

UNIPAMPA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM MISTURAS DE
SOLO-CIMENTO VISANDO A APLICAÇÃO EM OBRAS DE ESTRADAS**

Cristian Schendel

Orientador: Wilber Chambi Tapahuasco, DSc.

Co-Orientador: Roberlaine Ribeiro Jorge, MSc.

Alegrete (RS), Março de 2013.

CRISTIAN SCENDEL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM MISTURAS DE
SOLO-CIMENTO VISANDO A APLICAÇÃO EM OBRAS DE ESTRADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco

ALEGRETE-RS

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco - Orientador
Engenharia Agrícola – UNIPAMPA

Prof. Me. Magnos Baroni
Engenharia Civil – UNIPAMPA

Prof. Me. Roberlaine Ribeiro Jorge – Co-Orientador
Engenharia Agrícola – UNIPAMPA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Egon e Singrit , irmãos Eduardo e Jefferson.*

AGRADECIMENTO

Acima de tudo, agradeço a Deus por ter me dado a vida, com saúde, inteligência, disposição e me ajudado em todos os momentos difíceis desta caminhada para hoje realizar este sonho.

Agradeço aos meus pais por ter me disponibilizado recursos durante toda a minha estadia nestes anos de faculdade, meus irmãos pelo apoio e ao governo do Estado do Rio Grande do Sul por ter me disponibilizado a possibilidade de desenvolver o mesmo trabalho como bolsista no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica pela Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Agradeço de uma forma muito especial ao meu orientador Prof. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco, pelo tamanho interesse e dedicação. Pela disponibilidade, pelo otimismo e entusiasmo sempre presente nas conversas a cada resultado obtido, pela força e apoio nas horas difíceis. E também pela seriedade, competência e profissionalismo em todos os momentos dessa orientação.

A todos os professores que passaram ao longo desses anos, seus conhecimentos técnicos e lições de vida.

A Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, da qual tenho orgulho de fazer parte.

A todos que, mesmo não sendo citados, ofereceram-me apoio para a realização deste projeto, deixo meu humilde agradecimento.

RESUMO

As estabilizações de solos sempre foram realizados desde os primeiros pavimentos construídos, mas se tornaram mais frequentes nas últimas décadas. Desta maneira, foram desenvolvidas novas técnicas de estabilização, tais como a estabilização química por mistura de solo-cimento. A adição do cimento ao solo vem sendo utilizada em rodovias como forma de agregar ao solo melhorias frente a fatores como deformações plásticas, aumentando a resistência do solo. Além disso, também surge a necessidade de reutilizar novos materiais alternativos que podem ser aproveitados em obras de pavimentação rodoviária.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito mecânico das fibras de raspa de pneus em misturas de solo-cimento. Sendo para isso, inicialmente coletadas amostras de vários tipos de solos, oriundo de três locais de empréstimo localizados no município de Alegrete/RS. Seguidamente, a partir dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização geotécnica, foi escolhido para o melhor desenvolvimento deste trabalho, um só tipo de solo coletado de uma das jazidas. Também, foram coletadas amostras de resíduos raspa de pneus, além da aquisição de cimento pozolânico. Após isso foram preparadas misturas de *solo-cimento* e *solo-cimento- raspa de pneus*. Desta maneira para esta pesquisa se adotou as proporções de mistura *solo-cimento* de 92%-8%. Já para a mistura *solo-cimento- raspa de pneus*, foram adotadas as proporções de 92% - 5%- 3%, 91%- 8 %- 1%, 89%- 8 %- 3%, 87%- 8 %- 5% e 82%- 8 %- 10%. Posteriormente, para as diversas misturas foram executados ensaios de compactação, ensaios de expansão, ensaios de Índice de Suporte de Califórnia e ensaios de compressão simples.

Os resultados experimentais desenvolvidos nesta pesquisa mostraram que a mistura de *solo-cimento* de 92%-8% e a mistura *solo-cimento- raspa de pneus*, para a proporção em peso: 91%-8%-1%, apresentaram melhores resultados.

Palavras-chave: estabilizações de solos; compressão simples; Índice de Suporte Califórnia; raspa de pneu.

ABSTRACT

The soil stabilization always been recurrent since the first floors built, but have become more frequent in recent decades. Thus, new techniques were developed such as the stabilization of chemical stabilization by mixing and soil-cement has been used on roads in order to add the soil improvement compared to factors such as plastic deformation, improving the granulometry of the material and increases the resistance of soil. Also, there is a need to reuse new alternative materials that could be used in paving road.

This study aimed to evaluate the mechanical effect of fibers scrape tires in mixtures of soil-cement. As for this, initially collected samples of various types of soils, derived from three sites located in the municipality of Ioan Alegrete / RS. Then, from the results of the geotechnical characterization tests, was chosen for the best development of this work, one type of soil collected from one of the mines. Also, samples were collected waste tires zest, plus the acquisition of pozzolan cement. After that were prepared mixtures of *soil-cement and soil-cement-fiber rubber tire scrapes*. Thus for this research adopted the proportions of soil-cement mixture of 92% -8% cement. As for mixing soil-cement-fiber shaving tire, have been adopted in the proportions (92% - 5% - 3%) (91% - 8% - 1%) (89% - 8% - 3%), (87% - 8% - 5%) (82% - 8% - 10%). Subsequently, for various mixtures assays were performed compaction, expansion tests, assays California bearing ratio and simple compression tests.

For this study, the experimental results show that the mixture of soil and soil-cement-fiber cement-rubber tire scrapings, for the weight ratio: 91% -8% -1%, exhibited the best results.

Keywords: stabilization of soils; simple compression; Index Support California; fiber rubber.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE FIGURAS | 12 |
| LISTA DE TABELAS | 15 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1 TEMA DA PESQUISA | 18 |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA | 18 |
| 1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO..... | 18 |
| 1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE ESTUDO | 18 |
| 1.4.1 <i>Objetivo geral</i> | 18 |
| 1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> | 19 |
| 2 JUSTIFICATIVA | 20 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO | 21 |
| 3.1.1 <i>Histórico</i> | 21 |
| 3.1.2 <i>Preparação da amostra</i> | 21 |
| 3.1.3 <i>Limite de Liquidez (LL)</i> | 22 |
| 3.1.4 <i>Limite de Plasticidade (LP)</i> | 22 |
| 3.1.5 <i>Massa específica</i> | 23 |
| 3.1.6 <i>Granulometria</i> | 23 |
| 3.1.7 <i>Classificação do Solo</i> | 24 |
| 3.2 ENSAIOS ESPECIAIS GEOTÉCNICOS..... | 25 |
| 3.2.1 <i>Compactação</i> | 25 |
| 3.2.2 <i>Índice de Suporte Califórnia- ISC</i> | 27 |
| 3.2.3 <i>Compressão Simples</i> | 29 |
| 3.3 PAVIMENTAÇÃO | 30 |
| 3.3.1 <i>Histórico</i> | 30 |
| 3.4 BORRACHA | 31 |
| 3.4.1 <i>Histórico</i> | 31 |
| 3.4.2 <i>Processo de construção do Pneu</i> | 32 |
| 3.4.3 <i>Descarte de Pneus e Resíduos</i> | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4.4 | <i>Utilização da borracha proveniente de Pneus Inservíveis</i> | 34 |
| 3.4.5 | <i>Processos de Recapagem</i> | 36 |
| 3.5 | CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS | 36 |
| 3.5.1 | <i>Classificações dos Pavimentos pelo DNIT</i> | 36 |
| 3.5.2 | <i>Classificação das Camadas dos Pavimentos Flexíveis</i> | 37 |
| 3.6 | ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS..... | 39 |
| 3.6.1 | <i>Bases e Sub-bases Estabilizadas Granulométricamente</i> | 39 |
| 3.6.2 | <i>Bases e Sub-Bases estabilizadas com aditivos</i> | 40 |
| 3.6.3 | <i>Bases e Sub-bases estabilizadas mecanicamente</i> | 41 |
| 3.7 | SOLO CIMENTO | 42 |
| 3.7.1 | <i>Histórico</i> | 43 |
| 3.7.2 | <i>Estudos Experimentais</i> | 43 |
| 3.8 | ADIÇÃO DE FIBRAS AOS SOLOS..... | 45 |
| 3.9. | CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE SOLO-CIMENTO..... | 48 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 50 |
| 4.1 | ÁGUA..... | 51 |
| 4.2 | SOLO..... | 51 |
| 4.3 | CIMENTO..... | 51 |
| 4.4 | RASPAS DE PNEU | 52 |
| 4.5 | EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS EM CAMPO | 53 |
| 4.6 | PREPARAÇÃO DOS SOLOS E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO..... | 56 |
| 4.6.1 | <i>Limites de Attemberg</i> | 56 |
| 4.6.2 | <i>Ensaio de Compactação das Amostras</i> | 57 |
| 4.6.3 | <i>Massa específica</i> | 58 |
| 4.6.4 | <i>Granulometria</i> | 59 |
| 4.7 | DEFINIÇÃO DAS PORCENTAGENS DE CIMENTO E RASPA DE PNEU EM MISTURA..... | 59 |
| 4.8 | ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA | 61 |
| 4.8.1 | <i>Solo Natural</i> | 63 |
| 4.8.2 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 2)</i> | 64 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.8.3 | <i>Solo natural (Mistura 3)</i> | 65 |
| 4.8.4 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 4)</i> | 65 |
| 4.8.5 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 5)</i> | 66 |
| 4.8.6 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 6)</i> | 67 |
| 4.8.7 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 7)</i> | 68 |
| 4.8.8 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 8)</i> | 68 |
| 4.8.9 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 9)</i> | 68 |
| 4.9 | ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES | 69 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES SOBRE OS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO | 78 |
| 5.1 | ENSAIOS DE LIMITES DE ATTEMBERG | 78 |
| 5.2 | ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO COM AS AMOSTRAS DAS JAZIDAS | 78 |
| 5.3 | ESCOLHA DO MATERIAL PARA OS ENSAIOS DE ISC E COMPRESSÃO SIMPLES..... | 82 |
| 5.4 | ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA JAZIDA 1 (15 A 40CM).. | 82 |
| 5.4.1 | <i>Massa específica</i> | 82 |
| 5.4.2 | <i>Granulometria</i> | 83 |
| 5.5 | CLASSIFICAÇÃO DO SOLO UTILIZADO | 84 |
| 5.6 | ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) | 84 |
| 5.6.1 | <i>Solo Natural (Mistura 1 e Mistura 3)</i> | 85 |
| 5.6.2 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 2)</i> | 88 |
| 5.6.3 | <i>Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 4)</i> | 90 |
| 5.6.4 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 5)</i> | 91 |
| 5.6.5 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 6)</i> | 93 |
| 5.6.6 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 7)</i> | 94 |
| 5.6.7 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 8)</i> | 96 |
| 5.6.8 | <i>Mistura de solo-cimento (Mistura 9)</i> | 97 |
| 5.6.9 | <i>Análise dos Ensaio de ISC</i> | 99 |
| 5.7 | ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES | 104 |
| 5.7.1 | <i>Resultados do ensaio</i> | 104 |
| 5.7.2 | <i>Análise dos resultados</i> | 105 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 107 |
| 7 | SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 109 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 8 | BIBLIOGRAFIAS:..... | 110 |
| 9 | APÊNDICES | 116 |
| 9.1 | Apêndice A: Planilhas dos Ensaios de Limite de Líquidos e de Plasticidade do Solo utilizado para os ensaios de Índice de Suporte Califórnia(ISC) e Compressão Simples. | 116 |
| 9.2 | APENDICE B: Planilha do Ensaio de Massa Específica dos grãos passantes pela peneira de abertura 4,8mm referente ao solo natural utilizado para os ensaios de resistência. .. | 117 |
| 9.3 | APENDICE C: Planilha Referente ao ensaio de Peneiramento da amostra de Solo extraído da Jazida 1(15 a 40cm) e referente ao solo natural utilizado para os ensaios de resistência. | 117 |
| 9.4 | APENDICE D: Planilha Referente ao ensaio de Sedimentação da amostra de Solo extraído da Jazida 1(15 a 40cm)..... | 118 |
| 9.5 | APENDICE E: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da fazenda Bicca (jazida 3). | 118 |
| 9.6 | APENDICE F: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da Jazida 2. . | 119 |
| 9.7 | APENDICE G: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da Jazida 1(15-40cm). | 120 |
| 9.8 | APENDICE H: Planilha referente aos dados do ensaio de compactação da jazida 1(40cm). | 120 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: a) ensaio de LL; b) determinação do LL em função da correlação número de golpes e teor de umidade) | 22 |
| Figura 2: Limites de Atterberg dos Solos (Schmitz, 2012) | 23 |
| Figura 3: Curva Granulométrica..... | 24 |
| Figura 4: SISTEMA –SUCS (Carta de plasticidade), Das (2007). | 25 |
| Figura 5: Ensaio de Compactação | 26 |
| Figura 6: Curvas de Compactação para um mesmo solo sob diferentes energias de compactação (Pinto, 2002). | 26 |
| Figura 7: a) Extrator de Amostras por macaco hidráulico; b) Balança Toledo Modelo 2096DD; c) Prensa Hidráulica EMIC (colocar figura mas de literatura e não do seu procedimentos) | 30 |
| Figura 8: Plataformas típica do Século XVIII (OLIVEIRA, 2008). | 31 |
| Figura 9: Estrutura do Pneu (PNEUSOST, 2013) | 33 |
| Figura 10: Pneus Inservíveis Coletados e destinados em Milhões de Toneladas (Reciclamp, 2012). | 34 |
| Figura 11: Curva de Compactação Jazida 1(15 a 40cm) | 42 |
| Figura 12: Raspa de pneu bruta disponibilizada pela empresa..... | 52 |
| Figura 13: Raspa de pneu com comprimento aproximado de 25mm | 53 |
| Figura 14: Localização da jazida 1 de Extração | 54 |
| Figura 15: Solo com Coloração Marrom-Avermelhado da Jazida 1 | 54 |
| Figura 16: Localização da jazida 2 | 55 |
| Figura 17: Localização da jazida 3 | 55 |
| Figura 18: secagem da amostra retirada da Jazida 1 a profundidade de 15 a 40 cm em bandeja metálica até a umidade higroscópica | 56 |
| Figura 19: Destorroamento da amostra retirada da Jazida 1 na profundidade de 15 a 40 cm em almofariz..... | 56 |
| Figura 20: a) processo de determinação do limite de liquidez; b) processo de determinação do limite de plasticidade (ambos ensaios realizados com amostra retirada do Jazida 1 a profundidade de 15 a 40cm) | 57 |
| Figura 21: a) Cilindro de Proctor Normalizado, b) Molde Utilizado para o ensaio | 57 |
| Figura 22: a) Soquete Pequeno; b) ensaio de compactação | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 23: a) balão volumétrico com solo; b) balão volumétrico em banho-maria | 58 |
| Figura 24: a) Ensaio de Sedimentação em execução; b)Ensaio de Peneiramento (ambos ensaios realizados com amostra retirada da Jazida 1 a profundidade de 15 a 40cm)..... | 59 |
| Figura 25: a) Molde cilíndrico metálico Grande; b) soquete metálico grande; c) disco espaçador | 61 |
| Figura 26: a) Papel colocado sobre o espaçador; b) escarificação da camada; c) retirada de amostra para determinação da umidade; d) balança RADWAG..... | 62 |
| Figura 27:a) Extensômetro; b) 2 pesos; c) Cura e determinação da expansão; d) Ensaio de ISC..... | 63 |
| Figura 28: a) Cilindro de ISC compactado; b) cilindro após o ensaio. | 64 |
| Figura 29: a) Mistura antes da Homogeneização; b) Vista superior da amostra compactado. | 64 |
| Figura 30: Cilindro de Solo Natural após o ensaio..... | 65 |
| Figura 31: Adição 5% de cimento e 3% de raspa de pneu após ensaio de ISC..... | 66 |
| Figura 32: a) Mistura sendo homogeneizada; b) Mistura Compactada; c) retirada de excesso de material; d) Mistura após o ensaio de ISC..... | 67 |
| Figura 33: Amostra deformada após ensaio de ISC. | 67 |
| Figura 34: Mistura Compactada solo-cimento-raspa de pneu (89%,8%,3%). | 68 |
| Figura 35: a) Mistura adição de 8% de cimento e 10 % de raspa de pneu antes da homogeneização; b) Mistura compactada; c) mistura após ensaio ISC; d) amostra restante após limpeza dos moldes..... | 69 |
| Figura 36: a) Cura dos Corpos de prova; b)Altura da bancada de madeira..... | 71 |
| Figura 37: a) Corpo de Prova aos 7 dias; b)Corpo de Prova aos 28 dias. | 71 |
| Figura 38: a) água e borracha utilizada na mistura; b) cimento utilizado na mistura;c) corpo de prova aos 7 dias antes do ensaio; d) corpo de prova aos 7 dias após ensaio. | 72 |
| Figura 39: CP de solo-cimento rompido após os 28 dias. | 73 |
| Figura 40:a) CP da Mistura 4 antes do ensaio aos 7 dias ; b) CP da Mistura 4 apos o ensaio aos 7 dias. | 74 |
| Figura 41: a) Homogeneização da Mistura 5; b) Corpo de prova após Moldagem..... | 75 |
| Figura 42: a) Mistura 6 após extração; b) Mistura 6 após o ensaio..... | 76 |
| Figura 43: a) Materiais Utilizados; b) Mistura Homogeneizada; c) Solo durante a Compactação; d) Solo após a extração do cilindro..... | 77 |
| Figura 44: Curva de compactação jazida 1 (15 a 40 cm) | 79 |
| Figura 45:Curva de compactação jazida 1 (40 a 60 cm) | 79 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46: Curva de compactação corrigida..... | 80 |
| Figura 47: Curva de compactação jazida 2..... | 80 |
| Figura 48: Curva de compactação corrigida jazida 2 | 81 |
| Figura 49: Curva de compactação jazida 3..... | 81 |
| Figura 50: Curva Granulométrica..... | 84 |
| Figura 51: Curva de Compactação e ISC mistura 1. | 85 |
| Figura 52: Curva de compactação e ISC mistura 1 ajustada. | 86 |
| Figura 53: Curva de Compactação e ISC mistura 3. | 87 |
| Figura 54: Curva de Compactação e ISC mistura 2. | 88 |
| Figura 55: Curva de Compactação e ISC mistura 2 ajustada | 89 |
| Figura 56: Curva de Compactação e ISC mistura 4. | 90 |
| Figura 57: Curva de Compactação e ISC da mistura 5..... | 92 |
| Figura 58: Curva de Compactação e ISC da mistura 6..... | 93 |
| Figura 59: Curva de Compactação e ISC mistura 7 | 95 |
| Figura 60: Curva de Compactação e ISC mistura 8. | 96 |
| Figura 61: Curva de Compactação e ISC mistura 9 | 98 |
| Figura 62: Compactação dos corpos de prova das misturas para ISC..... | 100 |
| Figura 63: Comparação dos resultados do ISC. | 102 |
| Figura 64: Resistência a Compressão Simples das Misturas..... | 106 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Classificação Highway Research Board HRB..... | 24 |
| Tabela 2: Sistema Unificada de Classificação de Solos solos Grossos (SUCS) | 25 |
| Tabela 3: Peneiramento do ISC | 28 |
| Tabela 4: Tabela de Leitura ISC..... | 29 |
| Tabela 5: Correlação entre a aplicação e o cimento Portland adequado. | 45 |
| Tabela 6: Granulometria do Solo..... | 49 |
| Tabela 7: Características do Solo | 50 |
| Tabela 8: Teor de cimento sugerido. | 50 |
| Tabela 9- Classes de resistência dos cimentos Portland Pozolânico (NBR 5736/91)..... | 51 |
| Tabela 10- Teores dos componentes do cimento Portland Pozolânico (NBR 5736/91) | 52 |
| Tabela 11: Misturas para ISC | 60 |
| Tabela 12: Misturas para Compressão Simples..... | 60 |
| Tabela 13: Misturas para o ensaio de Compressão Simples..... | 70 |
| Tabela 14: Valores de LL, LP e IP | 78 |
| Tabela 15: Massa Especifica dos Grãos. | 83 |
| Tabela 16 : Definição dos Resultados por Sedimentação..... | 83 |
| Tabela 17: Expansão Mistura 1. | 86 |
| Tabela 18: Expansão Mistura 3. | 87 |
| Tabela 19: Expansão Mistura 2. | 89 |
| Tabela 20: Expansão Mistura 4. | 91 |
| Tabela 21: Expansão Mistura 5. | 92 |
| Tabela 22: Expansão Mistura 6 | 94 |
| Tabela 23: Expansão Mistura 7 | 95 |
| Tabela 24: Expansão Mistura 8. | 97 |
| Tabela 25: Expansão Mistura 9. | 98 |
| Tabela 26: Resultados ensaio de compressão simples..... | 105 |
| Tabela 27: Massa Especifica seca Compacta. | 105 |

