

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL

Camila Lira Dias

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO MATERIAL
ALTERNATIVO NAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DA PAVIMENTAÇÃO
URBANA DA CIDADE DE PORTO VELHO/RO**

PORTO VELHO
2017

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL

CAMILA LIRA DIAS

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO MATERIAL
ALTERNATIVO NAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DA PAVIMENTAÇÃO
URBANA DA CIDADE DE PORTO VELHO/RO**

Tese de Conclusão de Curso apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Rondônia, como requisito final para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Esp. Bruno Mesquita dos Santos

Coorientador: Prof. Fernando Junqueira Bordignon

PORTO VELHO
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecida pelo(a) autor(a)

D542u

Dias, Camila Lira.

Utilização de Resíduos da Construção Civil como material alternativo nas camadas de base e sub-base da pavimentação urbana da cidade de Porto Velho/RO.: / Camila Lira Dias
126 f. il.

Orientador(a): Prof. Esp. Bruno Mesquita dos Santos.

Coorientador(a): Prof. Esp. Fernando Junqueira Bordignon.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Fundação Universidade Federal de Rondônia.

1. Pavimentação. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos. 4. Base. 5. Sub-base. I. Santos, Bruno Mesquita dos. II. Título.

CDU 625

Camila Lira Dias

Utilização de Resíduos da Construção Civil como material alternativo nas camadas de base e sub-base da pavimentação urbana da cidade de Porto Velho/RO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 06 de Março de 2017 como requisito final para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil e aprovado pela banca examinadora constituída pelos professores:

Professor Esp. Bruno Mesquita dos Santos – DECIV/UNIR
Orientador

Professor Msc. Fabiano Medeiros da Costa – DECIV/UNIR
Examinador

Professor Esp. Vânius Garcia Paiva – DER – RO
Examinador

**PORTO VELHO
2017**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meus heróis, por não medirem esforços para que eu tivesse sempre o melhor, e a todos aqueles que usam suas habilidades para o desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, por cada sonho realizado, por cada bênção recebida e por cada dificuldade que me tornou mais forte.

À minha família por torcer por mim, por estar presente em todas as conquistas e pelo apoio nos bons e nos maus momentos.

Aos meus amigos que comemoram junto cada vitória.

Ao meu querido orientador, Professor Esp. Bruno Mesquita dos Santos, quem conquistou minha admiração sendo um notável profissional e um excelente orientador, por todo o conhecimento compartilhado, sem reservas, pelos conselhos e direcionamento, pelo apoio e pelo exemplo de dedicação como Professor e Engenheiro, sempre atencioso e disposto a instruir.

Ao meu querido co-orientador, Professor Fernando Junqueira Bordignon, por todos os conselhos, por ser também exemplo, por acreditar neste trabalho e na ideia que ele traz, e pelas injeções de ânimo.

Ao meu amigo, Professor Raduan Krause Lopes, com quem sempre pude contar nos momentos complicados.

Ao Professor Msc. Fabiano Medeiros da Costa pela disponibilidade e dedicação em sanar cada dúvida, e pelo desempenho em ajudar sempre que necessário.

Ao Eng. Eletric. Naraiel Ferrari, fundador e proprietário da PRS Recicladora, pelo fornecimento das amostras de RCD e de material digital com informações que contribuíram para o conteúdo deste trabalho.

Aos meus queridos Professores, Dr. Petrus Luiz De Luna Pequeno e Dr. Claudio Luiz do Amaral Santini, responsáveis pela conexão feita entre o DECIV da UNIR e o 5º Batalhão de Engenharia e Construção de Porto Velho, onde realizou-se parte dos ensaios para este trabalho.

Ao Sr. Ten. Henrique Lopes Cavalcante do 5º Batalhão de Engenharia e Construção de Porto Velho por autorizar a utilização do laboratório de solos e seus equipamentos, bem como algumas amostras de solo, para parte das pesquisas propostas por este trabalho.

Ao Departamento de Estradas, Rodagens, Infraestrutura e Serviços Públicos – DER, por fornecer o laboratório com os equipamentos necessários para parte dos ensaios desenvolvidos para este trabalho.

À equipe de militares do 5º Batalhão de Engenharia e Construção de Porto Velho que atua no laboratório de solos, pela execução de parte dos ensaios realizados para este trabalho.

Ao técnico Valcir pelo seu desempenho na realização de parte dos ensaios no DER.

EPÍGRAFE

“O mundo tornou-se perigoso, porque os
homens aprenderam a dominar a natureza
antes de dominarem a si mesmos.”

Albert Schweitzer

RESUMO

A Construção Civil tem sido, notadamente, uma das atividades que geram maior quantidade de resíduos sólidos, os chamados RCD (Resíduos da Construção e Demolição). A crescente preocupação com a sustentabilidade, aliada com as características destes resíduos, podem viabilizar seu uso em determinadas áreas da própria Construção Civil. Neste trabalho é analisada a possibilidade de utilização desses resíduos como agregados na pavimentação urbana da cidade, através de ensaios já realizados, documentando os resultados. É também analisada a comparação de resistência entre o exigido em norma e os resultados de uma mistura equivalente utilizando o RCD, verificando se o material reciclado tem boas características físicas e qual a proporção ótima a ser aplicada nas camadas de base e sub-base. Também são analisados os custos atrelados à utilização deste material, observando a possível economia ao utilizar tal alternativa. Por fim, as verificações apontaram as viabilidades econômica e ecológica, e as características físicas, da mistura com RCD para a pavimentação urbana.

Palavras-chave: Pavimentação. Sustentabilidade. Resíduos. Base. Sub-base.

ABSTRACT

The Civil Construction has been, above all, responsible for most of solid waste generation, known as C&D Waste (Construction and Demolition Waste), the growing concern with sustainability, allied to the waste's characteristics, may enable its use in certain areas of the Civil Construction itself. In this work the possibility of using such waste as aggregates in the city's urban paving is analyzed, through tests already made, documenting the results. A resistance comparison between the standard's requirements and the test's results from an equivalent mixture using the C&D Waste is also analyzed, verifying if the recycled aggregate has good physical characteristics and the maximum percentage that can be applied in the base and the sub-base. The costs related to this material are also analyzed, noticing the possibility of economy by using this alternative. Finally, the verifications pointed the economic and ecological viabilities, and the physical characteristics of the mixture with C&D Waste for urban paving.

Keywords: Paving. Sustainability. Waste. Base. Sub-base.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do pavimento flexível.	12
Figura 2 – Distribuição de cargas no pavimento flexível.	12
Figura 3 – RCD depositado em calçada.	15
Figura 4 – Muro de separação usado na reciclagem de RCD em Porto Velho.	20
Figura 5 – Amostras de RCD.	25
Figura 6 – Amostras de solo natural do DER – RO.	25
Figura 7 – Equipamentos para o ensaio de teor de umidade no DER – RO.	28
Figura 8 – Duas amostras para a determinação do CBR, ensaio para Sub-base.	31
Figura 9 – Amostra passando pela penetração (prensa manual no DER – RO).	32
Figura 10 – Aparelho Casagrande.	34
Figura 11 – Composição de custos unitários do DER – RO com desoneração.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria do material para base de solo.....	11
Tabela 2 – Desperdício de materiais em obras.	14
Tabela 3 – Resultado análise granulométrica para sub-base 30% RCD.....	38
Tabela 4 – Resultado teor de umidade para sub-base 30% RCD.....	38
Tabela 5 – Ensaio de compactação para sub-base 30% RCD.	39
Tabela 6 – Penetração para sub-base 30% RCD.....	40
Tabela 7 – ISC para sub-base 30% RCD.	41
Tabela 8 – Limite de liquidez para sub-base 30% RCD.....	41
Tabela 9 – Resultado análise granulométrica para sub-base 40% RCD.....	42
Tabela 10 – Resultado teor de umidade para sub-base 40% RCD.....	43
Tabela 11 – Ensaio de compactação para sub-base 40% RCD.	43
Tabela 12 – Penetração para sub-base 40% RCD.....	45
Tabela 13 – Cálculo do ISC para sub-base 40% RCD.....	45
Tabela 14 – Limite de liquidez para sub-base 40% RCD.....	46
Tabela 15 – Resultado análise granulométrica para sub-base 50% RCD.....	47
Tabela 16 – Resultado teor de umidade para sub-base 50% RCD.....	47
Tabela 17 – Ensaio de compactação para sub-base 50% RCD.	48
Tabela 18 – Penetração para sub-base 50% RCD.....	49
Tabela 19 – Cálculo do ISC para sub-base 50% RCD.....	50
Tabela 20 – Limite de liquidez para sub-base 50% RCD.....	50
Tabela 21 – Resultado análise granulométrica para base 30% RCD.....	52
Tabela 22 – Resultado do teor de umidade para base 30% RCD.....	52
Tabela 23 – Ensaio de compactação para base 30% RCD.	53
Tabela 24 – Resultado expansão para base 30% RCD.	54
Tabela 25 – Penetração para base 30% RCD.....	55
Tabela 26 – Cálculo do ISC para base 30% RCD.....	56
Tabela 27 – Limite de liquidez para base 30% RCD.	56
Tabela 28 – Limite de plasticidade para base 30% RCD.	57
Tabela 29 – Resultado análise granulométrica para base 40% RCD.....	58
Tabela 30 – Resultado do teor de umidade para base 40% RCD.....	59
Tabela 31 – Ensaio de compactação para base 40% RCD.	59
Tabela 32 – Resultado expansão para base 40% RCD.	60

Tabela 33 – Penetração para base 40% RCD	61
Tabela 34 – Cálculo do ISC para base 40% RCD	62
Tabela 35 – Limite de liquidez para base 40% RCD.	63
Tabela 36 – Limite de liquidez para base 40% RCD.	64
Tabela 37 – Resultado análise granulométrica para base 50% RCD.....	65
Tabela 38 – Teor de umidade para base 50% RCD	65
Tabela 39 – Ensaio de compactação para base 50% RCD	66
Tabela 40 – Resultado expansão para base 50% RCD.	67
Tabela 41 – Penetração para base 50% RCD	68
Tabela 42 – ISC para base 50% RCD	69
Tabela 43 – Limite de liquidez para base 50% RCD.	69
Tabela 44 – Limite de plasticidade para base 50% RCD.	70
Tabela 45 – Composição de custos para base estab. granulométricamente sem mistura.	73
Tabela 46 – Composição de custos para escavação e carga de material de jazida	75
Tabela 47 – Restultado análise econômica Atividades Auxiliares 30% RCD.....	76
Tabela 48 – Resultado análise geral econômica 30% RCD.	78
Tabela 49 – Restultado análise econômica Atividades Auxiliares 40% RCD.....	79
Tabela 50 – Resultado análise geral econômica 40% RCD.	81
Tabela 51 – Restultado análise econômica Atividades Auxiliares 50% RCD.....	82
Tabela 52 – Resultado análise geral econômica 50% RCD.	84
Tabela 53 – Comparações entre valores de execução de sub-base com RCD	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Gastos previstos para pavimentação.	3
Quadro 2 – Funções das camadas do pavimento	9
Quadro 3 – Classes dos Resíduos da Construção Civil	13
Quadro 4 – Etapas da gestão de RCD	16
Quadro 5 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado à pavimentação..	17
Quadro 6 – Coleta de RCD no Brasil nos anos 2013 e 2014.	18
Quadro 7 – Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo.....	32
Quadro 8 – Análise geral dos ensaios para sub-base.....	71
Quadro 9 – Análise geral dos ensaios para base.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Crescimento populacional de Porto Velho/RO.....	15
Gráfico 2 – Taxa de crescimento do número de usinas implantadas.....	19
Gráfico 3 – Curva de compactação para sub-base 30% RCD.	39
Gráfico 4 – Pressão e penetração para sub-base 30% RCD.....	40
Gráfico 5 – Limite de liquidez para sub-base 30% RCD.....	41
Gráfico 6 – Curva de compactação para sub-base 40% RCD.	44
Gráfico 7 – Pressão e penetração para sub-base 40% RCD.....	45
Gráfico 8 – Limite de liquidez para sub-base 40% RCD.....	46
Gráfico 9 – Curva de compactação para sub-base 50% RCD.	48
Gráfico 10 – Pressão e penetração para sub-base 50% RCD.....	49
Gráfico 11 – Limite de liquidez para sub-base 50% RCD.....	50
Gráfico 12 – Curva de compactação para base 30% RCD.....	53
Gráfico 13 – Pressão e penetração para base 30% RCD	55
Gráfico 14 – Limite de liquidez para base 30% RCD	56
Gráfico 15 – Curva de compactação para base 40% RCD.....	60
Gráfico 16 – Pressão e penetração para base 40% RCD	62
Gráfico 17 – Limite de liquidez para base 40% RCD	63
Gráfico 18 – Curva de compactação para base 50% RCD.....	66
Gráfico 19 – Pressão e penetração para base 40% RCD	68
Gráfico 20 – Limite de liquidez para base 50% RCD	69

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivos.....	5
3	Justificativa	6
4	Revisão Teórica.....	7
4.1	Composição do pavimento.....	7
4.2	Resíduos de Construção e Demolição.....	12
4.3	Gestão de resíduos.....	17
4.4	Pesquisas e aplicação no Brasil	20
4.5	Análise de custos.....	21
4.5.1	Custos Diretos	21
4.5.2	Custos Indiretos	21
4.5.3	Composições de custos	22
4.5.4	Gastos com RCD.....	22
5	Metodologia.....	24
5.1	Materiais	24
5.2	Ensaios.....	25
5.2.1	Preparação das amostras.....	26
5.2.1.1	Aparelhagem.....	26
5.2.1.2	Procedimento	26
5.2.2	Análise granulométrica	26
5.2.2.1	Aparelhagem.....	27
5.2.2.2	Ensaio	27
5.2.3	Determinação do teor de umidade	27
5.2.3.1	Aparelhagem.....	27
5.2.3.2	Ensaio	28
5.2.4	Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	29
5.2.4.1	Aparelhagem.....	29
5.2.4.2	Ensaio	30
5.2.4.2.1	Moldagem do corpo de prova	30
5.2.4.2.2	Expansão	31
5.2.4.2.3	Penetração	31

5.2.5	Limite de liquidez	33
5.2.5.1	Aparelhagem.....	33
5.2.5.2	Calibração do aparelho Casagrande	33
5.2.5.3	Ensaio	34
5.2.6	Limite de plasticidade	35
5.2.6.1	Aparelhagem.....	35
5.2.6.2	Ensaio	35
5.3	Orçamento	35
5.3.1	DER.....	36
5.3.1.1	Composições utilizadas	36
6	Resultados e Discussão	38
6.1	Sub-base	38
6.1.1	Mistura com 30% de RCD	38
6.1.1.1	Análise granulométrica.....	38
6.1.1.2	Teor de umidade.....	38
6.1.1.3	Índice de suporte Califórnia (ISC).....	39
6.1.1.3.1	Compactação	39
6.1.1.3.2	Expansão.....	40
6.1.1.3.3	Penetração	40
6.1.1.4	Limite de liquidez	41
6.1.1.5	Discussão	42
6.1.2	Mistura com 40% de RCD	42
6.1.2.1	Análise granulométrica.....	42
6.1.2.2	Teor de umidade.....	42
6.1.2.3	Índice de suporte Califórnia (ISC).....	43
6.1.2.3.1	Compactação	43
6.1.2.3.2	Expansão.....	44
6.1.2.3.3	Penetração	44
6.1.2.4	Limite de liquidez	46
6.1.2.5	Discussão	46
6.1.3	Mistura com 50% de RCD	47
6.1.3.1	Análise granulométrica.....	47
6.1.3.2	Teor de umidade.....	47
6.1.3.3	Índice de suporte Califórnia.....	47

6.1.3.3.1	Compactação	47
6.1.3.3.2	Expansão	48
6.1.3.3.3	Penetração	49
6.1.3.4	Limite de liquidez	50
6.1.3.5	Discussão	51
6.2	Base	51
6.2.1	Mistura com 30% de RCD	51
6.2.1.1	Análise Granulométrica	51
6.2.1.2	Teor de umidade	52
6.2.1.3	Índice de suporte Califórnia	53
6.2.1.3.1	Compactação	53
6.2.1.3.2	Expansão	54
6.2.1.3.3	Penetração	54
6.2.1.4	Limite de liquidez	56
6.2.1.5	Limite de plasticidade	57
6.2.1.6	Discussão	57
6.2.2	Mistura com 40% de RCD	58
6.2.2.1	Análise granulométrica	58
6.2.2.2	Teor de umidade	58
6.2.2.3	Índice de suporte Califórnia	59
6.2.2.3.1	Compactação	59
6.2.2.3.2	Expansão	60
6.2.2.3.3	Penetração	61
6.2.2.4	Limite de liquidez	62
6.2.2.5	Limite de plasticidade	63
6.2.2.6	Discussão	64
6.2.3	Mistura com 50% de RCD	64
6.2.3.1	Análise granulométrica	64
6.2.3.2	Teor de umidade	65
6.2.3.3	Índice de suporte Califórnia	66
6.2.3.3.1	Compactação	66
6.2.3.3.2	Expansão	66
6.2.3.3.3	Penetração	67
6.2.3.4	Limite de liquidez	69
6.2.3.5	Limite de plasticidade	70

6.2.3.6	Discussão	70
6.3	Análise Geral dos Ensaios.....	71
6.4	Análise orçamentária	72
6.4.1	Composição original	72
6.4.2	30% RCD	76
6.4.3	40% RCD.....	79
6.4.4	50% RCD.....	82
6.4.5	Discussão	85
7	Considerações finais	86
8	Referências Bibliográficas	87
	ANEXO A – Resultados dos ensaios base com 30% RCD.....	93
	ANEXO B – Resultados dos ensaios base com 40% RCD.....	98
	ANEXO C – Resultados dos ensaios base com 50% RCD.....	103

1 INTRODUÇÃO

Recentemente o esgotamento de diversas reservas naturais têm sido motivo de muita preocupação com o futuro da Construção Civil, já sendo evidente que estes recursos são finitos quase em sua totalidade. Diante de tais inseguranças, diversas normas foram estabelecidas para uma preservação do nosso meio ambiente, que vão desde leis que protegem determinados locais até limites para emissão de gases poluentes e gestão de resíduos descartados. Estes resíduos vêm sendo estudados há anos para a verificação de uma possível reutilização, o que foi comprovado através de várias pesquisas que continuam em atividade, buscando incorporar os Resíduos de Construção e Demolição cada vez mais à concepção de novas estruturas. Os RCD são produtos do desenvolvimento urbano, algo natural e que pode ocorrer de forma sustentável. Um agravante na região Norte é que alguns locais não dispõem de agregados naturais (rochas) que comumente são utilizados na pavimentação. A exemplo temos o estado do Acre, que sofre com escassez de rochas para a produção de pedra britada, necessitando substituí-la ou importá-la de outros locais, aumentando o custo de produção de obras.

Conforme a legislação vigente, cada município deve elaborar um Plano de Gestão de Resíduos da Construção Civil em concordância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (Resolução Nº 307/02, CONAMA). Esta foi uma das medidas tomadas a partir da preocupação em tornar esse desenvolvimento cada vez menos prejudicial ao meio ambiente, buscando um destino adequado ao entulho gerado que, devidamente separado e armazenado, pode retornar aos canteiros de obra como material reciclado, evitando que mais uma vez seja retirado material da natureza. Mendes *et al.* (201-) aponta ainda que as regiões metropolitanas brasileiras são os maiores alvos de tais medidas, dado que tendem a ser responsáveis por maior parte dos resíduos produzidos.

Diversos outros países contam com diretrizes parecidas, que possuem o mesmo objetivo: sustentabilidade, procurar uma menor dependência de recursos naturais e maior reaproveitamento de resíduos descartados. A reciclagem de resíduos teve início na Europa, que hoje encontra-se muito à frente do Brasil no reaproveitamento de RCD, a Holanda, por exemplo, recicla atualmente em torno de 90% dos resíduos lá produzidos (ZWAN, 1997). A Resolução Nº 307 entrou em vigor em 2004 e dá um prazo de um ano para que cada município a cumpra, o que não ocorreu em Porto Velho que, apesar de possuir leis complementares para coleta seletiva de resíduos sólidos, ainda não possui um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Segundo a Pesquisa Setorial da Associação Brasileira para Reciclagem de

RCD (ABRECON, 2015), Rondônia não registrou funcionamento de qualquer usina de reciclagem até o final do relatório feito, porém, a capital conta desde o final deste mesmo ano com uma usina própria para receber, separar e britar resíduos de demolição que possam ser reutilizados como agregados, fatores que podem acabar influenciando na possível elaboração do Plano determinado por esta resolução.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015), apesar de a produção de resíduos ter aumentado de 2013 a 2014, Rondônia apresentou uma certa evolução na coleta dos mesmos, mostrando a disposição em reaproveitar o material descartado no entanto, mesmo com os números positivos, ainda segundo a ABRELPE, neste mesmo Estado, 7,5% dos resíduos sólidos produzidos têm como destino final os aterros sanitários, 11,7%, os aterros controlados e 80,8%, o lixão, que é considerado crime ambiental. O Plano de Gestão geralmente direciona cada tipo de resíduo a um local adequado, no caso do RCD, seria encaminhado para a própria usina de reciclagem e, por conta de sua função, este mesmo plano apressaria a extinção de práticas ilegais de descarte de resíduos.

Já em relação à qualidade, o desempenho do pavimento depende diretamente do material nele empregado, os agregados geralmente estão presentes em todas as camadas e, dispostos e compactados conforme as exigências do projeto em execução, proporcionam a resistência necessária para que a estrutura suporte o tráfego que irá usá-la (FRANCO, 2007). Por causa da homogeneidade e aplicação durante anos, ainda há grande desconfiança em relação ao RCD aplicado na pavimentação, ante os agregados naturais, já que os mesmos têm desempenho satisfatório no pavimento.

Não obstante, pesquisas já provaram que é possível incorporar resíduos de demolição à pavimentação sem prejudicar o seu funcionamento, as quais foram realizadas de acordo com a forma como a obra é executada em uma determinada região (FERNANDES, 2004). De forma geral a pavimentação conta com diversos tipos de materiais naturais, dependendo da camada em execução e do agregado à disposição, a região Norte possui em sua extensão diversas jazidas de granito, cujas rochas britadas são muito usadas no revestimento, e o solo laterítico, que é constantemente empregado nas demais camadas por apresentar elevado grau de dureza. Uma estrutura de qualidade é aquela que proporciona uma boa condição de rolamento e evita gastos com manutenção de veículos por danos causados por superfícies irregulares ou danificadas,

permitindo também deslocamento com maior velocidade, suportando os esforços sem deterioração prematura. (BALBO, 2007).

A pavimentação em Porto Velho é planejada e custeada quase em sua totalidade pela gestão pública, que investe também em diversos outros serviços como saúde, educação, saneamento básico e etc. Para melhor análise dos gastos com infraestrutura rodoviária, o Decreto nº 14.085 de 2015 referente ao orçamento da cidade para o ano de 2016 mostra que a prefeitura pretende gastar cerca de R\$ 19.077.903,00 apenas com execução de pavimentação e manutenção de vias, valor que não inclui gastos com drenagem, passarelas ou pontes. O quadro 1 contém, aproximadamente, os valores que representam alguns dos gastos previstos pelas gestões de cada capital apenas com pavimentação e manutenção de vias, visto que algumas Prefeituras divulgaram apenas o valor total, sem mais detalhes, incluindo outros serviços de transportes que não são objetos de estudo neste trabalho.

Quadro 1 – Gastos previstos para pavimentação.

Rio Branco/AC	R\$ 22.714.411,00
Manaus/AM	R\$ 71.344.000,00
Macapá/AP	R\$ 67.680.746,00
Palmas/TO	R\$ 26.500.000,00

Fontes: Lei Nº 2.077 de 29 de dezembro de 2015; Lei Nº 6.037 de 22 de dezembro de 2015; . Lei Nº 2.223 de 31 de dezembro de 2015; Lei Nº 2.162 de 30 de dezembro de 2015.

É notável que o orçamento previsto para pavimentação em Porto Velho é relativamente baixo, em relação a outras capitais da Região Norte, tal fato poderia significar apenas que há economia da gestão pública quanto à infra-estrutura viária, porém existem outros fatores que podem apontar o nível de desenvolvimento local nesta área, tais como qualidade da estrutura e extensão total pavimentada. Estes mesmos números representam apenas uma parte do valor que cada Prefeitura solicita todo ano, dado que as mesmas necessitam fornecer condições financeiras de construção e manutenção a outras áreas da infra-estrutura municipal, logo, a gestão muito provavelmente irá optar por orçamentos que prometem menores gastos. Porém, visto que os recursos naturais usados são finitos, optar pela reutilização de RCD, independente dos gastos com sua aplicação, pode ser vantajoso para a cidade, que estará acumulando menos resíduos.

Porto Velho ainda não possui registros de rodovias ou ruas locais executadas pela iniciativa pública nas quais tenha sido feito uso de resíduos como agregado e, devido às diversas

dificuldades que podem ser encontradas diante da extração de material natural para a pavimentação, o investimento em pesquisas para esta nova alternativa traria progresso para o Município, que mostrará disposição em desenvolver novas opções, visto que em outras partes do país, como Belo Horizonte/MG e Rio de Janeiro/RJ já são promovidas pesquisas relacionadas ao uso de materiais reciclados em vias locais (FERNANDES, 2004). Essa alternativa pode ser aplicada na cidade de Porto Velho?

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização do RCD na pavimentação, promovendo a prática de reciclagem na cidade de Porto Velho, uma vez que esta já se faz presente em diversas outras áreas do país. Os objetivos específicos são:

- Avaliar o desempenho do RCD aplicado às camadas de base e sub-base do pavimento;
- Comparar os custos para a execução das camadas sem e com o emprego do RCD;
- Apontar uma alternativa para a destinação própria de parte dos RCD's produzidos em Porto Velho.

3 JUSTIFICATIVA

Os chamados RCD (Resíduos de Construção e Demolição) podem causar enchentes, poluição e danos à infraestrutura de drenagem quando descartados imprópriamente, como já muito visto em diversas cidades do Brasil, tais materiais, quando adequadamente tratados podem, praticamente em sua totalidade, ser reaproveitados. Sua notável produção e suas condições de reaproveitamento geraram necessidade de explorar a alternativa. O material precisa ser separado e testado de acordo com a função que irá desempenhar, a partir desta ideia, usinas para reciclagem de RCD começaram a funcionar no país, dando um destino extremamente útil para o que, até então, seria descartado.

Apesar de a ideia ter sofrido uma certa evolução, no Brasil o serviço ainda não consegue acompanhar a quantidade de resíduos que a própria Construção Civil produz, isso porque além de nem todos os estados contarem com pelo menos uma usina para reciclagem, o material ainda é visto como uma segunda opção diante dos agregados convencionais. Para encorajar essa reutilização, o CONAMA criou uma resolução (Resolução Nº 307/2002) que exige a criação de um plano integrado de gerenciamento de RCD, tal medida contribuiu para o surgimento de mais empreendimentos desse tipo. Esta alternativa, porém, necessita de atenção e investimento por contribuir ambientalmente, diminuindo a poluição que os RCD's provocam, visto que a sustentabilidade tem sido muito abordada como uma prioridade, para evitar escassez em matérias primas naturais e deterioração completa do meio ambiente.

