	29,45	29,30	29,14
Brita - 9,5mm	26,88	26,74	26,60	26,46	26,32
Pó de pedra	12,48	12,42	12,35	12,29	12,22
Agregado Reciclado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Areia	22,08	21,97	21,85	21,74	21,62
Fíler - CAL	4,80	4,78	4,75	4,73	4,70

Tabela 34 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 2).

Agregado	Teores de Asfalto				
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
Brita - 25mm	29,76	29,61	29,45	29,30	29,14
Brita - 9,5mm	26,88	26,74	26,60	26,46	26,32
Pó de pedra	8,74	8,69	8,65	8,60	8,55
Agregado Reciclado	3,74	3,72	3,71	3,69	3,67
Areia	22,08	21,97	21,85	21,74	21,62
Fíler - CAL	4,80	4,78	4,75	4,73	4,70

Tabela 35 - Percentual de Agregado em Função do teor de Asfalto (Mistura 3).

Agregado	Teores de Asfalto				
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
Brita - 25mm	29,76	29,61	29,45	29,30	29,14
Brita - 9,5mm	26,88	26,74	26,60	26,46	26,32
Pó de pedra	6,24	6,21	6,18	6,14	6,11
Agregado Reciclado	6,24	6,21	6,18	6,14	6,11
Areia	22,08	21,97	21,85	21,74	21,62
Fíler - CAL	4,80	4,78	4,75	4,73	4,70

A partir da porcentagem de cada agregado é possível determinar as massas específicas reais dos constituintes (G_i), calculando-se a Massa Específica Máxima Teórica (DMT) correspondente ao teor de asfalto considerado. Este valor é encontrado através da expressão (4):

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%Ag}{G_{ag}} + \frac{\%Am}{G_{am}} + \frac{\%f}{G_f}} \quad (4)$$

Onde:

%a – porcentagem de asfalto em relação à massa total da mistura asfáltica

%Ag - porcentagem de agregado graúdo em relação à massa total da mistura asfáltica

%Am - porcentagem de agregado miúdo em relação à massa total da mistura asfáltica

%f – porcentagem do fíler em relação à massa total da mistura asfáltica

G_a, G_{ag}, G_{am}, G_f – massas específicas reais do ligante, agregado graúdo, agregado miúdo e fíler, respectivamente.

Os valores encontrados para cada teor das três misturas são apresentados na tabela 37.

Tabela 36 - Resultado de DMT para as Misturas.

Teor de asfalto (%)	RCD 0%	RCD 3,9%	RCD 6,5%
	DMT (g/cm³)		
4,0	2,485	2,487	2,489
4,5	2,466	2,469	2,471
5,0	2,448	2,451	2,452
5,5	2,430	2,433	2,434
6,0	2,413	2,415	2,417

A massa específica aparente das misturas asfáltica compactadas (G_{mb}) é um dos parâmetros de dosagem para cada CP e será utilizado para nos cálculos dos parâmetros volumétricos. O G_{mb} é calculado com a seguinte expressão:

- Volume dos corpos-de-prova: $V = M_s - M_{sub}$
- Massa específica aparente da mistura: $G_{mb} = \frac{M_s}{V}$

A tabela 38 apresenta os resultados obtidos para o G_{mb} para cada teor das três misturas.

Tabela 37 - Resultado de G_{mb} para as Misturas.

Teor de asfalto (%)	RCD 0%	RCD 3,9%	RCD 6,5%
	G_{mb} (g/cm³)		
4,0	2,317	2,308	2,305
4,5	2,336	2,306	2,294
5,0	2,352	2,344	2,327
5,5	2,341	2,343	2,325
6,0	2,360	2,340	2,329

Com os valores da DMT e G_{mb} é possível encontrar os parâmetros volumétricos considerados para dosagem Marshall:

- Volume de vazios: $V_v = \frac{DMT - G_{mb}}{DMT}$
- Vazios com betume: $VCB = \frac{G_{mb} \times \%a}{G_a}$
- Vazios do agregado mineral: $VAM = V_v + VCB$
- Relação betume/vazios: $RBV = \frac{VCB}{VAM}$

Os resultados para os parâmetros volumétricos podem ser observados nas Tabelas 39, 40 e 41.