Lista de siglas, símbolos e abreviaturas

ABCP=Associação Brasileira De Cimento Portland

ANIP= Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

ISC= Índice de Suporte Califórnia

DNIT= Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNER= Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

HRB= Highway Research Board

SNV=Sistema Nacional de Viação

SUCS= Sistema Unificada de Classificação de Solos

γ_w = peso específico da água.

γ_d = Peso específico seco máximo

w = Umidade

ρ_s = massa específica dos grãos de solo

1 INTRODUÇÃO

O cimento como forma de estabilização química vem sendo largamente utilizado em rodovias como forma de agregar ao solo melhores características quanto à resistência, um quesito para diminuir sua deformação plástica e possibilitar melhor distribuição granulométrica do material formado.

Dentre a vasta malha rodoviária encontrada no Brasil, alguns materiais extraídos da faixa de domínio da rodovia para realização da base ou sub-base são inadequados, não atendendo a resistência necessária para aplicação da carga de dimensionamento de pavimentos, pelo motivo da baixa resistência vem sendo largamente utilizadas misturas de solo-cimento para sua estabilização ou para aumento da resistência a aplicação de carga.

Como forma de aliviar o efeito do material de baixa resistência vem sendo largamente utilizados processos de estabilização química, de maneira que, estes reforços aplicados em solos têm o intuito de substituírem de forma econômica os materiais comumente utilizados no processo. Dentre os principais processos de estabilização química está a adição de uma porcentagem de cimento.

O desenvolvimento de trabalhos como os de RAFALKO (2006), SILVA (2007) e FEUERHARMEL (2000), que envolvam a adição de fibras ao solo vem aumentando durante os últimos anos, todos com a proposta de desenvolver novos materiais para serem utilizados com alguma característica de emprego em obras de construção de pavimentos ou outras obras que fazem a utilização de solos reforçados.

Com base nas informações supracitadas, este trabalho estudou a viabilidade da utilização de fibras de borracha, oriundas da recapagem, em misturas de solo-cimento, com a finalidade de propor novos materiais alternativos para construção de camadas de base e sub-base em pavimentos rodoviários.

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa é:

Utilização de materiais alternativos em melhoria de solos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

É benéfico à inclusão de raspa de pneus de borracha em misturas solo-cimento como forma de estabilização de bases de pavimentos?

1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

Quais as características físicas de um solo extraídos da cidade de Alegrete/RS? Se estabilizado com solo-cimento ou solo-cimento-raspa de pneu, quais serão suas propriedades resistentes frente a ensaios de Índice de Suporte Califórnia e Compressão Simples? Poderá as misturas ser tecnicamente viável para utilização na construção de camadas de base e sub-base de pavimentos?

1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE ESTUDO

Os objetivos desta pesquisa podem ser divididos em geral e específicos:

1.4.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade da utilização de raspa de pneus de borracha, oriundas da recapagem, em misturas de solo-cimento, com a finalidade de propor materiais alternativos para construção de camadas de base e sub-base em pavimentos rodoviários.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

Buscar na literatura estudos que forneçam um embasamento sobre o funcionamento do processo de inclusão de raspa de pneus ao solo, de tal forma a agregar resistência ao mesmo. Além disso, pesquisar parâmetros pré-estabelecidos pelo DNIT;

Realizar ensaios de caracterização dos diferentes materiais utilizados nesta pesquisa, assim também, avaliar o Índice de Suporte de Califórnia (ISC) e resistência à compressão simples do solo natural, das misturas de solo-cimento e misturas solo-cimento-raspa de pneu.

2 JUSTIFICATIVA

Segundo o Sistema Nacional de Viação (SNV) a malha rodoviária brasileira é constituída de rodovias federais, estaduais e municipais. E estas são divididas em rodovias pavimentadas, não pavimentadas e em fase de planejamento. Baseado nos dados da SNV, o Brasil tem na totalidade 1.712.517,3 km de rodovias sendo 1.366.578,2 km destas não pavimentadas, 214.413,5 km pavimentados e 131.525,6 km de rodovias planejadas (SNV,2012).

Este estudo tem por base a análise e aplicação de cimento e raspa de pneu em bases e sub-bases de rodovia. Desta maneira este trabalho pretende reaproveitar os resíduos de borracha de raspa de pneus, podendo, futuramente ser aplicadas a projetos de engenharia como forma de reutiliza-los e aproveita-los.

Grande parte dos pneus são usualmente reutilizados por processos de queima em indústrias cimentícias e por processos de moldagem. No entanto, este estudo visa a utilização da raspa de pneu, que é obtida por raspagem da lona do pneu e que não são coletados pelo órgão de recebimento de pneus inservíveis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordadas publicações e resultados de outros pesquisadores. Isto com o intuito de dar o embasamento à metodologia deste trabalho. Serão relatadas normas, prescrições técnicas de realização de ensaios e estudos referentes à proposta de trabalho.

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

3.1.1 Histórico

O físico e matemático Vassilii Dokuchaev foi o primeiro cientista a estudar a caracterização do solo, quando em 1875 foi convidado pelo Governo Russo para estudar a quebra substancial na exportação de cereais pelo porto de Odessa. A partir deste fato Dokuchaev percorreu 10.000 km a fim de construir um Mapa de Solos da parte europeia da Rússia, o que se tornou o momento base em criatividade científica (ESPINDOLA, 2007).

GRECO (2012) em suas notas de aula relata que solos são materiais resultantes da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. Para fins de pavimentação considera-se como solo a todo material que sofreu com os processos de deterioração, inorgânico ou não, que possa ser escavado sem o emprego de técnicas especiais, como por exemplo, explosivos. Segundo o mesmo autor, os solos se caracterizam por 3 processos de formação: residuais, transportados ou superficiais. Os solos residuais permanecem no local de formação e são resultantes da decomposição da rocha mãe. Os solos transportados são retirados do local de formação por algum agente transportador, tais como pela gravidade (solos coluvionais), pela água (solos aluvionais), pelo vento (solos eólicos). E os solos superficiais têm sua estrutura resultante da ação de agentes naturais sobre os solos residuais e transportados.

3.1.2 Preparação da amostra

A preparação das amostras de solos para os ensaios de caracterização devem ser realizadas de acordo com a norma NBR 6457/1986. Sendo uma das alternativas propostas a

secagem prévia até a umidade higroscópica do solo. Após isso a amostra é destorroada no almofariz.

3.1.3 Limite de Liquidez (LL)

O ensaio do Limite de Liquidez (LL) deve ser realizado conforme a norma NBR 6459/1984 da ABNT. O LL delimita o funcionamento de uma porção de material de solo ao fechamento de uma fissura padrão provocado por um cinzel. A partir deste ensaio é determinado o valor da umidade abaixo do qual o solo tem comportamento plástico. Desta maneira, o LL representa o teor de umidade no solo que delimita o estado plástico para o estado líquido, ou seja, ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ser fluido. A Figura 1 mostra um dos processos de realização do ensaio LL (a), além do gráfico de curva correlação entre o numero de golpes e a umidade da amostra de solo.