4 REVISÃO TEÓRICA

No Brasil, uma das primeiras estradas implantadas foi o Caminho do Mar, que teve início em 1561 e ao longo dos séculos foi recuperado diversas vezes. O Caminho do Mar sofreu várias reformas, incluindo a pavimentação em concreto de um trecho já em 1922 (BERNUCCI *et al.*, 2008). Já a execução de obras rodoviárias na região Norte iniciou-se mais recentemente, tendo como destaque a rodovia Transamazônica (BR-230), que liga o litoral do Brasil à Amazônia e até então possui apenas uma parte de sua extensão pavimentada (MARTINS, 2014). Esta breve análise histórica aponta que a Região Norte foi uma das últimas do país a receberem estradas pavimentadas, tal fato pode, de certa forma, influenciar no desenvolvimento da infra-estrutura de uma determinada cidade, dependendo de sua região.

4.1 COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO

O uso da Mecânica dos Solos na pavimentação urbana do Brasil teve início na década de 30, apontando diversos erros entre as previsões feitas e o comportamento do solo na própria obra (ZORZI, 2008). Além disso, é de extrema importância que seja levada em consideração a região de onde é retirado o solo a ser empregado na estrutura do pavimento, visto que o desempenho do mesmo se dá de acordo com sua formação. No Estado de Rondônia, o solo mais encontrado é o Latossolo, que ocupa cerca de 58% de sua extensão, sendo os mais comuns o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Amarelo, os quais ganham boas resistências e impermeabilidade quando compactados (SCHLINDWEIN *et al.*, 2012). O solo laterítico possui distribuição mais ou menos uniforme, elevada estabilidade de agregados e coloração moderadamente homogênea, o Vermelho-Amarelo é o que possui maior distribuição no Brasil entre os latossolos, possuem fertilidade muito variável, porém, são predominantemente ácidos, o que o caracteriza com média ou baixa fertilidade. O latossolo Amarelo, cujo nome é aplicado no país desde a década de 50, possui baixos teores de óxido de ferro e alumínio, o que pode contribuir com sua elevada coesão e endurecimento quando seco, no entanto, na região Amazônica, onde esse tipo de solo é encontrado com maior taxa de argila, tal coesão não ocorre tanto quanto nas demais regiões do Brasil, devido à alta umidade, podendo ter seu auge nos períodos secos (KER, 1997).

O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego. (DNIT, 2006, p. 95)

A definição acima feita pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), expõe o cuidado com a seleção dos materiais aplicados a cada camada da estrutura, dado que toda parte exerce uma função distinta, possuindo também dimensões e tratamentos distintos.

O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios. (BALBO, 2007, p. 35)

Os materiais usados na pavimentação são escolhidos de forma a, juntos, trabalharem para que a estrutura tenha o desempenho requisitado pelo projeto, para isso amostras são selecionadas e testadas, sendo usados os materiais que atenderem às especificações. De forma geral, a estrutura do pavimento possui as seguintes camadas: Revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, podendo, dependendo do caso, não contar com as camadas de sub-base ou reforço do subleito. Tais camadas atuam em um sistema monolítico, as mais externas devem transmitir as cargas às mais internas de forma aliviada, o subleito por exemplo, é uma das camadas menos resistentes e portanto deve receber cargas menores, para isso as camadas superiores trabalham para aliviar as pressões que agem sobre elas. Para este perfeito funcionamento, cada camada exerce funções específicas, o quadro 2 exemplifica as funções mais comuns de cada camada.

Quadro 2 – Funções das camadas do pavimento.

Camada	Função
Revestimento	Receber cargas estáticas ou dinâmicas sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou perda de compactação.
Base	Distribuir os esforços para as camadas inferiores.
Sub-base	Extensão da Base, quando a mesma for muito espessa, é dividida em duas camadas, a segunda sendo a Sub-base, que desempenhará também a função de distribuir os esforços para as camadas inferiores.
Reforço do subleito	Se as cargas transmitidas pela Sub-base ao subleito ainda forem muito intensas para a qualidade do solo do mesmo, uma camada intermediária com solo de melhor qualidade é executada, para que as pressões sejam aliviadas.
Subleito	Desempenha o papel de fundação do pavimento, composto de solo natural.

Fonte: Pavimentação Asfáltica, materiais, projeto e restauração, J. T. BALBO, São Paulo/SP, 2007.

As estruturas dos pavimentos podem ser denominadas rígidas ou flexíveis, podendo ainda ser semirrígidas. Pavimentos rígidos são também conhecidos por serem compostos por concreto, enquanto os flexíveis podem se referir aos asfálticos, no entanto é possível encontrar pavimentos rígidos compostos por materiais comumente usados nos flexíveis, por isso existe uma certa dificuldade em classificar estruturas dessa forma. Atualmente as denominações anteriormente citadas são mais usadas para a classificação quanto à forma como a estrutura recebe e compartilha os esforços recebidos, sendo a rígida aquela que distribui mais uniformemente as pressões fornecidas, e a flexível, aquela cujas pressões concentram-se mais perto do ponto de contato entre a mesma e o veículo (YODER e WITCZAK, 1975).

O revestimento é a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. Portanto, essa camada deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos (BERNUCCI *et al.*, 2008). A camada mais externa deve ser

mais resistente, logo, é composta por materiais superiores, nos pavimentos flexíveis correntemente utilizados em Porto Velho, os revestimentos são constituídos por uma mistura de ligante e agregado, podendo o primeiro ser produzido de diversas formas a partir de petróleo, carvão, madeira ou resinas, porém o asfalto proveniente do petróleo é mais aplicado no Município. O Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), uma das misturas mais tradicionais no Brasil, é composto por Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), agregado natural ou artificial britado bem graduado e material fino de enchimento (fíler), sendo pó de pedra ou cimento Portland. O agregado empregado na mistura pode variar de estado para estado, sendo utilizado o que estiver disponível e for aprovado pelos métodos de ensaio referentes à função do produto que se deseja obter. (BALBO, 2007).

A base mais empregada na pavimentação de Porto Velho é a de solo estabilizado granulometricamente, esta prática adapta-se mais facilmente à região onde está sendo empregada. A execução consiste na utilização de solos naturais ou misturas artificiais de solos e rochas alteradas, ou ainda, de qualquer combinação desses materiais que quando compactados, oferecem resistência ideal. A estabilização do solo representa torná-lo apto para resistir às deformações durante o uso do pavimento, para isso, as misturas são mais aplicadas, visto que as mesmas representam solos com diferentes características que, juntos, promovem melhor performance da camada (SENÇO, 2001). O latossolo vem sido muito empregado na pavimentação do Município estudado em diversas graduações, e não apenas na base da estrutura. Conforme já descrito anteriormente neste trabalho, sempre que necessário, a base sofre divisão em duas camadas, sendo a inferior, a sub-base, a mesma podendo ser constituída do mesmo material da camada superior. Em Porto Velho geralmente ambas a base e a sub-base são estabilizadas granulometricamente, para a primeira, a norma DNIT 141/2010-ES apresenta as granulometrias de acordo com a categoria do pavimento e o número N.

Tabela 1 - Granulometria do material para base de solo.

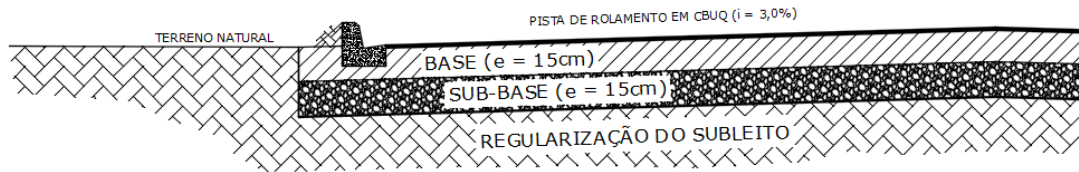
Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias de faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2''	100	100	-	-	-	-	+/- 7
1''	-	75-90	100	100*	100	100	+/- 7
3/8''	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	+/- 7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	+/- 5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	+/- 5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	+/- 2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	+/- 2

Fonte: Norma DNIT 141/2010 – ES – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente.

Podendo a sub-base ter o Índice de Suporte Califórnia (ISC) $\geq 20\%$, bem abaixo do permitido para a base, que é ISC $\geq 60\%$ para $N \leq 5 \times 10^6$ e ISC $\geq 80\%$ para $N > 5 \times 10^6$, segundo as normas DNIT 139/2010-ES e DNIT 141/2010-ES. Na pavimentação executada na capital de Rondônia, estas são camadas flexíveis e podem contar com misturas como solo-brita ou solo in natura (denominado cascalho laterítico), que sofre apenas britagem e peneiramento.

O reforço do subleito é aplicado à estrutura quando a fundação não oferece o suporte necessário ou ainda, quando o tráfego pretende impor cargas muito acima das que o subleito resiste. Esta camada, por ser uma das mais inferiores, pode possuir ISC mínimo de 10%, visto que as pressões que nela chegam são mais leves, dessa forma é notável que, conforme a nomenclatura atribuída, a mesma exerce a função de reforço do subleito, auxiliando-o no desempenho durante o uso (SENÇO, 2001). Já o subleito, nome conferido à fundação do pavimento, é resultado de corte ou aterro e composto por material natural consolidado e compactado, esta parte da estrutura recebe as pressões já bem aliviadas. Apesar de se tratar de uma camada menos resistente, sua compactação demanda muita atenção, visto que sobre ela serão executadas todas as demais camadas do pavimento, geralmente as normas determinam compactação de 100% em relação ao Proctor Normal, podendo este requisito mudar de acordo com as especificações do projeto. Quando, mesmo após a terraplenagem, a superfície do subleito ainda apresentar irregularidades, é feita a regularização, que consiste em aplicar e compactar o material escolhido, de forma a cumprir com as devidas especificações (DNIT, 2006; BALBO, 2007). As figuras a seguir mostram exatamente como são dispostas as camadas de um pavimento flexível e como as mesmas recebem as cargas sobre elas aplicadas:

Figura 1 – Camadas do pavimento flexível.

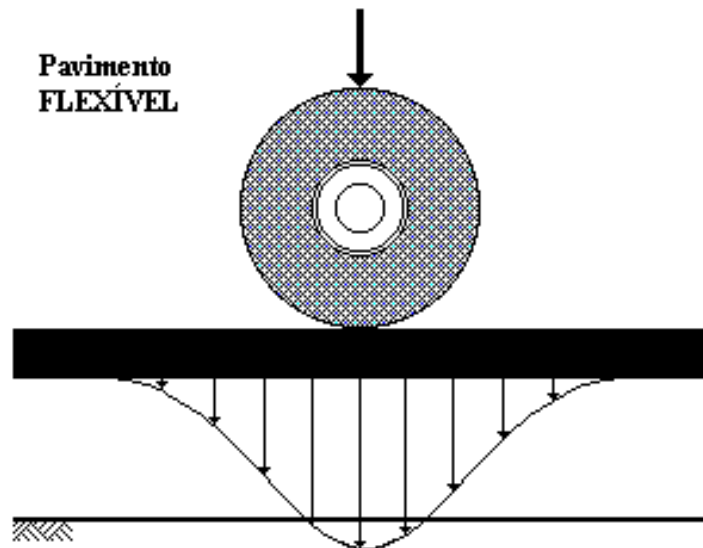


Obs.:

- 1 - A base será executada com material proveniente de jazida e/ou RCD;
- 2 - A Sub-base será executada com material existente na própria rua e/ou RCD.

Fonte: DER/RO.

Figura 2 – Distribuição de cargas no pavimento flexível.



Fonte: BALBO, 2007, p. 47.

4.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD's), produzidos nos canteiros de obra e em atividades como demolição e reforma, são compostos principalmente por materiais cerâmicos, concreto e agregados naturais como areia ou brita. Este material, no Brasil representa boa parte dos resíduos sólidos urbanos: variam de 51 a 70% e, antes mesmo que a produção do RCD ocorra, a construção civil consome entre 14 e 50% dos recursos naturais extraídos do planeta. Nos EUA, por exemplo, há consumo de cerca de 75%, apesar de também possuir legislação específica para o reaproveitamento de resíduos (Ministério das Cidades). Costa *et al.* (2007) expõe que esses resíduos chegam a representar de 20% a 30% do fluxo de resíduos sólidos gerados por países desenvolvidos. Ao passo que a utilização de material reciclado na pavimentação se torna comum, a exploração de jazidas diminui, conseqüentemente

diminuindo os números que apresentam os efeitos da construção civil no meio ambiente, e reduzindo também os gastos energéticos para extração de matéria prima (BALBO, 2015). De acordo com a Resolução N° 307 da CONAMA, o RCD é um resíduo de classe A, que é reutilizável e proveniente de demolições, desperdícios em reformas, reparos de pavimentação ou outras obras de infra-estrutura, podendo também ser solo de terraplanagem, e processo de fabricação de peças pré-moldadas. O quadro abaixo mostra todas as classes segundo a Resolução:

Quadro 3 – Classes dos Resíduos da Construção Civil.

Classe	RCD
A – Recicláveis ou reutilizáveis como agregado.	Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B – Recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
C – Sem condições para reciclagem.	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D – Resíduos perigosos.	Oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Resolução N° 307 CONAMA, 2002.

Este material descartado tem gerado muita preocupação quanto à sua gestão, já que, se descartado indevidamente, o mesmo causa impactos variados, podendo interferir na drenagem urbana, obstruindo entradas de bueiros, dificultar tráfego de pedestres e veículos quando depositados nas ruas e calçadas sem mais cuidados e ploriferar doenças por atrair resíduos não

inertes (KARPINSK *et al.*, 2009). A tabela a seguir apresenta alguns tipos de materiais que normalmente são desperdiçados na Construção Civil:

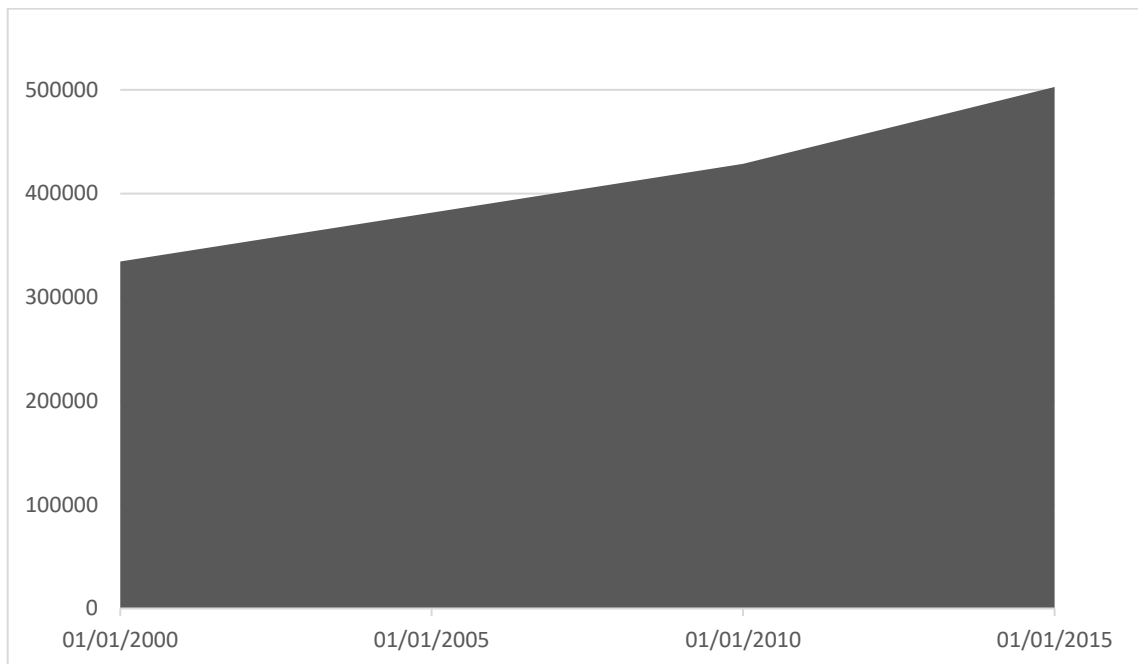
Tabela 2 – Desperdício de materiais em obras.

Materiais	Taxa de desperdício (%)		
	Média	Mínimo	Máximo
Concreto Usinado	9	2	23
Aço	11	4	16
Blocos e tijolos	13	3	48
Placas cerâmicas	14	2	50
Revestimento têxtil	14	14	14
Eletrodutos	15	13	18
Tubos para sistemas prediais	15	8	56
Tintas	17	8	24
Condutores	27	14	35
Gesso	30	14	120

Fonte: Espinelli, 2005.

Em Porto Velho, a não gestão de RCD, assim como em diversas outras Capitais, vem gerando inúmeros prejuízos à infra-estrutura local, provocando alagamentos por entupimento da estrutura de drenagem, além disso, epidemias de dengue e outras doenças ocorrem graças aos entulhos deixados pela Cidade, que oferecem condições perfeitas para a reprodução dos transmissores (figuras). Segundo Carneiro *et al.* (2001) a velocidade de crescimento de uma determinada zona urbana influencia diretamente no nível de produção de resíduos, visto que quando há crescimento acelerado, há pouco planejamento, o que implica uma gestão falha. A história recente de Porto Velho deixa evidente que a mesma se encaixa perfeitamente no perfil anteriormente descrito, dado que seu crescimento populacional tem sido cada vez mais rápido. Nascimento *et al.* (2012) relaciona o crescimento acelerado entre os anos de 2000 e 2010 à implantação do Plano de Aceleração do Crescimento, que trouxe várias grandes obras à Capital, tais como as Usinas Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau.

Gráfico 1 – Crescimento populacional de Porto Velho/RO.



Fonte: Nascimento *et al.* Porto Velho: A produção do espaço urbano de Rondônia (1980/2010), Revista Geografar, 2012.

A foto abaixo mostra o RCD descartado em uma calçada na cidade de Porto Velho, que geralmente é removido após dias e depositado no lixão a céu aberto:

Figura 3 – RCD depositado em calçada.



Fonte: Acervo pessoal.

Fernandes (2004) declara que, assim como qualquer outro material, o desempenho mecânico do RCD depende de fatores como matéria-prima, tratamento que recebe na usina, forma como é empregado e região onde é gerado. De acordo com Carneiro *et al.* (2001), os agregados de entulho reciclado geralmente são mais porosos que os naturais, possuindo maior absorção de água. No entanto é a composição do agregado que determina onde ele será mais útil na construção civil, sendo a fração grossa geralmente a mais adequada. A fração mais fina é considerada mais difícil de se empregar, por absorver mais água, não sendo, porém, inútil.

Ainda segundo a Resolução N° 307 da CONAMA, deve existir um aterro exclusivo para a deposição dos resíduos de classe A, confinando-os em menor volume possível, evitando danos à saúde pública e ao meio ambiente, este aterro tem como função guardar os resíduos até que sejam selecionados para a reutilização. A Resolução aponta também cinco etapas contidas na gestão do RCD:

Quadro 4 – Etapas da gestão de RCD.

Etapa	Atividade
I – Caracterização	O gerador deve identificar e quantificar os resíduos.
II – Triagem	Podendo ser feita pelo gerador ou pelas áreas licenciadas de destinação, separando os resíduos de acordo com as classes descritas na Resolução.
III – Acondicionamento	O gerador deve garantir as condições necessárias de confinamento dos resíduos, mantendo possível sua reutilização.
IV – Transporte	Deve ser feito de acordo com as normas técnicas referente a esta atividade.
V – Destinação	Deve ser prevista de acordo com a resolução.

Fonte: Res. N° 307, CONAMA, 2002.

A Norma NBR 15116/2004 com o título Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos na construção civil, mais especificamente na pavimentação viária e no preparo de concreto sem função estrutural. Para a pavimentação, a norma traz requisitos gerais e específicos, sendo os gerais apresentados de acordo com composição granulométrica, índice de forma, teor de material passante na peneira de 0,42 mm e teores de contaminação, dependendo do tipo de resíduo. Já os requisitos específicos, são apresentados desta forma:

Quadro 5 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado à pavimentação.

Aplicação	ISC (%)	Expansibilidade	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito.	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base.	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento. (para $N \leq 10^8$ repetições e eixo padrão de 8,2 tf.)	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

Fonte: NBR 15116/2004.

Complementando a norma acima apresentada, a NBR 15115/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimento, tem como objetivo normatizar a execução de subleito, sub-base, base e revestimento primário de pavimentos com agregado reciclado, especificando os materiais e equipamentos a serem utilizados, bem como a execução do serviço.

4.3 GESTÃO DE RESÍDUOS

De acordo com Lima (2003), o discurso da sustentabilidade começou em torno de 1970, apesar de existirem alguns registros isolados um pouco antes desta década, porém foi com a criação do conceito do Ecodesenvolvimento, por Ignacy Sachs, que tal discurso ganhou força. O economista Sachs expõe o Ecodesenvolvimento como um projeto de civilização, com envolvimento social, em prol da preservação ambiental e da economia. Segundo Filho (1993), Sachs desenvolveu cinco dimensões de sustentabilidade, a Sustentabilidade Social, com redução das diferenças sociais, a Sustentabilidade Econômica, com gestão mais eficiente dos recursos, a Sustentabilidade Ecológica, com a preservação dos recursos naturais, a Sustentabilidade Espacial, com locação consciente de população, sem grandes concentrações, e a Sustentabilidade Cultural, que busca evitar conflitos culturais. Este estudo se mostrou extremamente aprofundado, expondo que para se promover um desenvolvimento sustentável, é

necessário que haja desenvolvimento social, com o interesse da sociedade na preservação do ambiente.

Evidentemente, com a aceleração econômica do Brasil, veio também o crescimento da Construção Civil, consumindo cada vez mais recursos naturais e, conseqüentemente, descartando mais resíduos recicláveis, um dos fatores que atrai maior atenção para a alternativa de reutilização. Existem múltiplas formas de se armazenar o RCD produzido pela Indústria da Construção Civil, sendo algumas ilegais e outras, impostas por lei, a Lei Nº 12.305/2010 é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos que, principalmente, propõe o reuso dos resíduos, diminuindo sua geração (PRS, 2014). A necessidade da deposição correta do RCD se torna mais significativa diante de uma análise dos níveis de produção de dois anos consecutivos, conforme a pesquisa feita pela ABRELPE:

Quadro 6 – Coleta de RCD no Brasil nos anos 2013 e 2014.

Região	2013		2014	
	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Brasil	117.435	0,584	122.262	0,603
Centro-Oeste	13.439	0,896	13.675	0,899
Nordeste	22.162	0,397	24.066	0,428
Norte	4.280	0,252	4.539	0,263
Sudeste	61.487	0,728	63.469	0,746
Sul	16.067	0,558	16.513	0,569

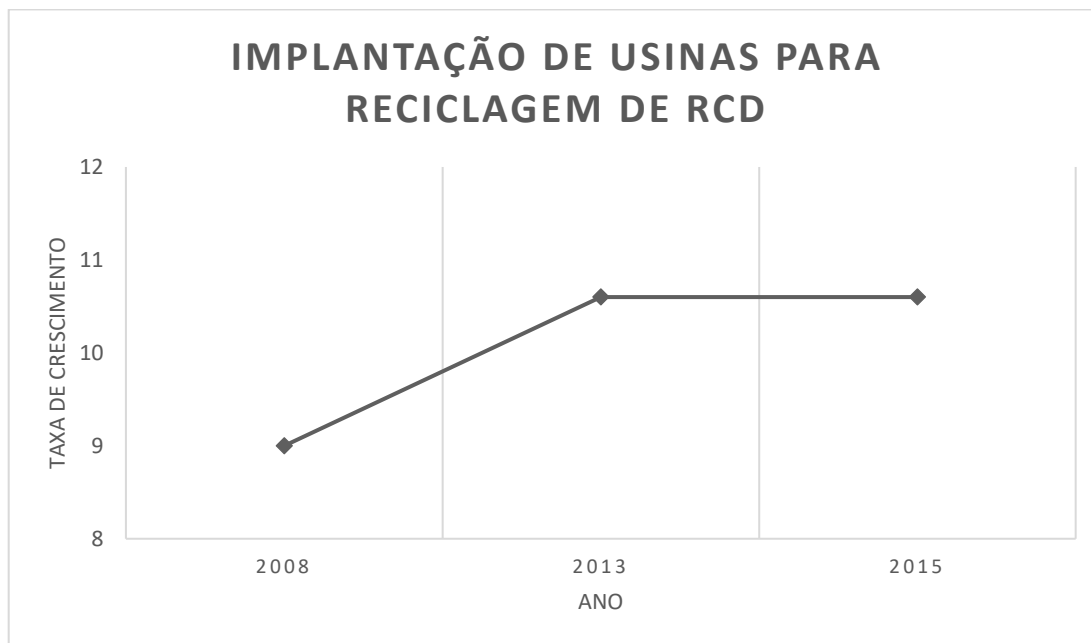
Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), Panorama 2014.

Sem exceções, o país inteiro aumentou sua produção de resíduos de demolição de 2013 para 2014. A Região Norte, em destaque, sofreu esse aumento mesmo não dispondo, na maioria das cidades, de condições para dar o fim correto ao material produzido. Porto Velho é uma das poucas cidades que têm condições de dar o destino adequado ao seu RCD produzido, que pode ser separado, recolhido e depositado em uma usina de reciclagem, já que não há lugar mais conveniente. Entretanto, isso significaria abandonar a tradição de se transportar todos os tipos de resíduos produzidos no Município para o chamado lixão, sem custos, algo que requer disposição e intenso trabalho da gestão local.

Miranda *et al.* (2009) aponta que São Paulo foi uma das primeiras cidades do Brasil a instalar uma usina para reciclagem de RCD, em 1991, a mesma capital onde foi publicado um dos primeiros estudos sobre a aplicação dos resíduos de demolição na pavimentação urbana, desenvolvido por Bodi (1998). De acordo com a ABRECON (2015), o número de usinas instaladas por ano passou a sofrer aumentos logo após a publicação da Resolução Nº 307 da

CONAMA, e estabilizou em 2013, apresentando estabilidade desde então, conforme indica o gráfico a seguir.

Gráfico 2 – Taxa de crescimento do número de usinas implantadas.



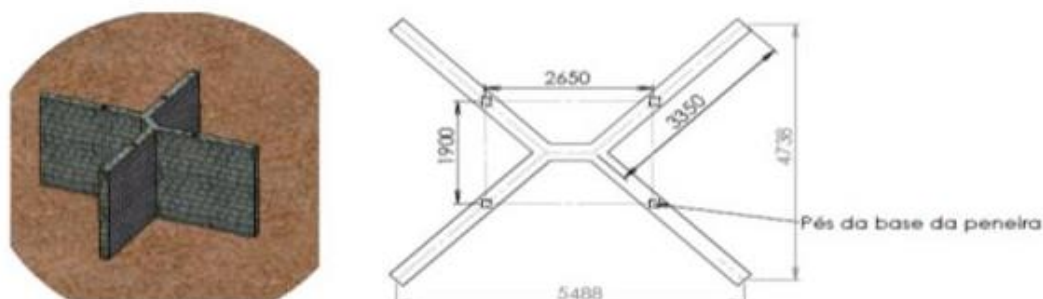
Fonte: ABRECON – Pesquisa setorial de 2015

Apesar de a mesma pesquisa não apontar a existência de uma usina em Porto Velho, a capital conta com uma, desde 2015. As usinas de reciclagem têm como objetivo receber e preparar o RCD para sua reutilização, para isso, o mesmo é britado e separado de acordo com a granulometria e o material. O produto pode ser classificado em grupos, sendo mais interessante para este trabalho, o Grupo I, que são materiais compostos de cimento, cal, areia e brita, sendo concreto, argamassa e blocos de concreto (CAMOLEIS *et al.*, 2015).