Tabela 38 - Resultados da Dosagem Mistura 1.

Teor de asfalto (%)	RCD 0%			
	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	Vv (%)
4,0	9,085	15,853	57,389	6,774
4,5	10,304	15,605	66,056	5,285
5,0	11,531	15,448	74,662	3,908
5,5	12,625	16,286	77,525	3,649
6,0	13,882	16,065	86,434	2,196
DNIT 031/2004 (Faixa B)		≥14	75 a 82	4 a 6

Tabela 39 - Resultados da Dosagem Mistura 2.

RCD 3,9%				
Teor de asfalto (%)	VCB	VAM	RBV	Vv
	(%)	(%)	(%)	(%)
4,0	9,051	16,263	55,666	7,197
4,5	10,171	16,789	60,626	6,622
5,0	11,488	15,861	72,429	4,386
5,5	12,631	16,339	77,305	3,720
6,0	13,762	16,889	81,504	3,126
DNIT 031/2004 (Faixa B)		≥14	75 a 82	4 a 6

Tabela 40 - Resultados da Dosagem Mistura 3.

RCD 6,5%				
Teor de asfalto (%)	VCB	VAM	RBV	Vv
	(%)	(%)	(%)	(%)
4,0	9,039	16,435	55,015	7,393
4,5	10,121	17,267	58,631	7,163
5,0	11,408	16,504	69,186	5,084
5,5	12,537	17,027	73,729	4,478
6,0	13,700	17,324	79,087	3,641
DNIT 031/2004 (Faixa B)		≥14	75 a 82	4 a 6

Após as medidas volumétricas, os CP's foram submersos em banho-maria a uma temperatura de 60°C por um tempo aproximado de 40 minutos. Ao término do banho-maria, os CP's foram colocados na prensa Marshall para determinação dos seguintes parâmetros: Estabilidade (N) e Fluência (mm).

Com os resultados dos parâmetros volumétricos e de estabilidade foi possível determinar o teor de projeto para cada mistura.

A partir dos parâmetros de dosagem Vv e RBV obtidos nos grupos de corpos-de-prova, pôde-se selecionar o teor de projeto traçando um gráfico do teor de asfalto (eixo x) versus Vv (eixo y₁) e RBV (eixo y₂).

A figura contém ainda os limites específicos das duas variáveis, indicados pelas linhas tracejadas. Esses limites são indicados pela norma DNIT 031/2004 e dependem da Faixa escolhida. Para este estudo os limites variam entre 3 a 5% e 75 a 82% para Vv e RBV, respectivamente. A partir da interseção das linhas de tendência do Vv e do RBV com os seus limites, são determinados quatro teores de CAP (X1, X2, X3 e X4). O teor ótimo é selecionado tomando a média dos dois teores centrais, ou seja, teor ótimo = (X2 + X3)/2.

As figuras dos parâmetros volumétricos podem ser vistos nas Figuras 15, 16 e 17, para cada mistura.

Figura 15 - Teor de Asfalto Mistura 1.