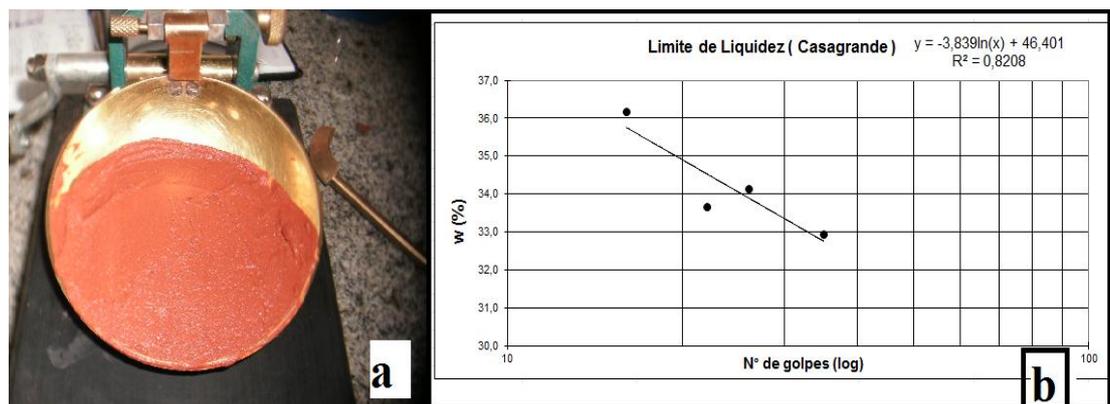


Figura 1: a) ensaio de LL; b) determinação do LL em função da correlação número de golpes e teor de umidade)

3.1.4 Limite de Plasticidade (LP)

No limite de plasticidade o solo perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço. Na Figura 2 está ilustrado os limites de Atterberg, demonstrando os três estados do solo que variam com a mudança da umidade. O ensaio é determinado pela NBR 7180/1984, e consiste na determinação de um menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma até que apresente pequenas linhas de fraturas (NBR 7180/1984).

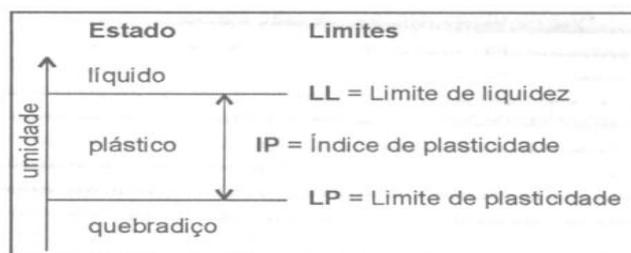


Figura 2: Limites de Atterberg dos Solos (Schmitz, 2012)

3.1.5 Massa específica

O ensaio de massa específica é baseado na norma NBR 6508/1984. Para isso é utilizado uma pequena porção da amostra de solo que passa pela peneira #4,8mm, sendo de 50g para solos argilosos e 60 g para os solos arenosos. Seguidamente, a amostra é deixada em repouso e imersa em água por 12 horas. Após isso é misturado com água destilada dentro de um balão volumétrico, sendo que, após é retirado todo o ar da mistura através do processo de banho-maria e vácuo. Depois destes processos é medida a massa destas misturas com os balões e por diferença de peso é determinada a massa específica de solo que está dentro do balão volumétrico (NBR 6508/1984).

3.1.6 Granulometria

A granulometria estuda a distribuição em peso dos diversos diâmetros de partículas que compõem uma amostra de solo. O processo da análise granulométrica é realizado com base na NBR 7181/1984, que consiste, em geral, de duas fases: peneiramento e sedimentação. O peneiramento é realizado com certa fração do material e consiste em avaliar o peso seco do material retido em cada peneira com resolução de 0,01g. Esta fase pode ser dividida em dois processos, peneiramento grosso e peneiramento fino. No caso para peneiramento grosso são utilizadas as peneiras: 50, 38, 25, 19, 9.5, 4.8 e, para peneiramento fino são utilizadas as peneiras: 1.2, 0.6, 0.42, 0.25, 0.15, 0.075. Já na análise da fração mais fina (material passante na peneira 2 mm), emprega-se a técnica da sedimentação, a qual se baseia na Lei de Stokes: a velocidade de queda de partículas esféricas num fluído atinge um valor limite que depende do peso específico do material da esfera, do peso específico do fluído, da viscosidade do fluído e do diâmetro da esfera. Com os dados dos dois ensaios se realiza a curva granulométrica conforme o modelo da Figura 3 (NBR 7181/1984).

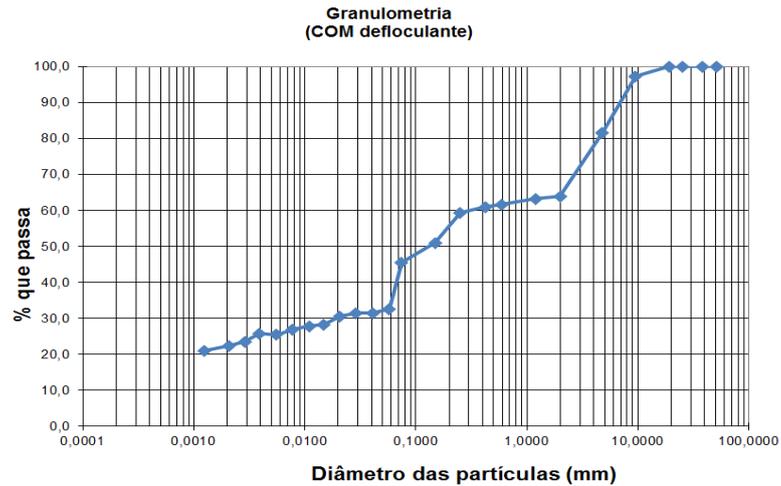


Figura 3: Curva Granulométrica

3.1.7 Classificação do Solo

Segundo GRECO (2012), o Solo pode ser caracterizado por metodologias de Classificações Geotécnicas, tais como Highway Research Board (HRB) e o Sistema Unificada de Classificação de Solos (SUCS). As tabelas de classificação estão demonstradas na Tabela 1: Classificação Highway Research Board HRB e Tabela 2: Sistema Unificada de Classificação de Solos Grossos (SUCS).

Tabela 1: Classificação Highway Research Board HRB

| Classificação Geral | Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira n°200) | | | | | | | Materiais Siltosos e Argilosos (mais de 35% passando pela peneira n°200) | | | |
|--|--|------------------|------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Grupos | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | |
| Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal 2,00 mm 0,42 mm 0,074 mm | 50 máx 30 máx 15 máx | 50 máx 25 máx | 51 mín 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 36 mín | 36 mín | 36 mín | 36 mín |
| Características da fração que passa na peneira 0,42 mm | | | | | | | | | | | |
| Limite de Liquidez (%) | - | - | - | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| Índice de Plasticidade (%) | 6 máx | 6 máx | NP | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| Índice de Grupo (IG) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | < 4 | < 4 | < 8 | < 12 | < 16 | < 20 |
| Materiais predominantes | Pedra britada, pedregulho e areia | | Areia fina | Areia e areia siltosa ou argilosa | | | | Solos siltosos | | Solos argilosos | |
| Comportamento geral como subleito | Excelente a bom | | | | | | | Regular a mau | | | |

Tabela 2: Sistema Unificada de Classificação de Solos Grossos (SUCS), Das (2007)

| Critérios para estabelecer símbolos de grupos e nomes de grupos usando ensaios de laboratório ^A | | | | Classificação do solo | |
|--|--|--|---|-----------------------|--|
| | | | | Grupo | Nome do grupo |
| Solos de granulometria grossa Mais de 50% do solo retido na peneira nº 200 | Pedregulhos Mais de 50% de fração grossa retidos na peneira nº4 | Pedregulhos limpos Menos de 5% de finos ^C | $Cu \geq 4$ e $1 \leq Cc \leq 3$ ^E | GW | Pedregulho bem graduado ^F |
| | | | $Cu < 4$ e/ou $1 > Cc > 3$ ^E | GP | Pedregulho mal graduado ^F |
| | | Pedregulhos com finos Mais de 12% de finos ^C | Finos classificam-se como ML ou MH | GM | Pedregulho siltoso ^{F, G, H} |
| | | | Finos classificam-se como CL ou CH | GC | Pedregulho argiloso ^{F, G, H} |
| | Areias 50% ou mais da fração grossa passam pela peneira nº4 | Areias limpas Menos de 5% de finos ^D | $Cu \geq 6$ e $1 \leq Cc \leq 3$ ^E | SW | Areia bem graduada ^I |
| | | | $Cu < 6$ e/ou $1 > Cc > 3$ ^E | SP | Areia mal graduada ^I |
| | | Areias com finos Mais de 12% de finos ^D | Finos classificam-se como ML ou MH | SM | Areia siltosa ^{G, H, I} |
| | | | Finos classificam-se como CL ou CH | SC | Areia argilosa ^{G, H, I} |

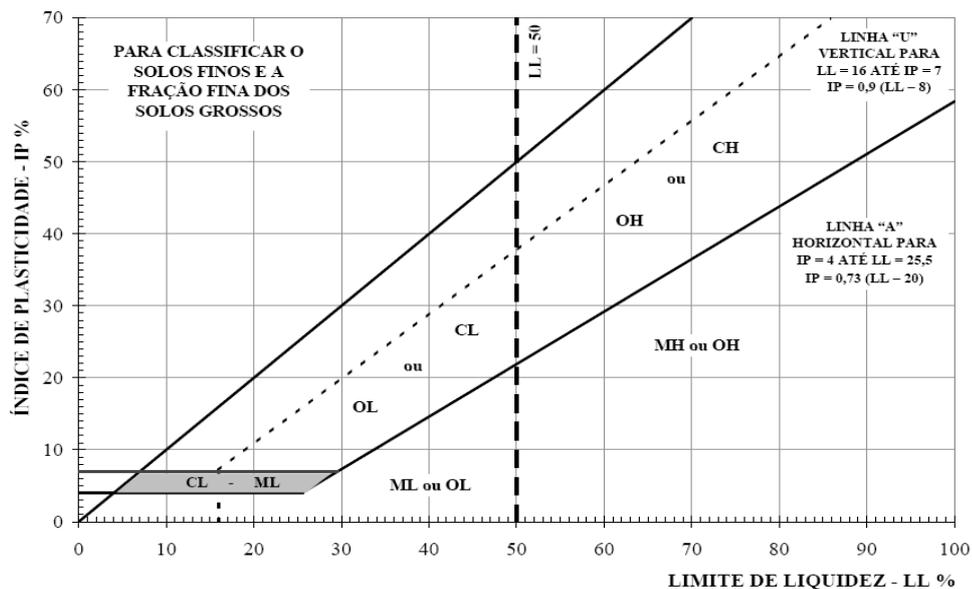


Figura 4: SISTEMA –SUCS (Carta de plasticidade), Das (2007).

3.2 ENSAIOS ESPECIAIS GEOTÉCNICOS

3.2.1 Compactação

O ensaio de compactação é determinado pela norma NBR 7182/1986 para amostra de solo natural e pela NBR 12023/92 para as amostras de solo-cimento. O ensaio estabelece os

critérios de capacidade do solo em aumentar a sua densidade, isto ocorre com a escolha de uma das três energias, normal, intermediária ou modificada. Desta maneira, com cada energia de compactação é obtido um peso específico característico seco máximo, obtido quando o mesmo solo tem uma compactação máxima na úmida determinada como ótima. Este ensaio está correlacionado com o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

A execução do ensaio de compactação está demonstrada na Figura 5, onde está sendo utilizado o molde cilíndrico grande.



Figura 5: Ensaio de Compactação

A Figura 6 mostra o comportamento das curvas de compactação sob diferentes energias para um mesmo tipo de solo.

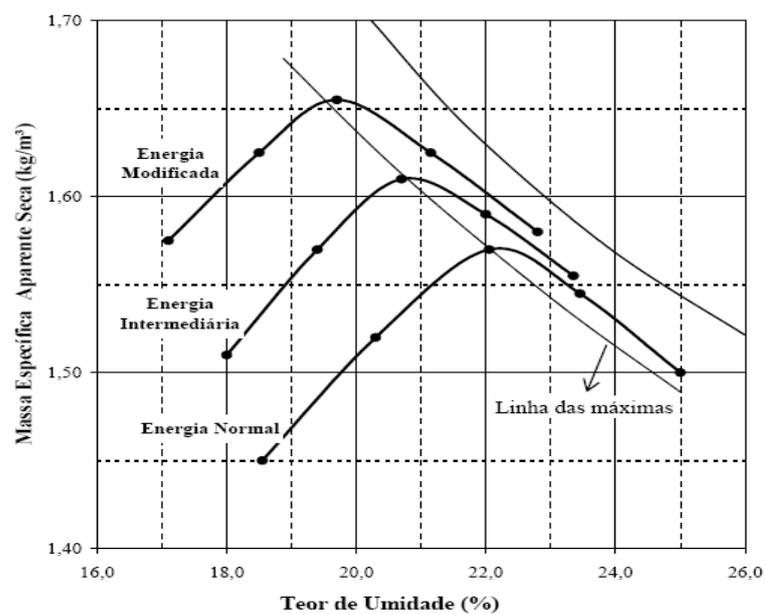


Figura 6: Curvas de Compactação para um mesmo solo sob diferentes energias de compactação (Pinto, 2002).