Segundo a PRS (2014), o potencial de geração de RCD para Porto Velho é de 165,04 ton/dia, considerando o levantamento feito pela Secretaria Municipal de Serviços Básicos (SEMUSB) em 2013, a análise baseou-se no crescimento populacional de 2013 a 2014. A usina para reciclagem de RCD tem como objetivo preparar o material, tornando-o adequado para o reuso. O processo realizado no Município tem início com a triagem, o material é colocado em forma de “tapete” no local, facilitando a retirada de todos os tipos de resíduos que não sejam de classe A, ainda que, com a implantação de um Plano de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), essa etapa seja realizada antes mesmo que seja feita a deposição do material, uma vez que a lei prevê que cada classe de resíduo deve ser destinada a um determinado local. A seguir, é feita a trituração, que consiste em abastecer um britador, com o RCD de classe A, o qual irá despejar o material britado em peneiras vibratórias, posicionadas acima de um muro de

separação, assim o já agregado reciclado é separado em quatro produtos: areia, brita, pedrisco e rachão.

Figura 4 – Muro de separação usado na reciclagem de RCD em Porto Velho.



Fonte: PRS, Projeto de reciclagem de resíduos da construção civil em Porto Velho, 2015.

4.4 PESQUISAS E APLICAÇÃO NO BRASIL

Conforme já mencionado neste trabalho, outras Capitais do país já investem no desenvolvimento de pesquisas para a reutilização do RCD na pavimentação, e algumas delas já possuem ruas locais que contam com esse método. Fernandes (2004) desenvolveu um estudo sobre a viabilidade do emprego de RCD na pavimentação urbana em Belo Horizonte/MG, onde já se aplica o material reciclado à pavimentação desde 1996, e no Rio de Janeiro/RJ, com o objetivo de atender a três fatores: técnico, econômico e sócio-ambiental. Esse estudo revelou resultados positivos para todos os aspectos, expondo a viabilidade da alternativa para as duas capitais. Hortegal *et al.* (2009) observaram a necessidade de se promover estudos sobre o uso de RCD na pavimentação de São Luiz/MA, analisando as condições de gestão local de resíduos e, da mesma forma, comprovando a possibilidade de tal opção. Em Salvador/BA, Carneiro *et al.* exploraram essa opção, publicando seus resultados em 2001 sobre o uso do agregado reciclado em base e sub-base de pavimentos. Foi verificada maior quantidade concreto e argamassa nos resíduos estudados, material considerado adequado para o fim proposto pela pesquisa. Registros comprovam que São Paulo foi também pioneira na execução de pavimentos com a utilização de resíduos da construção civil, o que, segundo Leite (2007), ocorreu em 1984, na Rua Gervásio da Costa, o principal motivo foi preservar aterros existentes que já estavam praticamente esgotados. Porto Velho/RO ainda não possui PGRCC, o que significa que atualmente todo o RCD produzido na Capital pode ter três destinos diferentes, são eles: deposição nas calçadas de ruas ou terrenos baldios, deposição no lixão a céu aberto ou deposição da usina para reciclagem. Desses três, apenas uma destinação está em conformidade

com a legislação vigente, porém, é a mais recente e menos utilizada, visto que demanda gastos com transporte, já que o sistema público de coleta de resíduos não oferece esse serviço. Mesmo com a implantação do PGRCC e o descarte adequado de todo o resíduo de classe A, o Município, até então, não apresenta pesquisas que visem instaurar o pavimento com RCD incorporado, conseqüentemente, também não possui qualquer via local executada com tal método.

4.5 ANÁLISE DE CUSTOS

Segundo Mattos (2007), o orçamento é o produto de um processo de estimativa de custos, que leva ao preço final de um determinado serviço. Esse processo, chamado orçamentação, consiste basicamente no levantamento dos custos de cada etapa do serviço que será executado, bem como da mão de obra e de materiais e equipamentos empregados. Em qualquer área da Construção Civil emprega-se esta prática, visto que a mesma é fundamental para a análise de viabilidade da obra, assim, obviamente, é feito também na pavimentação. Trata-se de um processo detalhista, para o qual é necessário pleno conhecimento de cada passo da obra, o nível de detalhamento qualifica o produto final, tal processo é feito através de uma composição de custos, que categoriza todos os tipos de custo do serviço, de acordo com a sua origem.

4.5.1 CUSTOS DIRETOS

Mattos trata ainda dos custos diretos, termo que refere-se aos custos diretamente agregados ao canteiro de obras, como a mão de obra, os equipamentos usados na execução dos serviços e os materiais empregados, entre outros. Tais valores podem ser fornecidos por sistemas próprios para orçamento, muito utilizados em obras públicas, ou podem ser obtidos diretamente com a empresa fornecedora. Os custos diretos

4.5.2 CUSTOS INDIRETOS

Mattos (2007) define que para se chegar ao preço final do serviço, é necessário que sejam considerados outros gastos como impostos incidentes e lucro sobre os custos diretos, o que é feito através do BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, fator que transforma o custo em preço. Para que se chegue o mais próximo possível do preço real do serviço, é necessário que seja elaborado o orçamento analítico, o qual expõe detalhadamente as fases da obra. Os custos que compõem o BDI são denominados Custos Indiretos.

4.5.3 COMPOSIÇÕES DE CUSTOS

Na mesma obra, o autor mostra que trata-se de um processo de determinação dos custos de uma obra, de acordo com os insumos que fazem parte do serviço. A composição de custos pode ser feita antes do início da obra, sendo um orçamento, ou depois, para controle de gastos, para que o construtor identifique possíveis erros no orçamento inicial. Este trabalho traz pesquisas realizadas a partir de composições de custos unitários, cada uma fornece o valor para uma unidade de serviço, assim é exposto cada insumo com suas devidas unidade de medida e quantidade, a segunda, definida pelo índice, e o valor a ser gasto de acordo com sua incidência sobre a obra.

4.5.4 GASTOS COM RCD

Balbo e Dornelas (2015) afirmaram que os custos dos resíduos reciclados não devem ser tabelados, visto que a qualidade do material depende da reciclagem pela qual passou e da qualidade das estruturas demolidas que o geraram. Da mesma forma que o preço do agregado reciclado pode variar, a economia por ele causada também, já que o orçamento final de uma obra viária apoia-se em outros serviços que podem ou não apresentar preços mais elevados, mesmo com queda dos gastos com materiais, acreditando-se que tal economia possa variar entre 0 e 30%. A cidade de Porto Velho faz uso de sistemas para composição de orçamentos de obras, porém como ainda não emprega o RCD como material de construção, não possui seus valores nesses sistemas. O agregado reciclado por si só possui preços bem menores que os materiais convencionais, porém é necessário que se faça uma análise do orçamento total da obra de uma via, considerando também as máquinas usadas, a mão-de-obra e os encargos para que se possa confirmar se há mesmo uma economia significativa para a gestão do Município.

Ângulo *et al.* (2001) ressalta ainda fatores que podem interferir nos preços dos produtos reciclados, entre eles é apontado que os custos atrelados ao processo de reciclagem são influência, sendo assim, quanto mais otimizado o processo de reciclagem estiver, mais simples e barato ele será, possibilitando a redução nos preços. Já Silva e Maciel (2009) relacionaram os custos com materiais ao custo do produto final, aumentando o índice de vendas de uma determinada empresa, consequentemente aumentando seu lucro, para isso, porém, seria necessário avaliar a vida útil de uma estrutura feita a partir do RCD para apurar a sua viabilidade, dependendo do tipo de produto que será gerado. Para camadas de base e sub-base de um pavimento na cidade de Porto Velho, interessa saber se o material reciclado junto ao solo

laterítico irá comprometer o desempenho da estrutura. Assim, a análise de custos se torna também altamente relevante, porquanto a economia é de grande interesse da gestão pública, principalmente em possíveis momentos de crise financeira.

5 METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa empírica, que visa gerar resultados provenientes de experimentos com misturas não convencionais, e para o mesmo, foi primeiramente definido que os ensaios testariam misturas de solo com RCD, variando porcentagens e verificando o desempenho de cada mistura conforme o solo é substituído pelo material reciclado. Iniciou-se com misturas contendo 30% de RCD e 70% de solo laterítico, em seguida, outras contendo 40% de RCD e 60% de solo laterítico e, finalmente, misturas contendo 50% de cada material. As amostras foram testadas conforme as determinações das normas DNIT 139/2010 ES – Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente e DNIT 141/2010 ES – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente, para os materiais usados.

5.1 MATERIAIS

Foram coletadas amostras de RCD diretamente da uma usina de reciclagem situada na cidade de Porto Velho, a PRS Recicladora. O material é de classe A segundo a Resolução N° 307 da CONAMA e foi fornecido em quatro tipos, de acordo com a granulometria, sendo eles, areia, brita, bica corrida e rachão, porém, por este trabalho tratar apenas do desempenho do agregado nas camadas de base e sub-base, somente o agregado tipo brita 0 foi testado em laboratório, o mesmo foi aplicado em três amostras junto ao cascalho laterítico, em porcentagens diferentes. As primeiras amostras, uma para cada camada, contaram com 30% de seu peso composto por RCD, outras duas contaram com 40%, e mais duas foram compostas por 50% de agregado reciclado, sendo usadas apenas aquelas com umidade ótima. O RCD foi coletado já britado e separado de acordo com seu tipo, visto que tais funções são desempenhadas pela própria usina de reciclagem. Após coletadas, as amostras foram secas ao ar livre e separadas para serem encaminhadas ao laboratório, de acordo com seu tipo e, apenas no local dos ensaios, foram dispostas em amostras menores correspondentes aos números anteriormente mencionados. O solo natural utilizado para os ensaios da base foi fornecido pelo 5º Batalhão de Engenharia e Construção, onde foram realizados os respectivos ensaios, já as amostras de solo natural para a sub-base foram fornecidas pelo DER, onde foram realizados os respectivos ensaios.

Figura 5 – Amostras de RCD.



Fonte: Acervo pessoal.

O solo natural selecionado é o Vermelho-amarelo, abundante na Capital, o qual foi encontrado e coletado pelo DER próximo a uma obra que realizou movimentos de terra, e pelo 5º BEC, em uma de suas jazidas. O material foi separado em 3 amostras para cada camada, conforme o agregado reciclado, para que seja feita a mistura proposta por esta pesquisa. A seguir as figuras das amostras de solo natural:

Figura 6 – Amostras de solo natural do DER – RO.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2 ENSAIOS

Os ensaios para a pesquisa foram determinados conforme as normas já apresentadas no início deste capítulo, as quais serão detalhadas uma a uma nos tópicos seguintes. O desempenho das amostras feitas para esta pesquisa será comparado ao exigido de acordo com a camada na qual se pretende aplicar o material de estudo.

5.2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Inicialmente as amostras de RCD do tipo brita foram embaladas secas, sendo divididas apenas em laboratório. O solo laterítico foi armazenado e transportado ao laboratório exatamente como foi retirado do canteiro de obras.

A preparação de amostras para ensaios de caracterização neste trabalho corresponde à norma DNER-ME 041/94, porém a NBR 6457 também tem como objetivo descrever esse mesmo processo.

5.2.1.1 APARELHAGEM

Com base na norma acima citada, utilizou-se:

- ♦ Peneiras de 2,0 mm e de 0,42 mm;
- ♦ Repartidores de amostras de 1,3 e 2,5 cm de abertura;
- ♦ Balança com capacidade de 5 kg, sensível a 5 g;
- ♦ Balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01 g;
- ♦ Balança com capacidade de 1 kg, sensível a 0,1g;
- ♦ Almofariz e mão de gral, com capacidade de 5 kg de solo;
- ♦ Pá de mão de forma arredondada;
- ♦ Tabuleiro de chapa de ferro galvanizado, com 50 cm x 30 cm x 6 cm de altura;
- ♦ Dispositivo para secagem das amostras.

5.2.1.2 PROCEDIMENTO

As amostras, tanto de RCD quanto de solo natural, foram secas ao ar antes de serem misturadas conforme as proporções pré-estabelecidas. A mistura foi colocada no almofariz para sua desagregação, que é feita com a mão de gral e, após o fim do processo, foi reduzida pelo quarteamento, para a obtenção da amostra representativa, tendo seu peso registrado como total da amostra seca ao ar.

5.2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Esse ensaio é normatizado no DNIT pela DNER-ME 080/94 e é feito por peneiramento, caracterizando a granulometria da mistura do solo laterítico com o RCD tipo brita.

5.2.2.1 APARELHAGEM

- ♦ Agitador mecânico de peneiras;
- ♦ Peneiras de malha quadrada;
- ♦ Balança com capacidade de 20 kg, sensível a 1 g;
- ♦ Estufa com dimensão apropriada, capaz de manter temperatura uniforme (110 +/- 5°C);
- ♦ Escovas apropriadas para limpeza de peneiras;
- ♦ Repartidores de amostra;
- ♦ Tabuleiros metálicos.

5.2.2.2 ENSAIO

As amostras foram lavadas e secas na estufa, visto que o cascalho laterítico misturado ao RCD ainda possuía leve umidade, após a secagem e o esfriamento à temperatura ambiente, conforme definido em norma, uma a uma, as amostras foram ensaiadas.

Para o peneiramento, as peneiras são limpas e encaixadas no agitador, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. A amostra é colocada sobre a primeira peneira

5.2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Ensaio realizado de acordo com a norma DNER 213/94, com o objetivo de determinar o teor de umidade das amostras compostas já pela mistura do RCD com solo natural.

5.2.3.1 APARELHAGEM

- ♦ Estufa elétrica, capaz de manter a temperatura em torno de 110°C;
- ♦ Balança com resolução de 0,1% da massa da amostra;
- ♦ Recipientes de material resistente à corrosão quando submetidos a ciclos de aquecimento e resfriamento.

Figura 7 – Equipamentos para o ensaio de teor de umidade no DER – RO.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.3.2 ENSAIO

Três recipientes foram selecionados e pesados vazios, limpos e secos, para que cada uma das três amostras (com 30%, 40% e 50% de RCD) fosse colocada em um recipiente diferente. Foram então colocados novamente na balança os recipientes contendo as amostras para a pesagem, em seguida os conjuntos foram depositados na estufa, onde permaneceram por 24h à temperatura de 110°C. Passado o tempo determinado para a secagem, o material é retirado e deixado ao ar livre até que seja atingida a temperatura ambiente para que fosse novamente pesado. O teor de umidade é calculado da seguinte forma:

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100$$

Sendo m_{bu} a massa bruta úmida, m_{bs} a massa bruta seca, m a massa do recipiente e h o teor de umidade em porcentagem.

5.2.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

Esse ensaio é conduzido conforme a norma DNIT 172/2016 que determina a aparelhagem necessária, o desenvolvimento do experimento, o cálculo da expansão e as condições para obtenção dos resultados e da curva de compactação.

5.2.4.1 APARELHAGEM

- ♦ Cilindros metálicos de 15cm de diâmetro e 19cm de altura, cilindros complementares de 15cm de diâmetro e 7cm de altura e base metálica com dispositivo de fixação do molde cilíndrico e do cilindro complementar;
- ♦ Disco espaçador metálico;
- ♦ Soquete metálico cilíndrico, de face inferior plana, com diâmetro de 5,08cm, massa de 4,536kg e com altura de queda de 45,72cm;
- ♦ Tripé porta-extensômetro, de bronze ou latão, com dispositivo para fixação do extensômetro;
- ♦ Disco anelar de aço, para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com 2,27 kg de massa total, com diâmetro externo de 14,90 cm e diâmetro interno de 5,40 cm;
- ♦ Extensômetro, com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01mm;
- ♦ Prensa, para determinação do Índice de Suporte Califórnia, composta de:
 - quadro formado por base e travessa de ferro fundido e 4 (quatro) tirantes de aço, apresentando a travessa um entalhe inferior para suspensão de um conjunto dinamométrico;
 - macaco de engrenagem, de operação manual por movimento giratório de uma manivela, acompanhado de um prato reforçado ajustável ao macaco, com 24 cm de diâmetro;
 - conjunto dinamométrico com capacidade para 50KN, sensível a 25 N, constituído por: anel de aço com dimensões compatíveis, com dispositivo para se fixar ao entalhe da travessa; extensômetro graduado em 0,001 mm, fixado ao centro do anel; pistão de penetração, de aço, com 4,96 cm de diâmetro e com uma altura de cerca de 19 cm, e fixo à parte inferior do anel; e extensômetro graduado em 0,01 mm, com curso maior que 12,70 mm, fixo lateralmente ao pistão;

- extrator de corpo de prova do molde cilíndrico, para funcionamento por meio de macaco hidráulico, com movimento alternativo de uma alavanca;
- balde de chapa de ferro galvanizado, com capacidade de cerca de 20 litros e com fundo de diâmetro mínimo de 25 cm;
- papel de filtro circular, de cerca de 15 cm de diâmetro;
- balança com capacidade de 20 kg, sensível a 5 g.

5.2.4.2 ENSAIO

5.2.4.2.1 MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA

Para os ensaios referentes à base, as amostras, de 6kg cada, foram depositadas nos cilindros em cinco camadas, ocorrendo a compactação com o soquete a cada camada colocada. Para este trabalho, como deseja-se analisar o desempenho do RCD na camada de base, foram aplicados 55 golpes por camada, com energia de compactação modificada. Com o auxílio da espátula, o material aderido ao cilindro complementar foi destacado, em seguida o cilindro foi removido bem como qualquer parte da amostra que tenha ficado fora do molde, assim com a régua rígida rasa-se o material até que fique na altura exata do mesmo. O processo deve ser feito com no mínimo cinco amostras, para que se utilize aquela que apresentar maior umidade. Já para os ensaios referentes à sub-base, as amostras, de 7kg cada, foram depositadas nos cilindros em cinco camadas, ocorrendo a compactação com o soquete a cada camada colocada. Para este trabalho, como deseja-se analisar o desempenho do RCD na camada de sub-base, foram aplicados 26 golpes por camada, com energia de compactação intermediária. Com o auxílio da espátula, o material aderido ao cilindro complementar foi destacado, em seguida o cilindro foi removido bem como qualquer parte da amostra que tenha ficado fora do molde, assim com a régua rígida rasa-se o material até que fique na altura exata do mesmo. O processo deve ser feito com no mínimo cinco amostras, para que se utilize aquela que apresentar maior umidade.

Figura 8 - Duas amostras para a determinação do CBR, ensaio para Sub-base.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.4.2.2 EXPANSÃO

Após o processo anteriormente descrito, os discos espaçadores de cada corpo de prova foram retirados e os moldes invertidos e fixados nas respectivas bases. Foi então colocada a haste de expansão com os pesos anelares em cada amostra, em seguida colocou-se um extensômetro na haste, fixo ao tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro, cada corpo de prova foi então imerso em um tanque de água por 96 horas, para que fosse feito o cálculo da expansão. Ao fim desse período os corpos de prova foram retirados para que houvesse seu escoamento por 15 minutos, assim estavam prontos para a penetração. A seguir a forma como é feito o cálculo da expansão:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro})}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100$$

5.2.4.2.3 PENETRAÇÃO

Realizada em uma prensa, na qual o corpo de prova é colocado com os mesmos pesos anelares utilizados para determinar a expansão, foi feito então o assentamento do pistão de penetração no solo com uma carga de aproximadamente 45N, controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. Zeraram-se, a seguir, o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo, foi movimentada a manivela da prensa, fazendo assim a leitura do extensômetro em função dos tempos especificados em norma. As leituras medem encurtamentos diametrais causados pela carga, dados que levarão ao cálculo do ISC.

Quadro 7 – Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo.

Tempo (min)	Penetração		Leitura do extensômetro no anel
	mm	Pol.	
0,5	0,63	0,025	-
1,0	1,27	0,050	-
1,5	1,90	0,075	-
2,0	2,54	0,100	-
3,0	3,81	0,150	-
4,0	5,08	0,200	-
5,0	7,62	0,300	-

Fonte: DNIT 172/2002 - Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

Figura 9 – Amostra passando pela penetração (prensa manual no DER – RO).



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.5 LIMITE DE LIQUIDEZ

Ensaio realizado de acordo com a norma DNER 122/94 – Solos – Determinação do limite de liquidez – Método de referência e método expedito. Neste caso foi executado o método de referência, para que se pudesse encontrar o limite de liquidez de cada amostra.

5.2.5.1 APARELHAGEM

- ♦ Aparelho de Casagrande;
- ♦ Cinzel;
- ♦ Balança sensível a 0,01g;
- ♦ Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- ♦ Recipiente para as amostras;
- ♦ Espátula com lâmina flexível de cerca de 8cm de comprimento e 2cm de largura;
- ♦ Pinça para retirar os objetos da estufa;
- ♦ Cápsula de porcelana com capacidade de 500ml.

5.2.5.2 CALIBRAÇÃO DO APARELHO CASAGRANDE

Suspendeu-se a concha, colocou-se o calibrador (cabo do cinzel) no ponto de contato entre a concha e a base do aparelho, apoiando a concha sobre o calibrador. Em seguida foram desapertados dois dos três parafusos que prendem a concha à base do aparelho, a manivela foi acionada, simultaneamente ao terceiro parafuso, até que o excêntrico apenas raspe o suporte da concha, sem suspendê-la, então foram apertados os dois parafusos inicialmente desapertados. Assim o aparelho está pronto para o ensaio.

Figura 10 – Aparelho Casagrande.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.5.3 ENSAIO

Cada uma das amostras foi colocada na cápsula de porcelana e recebeu entre 15cm³ e 20cm³ de água destilada, em seguida cada mistura foi homogeneizada com a espátula. Uma porção da mistura foi colocada na concha, em torno do ponto de contato entre a mesma e a base. A mistura foi espalhada de forma a ocupar cerca de 2/3 da superfície da concha, passando a espátula o mínimo de vezes possível, para que não se formassem bolhas de ar no interior da massa, que foi alisada até que sua espessura máxima chegasse a 1cm. Com o cinzel foi feita uma canelura na massa, exatamente no centro da concha procurando manter a espessura de 1cm na amostra ensaiada. A manivela foi acionada para que fossem aplicados os golpes até que as bordas inferiores da canelura se encontrassem na extensão de 1cm. Foi retirada do aparelho, com a espátula, uma porção da amostra colhida de ambos os lados da canelura e transversalmente a ela, incluindo a porção em que houve a união das bordas, e depositada no recipiente para que fosse feita a pesagem do solo com o recipiente antes que o conjunto fosse levado à estufa para a secagem, a umidade foi determinada segundo a fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Sendo P_h o peso da amostra úmida e P_s o peso da amostra seca, a umidade é representada por h e calculada em percentagem.

5.2.6 LIMITE DE PLASTICIDADE

Ensaio foi realizado de acordo com a norma DNER 082/94 – Solos – Determinação do limite de plasticidade com as amostras compostas pela mistura.

5.2.6.1 APARELHAGEM

- ♦ Cápsula de porcelana de 500 ml;
- ♦ Espátula de lâmina flexível com 8 cm de comprimento e 2 cm de largura;
- ♦ Placa de vidro com superfície esmerilhada;
- ♦ Cilindro de comparação com 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento;
- ♦ Recipientes para guardar amostras sem perda de umidade;
- ♦ Balança com capacidade de 200 g, sensibilidade de 0,01 g;
- ♦ Estufa capaz de manter temperatura entre 105 °C e 110 °C.

5.2.6.2 ENSAIO

A amostra de 50 g é colocada na cápsula para ser misturada a água destilada com a espátula, que é adicionada aos poucos até que se obtenha uma massa plástica homogênea. 20 g dessa amostra são separados para que seja feita uma moldagem em forma elipsoidal, rola-se essa massa entre os dedos e a placa de vidro, entre 80 e 90 rolagens por minuto, a fim de formar um cilindro de diâmetro uniforme. Quando o diâmetro atingir 3 mm, quebra-se o cilindro em oito pedaços, voltando a moldar a amostra em forma elipsoidal e procedendo à rolagem, repetidamente, até que não seja mais possível formar um novo cilindro com o solo. Quando a desagregação ocorrer com o cilindro de diâmetro maior que 3 mm, considera-se um estágio final satisfatório. Em seguida, os pedaços do cilindro fragmentado são transferidos para o recipiente para que seja determinada a umidade do material, através da fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

Sendo P_h o peso da amostra úmida e P_s o peso da amostra seca. As operações anteriores são repetidas até que se obtenham três valores, com diferença da média de no máximo 5%. O limite de plasticidade é expresso pela média dos teores de umidade.

5.3 ORÇAMENTO

A composição de custos usada para a determinação de um orçamento para os materiais propostos por este trabalho foi retirada de registros feitos pelo Departamento de Estradas,

Rodagens, Infraestrutura e Serviços Públicos – DER. A composição foi selecionada de acordo com a forma como a gestão pública realiza orçamentos para pavimentação urbana. Uma via executada pelo DER será orçada de acordo com suas próprias composições, resultados de pesquisas feitas pelo órgão.

5.3.1 DER

As composições apresentam separadamente os equipamentos, a mão de obra, o material, as atividades complementares e os transportes de materiais, fornecendo informações sobre o preço de cada, de acordo com sua quantidade, a figura a seguir apresenta um modelo de como a tabela é exposta:

Figura 11 – Composição de custos unitários do DER – RO com desoneração.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM E TRANSPORTES - DER-RO							fev/16
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS							
CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA (Valores em R\$)					Prod. Equipe: 168,00		m²
DERPAV004	Base solo estabilizado granul. s/ mistura						
A	Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
			Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva	
E006	Motorveladora (103 KW)	1,00	0,78	0,22	186,27	23,42	150,44
E007	Trator Agrícola (74 KW)	1,00	0,52	0,48	87,70	15,98	53,27
E013	Rolo Comp.Pê Cam. Auto Prop.11,25l Vib.(82KW)	1,00	1,00		138,58	15,98	138,58
E101	Grade de Discos GA 24 X 24	1,00	0,52	0,48	3,38		1,76
E105	Rolo Comp. de Pneus Auto Prop. 25T (98KW)	1,00	0,78	0,22	148,82	15,98	119,60
E404	Caminhão Basculante 10,0 m³ (15,0 t) (210 KW)	1,49	1,00		183,39	19,00	273,25
E407	Caminhão tanque - 10.000 l (210V)	2,00	0,54	0,46	183,45	19,00	215,61
Custo Horário dos Equipamentos ----->							952,51
B	Mão de Obra	Quantidade	Salário Hora				Custo Horário
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00	43,1200				43,12
T701	Servente	3,00	11,0900				33,27
Custo Horário da Mão de Obra --->							76,39
Adic.Mão Obra: Alimentação(9,50%) + Transporte(4,79%) + EPI (1,12%)							11,85
Custo Horário de Execução --->							1.040,75
Custo Unitário de Execução --->							6,19
C	Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário			Custo Unitário

Fonte: Página do DER – RO - <http://www.rondonia.ro.gov.br/der/>

Sendo A referente aos equipamentos necessários, B à mão de obra, C ao material, D às atividades auxiliares e E ao transporte.