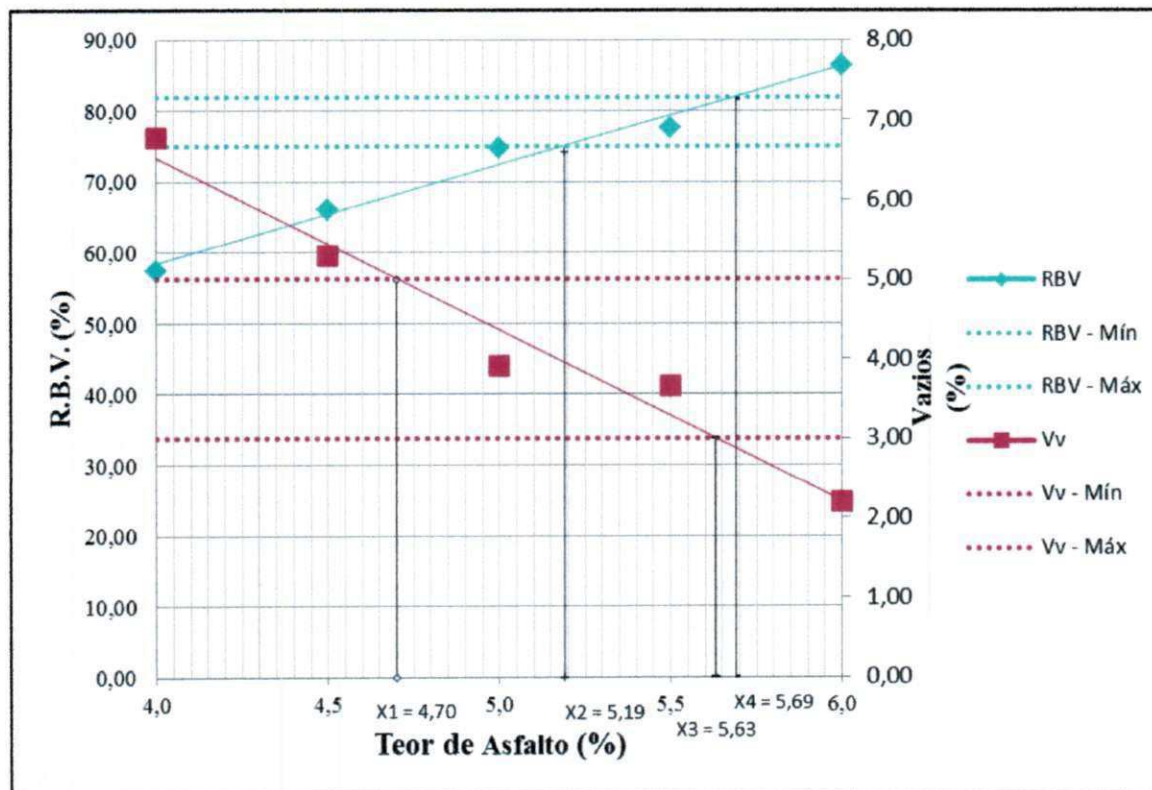


Figura 16 - Teor de Asfalto Mistura 2.