3.2.2 Índice de Suporte Califórnia- ISC

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) é realizado conforme a Norma NBR-9895/1987, sendo que o ensaio estabelece critérios mais amplos do funcionamento da estrutura do solo compactado, isso quando o mesmo se encontra confinado em um corpo cilíndrico de dimensões padronizadas. O ensaio é realizado com a utilização de 5 corpos de prova cilíndricos compactados com umidades distintas entre as mesmas, de forma que 2 corpos de prova se encontrem abaixo da umidade ótima e 2 acima da umidade ótima. O devido ensaio determina outros critérios do funcionamento do solo como a expansão e critérios de resistência com a aplicação sobre o centro do cilindro de um pistão padrão medindo a dificuldade que o mesmo encontra para perfurar a amostra.

Segundo a NBR-9895/1987 o ensaio é realizado com aproximadamente 50 Kg de material previamente seco até a umidade higroscópica e destorroado. Esse material primeiramente passa pelo processo de peneiramento pelas peneiras de abertura 19 mm e 4,8 mm, sendo então classificado segundo a Tabela 3: Peneiramento do ISC. Se respeitado os limites, cerca de 10 Kg de material é separado, sendo esse homogeneizado com a primeira umidade adotada em uma bandeja. Esse material homogeneizado é então compactado em 5 camadas dentro do cilindro proctor modificado, as camadas devem estar igualmente dispostas dentro do cilindro. Cada camada é escarificada após a compactação, a umidade do cilindro compactado é obtido com a retirada de material da segunda camada e após a compactação da mesma. O processo é repetido para as outras umidades até ser caracterizada uma curva de compactação e com no mínimo 5 corpos de prova (CP's).

Tabela 3: Peneiramento do ISC

TABELA – Procedimento após peneiramento

| Peneira (mm) | % de material retido | Observação |
|--------------|----------------------|--|
| 4,8 | menor que 7 | desprezar o material retido |
| 19 | menor que 10 | desprezar o material retido |
| 19 | maior que 10 | ver nota abaixo |
| 19 | maior que 30 | não ensaiar de acordo com a presente Norma |

Nota: Passar o material retido na peneira de 19 mm através da peneira de 76 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na

Após a compactação os cilindros são pesados e por subtração da massa do molde é obtida a massa de material compacto. Após os processos anteriormente descritos os moldes recebem sobre a parte superior do cilindro duas peças metálicas com massa total de 4,54 Kg, posteriormente, sob a alça superior do cilindro é colocado um tripé sobre o qual é acondicionado um extensômetro e o cilindro é então imerso totalmente na água.

As medições do extensômetro são realizadas diariamente até os 4 dias de submersão do cilindro. Após os 4 dias o cilindro é retirado da água e é acondicionado por 15 minutos na diagonal de forma que a água sobre o cilindro escoe por gravidade. Após todos esses processo é determinado a resistência a penetração do corpo de prova. Para isso, é utilizada uma prensa hidráulica que tem um anel dinamométrico sobre o qual é medida a deformação do anel em microns e após, calculada a pressão aplicada sobre o cilindro. A Tabela 4 mostra a tabela padrão normatizada pela norma NBR 9895/1987.

Tabela 4: Tabela de Leitura ISC (NBR 9895/1987).

| Tempo (min) | Penetração (mm) | Leitura (mm) | Carga (N) | Pressão (MPa) |
|----------------|--------------------|-----------------|--------------|------------------|
| 0,5 | 0,63 | | | |
| 1,0 | 1,27 | | | |
| 1,5 | 1,90 | | | |
| 2,0 | 2,54 | | | |
| 2,5 | 3,17 | | | |
| 3,0 | 3,81 | | | |
| 3,5 | 4,44 | | | |
| 4,0 | 5,08 | | | |
| 5,0 | 6,35 | | | |
| 6,0 | 7,62 | | | |
| 7,0 | 8,89 | | | |
| 8,0 | 10,16 | | | |
| 9,0 | 11,43 | | | |
| 10,0 | 12,70 | | | |

3.2.3 Compressão Simples

Os corpos de prova para este ensaio são moldados e curados conforme NBR 12024/92 e o devido ensaio de compressão com amostras de solo-cimento é realizado segundo a norma NBR 12025/1990 da ABNT, a qual fixa condições para a determinação da quantidade de cimento Portland capaz de estabilizar, sob forma de solo-cimento, uma camada de pavimento.

A moldagem dos corpos de prova segundo a norma NBR 12024/92 acontece com a previa secagem ao ar do solo até atingir a umidade higroscópica, após é realizado o destorroada em almofariz da amostra. A norma NBR 12024 descreve dois métodos distintos de mistura conforme a granulometria do solo, sendo que no método "A" o material utilizado passa todo pela peneira 4 (4,8mm), e no método "B" é utilizado material passante pela peneira de 19 mm e retido até 45% na peneira de abertura 4,8mm.

Conforme a norma NBR 12024 deverá ser separada uma amostra de aproximadamente 2,5 kg com o repartidor de amostras, de maneira que este material deverá então ser misturado com o teor de cimento e água estipulado, posteriormente deverá ser compactado em 3 camadas homogêneas e com o mesmo distanciamento entre as mesmas em um cilindro normatizado pequeno, as camadas deverão ser levemente escarificadas a cada compactação, a amostra para definição da umidade deverá ser retirada na segunda camada de compactação e

deverá ser medida sua massa com balança de precisão e a amostra de solo deverá ser seca em estufa a temperatura de 100°C a 105°C.

Após a compactação, a amostra é retirada com a ajuda de um extrator (Figura 7a) e medida sua massa na balança (Figura 7b) e após as amostras deverão ser alocadas em estufa umidificadora durante o tempo de cura estipulada. Após o período de cura as amostras são ensaiadas em uma prensa hidráulica (Figura 7c) para se obter a tensão de ruptura da amostra.

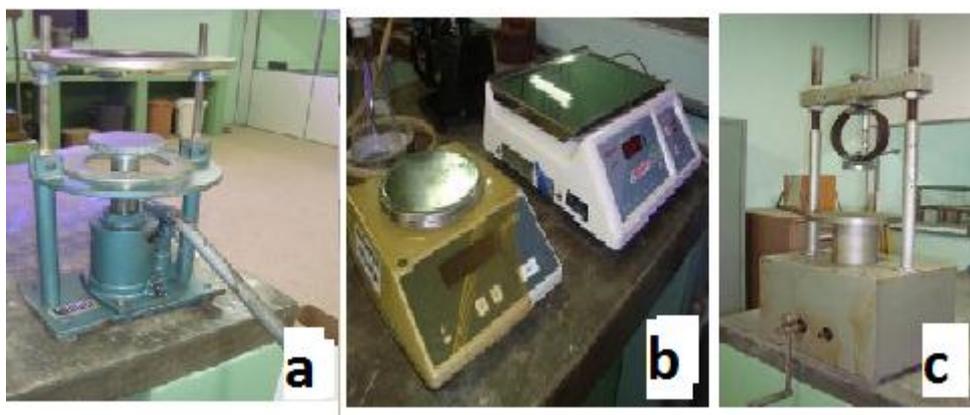


Figura 7: a) Extrator de Amostras por macaco hidráulico; b) Balança; c) Prensa Hidráulica (DEC, 2013)

3.3 PAVIMENTAÇÃO

3.3.1 Histórico

A primeira estrada pavimentada segundo a história foi a Via Ápia que ligava Roma a cidade de Cápuia na antiga Roma, cujo executor do projeto foi Ápio Cláudio Cego em 312 A.C.. A rede viária romana que compunha a via Ápia atingiu cerca de 150.000 quilômetros somando também vias secundárias de menor qualidade (Estrada romana, Wikipédia, 2012).

Na construção das vias pavimentadas os Romanos usaram uma mistura de solo argiloso e siltoso como almofada entre a fundação em blocos de pedra e a camada superficial, também em blocos de pedra. Acredita-se que os mesmos utilizaram um método de compactação na camada intermédia constituída pela mistura dos solos (RIBEIRO,2008).

Na Escócia, John Louden McAdam efetuou uma grande descoberta e averiguou que a utilização de material de grandes dimensões não era necessária nas camadas acima do leito ou fundação do pavimento quando se obtivesse uma camada densa de partículas de pequena dimensão que permitisse um atrito entre partículas. O aumento da densidade e o bloqueio entre partículas identificado por McAdam foi conseguido com a inovadora técnica de

primeiro espalhar o agregado grosseiro e depois preencher os vazios com material fino. (RIBEIRO,2008).

Esta metodologia de construção demonstrada na Figura 8 conseguiu diminuir significativamente o custo de construção das vias pavimentadas, pelo fato de haver a diminuição da espessura das camadas na estrutura de pavimento. Com a diminuição do custo, os organismos públicos na Grã Bretanha adotaram este tipo de construção, seguidos de muitos outros países (RIBEIRO,2008).

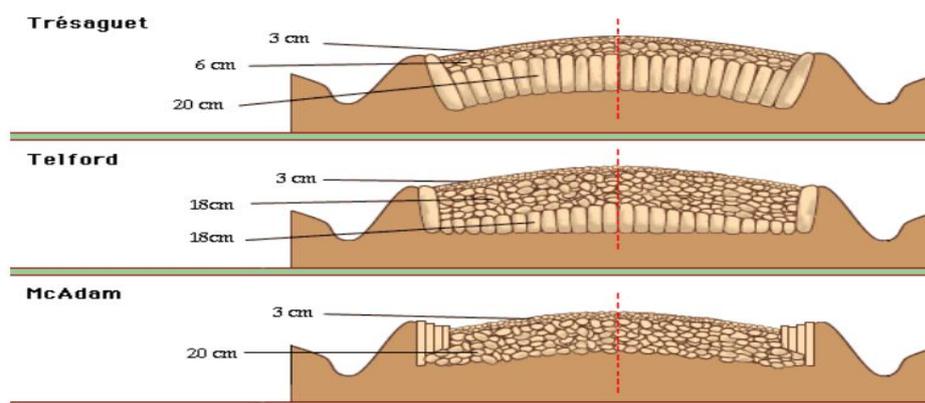


Figura 8: Plataformas típica do Século XVIII (OLIVEIRA, 2008).

3.4 BORRACHA

3.4.1 Histórico

Foi em 1836 que, ao respingar uma parte da mistura de borracha e enxofre na chapa quente do fogão, Charles Goodyear notou que a borracha não fundia e resolveu pesquisar a fundo as misturas com enxofre. Algum tempo depois, surgiu a borracha vulcanizada, nome atribuído em homenagem a Vulcano, deus romano do fogo. (FREITAS,2012).

Os irmãos Michelin em 1845 foram os primeiros a patentear o pneu para automóvel através das qualidades atribuídas pela vulcanização. A segunda mudança produzida pelo inglês Robert Thompson que, em 1847, inseriu uma câmara cheia de ar dentro dos pneus de borracha maciça. Em 1888, a produção do pneu se considerou em larga escala (SANTOS, 2012).

A produção de borracha pelo advento da popularização do automóvel através de Henry Ford era de grande importância, pois tinha grande necessidade de materiais produzidos à base de borracha tal como o pneu e outros e só entre 1920 e 1922, a quantidade de matéria-

prima necessária para fabricação de pneus saltou de 19400 para 67100 toneladas (SANTOS, 2012).

Fritz Hofmann desenvolveu a borracha sintética e em 1909, a borracha-metil. Ele sintetizou pela primeira vez um produto natural em laboratório, mas devido ao seu processo lento de formação, o processo de fabricação em grande escala se considerava difícil, somente no fim da década de 20 o químico Walter Bock chegou a uma alternativa melhor, o polibutadieno, com elevada resistência à abrasão e flexibilidade (FREITAS, 2012).

3.4.2 Processo de construção do Pneu

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) os pneus atuais são construídos por processos e matérias primas, tais como a borracha natural, borracha sintética, derivados de petróleo, cabos de aço, cordões de aço ou náilon e produtos químicos como enxofre. Estes por sua vez, tem suas porcentagens diferentes em cada pneu levando em conta a característica de utilização dos mesmos, como por exemplo, a aplicação da borracha natural, que devido a maior dificuldade de corte é empregada na banda de rodagem de pneus destinados a caminhões e veículos de transporte de carga, que utilizam múltiplas estradas, no caso de automóveis empregados predominantemente em estradas pavimentadas, a borracha sintética é preferida por suas características (ANIP,2012).

O processo de construção dos Pneus da GOODYEAR é dividido em 5 fases: a primeira é a mistura. Nela, vários elementos são misturados sendo eles: a borracha natural e sintética, negro de fumo, aceleradores, pigmentos químicos, sendo preparado um composto (borracha). Na Extrusão a banda de rodagem (parte do pneu que entra em contato com o solo) e a parede lateral do pneu passam por uma extrusora (espécie de rosca) e tomam seus formatos finais. Na terceira fase o talão (parte do pneu que faz ligação com a roda) passa por uma pequena extrusora, que aplica uma camada de borracha sobre fios de aço. Na quarta fase todas as partes acima citadas são ligadas através de uma máquina produzindo a carcaça (esqueleto do pneu que sustenta a carga). A vulcanização que é o último processo, vai dar forma ao pneu. Ele é colocado em uma prensa com temperatura, pressão e tempo determinados e moldado características específicas de cada produto para determinar a forma final e o desenho da banda de rodagem final. Após esse processo, o pneu passa por uma inspeção final, sendo liberado para o consumo (GOODYEAR, 2012).

Na Figura 9 é demonstrada a estrutura de um pneu e as partes que o compõe.