5.3.1.1 COMPOSIÇÕES UTILIZADAS

Para o orçamento utilizando a mistura a composição selecionada foi a DERPAV004 – Base estabilizada granulometricamente sem mistura, de abril de 2016, já que trata-se do mesmo procedimento utilizado na execução de sub-base, entretanto existe uma segunda composição dentro desta, que inclui todos os gastos com o solo, como extração e transporte, além do preço do mesmo, a DERAUX058 – Escavação e carga de material de jazida (const. e rest.), na qual foram feitas as alterações apenas da quantidade de solo a utilizar. Determinadas as misturas

mais viáveis para a base e para a sub-base, foram feitos ajustes no índice referente ao solo natural presente na segunda composição citada, dentro desta, encontra-se o valor para M980 – Indenização da jazida, o qual sofrerá a alteração, de acordo com a porcentagem ótima apontada pelos ensaios em laboratório, adicionando o material reciclado no orçamento, sem modificar os gastos com transporte, visto que será o mesmo para todo o material. Em seguida foi determinado o custo total da obra com a utilização do RCD, valor que foi comparado ao apresentado pela composição do DER – RO.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 SUB-BASE

6.1.1 MISTURA COM 30% DE RCD

6.1.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 30% de RCD e 70% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 3 - Resultado análise granulométrica para sub-base 30% RCD.

	Peneiras		Peso retido	Peso retido acumulado	% Passando
	POL.	mm			
Amostra total	1	25,4	2,9	2,9	97,1
	3/8	9,5	25,7	28,6	71,4
	4	4,8	26,8	55,4	44,6
	10	2	7,6	63,0	37
	40	0,42	7,5	70,5	29,5
Am. parcial	200	0,074	6,9	77,4	22,6

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria C, para $N > 5 \times 10^6$.

6.1.1.2 TEOR DE UMIDADE

Tabela 4 – Resultado teor de umidade para sub-base 30% RCD.

Amostra	30% RCD
Massa bruta úmido	84,67
Massa bruta seco	83,82
Massa recipiente	16,43
Umidade (%)	1,3

Fonte: Autoria própria.

6.1.1.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

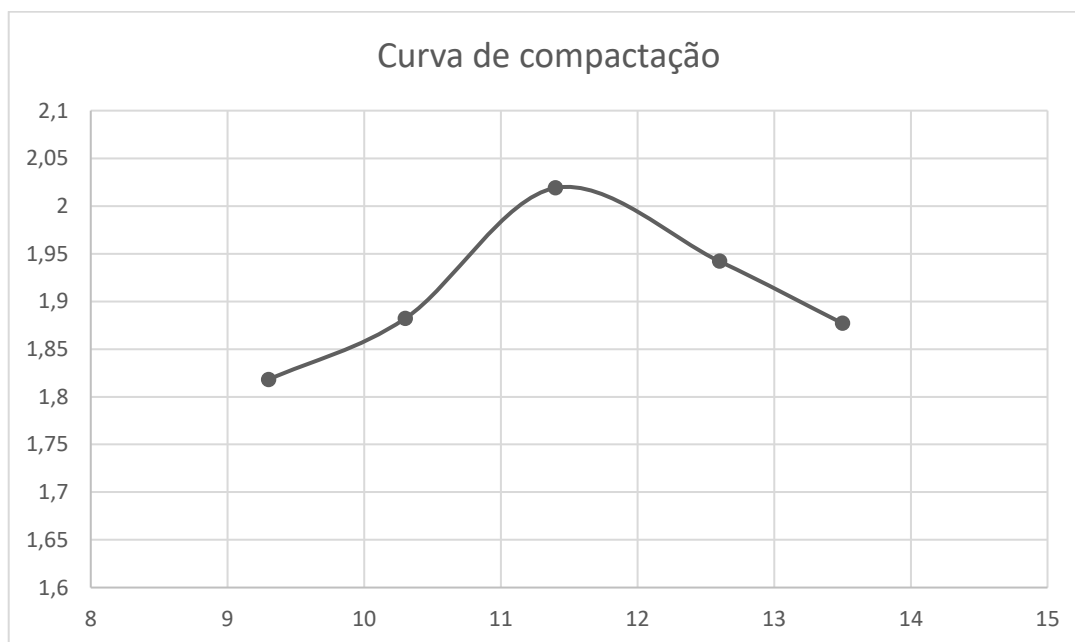
6.1.1.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 5– Ensaio de compactação para sub-base 30% RCD.

Ensaio	1	2	3	4	5
Peso cilindro + amostra	7980	8110	8390	8230	8100
Peso do cilindro	4270	4270	4270	4270	4270
Peso solo úmido	3710	3840	4120	3960	3830
Volume do cilindro	2040	2040	2040	2040	2040
Densidade solo úmido	1,818	1,882	2,019	1,941	1,877

Fonte: Aatoria própria.

Gráfico 3 – Curva de compactação para sub-base 30% RCD.



Fonte: Aatoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 11,4%, densidade máxima de 2,019 g/cm, energia intermediária e 26 golpes.

6.1.1.3.2 EXPANSÃO

A amostra analisada apresentou leitura final no extensômetro de 2,42, sendo sua leitura inicial, 2,00. Dessa forma sua expansão foi de 0,3%, valor abaixo de 1,0%, o máximo permitido na norma DNIT 139/2010 ES.

6.1.1.3.3 PENETRAÇÃO

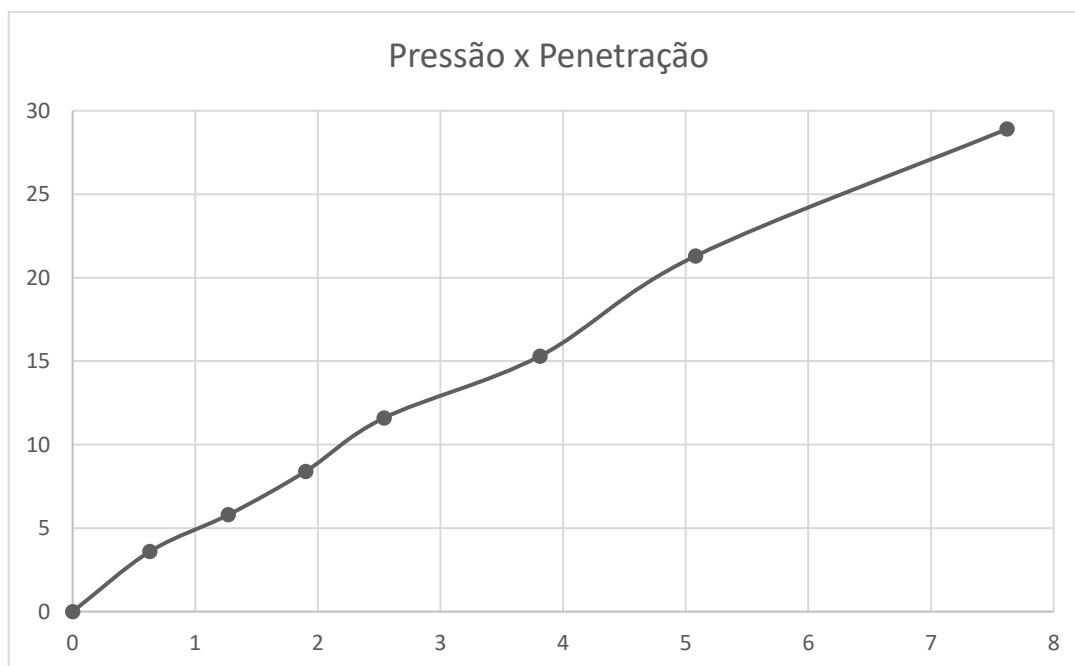
A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 6 – Penetração para sub-base 30% RCD.

Tempo (min.)	Penetração (mm)	Leitura (0,001mm)
0,5	0,63	34
1,0	1,27	55
1,5	1,90	79
2,0	2,54	104
3,0	3,81	144
4,0	5,08	200
5,0	7,62	272

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 4 – Pressão e penetração para sub-base 30% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 – ISC para sub-base 30% RCD.

Leitura (mm)	Pressão	I.S.C. (%)
2,54	11,6	16,6
5,08	21,3	20,3

Fonte: Aatoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 20,3%.

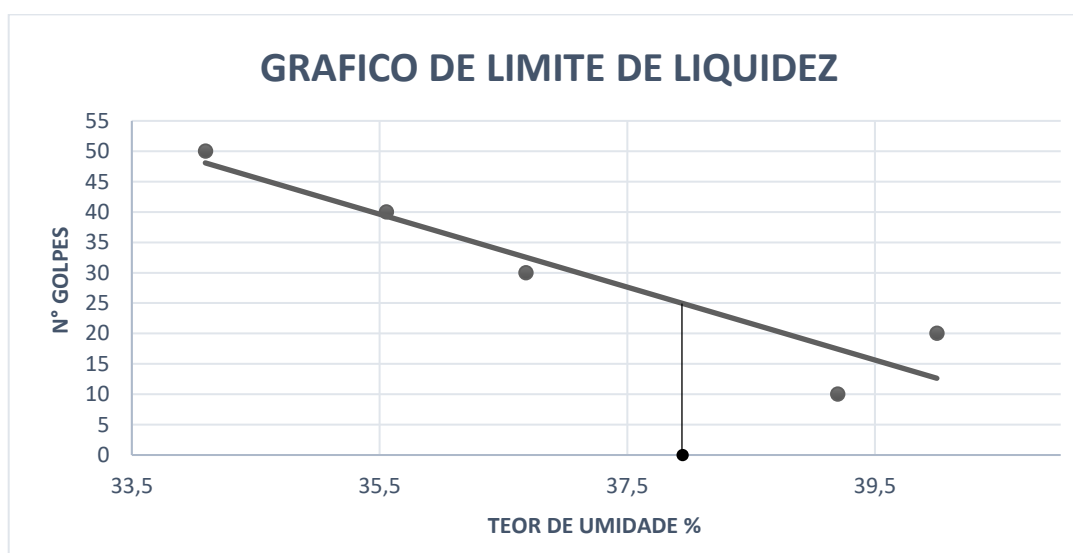
6.1.1.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 8 – Limite de liquidez para sub-base 30% RCD.

Cápsula nº	11	14	16	19	20
P. bruto úmido	21,46	21,28	21,11	21,44	21,96
P. bruto seco	18,32	18,08	17,86	17,88	18,14
P. água	3,14	3,28	3,25	3,59	3,82
P. cápsula	9,11	9,08	9,00	8,98	9,05
P. solo seco	9,21	9,00	8,86	8,90	9,09
Umidade	34,1	35,5	36,70	40,00	42,00
Nº de golpes	50	40	30	20	10

Fonte: Aatoria própria.

Gráfico 5 – Limite de liquidez para sub-base 30% RCD.



Fonte: Aatoria própria.

O limite de liquidez para esta amostra é de 37,8%, de acordo com o gráfico acima.

6.1.1.5 DISCUSSÃO

A mistura ensaiada, sendo composta em 30% por RCD, mostrou-se viável para o uso na camada de sub-base, atingindo o I.S.C. necessário para tal (mínimo de 20%) com valor de 20,3%, de acordo com sua granulometria, pode ser classificado como material de categoria C, sua expansão está dentro do exigido em norma com valor de 0,3%, abaixo do máximo de 1,0%. Para a sub-base, a determinação do Limite de Liquidez não se faz obrigatória. A mistura pode ser aplicada em sub-bases de vias locais de tráfego leve, esta alternativa resultaria na retirada de apenas 70% da quantidade usualmente requisitada de solo, da natureza para a execução da sub-base de uma determinada obra de pavimentação.

6.1.2 MISTURA COM 40% DE RCD

6.1.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 40% de RCD e 60% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 9 – Resultado análise granulométrica para sub-base 40% RCD.

	Peneiras		Peso retido	Peso retido acumulado	% Passando
	POL.	mm			
Amostra total	1	25,4	2,1	2,1	97,9
	3/8	9,5	20,7	22,8	77,2
	4	4,8	20,0	42,8	57,2
	10	2	8,1	50,9	49,1
	40	0,42	11,7	62,6	37,4
Am. parcial	200	0,074	9,6	72,2	27,8

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria D, para $N > 5 \times 10^6$.

6.1.2.2 TEOR DE UMIDADE

Tabela 10 – Resultado teor de umidade para sub-base 40% RCD.

Amostra	40% RCD
Massa bruta úmido	91,60
Massa bruta seco	90,32
Massa recipiente	14,07
Umidade (%)	1,7

Fonte: Autoria própria.

6.1.2.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

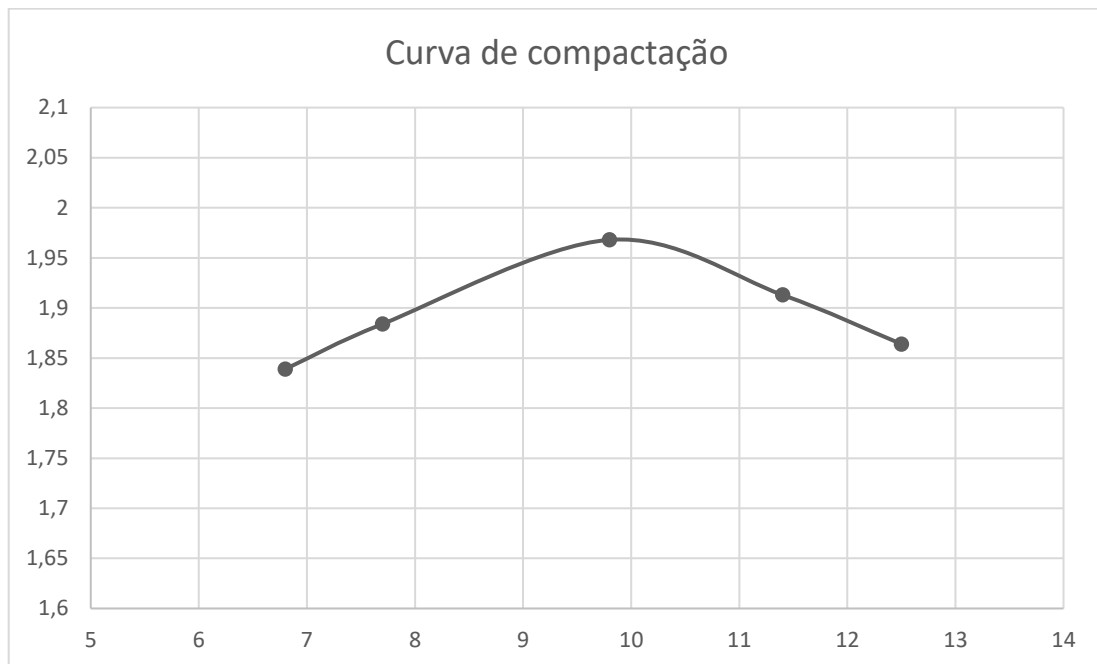
6.1.2.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 11 – Ensaio de compactação para sub-base 40% RCD.

Ensaio	1	2	3	4	5
Peso cilindro + amostra	7870	7960	8130	8020	7920
Peso do cilindro	4150	4150	4150	4150	4150
Peso solo úmido	3720	3810	3980	3870	3770
Volume do cilindro	2022	2022	2022	2022	2022
Densidade solo úmido	1,839	1,884	1,968	1,913	1,864

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 6 – Curva de compactação para sub-base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 9,8%, densidade máxima de 1,968 g/cm, energia intermediária e 26 golpes.

6.1.2.3.2 EXPANSÃO

A amostra analisada apresentou leitura final no extensômetro de 2,21, sendo sua leitura inicial, 2,00. Dessa forma sua expansão foi de 0,2%, valor abaixo de 1,0%, o máximo permitido pela norma DNIT 139/2010 ES.

6.1.2.3.3 PENETRAÇÃO

A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 12 – Penetração para sub-base 40% RCD.

Tempo (min.)	Penetração (mm)	Leitura (0,001mm)
0,5	0,63	20
1,0	1,27	44
1,5	1,90	82
2,0	2,54	123
3,0	3,81	190
4,0	5,08	250
5,0	7,62	302

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 7 – Pressão e penetração para sub-base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Cálculo do ISC para sub-base 40% RCD.

Leitura (mm)	Pressão	I.S.C. (%)
2,54	13,1	18,7
5,08	26,6	25,3

Fonte: Autoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 25,3%.

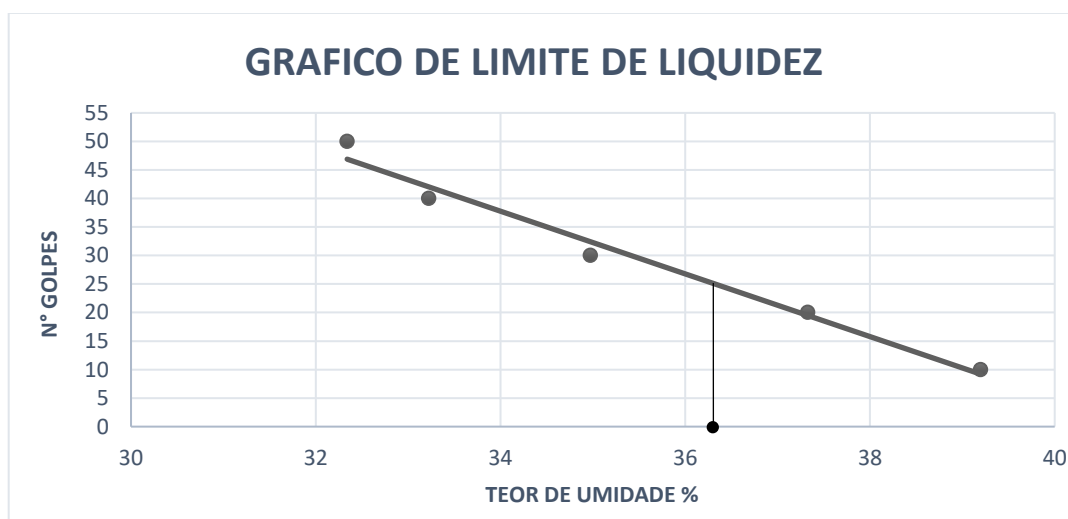
6.1.2.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 14 – Limite de liquidez para sub-base 40% RCD.

Cápsula nº	12	15	09	17	21
P. bruto úmido	20,67	19,27	19,56	19,98	19,53
P. bruto seco	17,74	16,24	16,36	16,74	16,32
P. água	2,93	3,03	3,20	3,24	3,21
P. cápsula	8,68	7,12	7,21	8,06	7,11
P. solo seco	9,06	9,72	9,15	8,68	9,21
Umidade	32,40	33,20	36,00	37,3	39,2
Nº de golpes	50	40	30	20	10

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 8 – Limite de liquidez para sub-base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

O limite de liquidez para esta amostra é de 36,2%, de acordo com o gráfico acima.

6.1.2.5 DISCUSSÃO

A mistura ensaiada, sendo composta em 40% por RCD, mostrou-se viável para o uso na camada de sub-base, atingindo o I.S.C. necessário para a mesma (mínimo de 20%), com o valor de 25,3%, apesar de ter se encaixado na categoria D de acordo com sua granulometria, como um material não muito superior, sua expansão está dentro do exigido em norma com valor de 0,2%, abaixo do máximo de 1,0%. Para a sub-base, a determinação do Limite de Liquidez não se faz obrigatória. A mistura pode ser aplicada em sub-bases de vias locais de tráfego leve, esta alternativa resultaria na retirada de apenas 60% da quantidade usualmente requisitada de solo, da natureza para a execução da sub-base de uma determinada obra de pavimentação.

6.1.3 MISTURA COM 50% DE RCD

6.1.3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 50% de RCD e 50% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 15 – Resultado análise granulométrica para sub-base 50% RCD.

	Peneiras		Peso retido	Peso retido acumulado	% Passando
	POL.	mm			
Amostra total	1	25,4	4,6	4,6	95,4
	3/8	9,5	23,9	28,5	71,5
	4	4,8	24,3	52,8	47,2
	10	2	7,7	60,5	39,5
	40	0,42	7,9	68,4	31,6
Am. parcial	200	0,074	7,0	75,4	24,6

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria D, para $N > 5 \times 10^6$.

6.1.3.2 TEOR DE UMIDADE

Tabela 16 – Resultado teor de umidade para sub-base 50% RCD.

Amostra	50% RCD
Massa bruta úmido	91,27
Massa bruta seco	90,62
Massa recipiente	14,16
Umidade (%)	0,8

Fonte: Autoria própria.

6.1.3.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

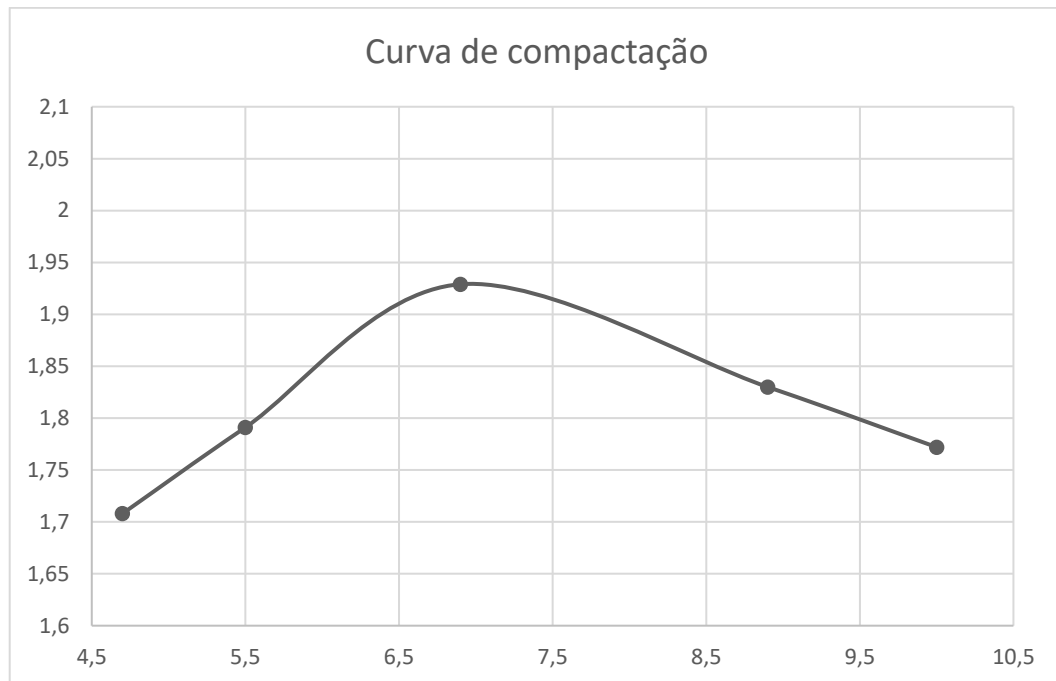
6.1.3.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 17 – Ensaio de compactação para sub-base 50% RCD.

Ensaio	1	2	3	4	5
Peso cilindro + amostra	7560	7730	8010	7809	7690
Peso do cilindro	4075	4075	4075	4075	4075
Peso solo úmido	3485	3655	3935	3734	3615
Volume do cilindro	2040	2040	2040	2040	2040
Densidade solo úmido	1,708	1,791	1,929	1,830	1,772

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 9 – Curva de compactação para sub-base 50% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 6,9%, densidade máxima de 1,929 g/cm, energia intermediária e 26 golpes.

6.1.3.3.2 EXPANSÃO

A amostra analisada apresentou leitura final no extensômetro de 2,12, sendo sua leitura inicial, 2,00. Dessa forma sua expansão foi de 0,1%, valor abaixo de 1,0%, o máximo permitido pela norma DNIT 139/2010 ES.

6.1.3.3.3 PENETRAÇÃO

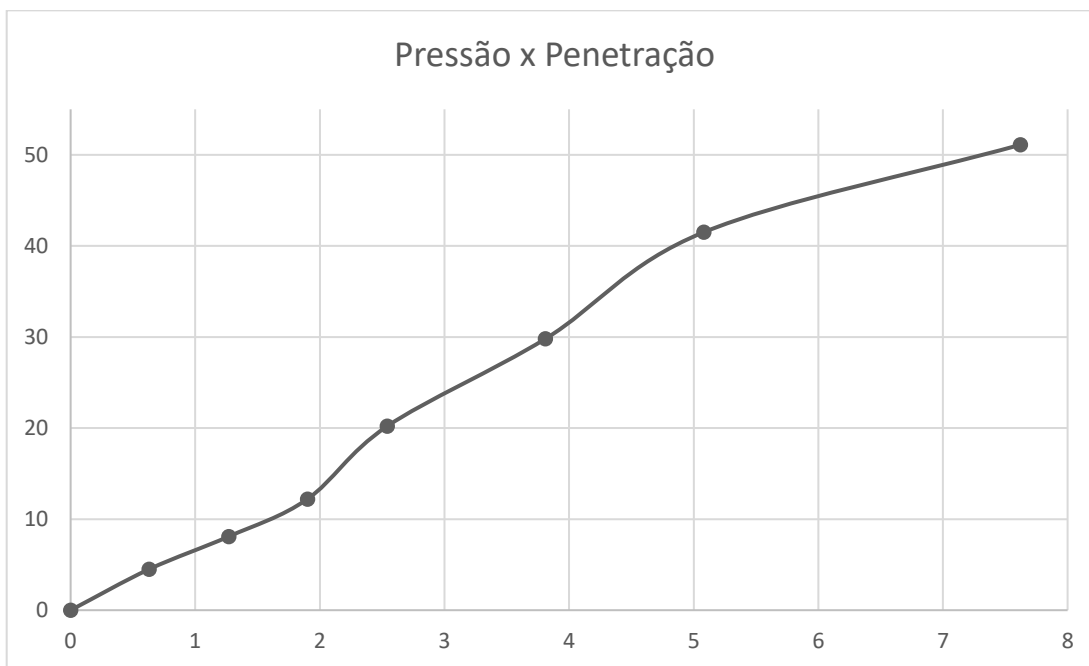
A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 18 – Penetração para sub-base 50% RCD.

Tempo (min.)	Penetração (mm)	Leitura (0,001mm)
0,5	0,63	42
1,0	1,27	76
1,5	1,90	115
2,0	2,54	190
3,0	3,81	280
4,0	5,08	390
5,0	7,62	480

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 10 – Pressão e penetração para sub-base 50% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 – Cálculo do ISC para sub-base 50% RCD.

Leitura (mm)	Pressão	I.S.C. (%)
2,54	20,2	28,8
5,08	41,5	39,5

Fonte: Autoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 39,5%.

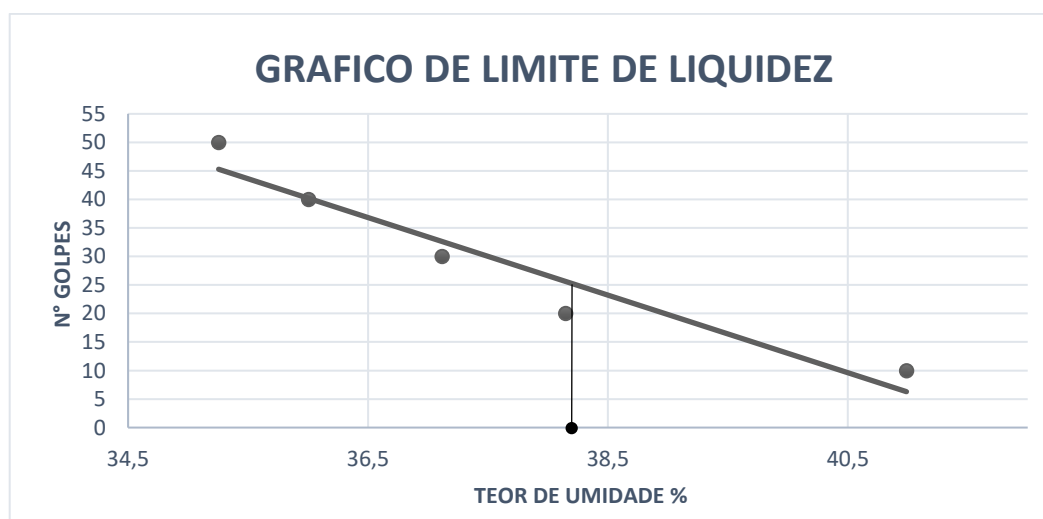
6.1.3.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 20 – Limite de liquidez para sub-base 50% RCD.