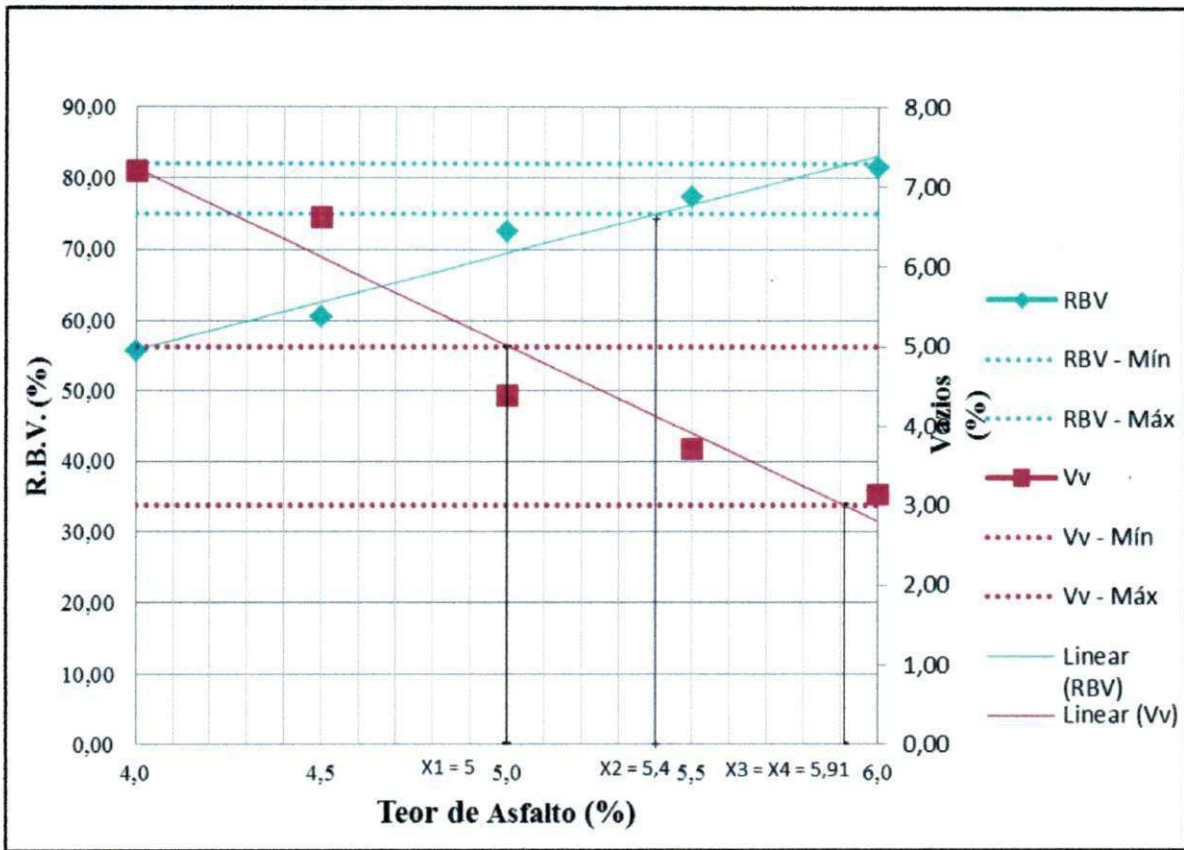
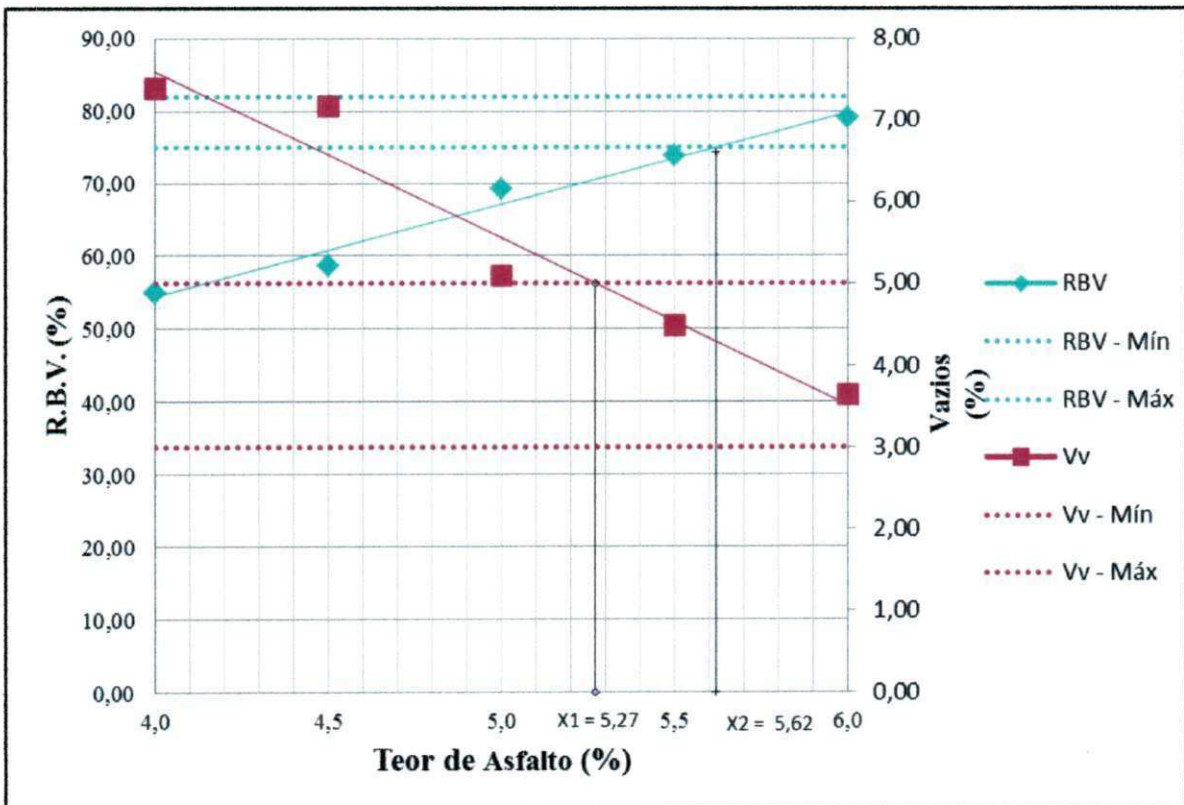


Figura 17 - Teor de Asfalto Mistura 3.