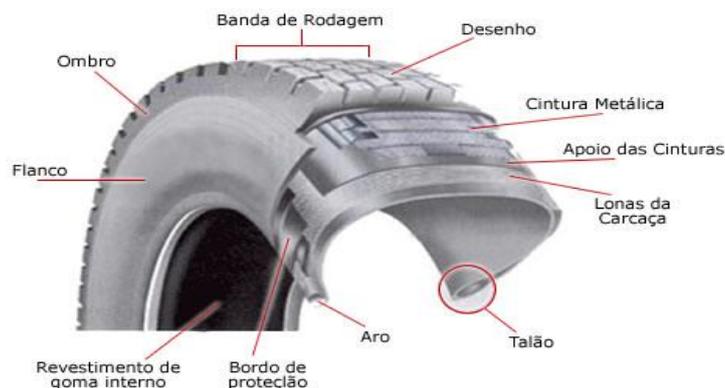


Figura 9: Estrutura do Pneu (PNEUSOST, 2013)

3.4.3 Descarte de Pneus e Resíduos

Todo o trabalho de coletar e destinar os pneus no Brasil é feito pela Reciclanip, criada pelas empresas que produzem pneus no Brasil para cuidar exclusivamente das ações de coleta e reciclagem, que já eram realizadas desde 1999 devido ao Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis. As atividades da entidade atendem a resolução 416/09 do CONAMA, que regulamenta a coleta e destinação dos pneus inservíveis no Brasil, investimentos necessários para que o pneu velho tenha uma nova utilidade (ANIP, 2012).

Segundo os dados na ANIP (2012) nos meses de janeiro, fevereiro e março do ano de 2012, foram coletados mais de 89 mil toneladas de pneus, quantidade esta que equivale a 17,8 milhões de unidades de pneus de carro de passeio. Em 2011, foram coletados e destinados 320 mil toneladas de pneus. Desde o início do projeto em 1999, já foram adquiridos mais de 1,95 milhão de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 390 milhões de unidades de pneus de carro de passeio. Na Figura 10, é possível ter uma ideia da evolução da coleta.

Conforme informações disponibilizadas por parte do Gerente de atendimento da empresa Reciclanip através de e-mail no dia 15/05/2012, “a Reciclanip não destina raspas de borracha provenientes de recapagem. O material que ela coleta e destina é o pneu inservível”. Portanto a destinação final fica a cargo das empresas de recapagem de pneus.

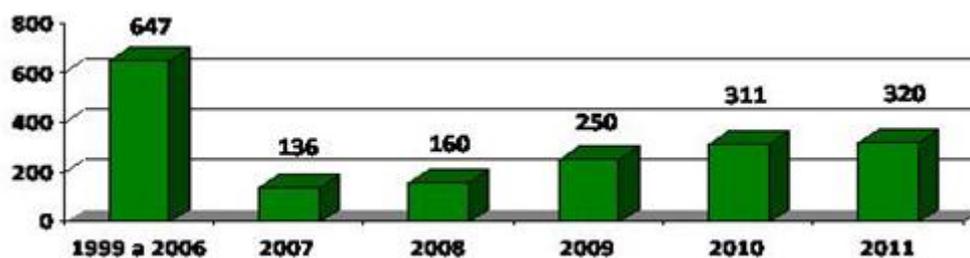


Figura 10: Pneus Inservíveis Coletados e destinados em Milhões de Toneladas (Reciclamp, 2012).

Pelas informações da BRIDGESTONE (2012) as empresas da rede Bandag relacionada a ela, que reformam os pneus, destinam de forma correta o pó de borracha, um dos grandes resíduos do processo de reforma. Este pó é utilizado como fonte de energia alternativa e também usado em quadras poliesportivas.

Segundo o ranking global das empresas fabricantes de pneus, do jornal norte-americano Tire Business, a Bridgestone é a primeira colocada, com a marca de US\$24.425 bilhões de vendas em pneus no ano de 2010. No Brasil a mesma produz durante um ano 12 milhões de unidades (BRIDGESTONE, 2012).

3.4.4 Utilização da borracha proveniente de Pneus Inservíveis

3.4.4.1 Criogenia

É um processo caro sobre o qual o material tem alto valor comercial, sendo que por este processo o pneu é transformado em um granulado pelo processo de resfriamento por nitrogênio e o alto índice de separação dos componentes diminui a necessidade de matérias primas novas. Outras formas de transformação por criogenia em produtos granulares a base de pneu, são similares ao processo por moinhos ou quebradores, todavia, acontecem em temperatura ambiente (TYRES, 2012).

3.4.4.2 Moagem

O subproduto resultante da moagem é a borracha em pó que é produzida essencialmente de resíduos de borracha vulcanizada, essencialmente de pneus (TYRES, 2012).

A granulometria da borracha em pó influencia na sua aplicação após a moagem, as mesmas tem 2 destinos sendo levadas as cimenteiras para a queima das mesmas como parte de obtenção de energia calorífica ou seguirão como matéria-prima para novos produtos como

asfalto-borracha, pisos de quadra poliesportiva, artefatos de borracha, tapetes para automóveis ou solados de sapato (ANIP, 2012).

3.4.4.3 Cimenteiras

Um dos melhores processos de destinação de pneus é a queima de pó de borracha de pneus em alto forno nas cimenteiras, garantindo assim, a geração de energia calorífica sem poluição ou gases, mas o investimento inicial para adequação ou instalação de filtros é alto (TYRES, 2012).

As cimenteira brasileiras têm o sistema de filtros instalado e cobra um valor por tonelada de pneus para destinar o mesmo corretamente, queimando os pneus e usando-os como combustível, ela emite então um certificado que credita as fábricas de pneus que normalmente enviam pneus para a queima, dos mais diversos pontos de recolhimento (TYRES, 2012).

3.4.4.4 Laminação

É o processo de transformação de pneus em sub-produtos como solas de sapato, cinta de sofá, borracha pra rodo. Este processo vem sendo utilizado há vários anos, de forma que pode ser considerado economicamente viável e de baixo custo de implantação, porém só recicla pneus convencionais de nylon de caminhão, modelo esse cada vez mais raro no transporte (TYRES, 2012).

3.4.4.5 Borracha Regenerada

A borracha regenerada é o produto resultante do processo de regeneração da borracha em pó, através da aplicação de calor e agentes químicos, seguido de intenso trabalho mecânico (refinagem), transformando a borracha vulcanizada do estado elástico ao estado plástico e permitindo que a mesma possa ser novamente formulada, processada e revulcanizada (PLABOR, 2012).

3.4.4.6 Asfalto Borracha

O asfalto - borracha é uma forma de preparo da mistura asfáltica em processo úmido sobre a qual é o adicionadas partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado asfalto-borracha, esta adição de partículas mais finas propicia a melhora no desempenho em termos de resistência à deformação permanente (BERTOLLO, 2002).

Para se reaproveitar os pneus inservíveis em materiais de pavimentação, o pneu deve passar por um processo de trituração e moagem, onde é realizada a separação do aço e do nylon, pois apenas a borracha em pó é misturada com o asfalto. Quando esta estiver na fase de pó ela poderá ser incorporada a dois processos distintos: a) processo seco, b) processo úmido.

3.4.5 Processos de Recapagem

PNEU REMOLDADO: A remoldagem retira a banda de rodagem e a lateral usada, e sobre a mesma é colocada uma nova cobertura a qual cobre toda a área do pneu incluindo suas laterais. Este processo acontece em moldes individuais a uma temperatura de 150°C e com 150lb de pressão e o tempo de duração do processo é variável conforme o tamanho do pneu (PNEUSOST, 2012).

PNEU RECAPADO: No processo anterior a recapagem da banda de rodagem sofre a prévia raspagem até a sua retirada aumentando a aderência e gerando raspas de borracha. Sobre a mesma lona são aplicados processos de recapagem “a quente” ou “a frio”. No processo a frio, a banda aplicada no pneu já vem com os sulcos desenhados de fábrica. Nesse sistema, o processo ocorre através de autoclave pressurizada à temperatura efetiva de 110°C por um período de 3 horas. No processo a quente, é utilizado o *camelback* para repor a borracha desgastada na rodagem que é vulcanizada em moldes individuais conforme o processo que ocorre com o pneu remoldado (PNEUSOST, 2012).

PNEU RECAUCHUTADO: o pneu recauchutado é realizado a quente e neste processo a banda de rodagem é substituída por uma nova banda que tem uma área de cobertura maior do que a usada no pneu recapado, chegando a cobrir a junção entre a banda de rodagem e a parte da lateral dos pneus (PNEUSOST, 2012).

3.5 Características dos Pavimentos Rodoviários

3.5.1 Classificações dos Pavimentos pelo DNIT

FLEXÍVEL: aquele em que todas as camadas sofre deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita

(brita graduada, macadame) ou por uma base de sólo formado por pedregulhos, revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Frente a formulação deste pavimento o Instituto Militar de Engenharia (IME, 2013) define que, este pavimento é como cujo revestido com materiais betuminosos (ou asfálticos). Posteriormente o IME (2013) define que a estrutura do pavimento flexível é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. A estrutura deste pavimento é subdividido em quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. Finalmente os mesmos relatam que o revestimento asfáltico pode ser composto por, camada de rolamento em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominada de binder;

SEMIRRÍGIDO: caracterizam-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de sólo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

RÍGIDO: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland (DNIT, 2006).

O Instituto Militar de Engenharia (2013) define os pavimentos rígidos como os cujo revestimento é feito com concreto de cimento Portland. Segundo os mesmo a espessura do pavimentos é fixado em função da resistência a flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. Conseqüentemente o IME delimita que as placas de concreto podem ser armadas ou não com barras de aço, e fazem a ressalva de que as subcamadas desse pavimento podem ser definidas como sub-base, uma vez que a qualidade do material dessa camada equivale a sub-base de pavimentos asfálticos.

3.5.2 Classificação das Camadas dos Pavimentos Flexíveis

O modelo típico de plataforma aplicada à construção de rodovias no Brasil é composta de uma camada de Subleito, Regularização de Subleito, Reforço do Subleito, Sub-Base, Base e Revestimento.

3.5.2.1 Subleito

É o terreno de fundação do pavimento, em relação às camadas subsequentes acima dele é a que, em tese apresenta menos resistência com base nos ensaios de ISC. É responsável pela absorção da carga aplicada sobre as outras camadas, pode ser constituída por uma superfície irregular, no caso da já utilização da via anteriormente como pode ser demonstrada em uma estrada de terra, ou ser constituída por uma superfície que sofreu terraplanagem já com as características geométricas definitivas (SENÇO, 2007).

3.5.2.2 Regularização do Subleito

É a camada de espessura irregular que deve ser aplicada sobre a camada do Subleito a fim de adequar o pavimento as conformidades do projeto tanto transversalmente quanto longitudinalmente, esta camada é aplicada como forma de fazer a máquina de escarificação não trabalhar com um material bem compactado em estradas de terra o que dificulta o trabalho, também chamada de preparo do subleito (SENÇO, 2007).

3.5.2.3 Reforço do Subleito

Esta camada é construída se o subleito não atender aos critérios de resistência do projeto. A espessura da camada é constante e têm características tecnológicas superiores às da regularização e inferiores às da camada imediatamente superior, no caso a sub-base (SENÇO, 2007).

3.5.2.4 Sub-Base

Quando não for aconselhável a estrutura da base ser construída sobre a regularização ou reforço do subleito, se faz a aplicação de uma camada intermediária às 2 estruturas, tendo características melhores em relação as camadas iniciais abaixo dela e menores em relação a base (SENÇO, 2007).

3.5.2.5 Base

Responsável pela absorção dos esforços aplicados por consequência do tráfego sobre a camada de revestimento e distribuí-lo as camadas inferiores. O pavimento pode ser

considerado somente como uma camada de base e revestimento. De forma que a base pode ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito (SENÇO, 2007).

3.5.2.6 Revestimento

Camada responsável pelo recebimento da ação direta do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além da resistência ao desgaste aumentando a durabilidade da estrutura e, sendo tanto quanto possível impermeável. Esta camada é também denominada de capa de rolamento ou capa (SENÇO, 2007).

3.6 Estabilização de Solos

3.6.1 Bases e Sub-bases Estabilizadas Granulométricamente

3.6.1.1 Estabilização Granulométrica

São camadas distintas podendo ser constituídas por solos, britas de rochas, de escória de alto forno, ou ainda, pela mistura desses materiais. Estas camadas, puramente granulares, são sempre flexíveis e são estabilizadas granulométricamente pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentam uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos, fixados em especificações (Manual de Pavimentação, DNIT, 2006).

Muitas vezes os materiais naturais tais como saibros e cascalhos devem sofrer beneficiamento prévio, como britagem e peneiramento com vista ao enquadramento nas especificações (DNIT, 2006).

Quando se utiliza uma mistura de material natural e pedra britada têm-se as sub-bases e bases de solo-brita (DNIT, 2006).

Quando se utiliza exclusivamente produtos de britagem têm-se as sub-bases e bases de brita graduada ou de brita corrida (DNIT, 2006).

Os requisitos para realização de bases estabilizadas granulométricamente está descrita na norma do DNIT 141/2007.

3.6.1.2 Macadame Hidráulico

É a formação de uma camada de brita de graduação aberta ou com volume de vazios alto, que, após compressão ou compactação, tem os vazios preenchidos pelo material de enchimento, constituído por material mais fino de britagem ou, mais conhecido como pó de pedra ou, mesmo por solos de granulometria e plasticidade apropriada. A penetração do material de enchimento é promovida pelo espalhamento na superfície, seguido de varredura, compressão (sem ou com vibração) e irrigação, no caso de macadame hidráulico. O macadame seco ou macadame a seco, ao dispensar a irrigação, além de simplificar o processo de construção evita o encharcamento, sempre indesejável, do subleito. (Manual de Pavimentação, DNIT, 2006).

3.6.2 Bases e Sub-Bases estabilizadas com aditivos

Processos de estabilização de solos segundo o manual do DNIT para pavimentos semirrígidos.