Cápsula nº	1	2	3	4	5
P. bruto úmido	22,60	21,40	21,39	21,81	21,66
P. bruto seco	19,42	18,12	17,99	18,35	17,93
P. água	3,18	3,28	3,40	3,46	3,93
P. cápsula	10,40	9,01	8,83	9,28	8,83
P. solo seco	9,02	9,11	9,16	9,07	9,10
Umidade	35,20	36,00	37,10	38,10	41,00
Nº de golpes	50	40	30	20	10

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 11 – Limite de liquidez para sub-base 50% RCD.



Fonte: Autoria própria.

O limite de liquidez para esta amostra é de 37,5%, de acordo com o gráfico acima.

6.1.3.5 DISCUSSÃO

A mistura ensaiada, sendo composta em 50% por RCD, mostrou-se viável para o uso na camada de sub-base, atingindo o I.S.C. necessário para a mesma (mínimo de 20%), com o valor de 39,5%, apesar de ter se enxaixado na categoria D, de acordo com sua granulometria, como um material não muito superior, sua expansão está dentro do exigido em norma com valor de 0,1%, abaixo do máximo de 1,0%. Para a sub-base, a determinação do Limite de Liquidez não se faz obrigatória. A mistura poderia ser aplicada em sub-bases de vias locais de tráfego leve, esta alternativa resultaria na retirada de apenas 50% da quantidade usualmente requisitada de solo, da natureza para a execução da sub-base de uma determinada obra de pavimentação

6.2 BASE

6.2.1 MISTURA COM 30% DE RCD

6.2.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 30% de RCD e 70% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 21 – Resultado análise granulométrica para base 30% RCD.

	Peneiras		Peso retido parcial	% da amostra total	% retida acumulada	% que passa da am. total
	pol	mm				
AMOSTRA TOTAL	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0
	3/4	19,1	57,10	2,89	2,89	97,1
	3/8	9,5	104,70	5,31	8,20	91,8
	4	4,8	107,00	5,42	13,63	86,4
	10	2	59,90	3,04	16,66	83,3
	AM. PARCIAL	40	0,42	8,10	4,11	95,89
200		0,074	69,50	35,23	60,66	50,6

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria E, para $N < 5 \times 10^6$.

6.2.1.2 TEOR DE UMIDADE

Para este caso foram determinadas as umidades de duas amostras, levando ao cálculo da umidade média.

Tabela 22 – Resultado do teor de umidade para base 30% RCD.

30% RCD	Am. 1	Am. 2
Cápsula nº	99	7
Peso da C+S+A (g)	44,00	54,40
Peso da C+S(g)	43,88	54,24
Peso da Água(g)	0,12	0,16
Peso da Cápsula(g)	14,60	15,70
Peso do Solo Seco(g)	29,28	38,54
Teor de Umidade(%)	0,41	0,42
Umidade Média(%)	0,4%	

Fonte: Autoria própria.

6.2.1.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

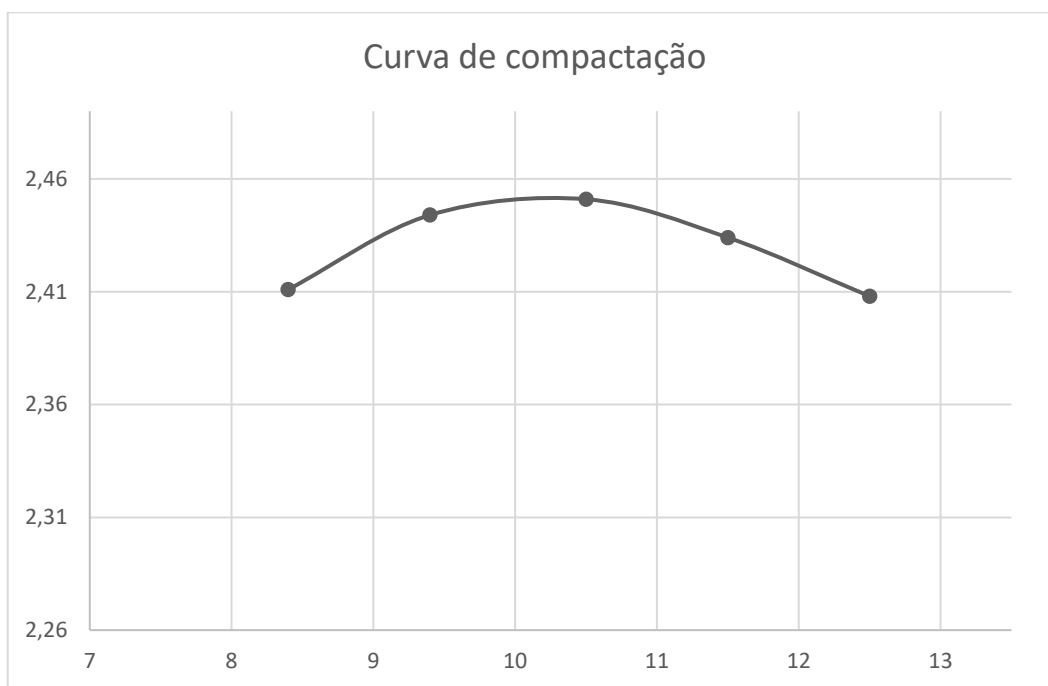
6.2.1.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 23 – Ensaio de compactação para base 30% RCD.

ENSAIO	1	2	3	4	5
Nº do Cilindro	44	44	44	44	44
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9686	9811	9876	9888	9879
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281
Peso do Solo Úmido	5405	5530	5595	5607	5598
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067
Densidade do Solo Úmido	2,615	2,675	2,707	2,713	2,708
Densidade do Solo Seco	2,411	2,444	2,451	2,434	2,408

Fonte: Aatoria própria.

Gráfico 12 – Curva de compactação para base 30% RCD.



Fonte: Aatoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 10,5%, densidade máxima de 2,451 g/cm, energia modificada e 55 golpes.

6.2.1.3.2 EXPANSÃO

Tabela 24 – Resultado expansão para base 30% RCD.

EXPANSÃO			
Altura do Corpo de Prova(mm)			114,00
DATA	Tempo	Leitura	Expansão
	Decorrido	Deflet.	(%)
	(Dias)	(mm)	-
17/11/2016	00:00	2,00	1,75
18/11/2016	24:00		0,00
19/11/2016	48:00		0,00
20/11/2016	72:00		0,00
21/11/2016	96:00	2,55	2,24

Fonte: Autoria própria.

Utilizando a seguinte equação, é possível o cálculo de expansão da amostra:

$$E(\%) = \frac{(\textit{leitura final do extensômetro} - \textit{leitura inicial do extensômetro})}{\textit{altura inicial do corpo de prova}} * 100$$

A amostra contendo 30% de RCD apresentou expansão de 0,48% estando este valor dentro do padrão imposto pela norma DNIT 141/2010 ES.

6.2.1.3.3 PENETRAÇÃO

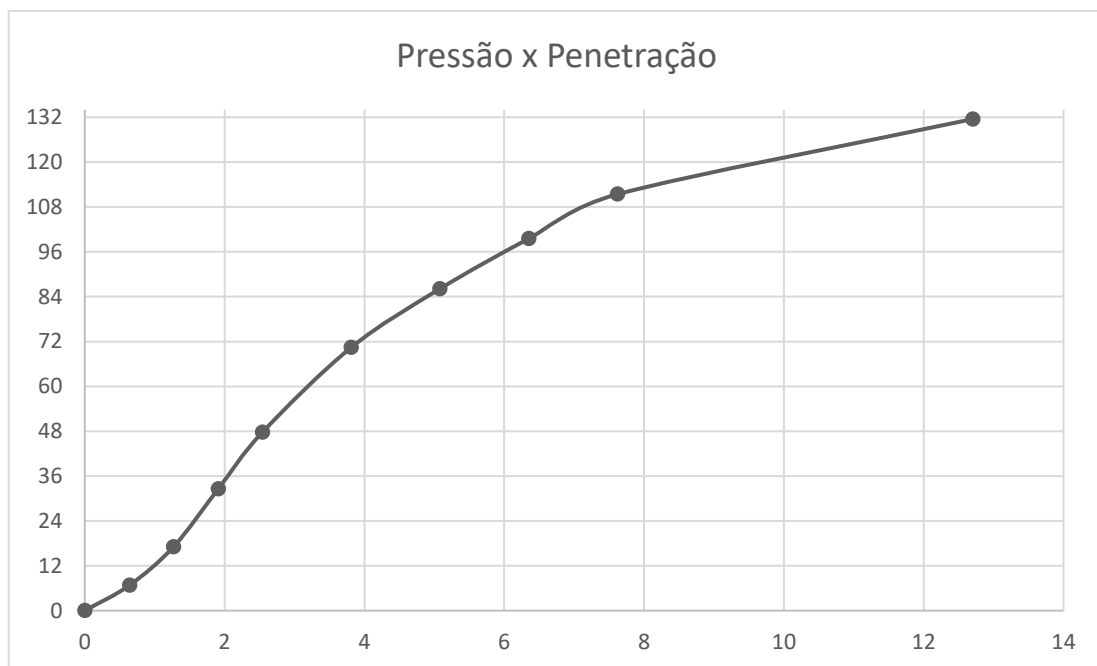
A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 25 – Penetração para base 30% RCD.

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			0,2011
Constante do Anel			
Tempo (min.)	Penet. (mm)	Leitura 0,001mm	Pressão (kgf/cm²)
0,5	0,64	34	6,8
1	1,27	85	17,1
1,5	1,91	162	32,6
2	2,54	237	47,7
3	3,81	350	70,4
4	5,08	428	86,1
5	6,35	495	99,5
6	7,62	554	111,4
10	12,70	654	131,5

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 13 – Pressão e penetração para base 30% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 26 – Cálculo do ISC para base 30% RCD.

CÁLCULO DO I.S.C.			
Leitura	Pressão		I.S.C.
(mm)	Aplic.	Corrigida	(%)
2,54	47,7	57,8423669	82,3
5,08	86,1	92,1077175	87,3

Fonte: Autoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 87,3%.

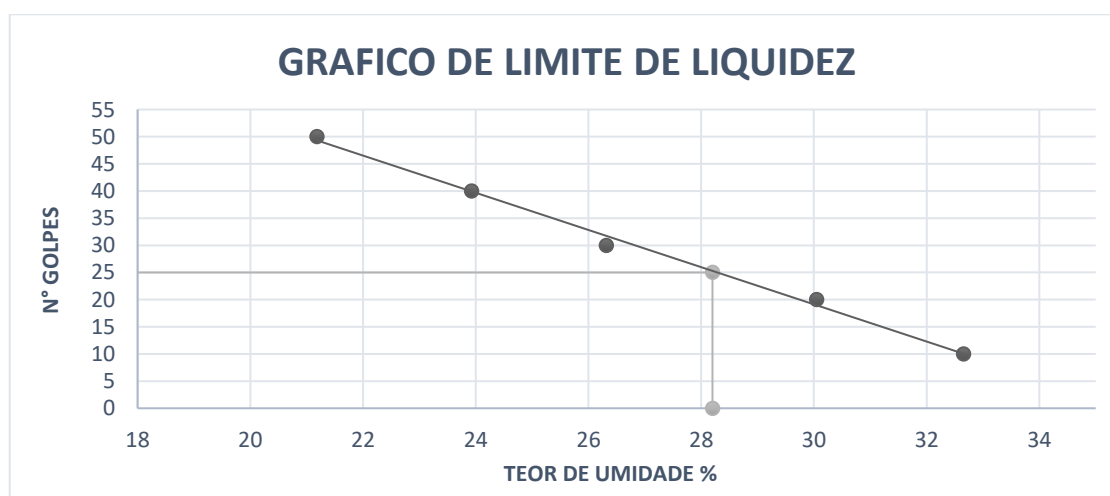
6.2.1.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 27 – Limite de liquidez para base 30% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94				
CÁPSULA - N°	135	126	108	92	80
P. BRUTO ÚMIDO	12,02	11,20	10,80	14,06	11,90
P. BRUTO SECO	10,80	10,20	9,80	12,20	10,45
P. DA CÁPSULA	5,04	6,02	6,00	6,01	6,01
P. DA ÁGUA	1,22	1,00	1,00	1,86	1,45
P. DO SOLO SECO	5,76	4,18	3,80	6,19	4,44
UMIDADE	21,2	23,9	26,3	30,0	32,7
N° GOLPES	50	40	30	20	10

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 14 – Limite de liquidez para base 30% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a amostra, o limite de liquidez encontrado foi 28,2%, conforme o gráfico que relaciona o teor de umidade com o numero de golpes, valor acima dos 25% exigidos pela DNIT 141/2010 ES.

6.2.1.5 LIMITE DE PLASTICIDADE

Tabela 28 – Limite de plasticidade para base 30% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
	CÁPSULA - N°	145	153	107	87
P. BRUTO ÚMIDO	7,00	7,10	7,40	8,00	6,50
P. BRUTO SECO	6,80	6,98	7,25	7,80	6,35
P. DA CÁPSULA	5,09	6,00	6,02	6,09	5,04
P. DA ÁGUA	0,20	0,12	0,15	0,20	0,15
P. DO SOLO SECO	1,71	0,98	1,23	1,71	1,31
UMIDADE	11,7	12,2	12,2	11,7	11,5

Fonte: Autoria própria.

O limite de plasticidade é definido pela média dos valores de umidade obtidos, o resultado para a amostra ensaiada foi 11,9%. O índice de plasticidade é definido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, o resultado obtido para a amostra ensaiada foi 16,3%.

6.2.1.6 DISCUSSÃO

Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados, conclui-se que a amostra contendo 30% de RCD e 70% de solo natural não se encaixa na norma DNIT 141/2010 que fornece os parâmetros para a base de uma rodovia, os mesmos utilizados pela Prefeitura de Porto Velho para suas vias locais, visto que, apesar de possuir ISC satisfatório de 87,3% e expansão dentro do limite, sendo 0,48%, a mesma não conseguiu encaixar-se nos valores exigidos para limite de liquidez, que foi de 28,2%, excedendo o limite de 25%, e índice de plasticidade, que foi 16,3%, excedendo o limite de 6,0%. Material não viável para pavimentação de rodovias normatizada pelo DNIT. Recomenda-se buscar por RCD com maior concentração de material cinza, que é composto por concreto, e realizar novos ensaios, verificando se o mesmo reage de forma mais positiva.

6.2.2 MISTURA COM 40% DE RCD

6.2.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 40% de RCD e 60% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 29 – Resultado análise granulométrica para base 40% RCD.

AMOSTRA TOTAL	Peneiras		Peso retido parcial	% da amostra total	% retida acumulada	% que passa da am. total
	pol	mm				
	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0
	3/4	19,1	213,60	10,79	10,79	89,2
	3/8	9,5	550,20	27,81	38,60	61,4
	4	4,8	332,00	16,78	55,38	44,6
	10	2	195,50	9,88	65,26	34,7
AM. PARCIAL	40	0,42	33,80	17,08	82,92	28,8
	200	0,074	44,20	22,34	60,58	21,0

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria A, para $N > 5 \times 10^6$.

6.2.2.2 TEOR DE UMIDADE

Para este caso foram determinadas as umidades de duas amostras, levando ao cálculo da umidade média.

Tabela 30 – Resultado do teor de umidade para base 40% RCD.

40% RCD	Am 1	Am 2
Cápsula nº	66	32
Peso da C+S+A (g)	38,00	45,00
Peso da C+S (g)	36,75	43,65
Peso da Água (g)	1,25	1,35
Peso da Cápsula (g)	2,00	2,00
Peso do Solo Seco (g)	34,75	41,65
Teor de Umidade (%)	3,60	3,24
Umidade Média(%)	3,4%	

Fonte: Autoria própria.

6.2.2.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

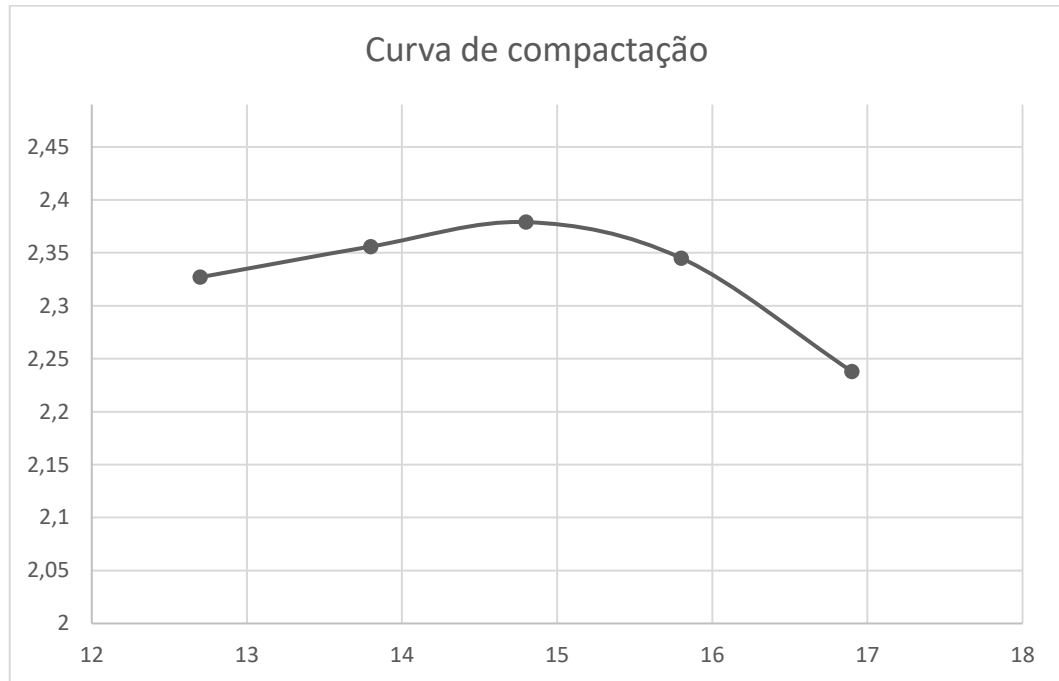
6.2.2.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 31 – Ensaio de compactação para base 40% RCD.

ENSAIO	1	2	3	4	5
Nº do Cilindro	44	44	44	44	44
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9702	9822	9925	9896	9687
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281
Peso do Solo Úmido	5421	5541	5644	5615	5406
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067
Densidade do Solo Úmido	2,623	2,681	2,731	2,716	2,615
Densidade do Solo Seco	2,327	2,356	2,379	2,345	2,238

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 15 – Curva de compactação para base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 14,8%, densidade máxima de 2,380 g/cm, energia modificada e 55 golpes.

6.2.2.3.2 EXPANSÃO

Tabela 32 – Resultado expansão para base 40% RCD.

EXPANSÃO			
Altura do Corpo de Prova(mm)			114,00
DATA	Tempo	Leitura	Expansão
	Decorrido	Deflet.	(%)
	(Dias)	(mm)	-
17/11/2016	00:00	2,00	1,75
18/11/2016	24:00		0,00
19/11/2016	48:00		0,00
20/11/2016	72:00		0,00
21/11/2016	96:00	2,15	1,89

Fonte: Autoria própria.

Utilizando a seguinte equação, é possível o cálculo de expansão da amostra:

$$E(\%) = \frac{(\text{leitura final do extensômetro} - \text{leitura inicial do extensômetro})}{\text{altura inicial do corpo de prova}} * 100$$

A amostra contendo 40% de RCD apresentou expansão de 0,13% estando este valor dentro do padrão imposto pela norma DNIT 141/2010 ES.

6.2.2.3.3 PENETRAÇÃO

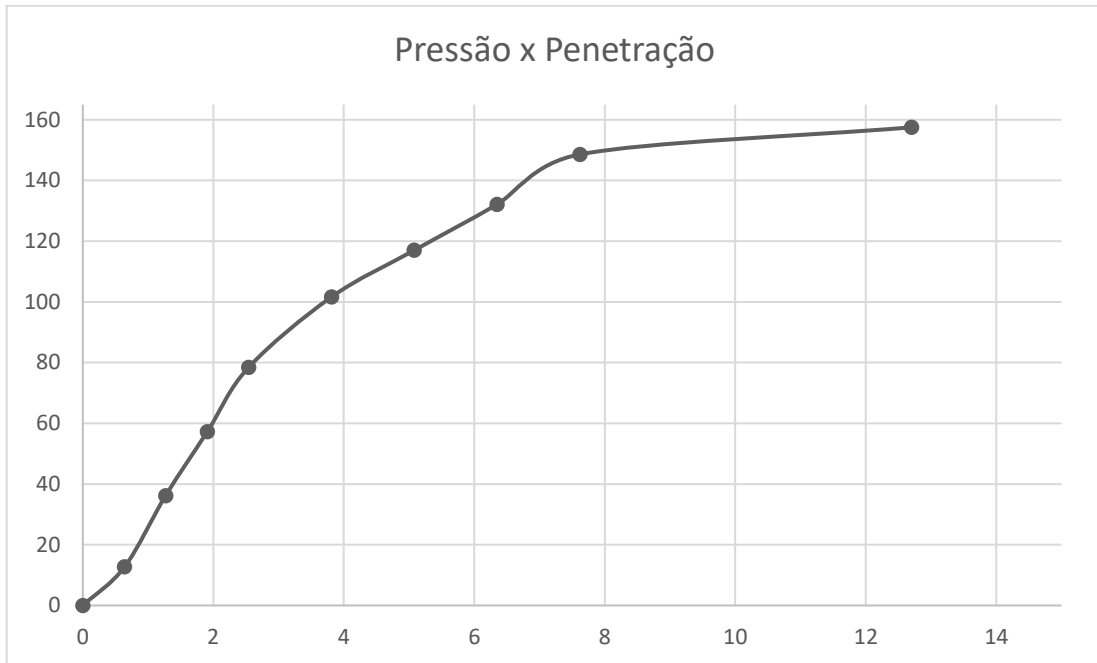
A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 33 – Penetração para base 40% RCD.

ENSAIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel			0,2011
Tempo	Penet.	Leitura	Pressão
(min.)	(mm)	0,001mm	(kgf/cm²)
0,5	0,64	63	12,7
1	1,27	180	36,2
1,5	1,91	285	57,3
2	2,54	390	78,4
3	3,81	505	101,6
4	5,08	582	117,0
5	6,35	657	132,1
6	7,62	739	148,6
10	12,70	783	157,5

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 16 – Pressão e penetração para base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 34 – Cálculo do ISC para base 40% RCD.

CÁLCULO DO I.S.C.			
Leitura	Pressão		I.S.C.
(mm)	Aplic.	Corrigida	(%)
2,54	78,4	83,7658846	119,1
5,08	117,0	120,520777	114,3

Fonte: Autoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 119,1%.

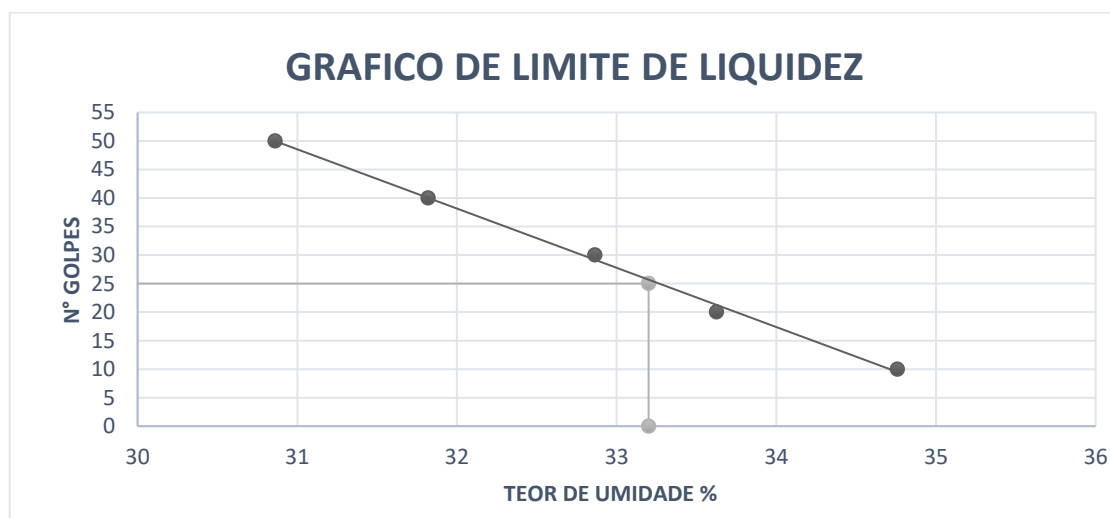
6.2.2.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 35 – Limite de liquidez para base 40% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94				
	129	147	39	6	76
CÁPSULA - N°	129	147	39	6	76
P. BRUTO ÚMIDO	11,50	10,00	13,70	12,60	10,80
P. BRUTO SECO	10,46	8,81	12,30	11,45	9,58
P. DA CÁPSULA	7,09	5,07	8,04	8,03	6,07
P. DA ÁGUA	1,04	1,19	1,40	1,15	1,22
P. DO SOLO SECO	3,37	3,74	4,26	3,42	3,51
UMIDADE	30,9	31,8	32,9	33,6	34,8
N° GOLPES	50	40	30	20	10

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 17 – Limite de liquidez para base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a amostra, o limite de liquidez encontrado foi 33,2%, conforme o gráfico que relaciona o teor de umidade com o numero de golpes, valor acima dos 25% exigidos pela DNIT 141/2010 ES.

6.2.2.5 LIMITE DE PLASTICIDADE

Tabela 36 – Limite de liquidez para base 40% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
CÁPSULA - N°	146	81	101	157	18
P. BRUTO ÚMIDO	8,70	5,70	7,70	7,10	6,80
P. BRUTO SECO	8,48	5,48	7,48	6,95	6,56
P. DA CÁPSULA	7,08	4,07	6,07	6,00	5,09
P. DA ÁGUA	0,22	0,22	0,22	0,15	0,24
P. DO SOLO SECO	1,40	1,41	1,41	0,95	1,47
UMIDADE	15,7	15,6	15,6	15,8	16,3

Fonte: Autoria própria.

O limite de plasticidade é definido pela média dos valores de umidade obtidos, o resultado para a amostra ensaiada foi 15,8%. O índice de plasticidade é definido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, o resultado obtido para a amostra ensaiada foi 17,4%.