Após selecionar o teor de asfalto, foi realizado moldagem de 3 corpos de prova para cada mistura, afim de verificar se suas propriedade volumétricas correspondem as exigidas pela norma. Os resultados para os teores de projeto para as misturas e os valores de verificação podem ser vistas na tabela 42 em seguida.

Tabela 41 - Resultados de Verificação da Dosagem das Misturas.

Agregado Reciclado	Teor de projeto	RBV (%)	Vv (%)	Estabilidade (Kgf)
0%	5,41%	72,4	4,7	693,8
3,9%	5,66%	75,4	4,2	744,2
6,5%	5,45%	69,2	5,5	889,7
DNIT 031/2004		75 a 82	3 a 5	500

Pode-se observar na tabela 41 que apenas a mistura com 3,9% de Resíduo de Construção e Demolição atende as especificações da norma DNIT 031/2004.

4.3.4. Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Na Tabela 43 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral indireta com os corpos-de-prova moldados nos teores de CAP de projeto pelo procedimento da compactação Marshall para as misturas em estudo.

Tabela 42 - Resultado de Ensaio de Resistencia à Tração Diametral.

Agregado Reciclado	RT (Mpa)	Valor de Referência (MPa)
0%	0,70	
3,9%	0,77	> 0,65
6,5%	0,72	

Apesar dos resultados estarem dentro do limite, o valor da RT teve um crescimento ao ser adicionado 3,9% de agregado reciclado e posterior decaimento quando acrescentado 6,5% do agregado reciclado.

Os resultados para RT das misturas apresentaram valores satisfatórios, pois estão acima do estabelecido por norma, que indica um valor mínimo de 0,65 Mpa.

4.3.5. Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN (RTu)

Na tabela 44 estão apresentados os resultados do ensaio de Resistência ao dano por Umidade Induzida e de Resistência à Tração por compressão diametral para as misturas asfálticas em estudo.

Tabela 43 - Resultado de Ensaio de Resistencia ao dano por Umidade Induzida (LOTTMAN).

Agregado Reciclado	RTu (Mpa)	RT (Mpa)	RRT = Rtu/RT (%)
0%	0,59	0,70	84,43
3,9%	0,55	0,77	71,34
6,5%	0,52	0,72	73,00

A relação RT e RTu, para todas as misturas, apresentaram valores satisfatórios, superiores a 70% como estabelecido por norma AASHTO MP 8-01. O melhor resultado foi obtido para mistura sem agregado reciclado. É importante destacar que a adição do RCD a mistura asfáltica aumenta a suscetibilidade da mistura ao efeito deletério da água. Onde está susceptibilidade ao efeito deletério da água pode ser um limitante do uso do RCD.

4.3.6. Módulo de Resiliência (MR)

O ensaio de módulo de resiliência em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetidamente no plano diametral vertical em um corpo-de-prova cilíndrico regular. Essa carga gera uma tensão de tração transversal ao plano de aplicação da carga. Mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada.

As Tabelas 45, 46 e 47 apresentam os resultados obtidos no ensaio de Módulo de Resiliência, ensaiados a 25° C, para as misturas asfálticas sem agregado reciclado, e com 3,9 e 6,5% de RCD, respectivamente.

Tabela 44 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 1.

	CP I	CP II	Média
Módulo de Resiliência (Mpa)	2030,5	2365,5	2198
Deform. Horizontal Recuperável (µm)	2,765	2,18	2,47

Tabela 45 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 2.

	CP I	CP II	Média
Módulo de Resiliência (Mpa)	2555,5	1890	2222,75
Deform. Horizontal Recuperável (µm)	2,645	3,73	3,19

Tabela 46 - Resultado de Ensaio do Modulo de Resiliência Mistura 3.