3.6.2.1 Solo-cimento

É uma mistura devidamente compactada de solo, cimento Portland e água; a mistura solo-cimento deve satisfazer a certos requisitos de densidade, durabilidade e resistência, dando como resultado um material duro cimentado, de acentuada rigidez à flexão. O teor de cimento sugerido pela norma NBR 12253/1992 é da ordem de 5% a 10% conforme classificação do solo segundo a ASTM D 3282. No item 3.7 será exemplificado casos de aplicação de solo cimento em outros trabalhos e mais informações sobre a aplicação de solo cimento (DNIT, 2006).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2012) a camada solo-cimento quando aplicada numa estrutura de pavimento, pode ser empregada e preparada com solos do próprio local da obra rodoviária ou utilizando materiais de outras jazidas próximas, podem ser dosados também em usina central. O solo cimento é indicado para base e sub-base de pavimentos flexíveis pelo seu baixo custo inicial e pela alta durabilidade.

3.6.2.2 Solo Melhorado com Cimento

Esta modalidade é obtida mediante a adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), visando primordialmente à modificação do solo no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água sem cimentação acentuada, é considerada flexível (DNIT, 2006).

3.6.2.3 Solo-cal

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) solo-cal é uma mistura de solo, cal e água e às vezes, cinza volante, uma pozolona artificial. O teor de cal mais frequente é de 5% a 6%, e o processo de estabilização ocorre: por modificação do solo, no que refere à sua plasticidade e sensibilidade à água; por carbonatação, que é uma cimentação fraca; por pozolanização, que é uma cimentação forte. A carbonatação é a reação inversa a produção da cal, pois se produz carbonato de cálcio, sendo que este composto produzido é prejudicial á melhoria pretendida quando a adição de cal ao solo, por diminuir o composto que reage com o solo. Na pozolanização o composto de cálcio reage com alguns minerais do solo para formar novas estruturas originando compostos ligantes semelhante aos produzidos com o cimento portland.

Quando, pelo teor de cal usado, pela natureza do solo ou pelo uso da cinza volante, predominam os dois últimos efeitos mencionados, tem-se as misturas solo-cal consideradas semi-rígidas (DNIT, 2006).

3.6.2.4 Solo-betume

É uma mistura de solo água e material betuminoso. Trata-se de uma mistura considerada flexível (DNIT, 2006).

3.6.3 Bases e Sub-bases estabilizadas mecanicamente

Os processos acima citados são complementados pelo processo de compactação dos diferentes materiais de forma que os mesmos atendam a critérios que agregam fatores de melhora ao pavimento como tornar o solo menos permeável, pelo aumento do peso específico

compacto. Além disso, diminuindo a percolação d'água, aumentando a capacidade de suportar cargas e, portanto diminuição do recalque (DNIT, 2006).

O processo de compactação é relacionado ao peso específico, compacto especificado em projeto, por critério de norma tal como a NBR 7182 da ABNT e são citadas 3 diferentes energias, sendo elas a Normal, Intermediária e Modificada. A energia de compactação tem influencia sobre a umidade ótima da amostra e sobre a massa específica seca compacta, de forma que com o aumento da energia de compactação, há uma diminuição da umidade considerada ideal (DNIT, 2006).

O comportamento do solo na compactação é dividido em dois ramos conforme Figura 11. O ramo seco e o ramo úmido. As mesmas se opõem uma à outra, as explicações têm um papel complementar: a) No ramo ascendente ou ramo seco, que é a parte da curva onde se encontra umidades menores que a umidade ótima, a água lubrifica as partículas facilitando seu deslocamento e arranjo. b) No ramo descendente, a água amortiza a compactação, pois começa a ocupar volumes significativos nos vazios da amostra. O ensaio de compactação no laboratório foi proposto por Proctor e posteriormente normatizado pela AASHTO – American Association of State Highway Transportation Officials. No Brasil o ensaio é descrito na Norma NBR 7182 da ABNT, com o nome de SOLO - Ensaio de Compactação- método de ensaio (MASCHIO, 2008).

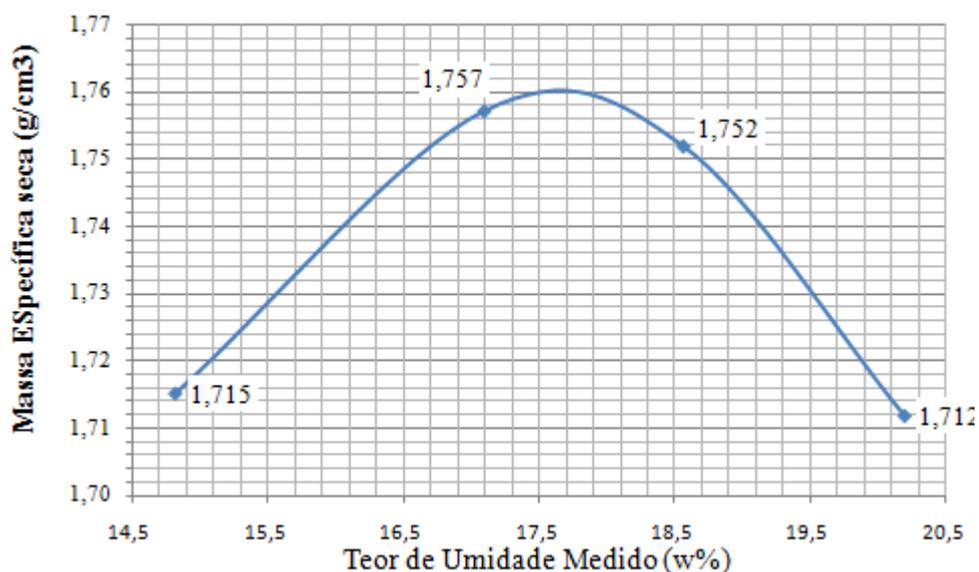


Figura 11: Curva de Compactação Jazida 1(15 a 40cm)

3.7 Solo Cimento

3.7.1 Histórico

As primeiras notícias sobre a tentativa do emprego de solos com cimento data do ano 1915, quando um construtor americano experimentou pavimentar uma rua na cidade da Flórida nos Estados Unidos. Ele buscava obter um material de construção econômico durável e de propriedades tecnológicas bem definidas, utilizando um composto de conchas marinhas, areia de praia e cimento, no entanto devido à falta de tecnologia na época, essa experiência não foi bem sucedida. (PITTA, 1995).

No ano de 1935 a *Portland Cement Association* (PCA), o *Bureau of Public Roads* (BPR) e o Departamento de Estradas de Rodagens da Carolina do Sul, construíram uma pista experimental com 2.5 km próximo a Johnsonville na Carolina do Sul. Assim, foi possível confirmar a validade dos ensaios desenvolvidos no laboratório da PCA que atestavam a mistura de solo cimento como um produto com propriedades boas de suporte. Depois deste experimento, muitos estados começaram a adotar o solo-cimento como um material de construção de pavimentos rodoviários (LIMA, 2006).

O processo de estabilização com uma mistura de solo cimento chegou ao Brasil por volta de 1940 por iniciativa da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), autorizada pela Diretoria da Aeronáutica Civil na construção da pista de circulação do aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro (Pitta, 1995). Segundo a ABCP, os pavimentos com base ou sub-base de solo-cimento são empregados no Brasil desde 1939, quando foi construída a estrada Caxambu-Areias, em empreendimento no qual a ABCP juntou-se ao DNER. Desde então, foram executados no país mais de 25.000 km com essa solução, um marco mundial (ABCP).

Apesar dos resultados satisfatórios nas primeiras pavimentações realizadas, as dificuldades no período da Segunda Guerra Mundial, seguido da escassez de cimento Portland fizeram com que não se desenvolvesse o uso do solo-cimento de maneira ampla no Brasil na época. Mas a partir de 1954 recomeçaram as construções, com maior escala, dos pavimentos de solo-cimento. (MACEDO, 2004).

3.7.2 Estudos Experimentais

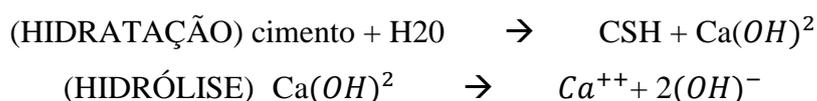
Segundo o estudo sobre solo-cimento, Oliveira (2011) utilizou um solo granular classificado como A-2-4 pelo Highway Research Board (HRB) e estabilizou o mesmo com os

valores de 0%,3%,5%,7%,9% e 11% de cimento , determinando assim, que a porcentagem com maior benefício frente ao ensaio do método físico-químico e o ensaio de resistência a compressão simples foi a porcentagem de adição de baixo teor de cimento no valor de 3%. Isto demonstra que o resultado dos solos arenosos de boa graduação e com plasticidade de média a baixa são os mais adequados de serem estabilizados com cimento, pois requerem baixos teores de aditivo.

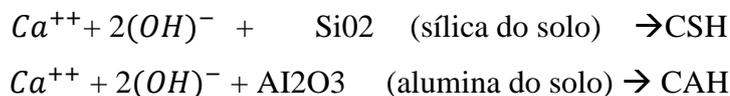
VENDRUSCOLO (2003) descreve que as reações que ocorrem no sistema solo-cimento podem ser divididas em reações primárias e reações secundárias e esta ação é determinada pelo solo utilizado. No caso de solos muito granulares e sem argila, a ação cimentante se dá através dos produtos das reações primárias. Já em solos com altos teores de argila, a ação cimentante se dá através das reações secundárias.

As reações químicas que ocorrem na matriz de solo-cimento conforme MOH (1965) podem ser demonstradas como:

REAÇÕES PRIMÁRIAS



REAÇÕES SECUNDÁRIAS



Segundo VENDRUSCOLO (2003), no seu estudo com misturas de solo arenoso e teores de cimento de 0%, 1%, 4%, 7% e 10%, a cimentação aumenta a rigidez e a resistência do material proporcionalmente ao aumento de cimento, portanto, quanto maior o teor de cimento, maior a resistência. Contudo, a cimentação aumenta significativamente a fragilidade do material.

VILLIBOR (2005) relata que durante a hidratação do cimento (Cura) com o solo, a mistura se contrai havendo perda de umidade e retração térmica da mesma causando a abertura de fissuras e/ou trincas. Quando são utilizados solos mais coesivos e argilosos, a base de Solo-Cimento sofre trincamento mais severo. A estrutura da base cimentada apresenta trincamentos que são visíveis, variando de grau médio a intenso e que se refletem na camada de rolamento. O autor relata que este problema de fissuras não compromete o bom comportamento do pavimento, conforme atestam os mais de 10.000 km dessas bases, executados só no Estado de São Paulo. O autor explica que, devido à fissuração ou trincas da

base, a mesma funciona como se trabalhasse por blocos de solo-cimento irregulares, de baixa permeabilidade e de elevada rigidez.

VILLIBOR (2005), analisa que a carga atua somente sobre um dos blocos e a mesma é absorvida pela deformabilidade do mesmo, fazendo esta se agrupar com os blocos adjacentes, formando uma placa com vários blocos. Deste feito resulta que as tensões verticais são absorvidas por uma placa bem maior que a do bloco em separado, diminuindo, portanto, a transferência da carga à sub-base. Esta placa formada pelo aglomerado de blocos pode ser entendida como uma estrutura flexível, embora seja constituída de blocos de elevada rigidez, mas no meio é habitual considerá-la como um elemento semi-rígido.

A ABCP determinou uma tabela (Tabela 5: Correlação entre a aplicação e o cimento Portland adequado) no seu Guia Básico De Utilização Do Cimento Portland (2002), que baliza algumas aplicações do cimento, sendo que para cada aplicação o mesmo especifica um tipo de cimento Portland mais adequado. Dentre as aplicações do cimento estão dispostas na Tabela 5: Correlação entre a aplicação e o cimento Portland adequado os tipos de cimento que deverão ser utilizados no caso do solo-cimento.

Tabela 5: Correlação entre a aplicação e o cimento Portland adequado.

| Aplicação | Tipos de cimento portland |
|---|---|
| Pavimento de concreto simples ou armado | Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV) |
| Pisos industriais de concreto | Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) |
| Concreto arquitetônico | Branco Estrutural (CPB Estrutural) |
| Argamassa armada (VER NOTA) (*) | Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural) |
| Solo-Cimento | Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV) |
| Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos) | de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos |
| Concreto-massa | de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação |
| Concreto com agregados reativos | Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV) |

3.8 Adição de Fibras aos Solos

RAFALKO (2006) especifica que o benefício em solos obtido a partir de adição de fibras pode depender do fato da utilização desses materiais ou em combinação com estabilizadores químicos, tais como cimento e cal.

O estudo de SILVA (2007) determina que possa ser encontrada no mercado uma grande variedade de fibras, podendo as mesmas ser fibras orgânicas e inorgânicas e, estas

podem ser utilizadas como elemento de reforço de materiais compósitos. A diferença entre as diversas fibras é determinada por propriedades das mesmas, podendo ser citadas a composição física e química, assim como as mecânicas e da resistência que apresentam, quando expostas a meios agressivos em seus diversos empregos.

Conforme SILVA (2007), as fibras orgânicas mais difundidas em utilização ou pesquisa são as fibras de sisal que são obtidas da planta sisal. Estas podem ter comprimento de 90 a 120 cm. A fibra de coco é também conhecida e apresenta comprimentos de 9 a 33 cm.

Já quanto a fibras inorgânicas, FEUERHARMEL (2000) divide as mesmas em fibras poliméricas, fibras minerais e fibras metálicas. Subdividindo as fibras poliméricas em polipropileno, polietileno, poliéster e poliamida e as fibras minerais em fibra de carbono, fibra de vidro e fibra de amianto. SILVA (2007) admite também que entre as fibras inorgânicas podem ser destacadas as fibras de borracha e fibras de plástico PET (polietileno tereftalato).

FEUERHARMEL (2000) detectou por meio de estudos preliminares que já na compactação, a inclusão de fibras ao solo é responsável pela formação de uma estrutura distinta ao do solo sem fibras. Provocando um aumento do índice de vazios do solo com a aplicação de energia constante e analisou que este efeito pode ser maior ou menor dependendo do atrito desenvolvido entre o solo e a fibra.