6.2.2.6 DISCUSSÃO

Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados, conclui-se que a amostra contendo 40% de RCD e 60% de solo natural não se encaixa na norma DNIT 141/2010 que fornece os parâmetros para a base de uma rodovia, os mesmos utilizados pela Prefeitura de Porto Velho para suas vias locais, visto que, apesar de apresentar boa classificação quanto à sua granulometria, possuir ISC satisfatório de 119,1% e expansão dentro do limite, sendo 0,13%, a mesma não conseguiu encaixar-se nos valores exigidos para limite de liquidez, que foi de 33,2%, excedendo o limite de 25%, e índice de plasticidade, que foi 17,4%, excedendo o limite de 6,0%. Material não viável para pavimentação de rodovias normatizada pelo DNIT. Recomenda-se buscar por RCD com maior concentração de material cinza, que é composto por concreto, e realizar novos ensaios, verificando se o mesmo reage de forma mais positiva.

6.2.3 MISTURA COM 50% DE RCD

6.2.3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a amostra contendo 40% de RCD e 60% de solo natural, a granulometria encontrada foi, conforme a tabela a seguir:

Tabela 37 – Resultado análise granulométrica para base 50% RCD.

	Peneiras		Peso retido parcial	% da amostra total	% retida acumulada	% que passa da am. total
	pol	mm				
AMOSTRA TOTAL	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0
	3/4	19,1	161,00	8,19	8,19	91,8
	3/8	9,5	194,00	9,86	18,05	81,9
	4	4,8	102,00	5,19	23,24	76,8
	10	2	62,20	3,16	26,40	73,6
	AM. PARCIAL	40	0,42	9,20	4,68	95,32
200		0,074	66,80	33,97	61,35	45,2

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a tabela 1 da norma DNIT 141/2010 – ES, a mistura ensaiada pode ser considerada material de categoria F, para $N < 5 \times 10^6$.

6.2.3.2 TEOR DE UMIDADE

Para este caso foram determinadas as umidades de duas amostras, levando ao cálculo da umidade média.

Tabela 38 – Teor de umidade para base 50% RCD.

50% RCD	Am 1	Am 2
Cápsula - n°	14	16
Peso da C+S+A (g)	56,78	58,84
Peso da C+S(g)	56,25	58,22
Peso da cápsula (g)	24,65	22,17
Peso da água (g)	0,53	0,62
Peso do solo seco (g)	31,60	36,05
Teor de umidade (%)	1,68	1,72
Umidade média (%)	1,7	

Fonte: Autoria própria.

6.2.3.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

6.2.3.3.1 COMPACTAÇÃO

Tabela 39 – Ensaio de compactação para base 50% RCD.

ENSAIO	1	2	3	4	5
Nº do Cilindro	44	44	44	44	44
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9635	9768	9869	9818	9779
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281
Peso do Solo Úmido	5354	5487	5588	5537	5498
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067
Densidade do Solo Úmido	2,590	2,655	2,703	2,679	2,660
Densidade do Solo Seco	2,371	2,408	2,430	2,387	2,349

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 18 – Curva de compactação para base 50% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a mistura ensaiada, a umidade ótima encontrada foi 11,2%, densidade máxima de 2,430 g/cm, energia modificada e 55 golpes.

6.2.3.3.2 EXPANSÃO

Tabela 40 – Resultado expansão para base 50% RCD.

EXPANSÃO			
Altura do Corpo de Prova(mm)			114,00
DATA	Tempo	Leitura	Expansão
	Decorrido	Deflet.	(%)
	(Dias)	(mm)	-
17/11/2016	00:00	2,00	1,75
18/11/2016	24:00		0,00
19/11/2016	48:00		0,00
20/11/2016	72:00		0,00
21/11/2016	96:00	2,21	1,94

Fonte: Aatoria própria.

Utilizando a seguinte equação, é possível o cálculo de expansão da amostra:

$$E(\%) = \frac{(\text{leitura final do extensômetro} - \text{leitura inicial do extensômetro})}{\text{altura inicial do corpo de prova}} * 100$$

A amostra contendo 50% de RCD apresentou expansão de 0,18% estando este valor dentro do padrão imposto pela norma DNIT 141/2010 ES.

6.2.3.3.3 PENETRAÇÃO

A tabela a seguir mostra, no tempo decorrido do ensaio, as leituras feitas durante a penetração para a amostra ensaiada:

Tabela 41 – Penetração para base 50% RCD.

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel			0,2011
Tempo	Penet.	Leitura	Pressão
(min.)	(mm)	0,001mm	(kgf/cm²)
0,5	0,64	17	3,4
1	1,27	39	7,8
1,5	1,91	63	12,7
2	2,54	85	17,1
3	3,81	125	25,1
4	5,08	160	32,2
5	6,35	193	38,8
6	7,62	223	44,8
10	12,70	274	55,1

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 19 – Pressão e penetração para base 40% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 42 – ISC para base 50% RCD.

CÁLCULO DO I.S.C.			
Leitura	Pressão		I.S.C.
(mm)	Aplic.	Corrigida	(%)
2,54	17,1	18,60175	26,5
5,08	32,2	33,4203063	31,7

Fonte: Autoria própria.

O Índice de suporte Califórnia é então representado pelo valor mais alto, sendo ele nesse caso, 31,7%.

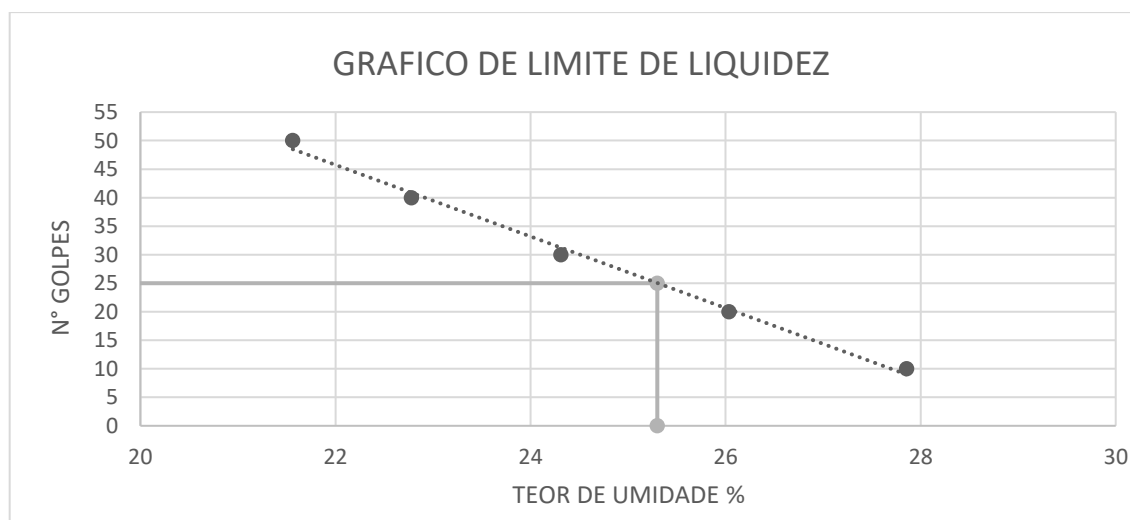
6.2.3.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Tabela 43 – Limite de liquidez para base 50% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94				
CÁPSULA - N°	156	73	77	78	114
P. BRUTO ÚMIDO	11,90	11,40	10,50	12,30	10,60
P. BRUTO SECO	11,21	10,40	9,44	11,42	9,60
P. DA CÁPSULA	8,01	6,01	5,08	8,04	6,01
P. DA ÁGUA	0,69	1,00	1,06	0,88	1,00
P. DO SOLO SECO	3,20	4,39	4,36	3,38	3,59
UMIDADE	21,6	22,8	24,3	26,0	27,9
N° GOLPES	50	40	30	20	10

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 20 – Limite de liquidez para base 50% RCD.



Fonte: Autoria própria.

Para a amostra, o limite de liquidez encontrado foi 25,3%, conforme o gráfico que relaciona o teor de umidade com o numero de golpes, valor um pouco acima dos 25% exigidos pela DNIT 141/2010 ES.

6.2.3.5 LIMITE DE PLASTICIDADE

Tabela 44 – Limite de plasticidade para base 50% RCD.

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
	CÁPSULA - N°	31	38	119	130
P. BRUTO ÚMIDO	7,10	7,00	6,80	6,40	7,80
P. BRUTO SECO	6,80	6,87	6,70	6,23	7,59
P. DA CÁPSULA	4,80	6,00	6,01	5,06	6,09
P. DA ÁGUA	0,30	0,13	0,10	0,17	0,21
P. DO SOLO SECO	2,00	0,87	0,69	1,17	1,50
UMIDADE	15,0	14,9	14,5	14,5	14,0

Fonte: Autoria própria.

O limite de plasticidade é definido pela média dos valores de umidade obtidos, o resultado para a amostra ensaiada foi 14,6%. O índice de plasticidade é definido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, o resultado obtido para a amostra ensaiada foi 10,7%.

6.2.3.6 DISCUSSÃO

Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados, conclui-se que a amostra contendo 50% de RCD e 50% de solo natural não se encaixa na norma DNIT 141/2010 que fornece os parâmetros para a base de uma rodovia, os mesmos utilizados pela Prefeitura de Porto Velho para suas vias locais, visto que, além de não apresentar boa classificação quanto à sua granulometria, também não possui ISC satisfatório, com o valor de 31,7%, muito abaixo do exigido, que deve estar acima de 60%. Os limites de liquidez e plasticidade também se revelaram acima do permitido, o limite de liquidez atingiu 25,3%, ultrapassando o máximo de 25% e o limite de plasticidade, 14,6%, ultrapassando o máximo de 6,0%. Apenas a expansão conseguiu atender às exigências da norma, com valor de 0,18%, abaixo do máximo de 0,5%. Material não viável para pavimentação de rodovias normatizada pelo DNIT. Recomenda-se buscar por RCD com maior concentração de material cinza, que é composto por concreto, e realizar novos ensaios, verificando se o mesmo reage de forma mais positiva.

6.3 ANÁLISE GERAL DOS ENSAIOS

Para melhor compreensão dos resultados obtidos, este trabalho apresenta a seguir, nos quadros 8 e 9, cada mistura de acordo com a camada estudada, os respectivos ensaios e seus resultados, apontando em quais deles a mesma se mostrou adequada, fazendo uso de “OK” para quando a mistura se encaixa nos padrões das devidas normas e “X” para quando não se encaixa, como já informado, o material é considerado viável apenas quando se encaixa em todas as exigências feitas pelas normas citadas ao longo da metodologia, para a Análise Granulométrica a categoria do material pode torná-lo adequado, dependendo do volume de tráfego que a via receberá.

Quadro 8 – Análise geral dos ensaios para sub-base.

SUB-BASE						
Ensaio	30% RCD		40% RCD		50% RCD	
	Resultado	Discussão	Resultado	Discussão	Resultado	Discussão
Análise Granulométrica	Cat. C	OK	Cat. D	OK	Cat. D	OK
Determinação do teor de umidade	1,30%	OK	1,70%	OK	0,80%	OK
Expansão	0,30%	OK	0,20%	OK	0,10%	OK
Índice de Suporte Califórnia	20,30%	OK	25,30%	OK	39,50%	OK
Limite de Liquidez	37,80%	OK	36,20%	OK	37,50%	OK

Fonte: Autoria própria.

Quadro 9 – Análise geral dos ensaios para base.

BASE						
Ensaio	30% RCD		40% RCD		50% RCD	
	Resultado	Discussão	Resultado	Discussão	Resultado	Discussão
Análise Granulométrica	Cat. E	OK	Cat. A	OK	Cat. F	OK
Determinação do teor de umidade	0,40%	OK	3,40%	OK	1,70%	OK
Expansão	0,48%	OK	0,13%	OK	0,18%	OK
Índice de Suporte Califórnia	87,30%	OK	119,10%	X (não confiável)	31,70%	X
Limite de Liquidez	28,20%	X	33,20%	X	25,30%	X
Limite de Plasticidade	11,90%	X	15,80%	X	14,60%	X
Índice de Plasticidade	16,30%	X	17,40%	X	10,70%	X

Fonte: Autoria própria.

6.4 ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

Verificadas as misturas mais viáveis, começa então a análise dos custos da implantação da alternativa apresentada por este trabalho. Ao final das pesquisas em laboratório, concluiu-se que as amostras ensaiadas para a sub-base são mais viáveis, portanto serão elas os objetos de pesquisa para este tópico.

6.4.1 COMPOSIÇÃO ORIGINAL

Para este trabalho, foi selecionada a composição unitária de custos de execução de Base, sem desoneração, do mês de abril de 2016, através desta será feito o orçamento para a camada de sub-base, uma vez a mesma demanda os mesmos recursos para a base. Não serão apresentados valores referentes ao material, visto que estes estão inclusos nas atividades auxiliares.

Tabela 45 – Composição de custos para base estab. granulométricamente sem mistura.

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS							
Construção rodoviária (Valores em R\$)							
DERPAV004	Base de solo estabilizado granulométricamente s/ mistura	Prod. Equipe: 168,00 m³					
A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E007	Trator Agrícola (74 KW)	1	0,52	0,48	90,19	18,47	55,76
E013	Rolo Comp. Pé Carn. Auto Prop. 11,25t Vib. (82KW)	1	1		141,07	18,47	141,07
E101	Grade de Discos GA 24 X 24	1	0,52	0,48	3,38		1,76
E105	Rolo Comp. de Pneus Auto Prop. 25T (98KW)	1	0,78	0,22	151,31	18,47	122,09
E404	Caminhão Basculante 10,0 m³ (15,0 t) (210 KW)	1,49	1		186,36	21,97	277,68
E407	Caminhão tanque - 10.000 l (210W)	2	0,54	0,46	186,42	21,97	221,55
					Custo horário total		974,01
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T511	Encarregado de pavimentação	1	49,85		49,85		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		88,31		
	Adic. mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 15,51%				13,7	
		Total execução do serviço			1076,02		
		Custo unitário execução do serviço			6,4		
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário	
DERAUX052	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	0,7	m²	0,5		0,35	
DERAUX054	Expurgo de jazida (const e restr)	0,2	m³	2,6		0,52	
DERAUX058	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	1,15	m³	6,75		7,76	
				Custo total das atividades		8,63	
				Custo Unitário Direto Total		15,03	
				Lucro e despesas indiretas		30,37%	
						4,56	
				Preço unitário total		19,59	

Fonte: Página do Governo do Estado de Rondônia - <http://www.rondonia.ro.gov.br/>

Não apresentando qualquer valor referente ao transporte, separadamente, visto que a composição DERAUX058 inclui os gastos com transportes dos materiais. A DERPAV004 será alterada de acordo com o novo valor da DERAUX058, que é a composição que sofrerá as alterações devido ao uso do RCD.

Tabela 46 – Composição de custos para escavação e carga de material de jazida.

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS								
Construção rodoviária (Valores em R\$)								
DERAUX058 Escavação e carga de material de jazida (const. e restr.)		Prod. Equipe: 165,00 m³						
A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário	
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.		
E002	Trator de Esteira com Lâmina (108KW)	1	1		233,47	26,18	233,47	
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1	
E010	Rolo Comp.Pé Carn. Auto Prop.11,25t Vib.(82KW)	1	0,77	0,23	263,59	26,18	208,99	
					Custo horário total		596,56	
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário			
T501	Encarregado de turma	1	35,24		35,24			
T701	Servente	3	12,82		38,46			
					Custo horário total			73,7
Adicionais mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)		Adicional mão de obra: 20,51%			15,12			
					Total execução do serviço			685,38
					Custo unitário execução do serviço		4,15	
C	Materiais	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário		
M980	Indenização de jazida	1	m³	2,6		2,6		
					Custo total materiais		2,6	
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário		
E	Transporte	Ton/unid de serviço		DMT	Preço unitário		Custo unitário	
					Custo Unitário Direto Total		6,75	
					Lucro e despesas indiretas			
					Preço unitário total		6,75	

Fonte: Página do Governo do Estado de Rondônia - <http://www.rondonia.ro.gov.br/>

6.4.2 30% RCD

A partir das composições definidas, foram geradas novas versões com a alteração proposta por este trabalho, diferentemente da apresentação anterior, com os custos estabelecidos pelo DER, os resultados a seguir serão exibidos invertendo-se a ordem da apresentação das composições, para facilitar a compreensão do efeito de custo do RCD empregado.

Tabela 47 – Resultado análise econômica Atividades Auxiliares 30% RCD.

A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E002	Trator de Esteira com Lâmina (108KW)	1	1		233,47	26,18	233,47
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E010	Rolo Comp.Pé Carn. Auto Prop.11,25t Vib.(82KW)	1	0,77	0,23	263,59	26,18	208,99
					Custo horário total		596,56
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T501	Encarregado de turma	1	35,24		35,24		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		73,7		
	Adicionais mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 20,51%		15,12			
		Total execução do serviço		685,38			
		Custo unitário execução do serviço		4,15			
C	Materiais	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
M980	Indenização de jazida	0,7	m ³	2,60	1,82		
	Compra de RCD cinza	0,3	m ³	40,00	12,00		
				Custo total materiais	13,82		
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
E	Transporte	Ton/unid de serviço		DMT	Preço unitário	Custo unitário	
					Custo Unitário Direto Total		17,97
					Preço unitário total		17,97

Fonte: Autoria própria.

Para este caso, como já proposto desde o início do trabalho, foi incorporado ao material o RCD na proporção determinada de 30%, considerando então os outros 70%, composto por solo natural. O valor resultante corresponde à DERAUX058 alternativa, criada para demonstrar uma nova opção para o material. Em seguida este valor é inserido na composição da obra rodoviária em si, gerando outra versão, também alternativa da DERPAV004, não considerando os valores de lucros e despesas indiretas, já que os mesmos podem variar com facilidade, conforme o resultado:

Tabela 48 – Resultado análise geral econômica 30% RCD.

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS							
Construção rodoviária (Valores em R\$)							
DERPAV004	Sub-base de solo estabilizado granulométricamente s/ mistura	Prod. Equipe: 168,00 m ³					
A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E007	Trator Agrícola (74 KW)	1	0,52	0,48	90,19	18,47	55,76
E013	Rolo Comp. Pé Carn. Auto Prop. 11,25t Vib. (82KW)	1	1		141,07	18,47	141,07
E101	Grade de Discos GA 24 X 24	1	0,52	0,48	3,38		1,76
E105	Rolo Comp. de Pneus Auto Prop. 25T (98KW)	1	0,78	0,22	151,31	18,47	122,09
E404	Caminhão Basculante 10,0 m ³ (15,0 t) (210 KW)	1,49	1		186,36	21,97	277,68
E407	Caminhão tanque - 10.000 l (210W)	2	0,54	0,46	186,42	21,97	221,55
					Custo horário total		974,01
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T511	Encarregado de pavimentação	1	49,85		49,85		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		88,31		
	Adic. mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 15,51%				13,7	
		Total execução do serviço				1076,02	
		Custo unitário execução do serviço				6,4	
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário	
DERAUX052	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	0,7	m ²	0,5		0,35	
DERAUX054	Expurgo de jazida (const e restr)	0,2	m ³	2,6		0,52	
DERAUX058 V. alternativa	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	1,15	m ³	17,97		20,67	
				Custo total das atividades		20,54	
				Custo Unitário Direto Total		26,94	
				Preço unitário total		26,94	

Fonte: Autoria Própria.

6.4.3 40% RCD

A partir das composições definidas, foram geradas novas versões com a alteração proposta por este trabalho, diferentemente da apresentação anterior, com os custos estabelecidos pelo DER, os resultados a seguir serão exibidos invertendo-se a ordem da apresentação das composições, para facilitar a compreensão do efeito de custo do RCD empregado.

Tabela 49 – Resultado análise econômica Atividades Auxiliares 40% RCD.

A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E002	Trator de Esteira com Lâmina (108KW)	1	1		233,47	26,18	233,47
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E010	Rolo Comp.Pé Carn. Auto Prop.11,25t Vib.(82KW)	1	0,77	0,23	263,59	26,18	208,99
					Custo horário total		596,56
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T501	Encarregado de turma	1	35,24		35,24		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		73,7		
	Adicionais mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 20,51%		15,12			
		Total execução do serviço		685,38			
		Custo unitário execução do serviço		4,15			
C	Materiais	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
M980	Indenização de jazida	0,6	m ³	2,60	1,56		
	Compra de RCD cinza	0,4	m ³	40,00	16,00		
				Custo total materiais	17,56		
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
E	Transporte	Ton/unid de serviço		DMT	Preço unitário		Custo unitário
					Custo Unitário Direto Total		21,71
					Preço unitário total		21,71

Fonte: Autoria própria.

Para este caso, como já proposto desde o início do trabalho, foi incorporado ao material o RCD na proporção determinada de 40%, considerando então os outros 60%, composto por solo natural. O valor resultante corresponde à DERAUX058 alternativa, criada para demonstrar uma nova opção para o material. Em seguida este valor é inserido na composição da obra rodoviária em si, gerando outra versão, também alternativa da DERPAV004, não considerando a possibilidade de alteração nos lucros e despesas indiretas, conforme o resultado:

Tabela 50 – Resultado análise geral econômica 40% RCD.

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS							
Construção rodoviária (Valores em R\$)							
DERPAV004	Sub-base de solo estabilizado granulométricamente s/ mistura	Prod. Equipe: 168,00 m³					
A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E007	Trator Agrícola (74 KW)	1	0,52	0,48	90,19	18,47	55,76
E013	Rolo Comp. Pé Carn. Auto Prop. 11,25t Vib. (82KW)	1	1		141,07	18,47	141,07
E101	Grade de Discos GA 24 X 24	1	0,52	0,48	3,38		1,76
E105	Rolo Comp. de Pneus Auto Prop. 25T (98KW)	1	0,78	0,22	151,31	18,47	122,09
E404	Caminhão Basculante 10,0 m³ (15,0 t) (210 KW)	1,49	1		186,36	21,97	277,68
E407	Caminhão tanque - 10.000 l (210W)	2	0,54	0,46	186,42	21,97	221,55
					Custo horário total		974,01
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T511	Encarregado de pavimentação	1	49,85		49,85		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		88,31		
	Adic. mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 15,51%				13,7	
		Total execução do serviço			1076,02		
		Custo unitário execução do serviço			6,4		
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário	
DERAUX052	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	0,7	m²	0,5		0,35	
DERAUX054	Expurgo de jazida (const e restr)	0,2	m³	2,6		0,52	
DERAUX058 V. alternativa	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	1,15	m³	21,71		24,96	
				Custo total das atividades		25,84	
				Custo Unitário Direto Total		32,24	
				Preço unitário total		32,24	

Fonte: Autoria própria.

6.4.4 50% RCD

A partir das composições definidas, foram geradas novas versões com a alteração proposta por este trabalho, diferentemente da apresentação anterior, com os custos estabelecidos pelo DER, os resultados a seguir serão exibidos invertendo-se a ordem da apresentação das composições, para facilitar a compreensão do efeito de custo do RCD empregado.

Tabela 51 – Resultado análise econômica Atividades Auxiliares 50% RCD.

A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E002	Trator de Esteira com Lâmina (108KW)	1	1		233,47	26,18	233,47
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E010	Rolo Comp.Pé Carn. Auto Prop.11,25t Vib.(82KW)	1	0,77	0,23	263,59	26,18	208,99
					Custo horário total		596,56
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T501	Encarregado de turma	1	35,24		35,24		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		73,7		
	Adicionais mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 20,51%		15,12			
		Total execução do serviço		685,38			
		Custo unitário execução do serviço		4,15			
C	Materiais	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
M980	Indenização de jazida	0,5	m ³	2,60	1,30		
	Compra de RCD cinza	0,5	m ³	40,00	20,00		
				Custo total materiais		21,3	
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário	Custo unitário		
E	Transporte	Ton/unid de serviço		DMT	Preço unitário	Custo unitário	
					Custo Unitário Direto Total		25,45
					Preço unitário total		25,45

Fonte: Autoria própria.

Para este caso, como já proposto desde o início do trabalho, foi incorporado ao material o RCD na proporção determinada de 50%, considerando então os outros 50%, composto por solo natural. O valor resultante corresponde à DERAUX058 alternativa, criada para demonstrar uma nova opção para o material. Em seguida este valor é inserido na composição da obra rodoviária em si, gerando outra versão, também alternativa da DERPAV004, não considerando a possibilidade de alteração nos lucros e despesas indiretas, conforme o resultado:

Tabela 52 – Resultado análise geral econômica 50% RCD.

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE CUSTOS							
Construção rodoviária (Valores em R\$)							
	Sub-base de mistura solo + RCD estabilizado granulométricamente s/ mistura	Prod. Equipe: 168,00 m³					
A	Equipamento	Qtde	Utilização		Custo operacional		Custo horário
			Operativa	Improd.	Operativa	Improd.	
E006	Motoniveladora (103 KW)	1	0,78	0,22	189,93	27,08	154,1
E007	Trator Agrícola (74 KW)	1	0,52	0,48	90,19	18,47	55,76
E013	Rolo Comp. Pé Carn. Auto Prop. 11,25t Vib.(82KW)	1	1		141,07	18,47	141,07
E101	Grade de Discos GA 24 X 24	1	0,52	0,48	3,38		1,76
E105	Rolo Comp. de Pneus Auto Prop. 25T (98KW)	1	0,78	0,22	151,31	18,47	122,09
E404	Caminhão Basculante 10,0 m³ (15,0 t) (210 KW)	1,49	1		186,36	21,97	277,68
E407	Caminhão tanque - 10.000 l (210W)	2	0,54	0,46	186,42	21,97	221,55
					Custo horário total		974,01
B	Mão de obra	Qtde	Salário hora		Custo horário		
T511	Encarregado de pavimentação	1	49,85		49,85		
T701	Servente	3	12,82		38,46		
			Custo horário total		88,31		
	Adic. mão de obra: Alimentação (9,6%) + Transporte (4,79%) + EPI (1,12%)	Adicional mão de obra: 15,51%				13,7	
		Total execução do serviço			1076,02		
		Custo unitário execução do serviço			6,4		
D	Atividades auxiliares	Qtde	Unidade	Preço unitário		Custo unitário	
DERAUX052	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	0,7	m²	0,5		0,35	
DERAUX054	Expurgo de jazida (const e restr)	0,2	m³	2,6		0,52	
DERAUX058 V. alternativa	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	1,15	m³	25,45		29,27	
				Custo total das atividades		30,14	
				Custo Unitário Direto Total		36,54	
				Preço unitário total		36,54	

Fonte: Autoria própria.

6.4.5 DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos de acordo com as informações selecionadas para esta pesquisa, conclui-se que utilizar o RCD junto ao solo natural na sub-base da pavimentação urbana demanda mais gastos, visto que o material cinza, que é composto por concreto, possui preço maior que o solo. A execução da camada estudada utilizando 30% de RCD em seu material mostrou-se 37,87% mais cara que a execução tradicional, para 40% de RCD, a composição teve valor 64,57% maior que a original, e para 50% de RCD, o valor chegou a ser 86,52% maior. O quadro a seguir expõe todos os valores para a comparação.

Tabela 53 – Comparações entre valores de execução de sub-base com RCD.

Composição	Custos totais	Comp. Original	Diferença (%)
30% RCD	R\$ 26,94	R\$ 19,59	+37,52
40% RCD	R\$ 32,24	R\$ 19,59	+64,57
50% RCD	R\$ 36,54	R\$ 19,59	+86,52

Fonte: Autoria própria.