	CP I	CP II	Média
Módulo de Resiliência (Mpa)	3221,5	2420,5	2821
Deform. Horizontal Recuperável (µm)	2,215	2,95	2,58

De acordo com Bernucci *et al.* (2007) valores típicos de misturas asfálticas a 25°C estão situados na faixa de 2.000 a 8.000 MPa. Os valores encontrados para as misturas asfálticas estão dentro do intervalo citado. Segundo David (2006) apud Silva (2011), a análise do Módulo de Resiliência não pode ser feita de forma direta uma vez que ele está relacionado à rigidez da mistura. Valores maiores ou menores podem ser aceitos dependendo da estrutura do pavimento, devendo ser considerada a compatibilidade de deformações entre as camadas que o constituem, principalmente a camada de base.

Diante do exposto, os resultados são satisfatórios para todas as misturas, tendo melhor resultado a mistura com 6,5% de agregado reciclado. Os valores sem agregado reciclado e com 3,9% ficaram muito próximos, sem apresentar muita variação entre eles.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões

Com base nos conceitos apresentados na revisão bibliográfica e nos resultados dos ensaios realizados neste trabalho foi possível chegar às seguintes conclusões:

- ✓ Verificou-se que o resíduo de construção e demolição da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG é um material do tipo misto, com predominância de material cimentício (62,45%). Foi identificada ainda a presença de 0,28% de materiais indesejáveis de diferentes origens, estando de acordo com a NBR 15115.
- ✓ O RCD estudado pode ser classificado como material não uniforme e bem graduado. Isto demonstra que o resíduo tem granulometria adequada para uso em pavimentação, pois não é desejável que os agregados apresentem uniformidade. Caso presente, o material é considerado mal graduado, ocasionando muitos vazios e maiores quebras durante o processo de compactação ou pelo tráfego usuário após conclusão da obra.
- ✓ O material apresentou comportamento não líquido e não plástico. Esse resultado já era esperado já que os resíduos de construção e demolição apresentam comportamento semelhante a solos arenosos.
- ✓ Após a compactação na energia intermediária, o material sofreu quebras expressivas; com a energia modificada estas quebras continuaram ocorrendo, provocando alterações significativas na granulometria em ambos os casos.
- ✓ Os resultados do ensaio de ISC para as energias intermediárias e modificada foram bastante satisfatórios, onde o material pode ser utilizado para sub-base quando compactado na energia intermediária e como base quando compactado na energia modificada, sem a necessidade do uso de estabilizantes como cal e cimento.
- ✓ Para os ensaios de misturas asfálticas, como Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência e ensaio de dano a umidade

induzida (ensaio Lottman modificado), os melhores resultados foram obtidos para a misturas nas quais foram incorporados 3,9% de RCD. Apesar dos resultados da mistura com 6,5% terem ficado abaixo da mistura com 3,9%, ainda se comportaram de forma satisfatória em relação à mistura sem RCD.

- ✓ Portanto, destaca-se que o RCD pode ser incorporado nas três principais camadas de um pavimento asfáltico (sub-base, base e revestimento) em substituição aos materiais convencionais, contribuindo dessa forma para o desenvolvimento sustentável e diminuição da exploração das reservas naturais.

5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

- ✓ Realização de ensaios de módulo de resiliência com o RCD puro, com o intuito de ampliar o conhecimento sobre o comportamento do resíduo de construção e demolição para uso em base e/ou sub-base de pavimentos;
- ✓ Estudar a incorporação de diferentes teores de resíduos de construção e demolição na mistura asfáltica;
- ✓ Avaliar a importância econômica da incorporação do RCD em camadas de pavimentos;
- ✓ Realizar estudos para quantificar a presença de materiais contaminantes no RCD; e
- ✓ Estudar a incorporação do RCD em outros setores da construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. *Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição*. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 2003. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003.

ÂNGULO, S.C; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. "Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil". In: Seminário do Comitê Técnico do Ibracon CT - 206 - Meio Ambiente - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações, IV, 2001, São Paulo. Anais. São Paulo: IBRACON, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010*. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_envio.cfm?ano=2010>. Acesso em: 01 de fev. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: *Solo - análise granulométrica – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6508: *Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6457: *Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e*

6. REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. *Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição*. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 2003. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003.