SILVA (2007) realizou o ensaio de compactação com um solo Argiloso -Siltoso com 69% de argila, 22% de silte e 9% de areia. Com o mesmo solo anteriormente citado, o autor realizou uma mistura solo-raspa de borracha (95%, 5%), e uma mistura de solo natural sem adição, e realizou a compactação de ambas. Analisando as duas curvas pode distinguir que a massa específica seca, é menor para a mistura de solo + 5% de borracha, alcançando o valor de $1,322 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 34% em comparação aos $1,34 \text{ g/cm}^3$ do solo natural e umidade ótima de 36%.

FEUERHARMEL (2000), analisou que as fibras somente passam a exercer uma ação efetiva dentro da massa de solo quando a mesma sofre deformações por esforços externos a ela. O funcionamento das fibras como elementos de reforço é então comandado pela maneira com o qual o solo se deforma e pela forma de distribuição destas deformações, que obviamente dependem do tipo de solicitação ao qual o material está sendo submetido.

SILVA (2007), utilizou o solo Argiloso-Siltoso, composto de 69% de argila, 22% de silte e 9% de areia e, incrementou a este, adições distintas de polipropileno fino Polycrét MF (0,5%), Polipropileno Concrefil (0,5%) e raspas de borracha(5%). Desta maneira, o autor através do ensaio para determinação do ISC obteve para o solo natural o valor de 12,0%. Para

as misturas com adição acima descritas, a mistura de solo- polipropileno concrefil (95%, 5%) foi a mistura que não levou ao incremento de resistência a penetração (ISC), obtendo valor de 11,6%. As misturas posteriores tiveram aumento, tendo a maior resistência a mistura solo-polipropileno fino Polycrét MF com ISC de 27,93%, portanto um incremento de 15,9% na resistência se comparado ao solo natural. A mistura de solo-raspa de borracha (95%, 5%) obteve ISC de 16,25%.

RAFALKO (2006), realizou a análise do incremento de fibras de polipropileno (FP), fibras de nylon e fibras álcool polivinílico (PVA) em um solo siltoso (solo fino), sendo este solo constituído de 81% de matéria passante pela peneira #200, caracterizado como solo com comportamento siltoso que apresentou um LL de 53 e LP de 25. As fibras foram adicionadas nas porcentagens de 0,1% a 1% com 5% de cimento CP II e CP III. O autor realizou ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e o ensaio de resistência à compressão não confinada com as misturas. As fibras de polipropileno utilizadas tinham comprimento de 19 mm, as fibras de nylon de 19 mm de comprimento e as fibras de álcool polivinílico (PVA) com 8,4 mm. Com base nos resultados do ensaio de resistência a compressão não confinada, o autor avaliou que as fibras de comprimento maior apresentaram um desempenho melhor do que as fibras mais curtas de PVA e esta resistência foi aumentando com o incremento do valor máximo de 1% fibra.

Por meio do ensaio de compressão Triaxial e de cisalhamento direto FEUERHARMEL (2000), analisou o comportamento de um solo argiloso, com adição de cimento (0%, 7%) e fibras de polipropileno (0%, 0.5%) nos comprimentos de 12 mm e 36mm. Dentre a mistura de solo-cimento (93%, 7%) e a de solo-cimento-fibras de polipropileno (92.5%, 7%, 0.5%), o mesmo realizou uma análise quanto ao ângulo de atrito e observou que, as adições de fibras de polipropileno aumentam o ângulo de atrito final, sendo os maiores valores encontrados nas misturas sob adição de fibras de 36 mm, isto demonstra que segundo o autor, o aumento da coesão final fica praticamente por conta do aumento no comprimento das fibras.

TRINDADE (2004), frente a ensaios de compressão simples não confinada e ensaio Triaxial analisou o comportamento de fibras de polipropileno, em adição de 0,25%, 0,50% e 0,75% em relação ao peso do solo seco de uma argila, definida como um latossolo vermelho-amarelo de textura argilo-areno-siltoso, com 43% de argila, 38% de areia e 19% de silte. As adições de fibra de polipropileno teve comprimentos de 10, 15, 20 e 30 mm, largura de 1,2 mm e espessura de 0,016 mm (massa linear de 0,1168 g/m). O autor analisou que a máxima

resistência no ensaio de compressão simples foi observada para 0,25% de fibras de polipropileno, no comprimento 20 mm, onde as fibras levam a mistura a um ganho de 110%, se comparado ao solo em seu estado natural. Conseqüentemente, o autor declara que a inclusão de fibras promoveu um ganho na resistência ao cisalhamento do solo argiloso.

VENDRUSCOLO (2003) realizou estudos com misturas entre solos arenosos-cimento-fibras de polipropileno. Para isso, utilizou fibras de 12 mm, 24 mm e 32 mm, nas proporções de 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, e variando os teores de cimento entre 0%, 1%, 4%, 7% e 10%. O autor observou que a variação do comprimento da fibra de 24 mm para 36 mm não tem grande influencia na resistência do material cimentado. Já com as fibras de 12 mm, observou que embora as mesmas atravessassem a superfície de ruptura em maior parte, a fixação da fibra ao solo não é tão eficiente e é facilmente arrancada.

Por outro lado VENDRUSCOLO (2003) descreve que, com a utilização de fibras de comprimento de 24 mm, a melhora na ancoragem traz maior benefício na eficiência do reforço, mesmo que a quantidade de fibras seja menor. Com a utilização de fibras de 36 mm o mesmo verificou que, o aumento no comprimento de ancoragem é compensado pela diminuição na quantidade de fibras.

VENDRUSCOLO (2003), verificou que para baixos teores de cimento, a fibra aumenta a resistência do material compósito, enquanto que para altos teores de cimento, há uma redução da resistência do material.

3.9. Critérios para dimensionamento de pavimentos de Solo-Cimento

Segundo o DNIT na norma 143/2010 – ES a mesma descreve que a resistência à compressão simples é determinada conforme:

A mistura de solo-cimento deve apresentar o valor mínimo de 21 kg/cm², ou 2,1 MPa para a resistência à compressão aos 7 (sete) dias (DNER-ME 201/94), em corpos-de-prova moldados segundo o prescrito no método DNER ME 202/94. O valor da resistência à compressão referida é um valor mínimo, devendo ser obtido, na dosagem, um valor médio que conduza à aquele resultado durante a fase de execução, tendo em vista a dispersão encontrada. (DNIT 143/2010 ES)

Segundo o DNIT na norma DNIT 142/2010 ES, o solo empregado no ensaio de Índice de Suporte Califórnia deve atender aos itens abaixo definidos e descritos.

Os solos empregados segundo a norma DNIT 142/2010 ES, a execução de base em solo melhorado com cimento deve atender a composição granulométrica determinados em uma das faixas conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Granulometria do Solo.

| Peneiras | | Faixas | | | |
|----------|-------|---------|---------|---------|----------|
| pol | mm | A | B | C | D |
| 2" | 50,8 | 100 | 100 | - | - |
| 1" | 25,4 | - | 75 - 90 | 100 | 100 |
| 3/8" | 9,5 | 30 - 65 | 40 - 75 | 50 - 85 | 60 - 100 |
| N°4 | 4,8 | 25 - 55 | 50 - 60 | 35 - 65 | 50 - 85 |
| N°10 | 2,0 | 15 - 40 | 20 - 45 | 25 - 50 | 40 - 70 |
| N°40 | 0,42 | 8 - 20 | 15 - 30 | 15 - 30 | 25 - 45 |
| N°200 | 0,074 | 2 - 8 | 5 - 15 | 5 - 15 | 5 - 20 |

A porcentagem que passa na peneira n° 40 deve ter limite de liquidez igual ou inferior a 40% e índice de plasticidade igual ou inferior a 18%. O agregado retido na peneira n° 10 deve ser constituído de partículas duras e duráveis, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados, de matéria vegetal ou outra substância prejudicial.

Outro item descrito na norma DNIT 142/2010 ES descreve o ensaio de Índice de Suporte Califórnia, mostrando o que a mesma deve atender:

A Mistura projetada de solo-cimento e água deve ser deixada solta para curar, por um período mínimo de 72 horas, após o qual deve satisfazer às seguintes características quando submetidas aos ensaios indicados a seguir:

- a) Limite de liquidez $\leq 25\%$ (DNER-ME 122/94); b) Índice de plasticidade $\leq 6\%$ (DNER-ME 082/94); c) Índice de Suporte Califórnia ISC 80% e expansão máxima de 0,5%, obtidos de acordo com a energia de compactação do ensaio DNER-ME 129/94 - Método C. (DNIT 142/2010 ES)

Também segundo a norma DNIT 142/2010 ES o solo deverá atender alguns requisitos para ser utilizado e estas características estão mostradas na Tabela 7:

Tabela 7: Características do Solo

| Peneiras | Porcentagem | Tolerância |
|------------------------|-------------|------------|
| 2½" | 100 % | - |
| Nº 4 | 50 a 100 % | ± 5% |
| Nº 40 | 15 a 100 % | ± 2% |
| Nº 200 | 5 a 35 % | ± 2% |
| Limite de liquidez | máximo 40% | |
| Índice de plasticidade | máximo 18% | |

Segundo a norma NBR 12253/92 da ABNT a adição de cimento pode ser estabelecida pela classificação do solo para o ensaio de compressão simples conforme a Tabela 8 que pode ser encontrada na mesma norma:

Tabela 8: Teor de cimento sugerido.

| Classificação do solo, segundo a ASTM D 3282 | Teor de cimento sugerido, em massa (%) |
|---|---|
| A 1-a | 5 |
| A 1-b | 6 |
| A 2 | 7 |
| A 3 | 9 |
| A 4 | 10 |

A mesma norma determina o mínimo de cimento que deverá ser utilizado.

O teor mínimo de cimento em massa recomendado nesta Norma é de 5%. Podem ser empregados teores de até 3,5%, em massa, desde que satisfeito o item 5.2, que a mistura se processe em usina, conforme a NBR 12254, e que o solo matéria-prima seja do tipo A1-a, A1 -b ou A 2-4.

Na Fixação do teor de cimento a norma NBR 12253/92 define que:

Deve ser adotado como teor de cimento o menor dos teores com os quais a resistência média à compressão for igual ou superior a 2,1 MPa, aos sete dias de Idade. (NBR 12253/92)

4 Materiais e Métodos

A seguir descrevem-se os principais materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

4.1 Água

Foi utilizada a água potável para a realização de todos os ensaios geotécnicos, tais como: ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e ensaio de compressão simples. A água utilizada faz parte da rede de distribuição que abastece todo o campus de Alegrete - Unipampa.

4.2 Solo

As amostras de solo, inicialmente foram coletadas de três jazidas distintas. Sendo a jazida 1 (29°49'13,26"S, 55°52'45,12"O) localizada próximo ao aeroporto de Alegrete. A jazida 2 (29°50'25,44"S, 55°47'06,87"O) locada perto de uma olaria da cidade de Alegrete. Finalmente, a jazida 3 (29°44'56.88"S, 55°40'35.42"O), localizada dentro de uma fazenda de propriedade particular.

Para as diferentes amostras de solo coletadas, foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e ensaios de compactação, a fim de definir um único tipo de solo a ser utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa.

4.3 Cimento

Nesta pesquisa, foi utilizado o Cimento Portland Pozolânico CP IV-32 com resistência mínima estipulada conforme a NBR 5736/91 e descrita na Tabela 9.

Tabela 9- Classes de resistência dos cimentos Portland Pozolânico (NBR 5736/91)

| Classe de resistência | Resistência à compressão aos 28 dias de idade (Mpa) | |
|-----------------------|---|-----------------|
| | Limite inferior | Limite superior |
| 25 | 25.0 | 42.0 |
| 32 | 32.0 | 49 |

A composição do cimento Pozolânico é definida segundo a norma da ABNT a NBR 5736/91 que fixa valores que deveram ser atendidos em % de massa, segundo a Tabela 10.

Tabela 10- Teores dos componentes do cimento Portland Pozolânico (NBR 5736/91)

| Sigla | Classe de resistência | Componentes (% em massa) | | |
|-------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| | | Clínquer sulfato de cálcio | Material pozolânico | Material carbonático |
| CP IV | 25 | 85-45 | 15-50 | 0-5 |
| | 32 | | | |

4.4 Raspas de Pneu

A raspa de pneu coletada (Figura 12) foi adquirida por doação por parte de uma empresa de recapeamento de pneus da cidade de Alegrete. A raspa de pneu é obtida pela raspagem da banda de rodagem do pneu e tem formas distintas entre si, podendo ser diferenciada em raspa de pneus de vários comprimentos, chegando a ter raspa de pneus de comprimentos maiores que 36 mm e menores que 5 mm .



Figura 12: Raspa de pneu bruta disponibilizada pela empresa

As raspa de pneus utilizadas para o trabalho de pesquisa (Figura 13) foram preparadas e selecionadas de forma a que obtivessem comprimentos estabelecidos na faixa de 25 mm +/- 1 mm e espessura variável de 0,2 mm a 0,5mm. As raspas de borracha foram caracterizadas pelo processo de peneiramento, utilizando as peneiras 12.7, 9.52, 6.35, 4.75, 2.36, 1.18 mm. As raspas de borracha utilizadas na pesquisa foram, as passantes na peneira

#6.35 mm e não passantes na peneira 4,75 mm. Esta medida de comprimento foi utilizada levando-se em conta os ensaios descritos no Item 3.8 da base bibliográfica.



Figura 13: Raspa de pneu com comprimento aproximado de 25mm

4.5 Extração das amostras em campo

As amostras de solo foram primeiramente extraídas de 3 locais distintos da cidade de Alegrete. A coleta das amostras de solo foi realizada sob condição deformada em todos os locais, prévia raspagem da camada superficial (material predominantemente orgânico e contaminado). A jazida 1 (Figura 14) está localizada na entrada do aeroporto de Alegrete. Nesta primeira jazida foram retiradas amostras de profundidades distintas, sendo inicialmente coletado um solo fino de cor marrom-avermelhado de 15 a 40 cm (Figura 15) de profundidade. Seguidamente se coletou amostra de outra camada de profundidade de 40 a 60 cm, a qual tinha uma coloração marrom-escura. É importante destacar que a escavação do poço foi realizada no pé de um corte de talude, conseqüentemente, o solo marrom-avermelhado corresponde a uma espessura aproximada de 2 m. O volume da jazida não foi mapeada.