Para este resultado, a viabilidade depende do ponto de vista de quem irá investir na obra, podendo ser viável se o objetivo for a reaproveitamento de material reciclado, ou não ser viável se o objetivo for economia nos gastos. Deve-se ressaltar também que o preço do RCD cinza pode cair, em caso de negociação entre o comprador e a empresa, dependendo da quantidade encomendada, o que pode resultar em custos totais menores que os apresentados anteriormente, porém, como a quantidade influencia diretamente no valor total, inevitavelmente a mistura com 30% de RCD será a mais econômica entre as três, o que a torna a melhor opção neste trabalho, dado que este considera de maior urgência a preservação dos recursos naturais, do que a busca por diminuição de gastos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os devidos estudos relacionados ao descarte de RCD e à produção de agregado reciclado no Município de Porto Velho, é possível notar que o mesmo encontra-se ainda, quase sempre, descartando os resíduos produzidos de forma inadequada, o que não coopera com a reciclagem do material. Um plano municipal de gestão desses resíduos levaria a Capital a um desenvolvimento quanto à preservação de seus recursos naturais, bem como da saúde de moradores que mantêm contato com o material depositado em um lixão a céu aberto, e da estética da cidade que representa o Estado de Rondônia. A usina de reciclagem implantada há mais de um ano em Porto Velho oferece condições para que a gestão municipal passe a incentivar a coleta seletiva, mudando completamente não apenas a forma de se descartar resíduos, mas também a consciência ecológica de mais de meio milhão de pessoas que residem na Capital. De acordo com os resultados dos ensaios realizados, o RCD pode ser utilizado junto ao solo da cidade de Porto Velho na camada de sub-base da pavimentação urbana, desde que haja o devido tratamento do mesmo, o que é feito na usina própria para sua reciclagem, ou ainda selecionando apenas materiais compostos por concreto, considerados mais resistentes, aplicando-os, a princípio, apenas em vias locais, que recebem menores solicitações provenientes do tráfego. A execução teria custos maiores, de acordo com a análise orçamentária, dependendo da quantidade de material reciclado usado, sendo assim, pode-se afirmar que os objetivos deste trabalho foram atingidos, visto que procederam-se as verificações do desempenho de cada mistura em cada camada e da viabilidade econômica da aplicação da alternativa, considerando suas vantagens do ponto de vista ecológico, expondo a realidade de Porto Velho quanto ao descarte de RCD. Trata-se de uma opção ecologicamente mais saudável, uma vez que a gestão estará dando fim próprio para o entulho, ocasionando as diminuições do RCD acumulado e da exploração da natureza para extração de material para pavimentação, mostrando cuidado com a cidade de Porto Velho. A alternativa proposta por este trabalho não fere ou contraria qualquer legislação relacionada ao descarte de resíduos da construção civil, dado que visa ajudar a diminuir o não cumprimento de tal legislação, o que vem ocorrendo no Município. Futuramente pretende-se desenvolver novos ensaios com novas misturas, inclusive para a camada de revestimento do pavimento, para que seja verificada a viabilidade do agregado reciclado em diferentes situações. Este trabalho pode servir como referência para que a alternativa proposta seja implantada na Capital.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. – **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. Anais. IBRACON. São Paulo, SP. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE) – **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014**. São Paulo, SP. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6021** – Informação e documentação – Publicação periódica técnica e/ou científica - Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022** – Informação e documentação – Artigo em publicação periódica científica impressa – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023** – Informação e documentação – Referências – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024** – Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027** – Informação e documentação – Sumário – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028** – Informação e documentação – Resumo – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6029** – Informação e documentação – Livros e folhetos – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6032** – Informação e documentação – Abreviação de títulos de periódicos e publicações seriadas – Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457** – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520** – Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10790** – Informação e documentação – Relatório técnico e/ou científico - Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724** – Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo e concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15287** – Informação e documentação – Projeto de pesquisa - Apresentação. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON) – **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015**. São Paulo, SP. 2015.

BALBO, J. T. – **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração**. São Paulo, SP: Oficina de Textos. 2007.

BALBO, J. T.; DORNELAS, R. C. - **Custos de reciclagem de pavimentos de concreto e seu potencial econômico na realidade brasileira**. *Transportes* v. 23, n. 2, p. 75-84. São Paulo, SP. 2015.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, G. M. L.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. - **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BODI, J.; BALBO, J. T. – **Modelos para priorização de serviços de manutenção de pavimentos urbanos**. 31º Reunião anual de pavimentação. São Paulo, SP. 1998.

BRASÍLIA, DF. Presidência da República, Casa Civil. **Lei Nº 12.305** de 20 de dezembro de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências.

CAMOLEIS, L. C.; BUENO, J. R. P.; SILVA, J. H. N. – **A empregabilidade dos resíduos de construção civil e demolição (RCD): Benefícios ambientais**. *Revista Científica*, Centro Universitário de Araras – UNAR, vol. 10, n. 1. Araras, SP. 2015

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. – **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. UFBA: Caixa Econômica. Salvador, BA. 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) – **Resolução Nº 307 de 5 de julho de 2002**. Brasília, DF.

COSTA, N.; COSTA JR., N.; LUNA, M.; SELIG, P.; ROCHA, J. – **Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: Uma análise multivariada**. *Eng. Sanit. Ambient.*, 2007, vol.12, n.4, pp.446-456. Florianópolis, SC.

CUIABÁ, MT. Câmara municipal. **Lei Nº 6.037** de 22 de dezembro de 2015 que dispõe sobre a receita e despesa do Município de Cuiabá para o ano de 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT) – **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 106**: Terraplenagem - Cortes - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 108**: Terraplenagem - Aterros - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 138**: Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 139**: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 172**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 041**: Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização – Método de ensaio. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 080**: Solos – Análise granulométrica por peneiramento – Método de ensaio. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 082**: Solos – Limite de plasticidade – Método de ensaio. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 122**: Solos – Determinação do limite de liquidez – Método de ensaio. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 213**: Solos – Determinação do teor de umidade – Método de ensaio. 1994.

ESPINELLI, U. **A gestão do consumo de materiais como instrumento para a redução da geração de resíduos nos canteiros de obras**. Em: SEMINÁRIO DE GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – AVANÇOS E DESAFIOS, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC USP, 2005.

FERNANDES, C. G. – **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de demolição e construção dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação**. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

FRANCO, F. A. C. P. – **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV**. Rio de Janeiro, RJ. 2007.

FILHO, G. M. – **Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável – Conceitos e princípios**. *Textos de Economia*, v. 4, a. 1, p. 131-142. Florianópolis, SC. 1993.

GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA – **Composição de custos unitários para construção rodoviária**. – Disponível em: <<http://www.rondonia.ro.gov.br/publicacao/comp-constr-abril-2016-adequacao-asfalto-sem-desoneracao/>>. Acesso em 02/01/2017.

GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA – **Composição de custos unitários para atividades auxiliares**. – Disponível em: <<http://www.rondonia.ro.gov.br/publicacao/comp-auxiliar-abril-2016-adequacao-asfalto-sem-desoneracao/>>. Acesso em 02/01/2017.

HORTEGAL, M. V.; FERREIRA, T. C.; SANT’ANA, W. C. – **Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para a pavimentação de São Luiz/MA**. *Pesquisa em Foco*, v. 17, n.2, p. 60-74. São Luiz, MA. 2009.

KARPINSKI, L. A.; GUIMARÃES, J. C. B.; PANDOLFO, A.; PANDOLFO, L. M.; REINEHER, R.; KUREK, J. – **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil – Uma abordagem ambiental**. EdiPUCRS, Porto Alegre, RS. 2009.

KER, J. C. – **Latossolos do Brasil: Uma revisão**. *Geonomos*, 5(1):17-40 Viçosa, MG. 1997.

LEITE, F. C. – **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. São paulo, SP. 2007.

LIMA, G. C. – **O discurso da sustentabilidade e suas implicações para a educação**. *Ambiente & Sociedade*, Vol. 6, n.º.2 [online]. 2003.

MANAUS, AM. Câmara municipal. **Lei Nº 2.077** de 29 de dezembro de 2015 que altera os dispositivos que especifica da Lei n. 1.831, de 30 de dezembro de 2013, que dispõe sobre o Plano Plurianual do Município para o período de 2014 a 2017.

MARTINS, C. – **Ditadura, grandes projetos e colonização no cotidiano da Transamazônica**. *Revista Contemporânea*, vol.1, Ano 4, nº 5. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

MATTOS, A. D. – **Como preparar orçamentos de obras**. São Paulo, SP: Editora Pini. 2007.

MENDES, F.; LEAL, E.; COSTA, L. - **Desafios para o tratamento do resíduo da construção e demolição (RCD) nas cidades metropolitanas brasileiras**. 201-.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE GOIÁS, disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina_24.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2016.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, D. E. - **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. *Ambiente Construído*, v. 9, n. 1, p. 57-71. Porto Alegre, RS. 2009.

NASCIMENTO, C. P.; SANTOS, C.; SILVA, M. – **Porto Velho: A produção do espaço urbano de Rondônia (1980/2010)**. *Revista Geografar*, v.7, n.1, p. 20-52. Curitiba, PR. 2012.

PALMAS, TO. Câmara Municipal. **Lei Nº 2.223** de 31 de dezembro de 2015 que estima a receita e fixa a despesa, para o exercício financeiro de 2016.

PORTO VELHO, RO. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão. **Lei Nº 2.275** de 28 de dezembro de 2015 que dispõe sobre a receita e despesa do Município de Porto Velho para o ano de 2016.

PRS RECICLADORA - **Projeto de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil em Porto Velho**. Porto Velho, RO. 2014.

RIO BRANCO, AC. Câmara Municipal. **Lei Nº 2.162** de 30 de dezembro de 2015 que dispõe sobre a receita e despesa do Município de Rio Branco para o ano de 2016.

SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; FIORELI-PERIRA, E. C.; PEQUENO, P. L. L.; MILITÃO, J. S. T. L. – **Solos de Rondônia: Usos e perspectiva**. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, vol. 1. Porto Velho, RO. 2012.

SENÇO, W. – **Manual de técnicas de pavimentação**. Vol. 2, ed. 1, Pini. São Paulo, SP. 2001.

SILVA, A. B.; MACIEL, J. C. S. – **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** *Revista Igapó*, 2009/01. Manaus, AM.

YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. – **Principles of pavement design.** Wiley-Interscience, John Wiley and sons inc. New York, 1975.

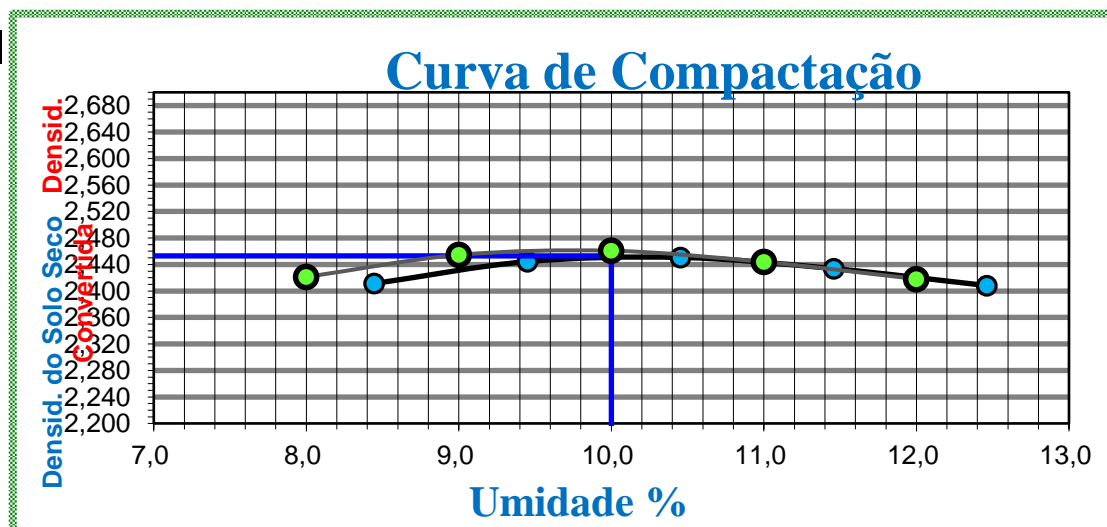
ZORZI, C. - **Caracterização dos solos tropicais lateríticos para reforço de pavimentos.** Itatiba, SP. 2008.

ZWAN, J.T. - **Application of waste materials – a success now, a success in the future.** In: *Waste Materials in Constructions: Putting Theory Into Practice.* Delft, Netherlands. 1997.

ANEXO A – RESULTADOS DOS ENSAIOS BASE COM 30% RCD

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

Obra:	ESTUDO DE VIABILIDADE	REGISTRO	RG1	Materia l	SOLO + RCD		
Trecho:	Data:		24-nov-2016	Estaca :	-	Camada	-
Sub-trecho :	PROCTOR		Modificado	Estudo:	Base	FURO	1
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO							
TEOR DE UMIDADE	DNER-ME - 164/2013					HIGROSCOPICA	
Cápsula - N°						99	7
Peso Bruto Úmido						44,00	54,40
Peso Bruto Seco						43,88	54,24
Peso da Cápsula						14,60	15,70
Peso da Água	480	540	600	660	720	0,12	0,16
Peso do Solo Seco						29,28	38,54
Umidade (%)						0,41	0,42
Umidade Calculada (%)	8,4	9,4	10,5	11,5	12,5	0,4	
	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	H A	ADD
ENSAIO	1	2	3	4	5	6	MASSA
N° do Cilindro	44	44	44	44	44		P. UMID 6.000,00
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9686	9811	9876	9888	9879		K 1 0,9959
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281		P. SECO 5.975,35
Peso do Solo Úmido	5405	5530	5595	5607	5598		AGUA 24,65
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067		Molde n° 44
Densidade do Solo Úmido	2,615	2,675	2,707	2,713	2,708		Peso 4281
Densidade do Solo Seco	2,411	2,444	2,451	2,434	2,408		Volume 2067



Úmidade Ótima:	10,0 %
Densidade Seca Máxima:	2,453 g/cm ³
Úmidade Convertida	
Densidade Convertida:	

Felipe Alexandre Soares de Oliveira

LABORATORISTA

Hamerson Andre M. Pereira

ENGENHEIRO

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

ENSAIO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

DNER-ME - 049/94

OBRA/TRECHO:		ESTUDO:				DATA:
ESTUDO DE VIABILIDADE		Base				- 25-nov-16
FURO	1	MATERIAL:		ENERGIA:	OPERADOR:	REGISTRO
-	-	SOLO + RCD		56	THALISSON	1
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA						
UMIDADES	HIGROSCÓPICA			DE MOLDAGEM	APÓS SATURAÇÃO	
Cápsula nº	99	7		162	151	
Peso da C+S+A (g)	44,00	54,40		40,30	54,50	
Peso da C+S(g)	43,88	54,24		37,40	50,80	
Peso da Água(g)	0,12	0,16		2,90	3,70	
Peso da Cápsula(g)	14,60	15,70		9,30	15,10	
Peso do Solo Seco(g)	29,28	38,54		28,10	35,70	
Teor de Umidade(%)	0,41	0,42		10,32	10,36	
Umidade Média(%)	0,4%			10,3%		
UMID. ÓTIMA(%)	10,0%	AMOSTRA ÚMIDA(g)	6000,0	ÁGUA A ADICIONAR(ml)	572,9	

CONTROLE TECNOLÓGICO DE QUALIDADE

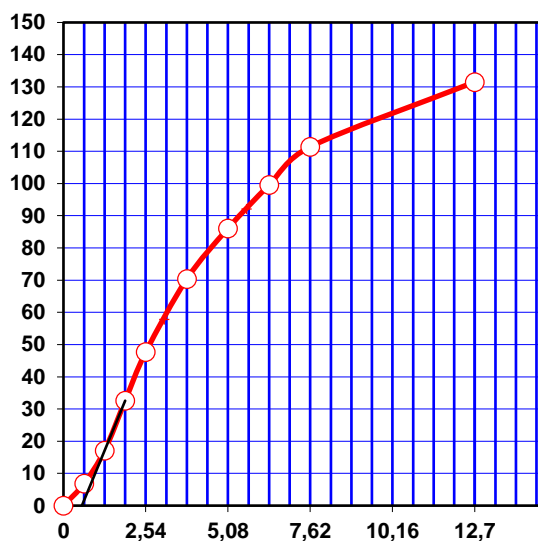
LABORATÓRIO DE SOLOS

COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA					EXPANSÃO			
MOLDAGE M			ÓTIMA	SATURA DO	Altura do Corpo de Prova(mm)		114,00	
Cilindro nº			41		DATA	Tempo	Leitura	Expansão
Água Adicionada(ml)			573			Decorrido	Deflet.	(%)
Peso do Cilindro+Solo Úmido(g)			8730			(Dias)	(mm)	-
Peso do Cilindro(g)			4070		17/11/2016	00:00	2,00	1,75
Peso do Solo Úmido(g)			4660		18/11/2016	24:00		0,00
Volume do Cilindro(cm³)			2049		19/11/2016	48:00		0,00
Densid. Aparente Úmida(g/cm³)			2,274		20/11/2016	72:00		0,00
Densid. Aparente Seca(g/cm³)			2,061		21/11/2016	96:00	2,55	2,24

GRÁFICO PRESSÃO PENETRAÇÃO

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO

Constante do Anel				0,2011
Tempo (min.)	Penet. (mm)	Leitura 0,001m	Pressão (kgf/cm²)	
0,5	0,64	34	6,8	
1	1,27	85	17,1	
1,5	1,91	162	32,6	
2	2,54	237	47,7	
3	3,81	350	70,4	
4	5,08	428	86,1	
5	6,35	495	99,5	
6	7,62	554	111,4	
10	12,70	654	131,5	



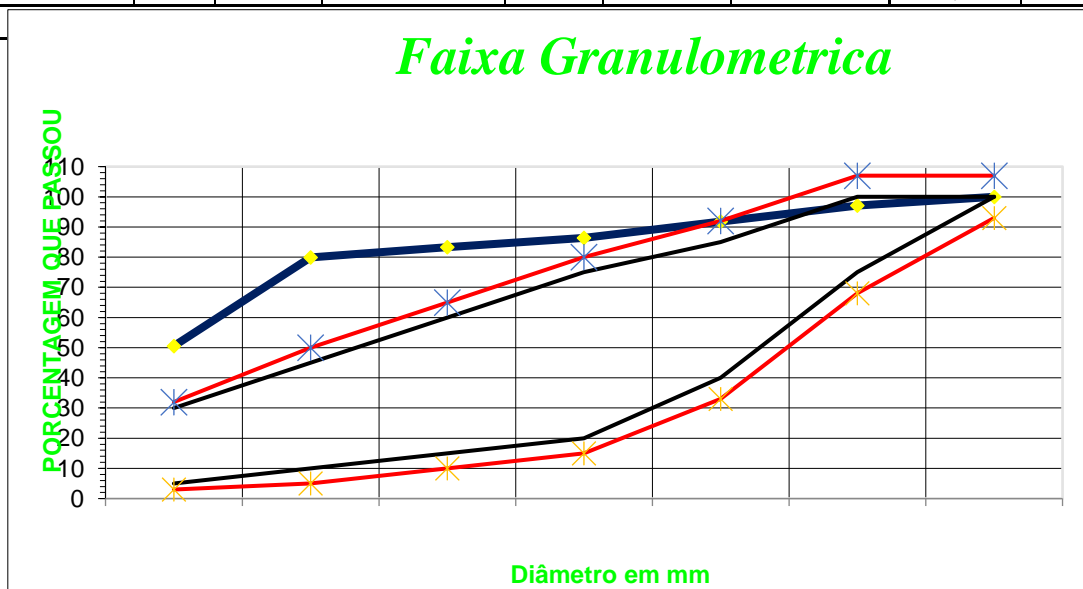
CÁLCULO DO I.S.C.

Leitura (mm)	Pressão Aplic.	Corrigida	I.S.C. (%)
2,54	47,7	57,8423669	82,3
5,08	86,1	92,1077175	87,3

D. MÁX(g/cm³)=	2,453	H. ÓT.(%)=	10,0%	I.S.C.(%)=	87	Exp.(%)	0,48%
----------------	-------	------------	-------	------------	----	---------	-------

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

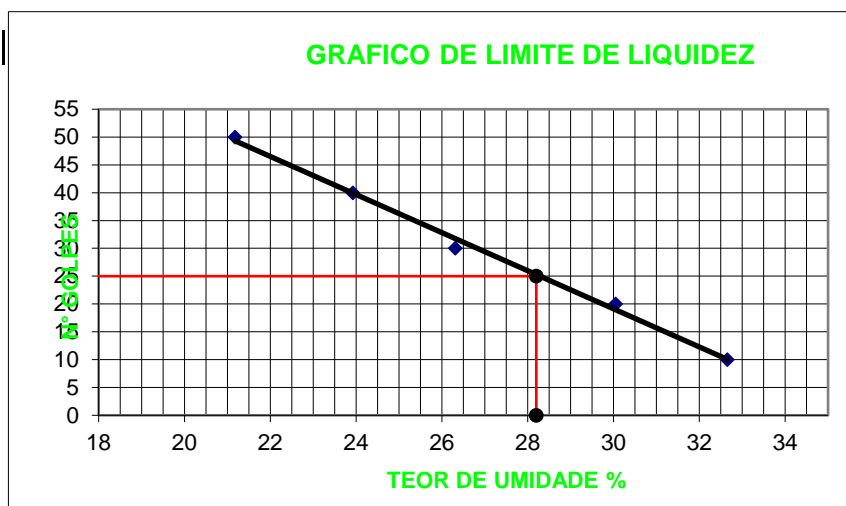
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO - DNER-ME 080/94							
UMIDADE			%	%	AMOSTRA	TOTAL	
					A		
CÁPSULA - N°			5	7	CÁPSULA N°		
P. BRUTO ÚMIDO			97,56	88,84	PESO BRUTO ÚMIDO		
P. BRUTO SECO			96,60	87,90	PESO ÚMIDO	2000,00	
P. DA CÁPSULA			24,65	22,17	PESO RETIDO NA # N° 10	328,70	
P. DA ÁGUA			0,96	0,94	PESO ÚMIDO PASS. NA # N° 10	1671,30	
P. DO SOLO SECO			71,95	65,73	PESO SECO PASS. NA # N° 10	1648,51	
UMIDADE			1,33	1,43	PESO DA AMOSTRA SECA	1972,73	
UMIDADE MÉDIA			1,4			197,27	
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	% DA AMOSTRA TOTAL	% RETIDA ACUMULADA	% QUE PASSA DA AM. TOTAL	CONSTANTES $K 1 = \frac{100}{1972,73} = 0,051$ $K 2 = \frac{83,34}{197,27} = 0,4224$
	POL	mm					
	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0	
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0	
	3/4	19,1	57,10	2,89	2,89	97,1	
	3/8	9,5	104,70	5,31	8,20	91,8	
	4	4,8	107,00	5,42	13,63	86,4	
	10	2	59,90	3,04	16,66	83,3	
AM. PARCIAL	40	0,42	8,10	4,11	95,89	79,9	
	200	0,074	69,50	35,23	60,66	50,6	
FAIXA : A "A" ABNT OBS.: DATA : 25-nov-16 OPERADOR : DIOGLAMIS							



ENSAIOS FÍSICOS

ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94					LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
	135	126	108	92	80	145	153	107	87	134
CÁPSULA - N°										
P. BRUTO ÚMIDO	12,02	11,20	10,80	14,06	11,90	7,00	7,10	7,40	8,00	6,50
P. BRUTO SECO	10,80	10,20	9,80	12,20	10,45	6,80	6,98	7,25	7,80	6,35
P. DA CÁPSULA	5,04	6,02	6,00	6,01	6,01	5,09	6,00	6,02	6,09	5,04
P. DA ÁGUA	1,22	1,00	1,00	1,86	1,45	0,20	0,12	0,15	0,20	0,15
P. DO SOLO SECO	5,76	4,18	3,80	6,19	4,44	1,71	0,98	1,23	1,71	1,31
UMIDADE	21,2	23,9	26,3	30,0	32,7	11,7	12,2	12,2	11,7	11,5
N° GOLPES	50	40	30	20	10	OK	OK	OK	OK	OK

GRAFICO DE LIMITE DE LIQUIDEZ



RESUMO DOS ENSAIOS

LIMITE DE LIQUIDEZ
28,2
LIMITE DE PLASTICIDADE
11,9
ÍNDICE DE PLASTICIDADE
16,3
ÍNDICE DE GRUPO
5,4
CLASSIFICAÇÃO HRB
A-6
EQUIVALENTE DE AREIA

ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS BASE COM 40% RCD

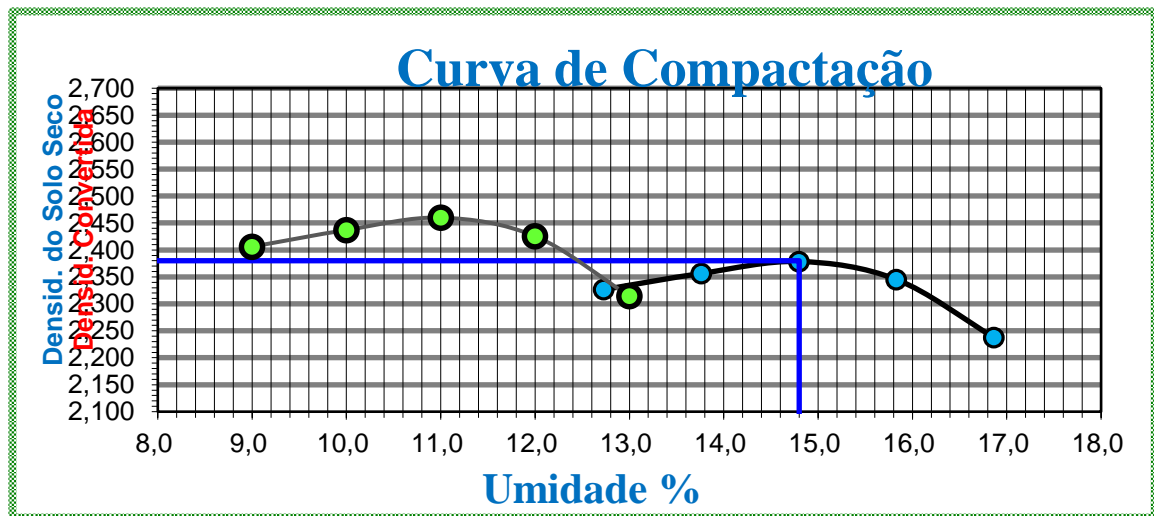
LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

Obra:	ESTUDO DE VIABILIDADE	REGISTRO	RG2	Materia l	SOLO + RCD		
Trecho:	Data:		24-nov-2016	Estaca :	-	Camada	-
Sub-trecho:	PROCTOR		Modificado	Estudo:	Base	FURO	2

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

TEOR DE UMIDADE	DNER-ME - 164/2013					HIGROSCOPICA		
Cápsula - N°						66	32	
Peso Bruto Úmido						38,00	45,00	
Peso Bruto Seco						36,75	43,65	
Peso da Cápsula						2,00	2,00	
Peso da Água	540	600	660	720	780	1,25	1,35	
Peso do Solo Seco						34,75	41,65	
Umidade (%)						3,60	3,24	
Umidade Calculada (%)	12,7	13,8	14,8	15,8	16,9	3,4		