ÂNGULO, S.C; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. "Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil". In: Seminário do Comitê Técnico do Ibracon CT - 206 - Meio Ambiente - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações, IV, 2001, São Paulo. Anais. São Paulo: IBRACON, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010*. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_envio.cfm?ano=2010>. Acesso em: 01 de fev. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: *Solo - análise granulométrica – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6508: *Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6457: *Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e*

ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

___ NBR 7182: *Solo – ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 1986.

___ NBR 6954: *Lastro Padrão: determinação da forma do material*. Rio de Janeiro, 1989.

___ NBR 10004: *Resíduos Sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 10005: *Lixiviação de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 10006: *Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 10007: *Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 15113: *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 15114: *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 15115: *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2004.

___ NBR 15116: *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2004.

BAGATINI, F. *Resíduos de Construção e Demolição: Aproveitamento como base e sub-base de pavimentação de vias Urbanas*. Monografia. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, 2011.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. - *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*, 1ª Edição PETROBRAS/ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

BEZERRA, A. J. V. *Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural*, Dissertação de Mestrado, UFPB/CCT, 2002.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. São Carlos: São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

BLUMENSCHNEIN, R. N. A. *A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção*. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

BODI, J. BRITO FILHO, J. A.; ALMEIDA, S. *Utilização de Entulho de Construção Civil Reciclado na Pavimentação Urbana*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., Cuiabá, 1995. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 1995. p.409- 436.

CABRAL, A. E. B. *Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD*. 2007. 254 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V.. Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará – Sinduscon-CE, 2011.

CAIXETA, D. M. Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS. Monografia Especialização (Especialização em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2005.

CARELI, Élcio Duduchi. *A resolução CONAMA nº 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição*. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.

CARNEIRO, A. P. et al.. *Reciclagem do Entulho da Região Metropolitana de Salvador para a Produção de Materiais de Construção de Baixo Custo*. In: IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro, BA. p. 1694-1703. 2000.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. *Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção*. Caixa Econômica Federal. Editora UFBA. 2001.

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. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001.

CASTRO NETO, P. P.; GUIMARÃES, P. C. V. *A gestão dos resíduos em São Paulo e o desafio do desenvolvimento sustentável*. Revista de Administração Pública: Rio de Janeiro, v. 34, n. 87-104, jun./ago.2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008040356.pdf>. Acesso em: 05 de mar. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1999_258.pdf>. Acesso em: 05 de mar. 2012

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 20 de fev. 2012.

CRETA. Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Disponível em: <http://www.cretatec.com.br/index.php?Itemid=78&catid=29:wiki-residuos&id=56:residuos-de-construcao-e-demolicao&option=com_content&view=article>. Acessado em: 18 jun. 2012.

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. *ME 095 - Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material*. Especificação de Material. Rio de Janeiro, 2006.

___ ES 031 - *Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico*. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.

___ ME 003 – *Materiais Betuminosos – determinação da penetração*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1999.

___ ME 035 - *Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

___ ME 054 – *Equivalente de areia*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

___ ME 078 – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

___ ME 079 – *Agregado – adesividade a ligante betuminoso*. Rio de Janeiro, 1994.

___ ME 081 – *Agregados: determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

___ ME 083 – *Agregados – análise granulométrica*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

___ ME 084 – *Agregado miúdo – determinação da densidade real*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

___ ME 086 – *Agregado – Determinação do índice de forma*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

___ ME 131 – *Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010

___ ME 135 – *Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas - Determinação do Módulo de Resiliência*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

___ ME 138 - *Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

___ ME 155 – *Material asfáltico – Determinação da penetração*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

___ME 195 - *Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

Empresa Brasileira de Comunicação (RADIOBRAS). *Ciência e Tecnologia - Informativo Semanal da Radiobras, Ciência Tecnologia e Meio Ambiente*. 2000. Disponível em: <<http://www.radiobras.gov.br>>. Acesso em: 01 mar. 2012.

ERPEN, M. L. *Resíduos sólidos de construção e demolição. Estudo de caso: Gurupi - TO*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Brasília. Brasília, 2009.

FERNANDES, C. G. *Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação*. 2004. 109p. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ). Rio de Janeiro, 2004.

GARLET, G. & GREVEN, H. A. *Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil. Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil*. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1997

GRUBBA, D. C. R. P. *Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

GUERRA, Jaqueline de Souza. *Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações*. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

GUERREIROS S. *A nova NR-25 Resíduos Industriais*. Revista NRFACIL, 2011. Disponível em: <<http://www.nrfacil.com.br/artigos.php?id=81>>. Acesso em: 18 de abr. 2012.

HARTLÉN J. *Waste management in Sweden*. Waste Management, Volume 16. 1996.

HENDRIKS, C. F.; JANSSEN, G. M. T. Application of construction and demolition waste. *Heron*, v. 46, n. 2 , 2001.

HOORNWEG D.; THOMAS L.; OTTEN L. "*Urban Waste Management: Composting and Its Applicability in Developing Countries*", 1999. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/paperseries8.pdf>>. Acesso em: 25 de mar. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Summary for Policymakers*. Fourth Assessment Report, Working Group III. Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html>. Acesso em: 10 de fev. 2012.

KARPINSK, L.A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental*. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

KGATHI, D. & B. BOLAANE. "*Instruments for sustainable solid waste management in Botswana*." *Waste Management & Research*. 2001.

LEITE, F. C. *Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da Construção Civil em camadas de base e sub-base de pavimentos*. 2007. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

LIMA, J. A. R. *Proposição para diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concreto*. Dissertação de Mestrado, São Carlos, 1999.

MÁLIA, M. A. B. Indicadores de resíduos de construção e demolição. Dissertação para obtenção (Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa. 2010.

MENDES, T. A.; REZENDE, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C., CARVALHO, J. C.; VEIGA, R. Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., Rio de Janeiro, 2004. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 2004.

MOTTA, L. M. G.; FERNANDES, C. *Utilização de resíduo sólido da construção civil em pavimentação urbana*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 12a. RPU. Cd-rom. 2003. Aracaju, SE.

NÓBREGA, R. D.; MELO, R. A. Uso de agregados de resíduos da construção civil na pavimentação urbana em João Pessoa. Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos da Construção – ENARC 2009. Feira de Santana, 2009.

PEREIRA, J. A. R. Geração de resíduos industriais e controle ambiental. Disponível em: <http://www.lapa.ufscar.br/bdgaam/residuos_solidos/Gest%E3o/pereira.pdf>. Acessado em: 20 jun. 2012.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.189p.

RAFAEL, L. F. A., *Resíduos sólidos e evolução urbana em Santo André – SP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2006.

RIBEIRO, F.; SERRA, N. G. S.; REZENDE, L. R.; GUIMARÃES, R. C. Utilização de entulho da construção civil em pavimentos flexíveis. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 11., Porto Alegre, 2002. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 2002.

ROCHA J. C.; CHERIAF M. *Aproveitamento de resíduos na construção*. Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/127.pdf>>. Acesso em: 11 de mar. 2012.

RODRIGUES, F. L. & CAVINATTO, V. M. *Lixo: De onde vem? Para onde vai?* São Paulo: Moderna, 2003.

SANTOIA, J. M. R.; MARTINS, M. T. *Coleta de Lixo – Uma alternativa ecológica nos manejo integrado dos resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, 1995. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, BT/PHD/18).

SANTOS, E. C. G. *Aplicação dos resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado*. Dissertação (mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. SP, 2007.

SANTOS, C. B. *Estabilização/Solidificação de Resíduo da Indústria de Petróleo para uso em Pavimentos Rodoviários*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Civil da Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

SCHALCH, V. *Estratégias para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

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

SILVA, A. F. F. *Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução CONAMA nº. 307/02 - estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte*. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SILVA, B. T. A.; SILVA, M. G. B.; BARROSO, S. H. A. Avaliação da energia de compactação no desempenho de mistura produzida a partir de agregados reciclados para emprego em camadas granulares dos pavimentos. Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. 2008.

SILVA, J. A. A. Estudo das propriedades físicas, de estado e mecânicas de misturas asfálticas para os revestimentos de pistas de aeródromos. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Civil da Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP). *Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: a experiência do SindusCon-SP*. São Paulo, 2005.

TRICHÊS, G.; CARDOSO, A. B. *Avaliação da capacidade de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico e a viga Benkelman*. Transporte em Transformação. Confederação Nacional do Transporte, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. Número 6, 1999, p.35-49.

TRICHÊS, G.; KRYCKYJ, P. R. *Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4., São José dos Campos, 1999. Anais. São Paulo: ABMS, 1999, p.259-265.

ZORDAN, S. E. *Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos*. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.