ENSAIO	9,00					10,00					11,00					12,00					13,00					H A ADD	MASSA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
N° do Cilindro	44	44	44	44	44																P. UMID	6.000,00					
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9702	9822	9925	9896	9687																K 1	0,9669					
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281																P. SECO	5.801,63					
Peso do Solo Úmido	5421	5541	5644	5615	5406																AGUA	198,37					
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067																Molde n°	44					
Densidade do Solo Úmido	2,623	2,681	2,731	2,716	2,615																Peso	4281					
Densidade do Solo Seco	2,327	2,356	2,379	2,345	2,238																Volume	2067					



Úmidade Ótima: 14,8 %

Densidade Seca Máxima:	2,380 g/cm ³
Úmidade Convertida:	
Densidade Convertida:	

Felipe Alexandre Soares de Oliveira

LABORATORISTA

Hamerson Andre M. Pereira

ENGENHEIRO

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

ENSAIO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

DNER-ME - 049/94

OBRA/TRECHO:		ESTUDO:				DATA:	
ESTUDO DE VIABILIDADE		Base				- 25-nov-16	
FURO	2	MATERIAL:		ENERGIA:	OPERADOR:		REGISTRO
-	-	SOLO + RCD		56	THALISSON		2
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA							
UMIDADES	HIGROSCÓPICA			DE MOLDA GEM	APÓS SATURAÇÃO		
Cápsula n°	66	32		69	46		
Peso da C+S+A (g)	38,00	45,00		47,00	44,30		
Peso da C+S(g)	36,75	43,65		43,00	40,50		
Peso da Água(g)	1,25	1,35		4,00	3,80		
Peso da Cápsula(g)	2,00	2,00		14,40	14,10		
Peso do Solo Seco(g)	34,75	41,65		28,60	26,40		
Teor de Umidade(%)	3,60	3,24		13,99	14,39		
Umidade Média(%)	3,4%			14,2%			
UMID. ÓTIMA(%)	14,8%	AMOSTRA ÚMIDA(g)		6000,0	ÁGUA A ADICIONAR(ml)	660,3	

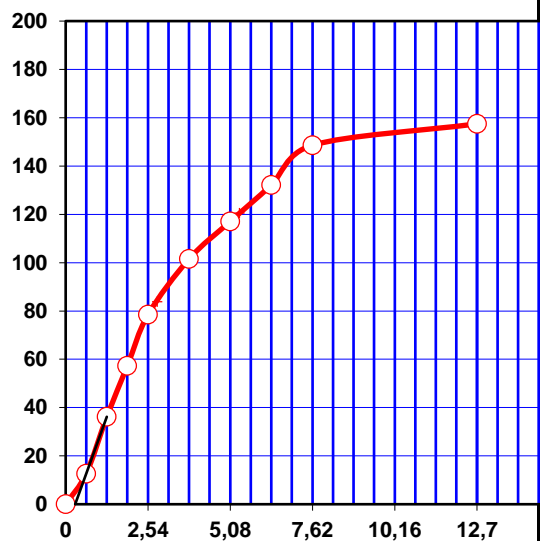
CONTROLE TECNOLÓGICO DE QUALIDADE

LABORATÓRIO DE SOLOS

COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA					EXPANSÃO			
MOLDAGEM			ÓTIMA	SATURADO	Altura do Corpo de Prova(mm)			114,00
Cilindro nº			43		DATA	Tempo	Leitura	Expansão
Água Adicionada(ml)			660			Decorrido	Deflet.	(%)
Peso do Cilindro+ Solo Úmido(g)			8492			(Dias)	(mm)	-
Peso do Cilindro(g)			5121		17/11/2016	00:00	2,00	1,75
Peso do Solo Úmido(g)			3371		18/11/2016	24:00		0,00
Volume do Cilindro(cm³)			2076		19/11/2016	48:00		0,00
Densid. Aparente Úmida(g/cm³)			1,624		20/11/2016	72:00		0,00
Densid. Aparente Seca(g/cm³)			1,422		21/11/2016	96:00	2,15	1,89

GRÁFICO PRESSÃO PENETRAÇÃO

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel			0,2011
Tempo	Penet.	Leitura	Pressão
(min.)	(mm)	0,001m m	(kgf/cm ²)
0,5	0,64	63	12,7
1	1,27	180	36,2
1,5	1,91	285	57,3
2	2,54	390	78,4
3	3,81	505	101,6
4	5,08	582	117,0
5	6,35	657	132,1
6	7,62	739	148,6
10	12,70	783	157,5



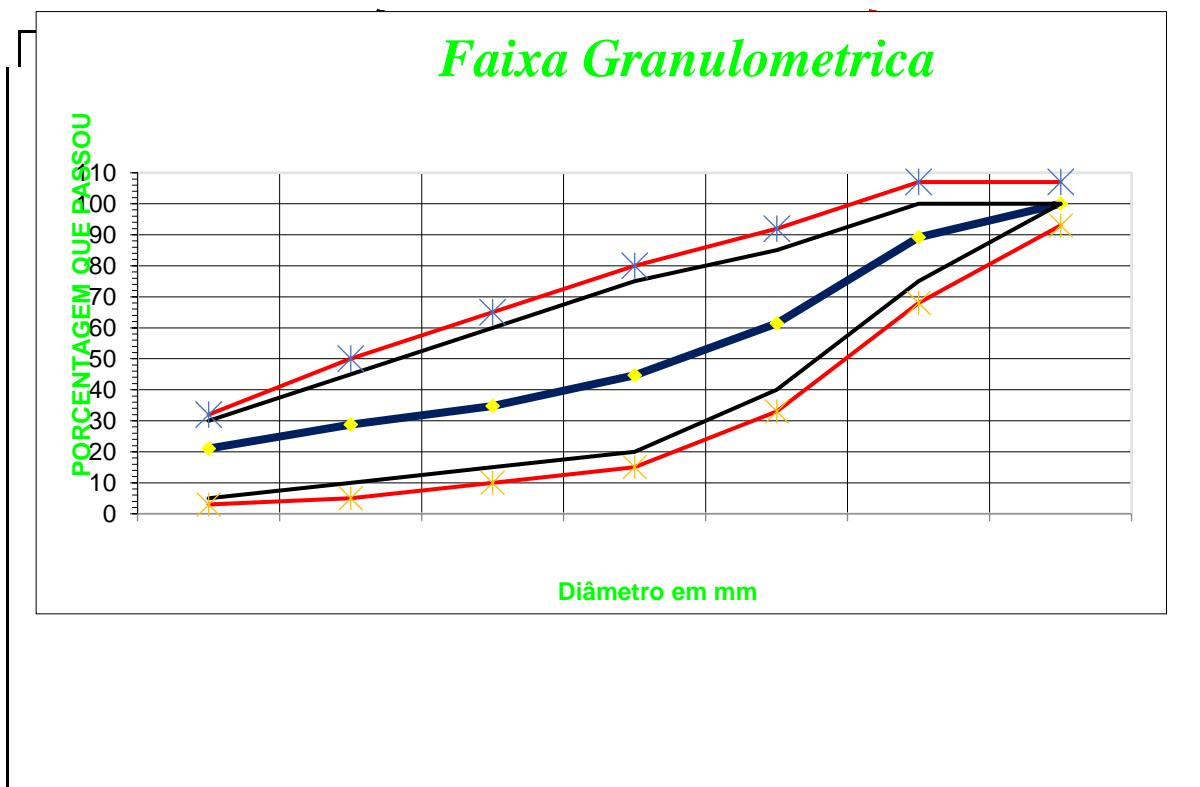
CÁLCULO DO I.S.C.			
Leitura	Pressão		I.S.C.
(mm)	Aplic.	Corrigida	(%)
2,54	78,4	83,7658 846	119,1
5,08	117,0	120,520 777	114,3

D. MÁX(g/cm³)	2,380	H. ÓT.(%)=	14,8%	I.S.C.(%)=	119	Exp.(%)	0,13%
---------------	-------	------------	-------	------------	-----	---------	-------

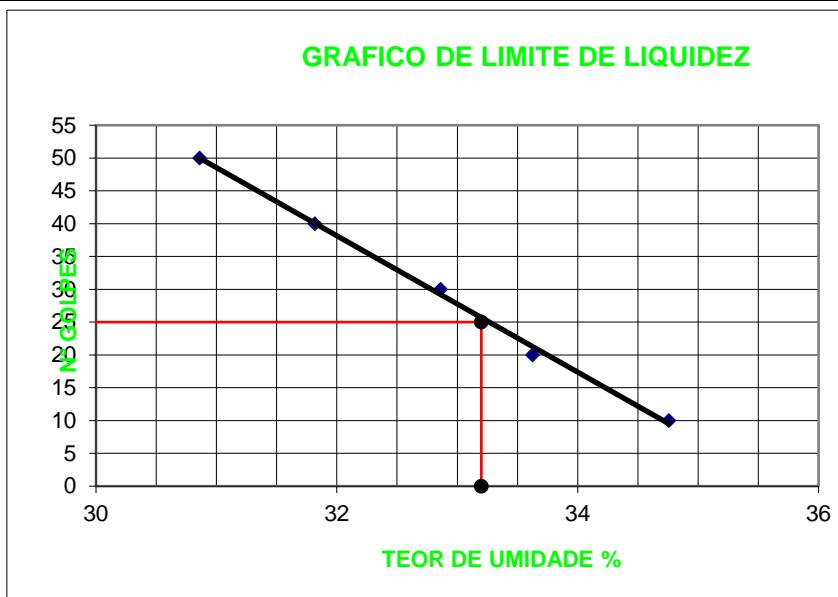
LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

2

ANALISE GRANULOMETRICA POR PENEIRAMENTO - DNER-ME 080/94							
UMIDADE			%	%	AMOSTRA	TOTAL	
					RA	PARCIAL	
CÁPSULA - N°			12	11	CÁPSULA N°		
P. BRUTO ÚMIDO			76,50	75,21	PESO BRUTO ÚMIDO		
P. BRUTO SECO			75,80	74,80	PESO ÚMIDO	2000,00	
P. DA CÁPSULA			24,65	22,17	PESO RETIDO NA # N° 10	1291,30	
P. DA ÁGUA			0,70	0,41	PESO ÚMIDO PASS. NA # N° 10	708,70	
P. DO SOLO SECO			51,15	52,63	PESO SECO PASS. NA # N° 10	701,17	
UMIDADE			1,37	0,78	PESO DA AMOSTRA SECA	1978,75	
UMIDADE MÉDIA			1,1			197,88	
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	% DA AMOSTRA TOTAL	% RETIDA ACULUMADA	% QUE PASSA DA AM. TOTAL	CONSTANTES
	POL	mm					
	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	$K 1 = \frac{100}{\frac{1978,7}{5}} = 0,051$
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0	
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0	
	3/4	19,1	213,60	10,79	10,79	89,2	$K 2 = \frac{34,74}{197,88} = 0,175$
	3/8	9,5	550,20	27,81	38,60	61,4	
	4	4,8	332,00	16,78	55,38	44,6	
10	2	195,50	9,88	65,26	34,7		
AM. PARCIAL	40	0,42	33,80	17,08	82,92	28,8	FAIXA : OBS.: DATA : 25-nov-16 OPERADOR : DIOGLAMIS
	200	0,074	44,20	22,34	60,58	21,0	



ENSAIOS FÍSICOS										
ENSAIOS FISICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94					LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
	CÁPSULA - N°	129	147	39	6	76	146	81	101	157
P. BRUTO ÚMIDO	11,50	10,00	13,70	12,60	10,80	8,70	5,70	7,70	7,10	6,80
P. BRUTO SECO	10,46	8,81	12,30	11,45	9,58	8,48	5,48	7,48	6,95	6,56
P. DA CÁPSULA	7,09	5,07	8,04	8,03	6,07	7,08	4,07	6,07	6,00	5,09
P. DA ÁGUA	1,04	1,19	1,40	1,15	1,22	0,22	0,22	0,22	0,15	0,24
P. DO SOLO SECO	3,37	3,74	4,26	3,42	3,51	1,40	1,41	1,41	0,95	1,47
UMIDADE	30,9	31,8	32,9	33,6	34,8	15,7	15,6	15,6	15,8	16,3
N° GOLPES	50	40	30	20	10	OK	OK	OK	OK	OK



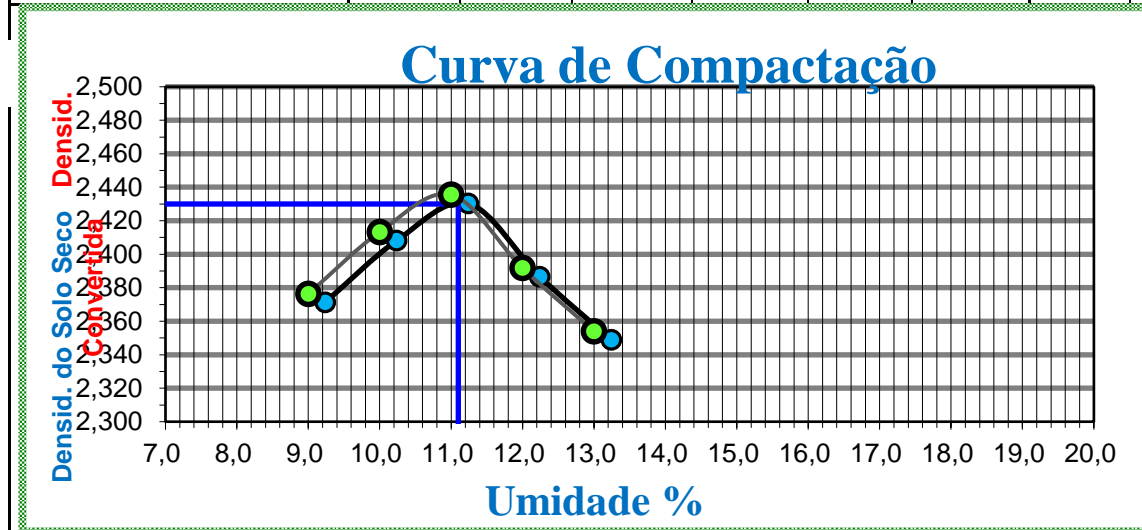
RESUMO DOS ENSAIOS

LIMITE DE LIQUIDEZ	33,2
LIMITE DE PLASTICIDADE	15,8
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	17,4
ÍNDICE DE GRUPO	0,4
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-2-6
EQUIVALENTE DE AREIA	

ANEXO C – RESULTADOS DOS ENSAIOS BASE COM 50% RCD

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

Obra:	ESTUDO DE JAZIDA	REGISTRO	RG3	Materia l	SOLO + RCD		
Trecho:	JAZIDA KM 4 - BR 319	Data:	24-nov-2016	Estaca :	-	Camada	-
Sub-trecho:		PROCTOR	Modificado	Estudo:	Base	FURO	3
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO							
TEOR DE UMIDADE	DNER-ME - 164/2013					HIGROSCOPICA	
Cápsula - N°						23	18
Peso Bruto Úmido						51,50	46,30
Peso Bruto Seco						51,40	46,25
Peso da Cápsula						15,00	14,00
Peso da Água	540	600	660	720	780	0,10	0,05
Peso do Solo Seco						36,40	32,25
Umidade (%)						0,27	0,16
Umidade Calculada (%)	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	0,2	
	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	H A ADD	
ENSAIO	1	2	3	4	5	6	MASSA
N° do Cilindro	44	44	44	44	44		P. UMID
Peso do Cilindro + Solo Úmido	9635	9768	9869	9818	9779		6.000,00
Peso do Cilindro	4281	4281	4281	4281	4281		0,9979
Peso do Solo Úmido	5354	5487	5588	5537	5498		K 1
Volume do Cilindro	2067	2067	2067	2067	2067		P. SECO
Densidade do Solo Úmido	2,590	2,655	2,703	2,679	2,660		5.987,13
Densidade do Solo Seco	2,371	2,408	2,430	2,387	2,349		AGUA
							12,87
							Molde n°
							44
							Peso
							4281
							Volume
							2067



Úmidade Ótima:	11,1 %
Densidade Seca Máxima:	2,430 g/cm³
Úmidade Convertida:	
Densidade Convertida:	

Felipe Alexandre Soares
de Oliveira
LABORATORISTA

Hamerson Andre M. Pereira
ENGENHEIRO

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

ENSAIO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

DNER-ME - 049/94

OBRA/TRECHO:		ESTUDO:				DATA:
ESTUDO DE JAZIDA		Base		JAZIDA KM 4 - BR 319		25-nov-16
FURO	3	MATERIAL:		ENERGIA:	OPERADOR:	REGISTRO
-	-	SOLO + RCD		56	THALISSON	3
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA						
UMIDADES	HIGROSCÓPICA			DE MOLDA GEM	APÓS SATURAÇÃO	
Cápsula nº	23	18		56	26	
Peso da C+S+A (g)	51,50	46,30		32,40	34,90	
Peso da C+S(g)	51,40	46,25		30,70	33,00	
Peso da Água(g)	0,10	0,05		1,70	1,90	
Peso da Cápsula(g)	15,00	14,00		15,20	14,90	
Peso do Solo Seco(g)	36,40	32,25		15,50	18,10	
Teor de Umidade(%)	0,27	0,16		10,97	10,50	
Umidade Média(%)	0,2%			10,7%		
UMID. ÓTIMA(%)	11,1%	AMOSTRA ÚMIDA(g)		6000,0	ÁGUA A ADICIONAR(ml)	651,7

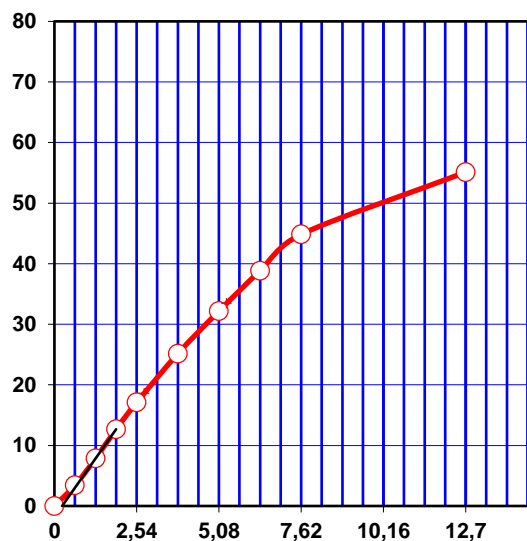
CONTROLE TECNOLÓGICO DE QUALIDADE

LABORATÓRIO DE SOLOS

COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA					EXPANSÃO			
MOLDAGEM			ÓTIMA	SATURADO	Altura do Corpo de Prova(mm)			114,00
Cilindro nº			44		DATA	Tempo	Leitura	Expansão
Água Adicionada(ml)			652			Decorrido	Deflet.	(%)
Peso do Cilindro+ Solo Úmido(g)			9839			(Dias)	(mm)	-
Peso do Cilindro(g)			4281		17/11/2016	00:00	2,00	1,75
Peso do Solo Úmido(g)			5558		18/11/2016	24:00		0,00
Volume do Cilindro(cm³)			2067		19/11/2016	48:00		0,00
Densid. Aparente Úmida(g/cm³)			2,689		20/11/2016	72:00		0,00
Densid. Aparente Seca(g/cm³)			2,428		21/11/2016	96:00	2,21	1,94

GRÁFICO PRESSÃO PENETRAÇÃO

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel			0,2011
Tempo	Penet.	Leitura	Pressão
(min.)	(mm)	0,001m m	(kgf/cm ²)
0,5	0,64	17	3,4
1	1,27	39	7,8
1,5	1,91	63	12,7
2	2,54	85	17,1
3	3,81	125	25,1
4	5,08	160	32,2
5	6,35	193	38,8
6	7,62	223	44,8
10	12,70	274	55,1



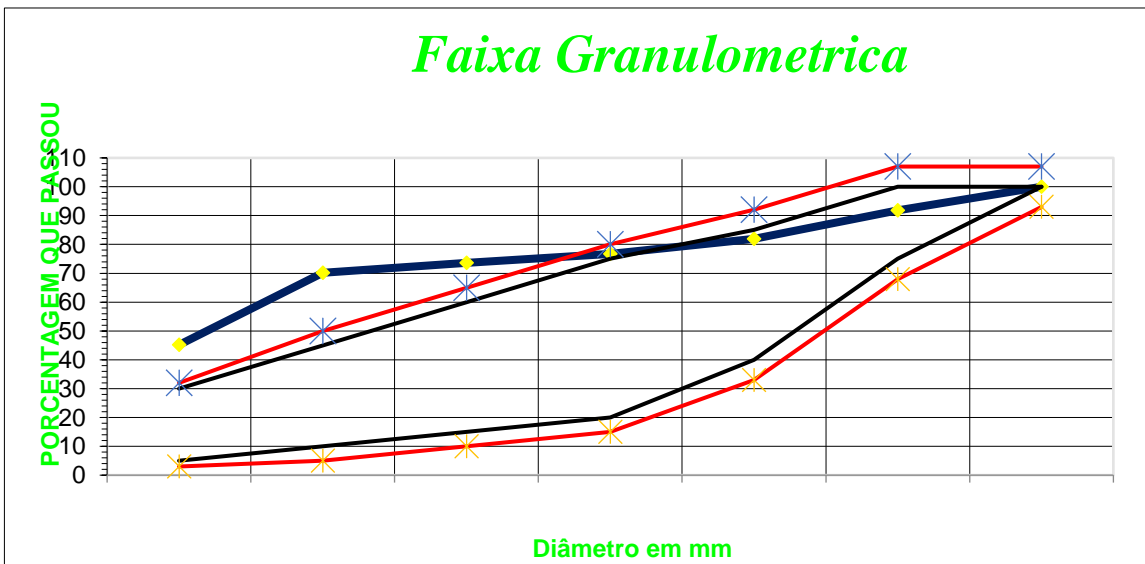
CÁLCULO DO I.S.C.			
Leitura	Pressão		I.S.C.
(mm)	Aplic.	Corrigida	(%)
2,54	17,1	18,60175	26,5
5,08	32,2	33,4203063	31,7

D. MÁX(g/cm³)	2,430	H. ÓT.(%)=	11,1%	I.S.C.(%)=	32	Exp.(%)	0,18%
---------------	-------	------------	-------	------------	----	---------	-------

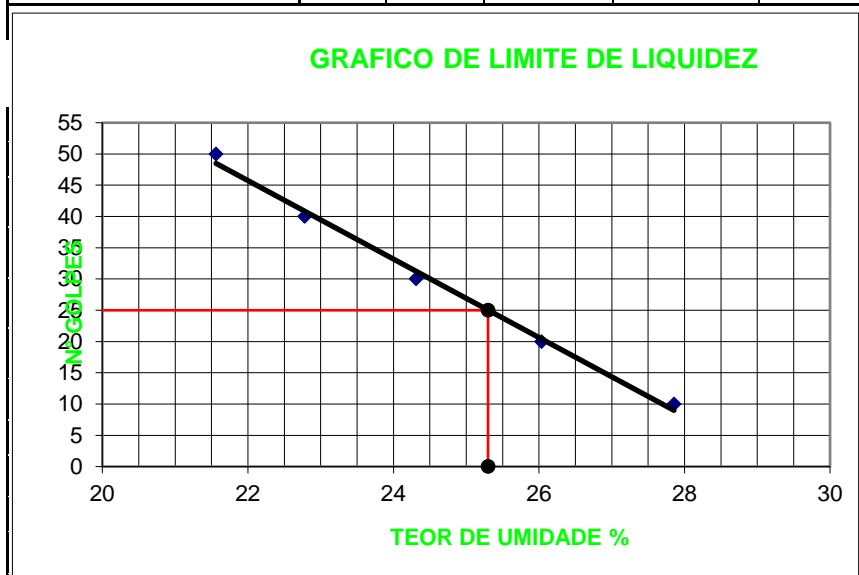
LABORATÓRIO DE ENSAIOS TÉCNICOS

3

ANALISE GRANULOMETRICA POR PENEIRAMENTO - DNER-ME 080/94								
UMIDADE			%	%	AMOSTRA A	TOTAL	PARCIAL	
CÁPSULA - N°			14	16	CÁPSULA N°			
P. BRUTO ÚMIDO			56,78	58,84	PESO BRUTO ÚMIDO			
P. BRUTO SECO			56,25	58,22	PESO ÚMIDO	2000,00	200,00	
P. DA CÁPSULA			24,65	22,17	PESO RETIDO NA # N° 10	519,20		
P. DA ÁGUA			0,53	0,62	PESO ÚMIDO PASS. NA # N° 10	1480,80		
P. DO SOLO SECO			31,60	36,05	PESO SECO PASS. NA # N° 10	1456,07		
UMIDADE			1,68	1,72	PESO DA AMOSTRA SECA	1966,60	196,66	
UMIDADE MÉDIA			1,7					
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	% DA AMOSTRA TOTAL	% RETIDA ACULUMLA DA	% QUE PASSA DA AM. TOTAL	CONSTANTES	
	POL	mm					$K 1 = \frac{100}{1966,60} = 0,051$ $K 2 = \frac{73,60}{196,66} = 0,3742$	
	2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0		
	1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0		
	1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0		
	3/4	19,1	161,00	8,19	8,19	91,8		
	3/8	9,5	194,00	9,86	18,05	81,9		
	4	4,8	102,00	5,19	23,24	76,8		
10	2	62,20	3,16	26,40	73,6			
AM. PARCIAL	40	0,42	9,20	4,68	95,32	70,2	FAIXA "A" ABNT OBS.: DATA : 25-nov-16 OPERADOR : DIOGLAMIS	
	200	0,074	66,80	33,97	61,35	45,2		



ENSAIOS FÍSICOS										
ENSAIOS FÍSICOS	LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94					LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME - 082/94				
	156	73	77	78	114	31	38	119	130	3
CÁPSULA - N°										
P. BRUTO ÚMIDO	11,90	11,40	10,50	12,30	10,60	7,10	7,00	6,80	6,40	7,80
P. BRUTO SECO	11,21	10,40	9,44	11,42	9,60	6,80	6,87	6,70	6,23	7,59
P. DA CÁPSULA	8,01	6,01	5,08	8,04	6,01	4,80	6,00	6,01	5,06	6,09
P. DA ÁGUA	0,69	1,00	1,06	0,88	1,00	0,30	0,13	0,10	0,17	0,21
P. DO SOLO SECO	3,20	4,39	4,36	3,38	3,59	2,00	0,87	0,69	1,17	1,50
UMIDADE	21,6	22,8	24,3	26,0	27,9	15,0	14,9	14,5	14,5	14,0
N° GOLPES	50	40	30	20	10	OK	OK	OK	OK	OK



RESUMO DOS ENSAIOS

LIMITE DE LIQUIDEZ	25,3
LIMITE DE PLASTICIDADE	14,6
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	10,7
ÍNDICE DE GRUPO	2,2
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-6
EQUIVALENTE DE AREIA	

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecida pelo(a) autor(a)

D542u

Dias, Camila Lira.

Utilização de Resíduos da Construção Civil como material alternativo nas camadas de base e sub-base da pavimentação urbana da cidade de Porto Velho/RO.: / Camila Lira Dias
126 f. il.

Orientador(a): Prof. Esp. Bruno Mesquita dos Santos.

Coorientador(a): Prof. Esp. Fernando Junqueira Bordignon.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Fundação Universidade Federal de Rondônia.

1. Pavimentação. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos. 4. Base. 5. Sub-base. I. Santos, Bruno Mesquita dos. II. Título.

CDU 625