Figura 14: Localização da jazida 1 de Extração



Figura 15: Solo com Coloração Marrom-Avermelhado da Jazida 1

A jazida 2 (Figura 16) está localizada perto de uma olaria da cidade de Alegrete/RS no interior do município.



Figura 16: Localização da jazida 2

A jazida 3 (Figura 17) está localizada a $29^{\circ}44'56.88''S$, $55^{\circ}40'35.42''O$, dentro da fazenda BICCA.



Figura 17: Localização da jazida 3

4.6 Preparação dos solos e ensaios de caracterização

As amostras deformadas após coletadas sofreram secagem prévia à luz solar (Figura 18), conforme orienta a norma NBR 6457.



Figura 18: secagem da amostra retirada da Jazida 1 a profundidade de 15 a 40 cm em bandeja metálica até a umidade higroscópica

As amostras também foram destorroadas no almofariz conforme a Figura 19.



Figura 19: Destorroamento da amostra retirada da Jazida 1 na profundidade de 15 a 40 cm em almofariz

4.6.1 Limites de Attemberg

Com o propósito de caracterizar os solos coletados, foram executados ensaios de limite de liquidez (Figura 20a), limite de plasticidade (Figura 20b), conforme metodologia

descrita no item 3.1.3 e 3.1.4, respectivamente relacionado a NBR 6459/1984 e NBR 7180/1984.

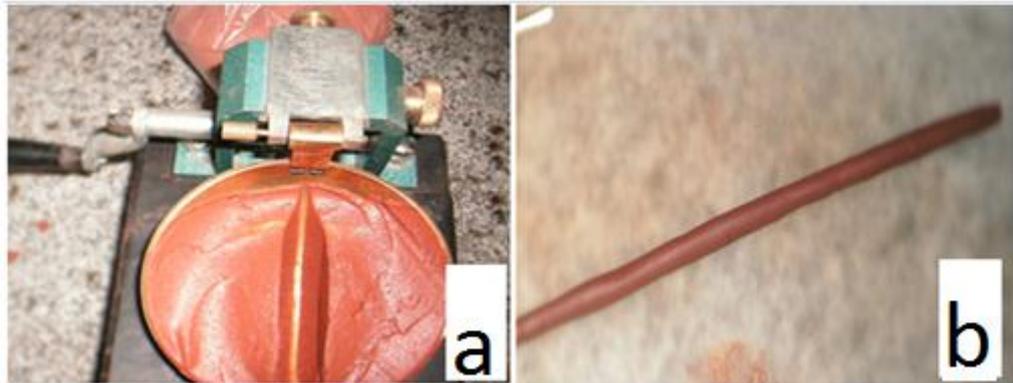


Figura 20: a) processo de determinação do limite de liquidez; b) processo de determinação do limite de plasticidade (ambos ensaios realizados com amostra retirada do Jazida 1 a profundidade de 15 a 40cm)

4.6.2 Ensaio de Compactação das Amostras

Foram realizados ensaios de compactação sem a reutilização de material, conforme item 3.2.1 (NBR 7182/1986) com os solos coletados, a fim de averiguar qual obterá a massa específica seca compacta máxima com a energia de compactação Proctor normal.

A Figura 21a mostra o molde de cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor) utilizado nos ensaios de compactação, também podem ser observadas as dimensões que caracterizam o cilindro Proctor (Figura 21b).

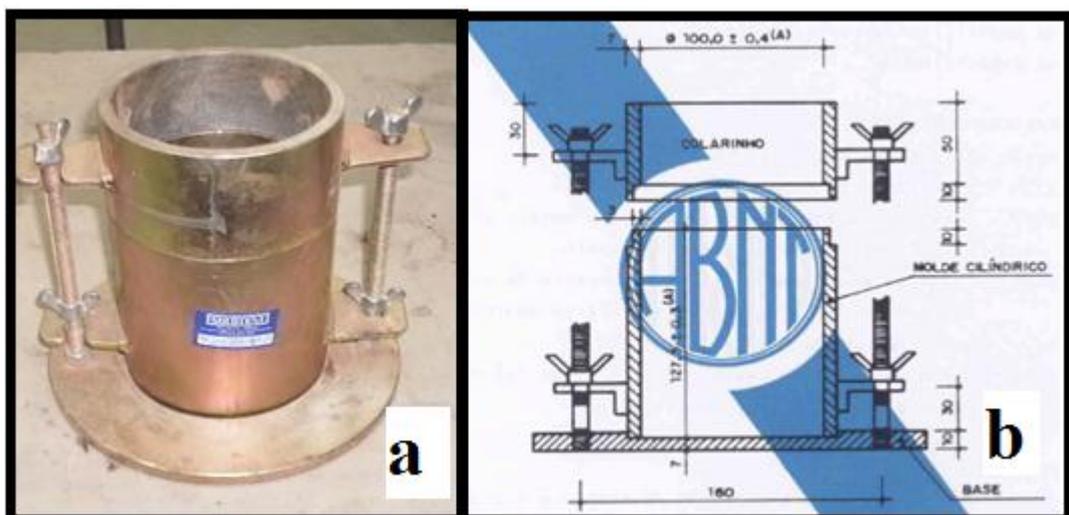


Figura 21: a) Cilindro de Proctor Normatizado, b) Molde Utilizado para o ensaio

No ensaio de compactação foi utilizado o soquete pequeno (Figura 22 a) para realizar o ensaio de compactação (Figura 22 b).

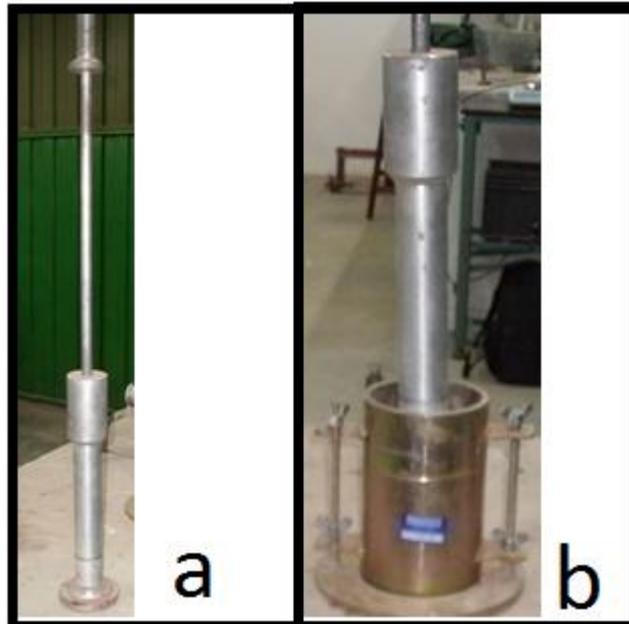


Figura 22: a) Soquete Pequeno; b) ensaio de compactação

4.6.3 Massa específica

O ensaio foi realizado conforme bibliografia referente ao item 3.1.5 (NBR 6508/1984). Conseqüentemente foi determinada a massa específica (ρ_s) dos grãos de solo que passam na peneira de abertura de 4,8 mm. A Figura 23 mostra algumas etapas referentes ao ensaio com o solo da jazida 1 na profundidade de 15 a 40 cm.



Figura 23: a) balão volumétrico com solo; b) balão volumétrico em banho-maria

4.6.4 Granulometria

A determinação da composição granulométrica dos solos foi realizada conforme a norma NBR 7181/1984. Desta maneira, foram adotados os processos de sedimentação demonstrada na Figura 24a e peneiramento Figura 24b.

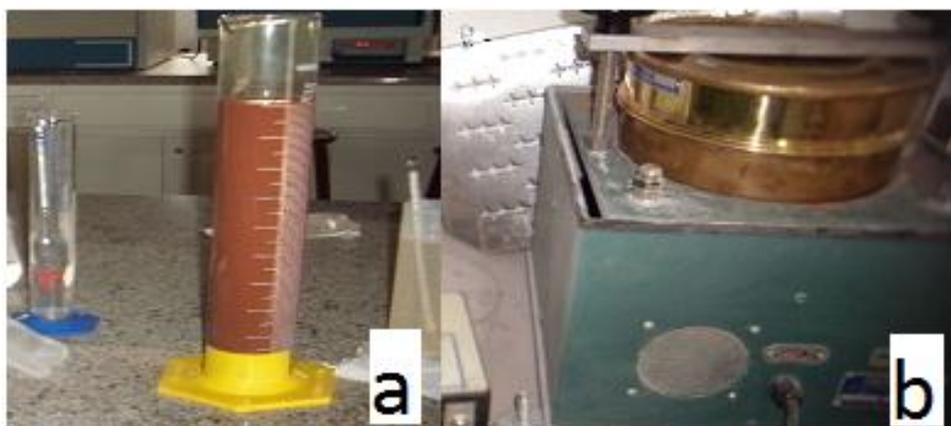


Figura 24: a) Ensaio de Sedimentação em execução; b) Ensaio de Peneiramento (ambos ensaios realizados com amostra retirada da Jazida 1 a profundidade de 15 a 40cm)

4.7 Definição das porcentagens de Cimento e Raspa de pneu em Mistura.

Nos ensaios referentes a este item e aos itens 4.8 e 4.9, os ensaios envolveram o uso do solo da jazida 1, cimento e raspa de pneus. Além disso, a escolha do solo da jazida 1 está justificado no item 5.3.

O percentual de adição de cimento foi estipulado conforme as normas brasileiras NBR 12253 e a norma DNIT 142/2010 – ES. Além disso, foi tomada como base a bibliografia dos itens 3.7 e 3.9 deste trabalho. O valor foi estipulado primeiramente em 5 % cimento segundo as referencias.

Frente ao ensaio de Índice de suporte Califórnia (ISC) à utilização da raspa de pneu foi adotada segundo o item 3.8 deste trabalho, para a porcentagem de 1% de raspa de pneu e posteriormente de forma a abranger o estudo foram realizadas misturas com porcentagens de 3%, 5% e 10% de raspa de pneu.

Foram realizadas as misturas de forma homogênea entre os materiais de solo, solo-cimento e solo-cimento-raspa de pneu conforme Tabela 11 para o ISC. A porcentagem de adição de cimento e borracha adotadas e porque motivo foram especificadas, anteriormente

descritas, a porcentagem foi especificada em 1% de borracha com comprimento de 25mm, pois os valores menores de porcentagem trouxeram melhor comportamento conforme demonstrado no item 3.8. A porcentagem menor de cimento referente a 5% foi estabelecida conforme o item 3.7, pois é a porcentagem mínima estabelecida pela NBR 12253/92 da ABNT. As misturas foram preparadas levando em conta as proporções de massa seca.

Tabela 11: Misturas para ISC

| Mistura | Solo (%) | Cimento (%) | Borracha de Pneu (%) | Energia de Compactação |
|---------|----------|-------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 100 | — | — | Normal |
| 2 | 94 | 5 | 1 | Normal |
| 3 | 100 | — | — | Intermediária |
| 4 | 92 | 5 | 3 | Intermediária |
| 5 | 92 | 8 | — | Intermediária |
| 6 | 91 | 8 | 1 | Intermediária |
| 7 | 89 | 8 | 3 | Intermediária |
| 8 | 87 | 8 | 5 | Intermediária |
| 9 | 82 | 8 | 10 | Intermediária |

Em virtude dos valores baixos de ISC medidas na mistura 1 (solo natural) e mistura 2 (solo-cimento- raspa de pneu (94%,5%,1%)), optou-se por alterar a energia de compactação durante as outras misturas trabalhadas. Desta maneira, para as misturas 3, 4, 5, 6, 7, 8, e 9 foram adotados a energia de compactação intermediaria, além de considerar uma proporção de 8 % de cimento para as futuras misturas.

Para o ensaio de compressão simples foi adotada a energia de compactação intermediária e as misturas descritas segundo a Tabela 12.

Tabela 12: Misturas para Compressão Simples

| Mistura | Solo (%) | Cimento (%) | Borracha de Pneu (%) |
|---------|----------|-------------|----------------------|
| 1 | 100 | — | — |
| 2 | 92 | 5 | 3 |
| 3 | 92 | 8 | — |
| 4 | 91 | 8 | 1 |
| 5 | 89 | 8 | 3 |
| 6 | 87 | 8 | 5 |
| 7 | 82 | 8 | 10 |

4.8 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia foi realizado segundo o item 3.2.2 deste trabalho (NBR-9895/1987). Foram realizadas as mistura conforme a Tabela 11, preparadas e misturadas, segundo as orientações do item 3.1.2 e item 6.6. Para compactar os corpos de prova, foi utilizado o molde cilíndrico grande (Figura 25a), o soquete grande (Figura 25 b) e disco espaçador (Figura 25 c).



Figura 25: a) Molde cilíndrico metálico Grande; b) soquete metálico grande; c) disco espaçador

Antes da compactação das misturas foi colocado um papel (Figura 26 a) sobre o molde espaçador para que durante a compactação a amostra não aderisse à base do mesmo, após a compactação o mesmo papel foi retirado. Durante a compactação de cada uma das 5 camadas de compactação foi realizada a escarificação (Figura 26 b) da mesma, a energia de compactação utilizada para cada mistura é demonstrada na Tabela 11 , após a compactação da segunda camada foram retiradas as amostras em cápsulas (Figura 26 c) para determinação da umidade de compactação de cada cilindro medida pela balança RADWAG (Figura 26 d) com capacidade de 2000g e precisão de 0,01g.

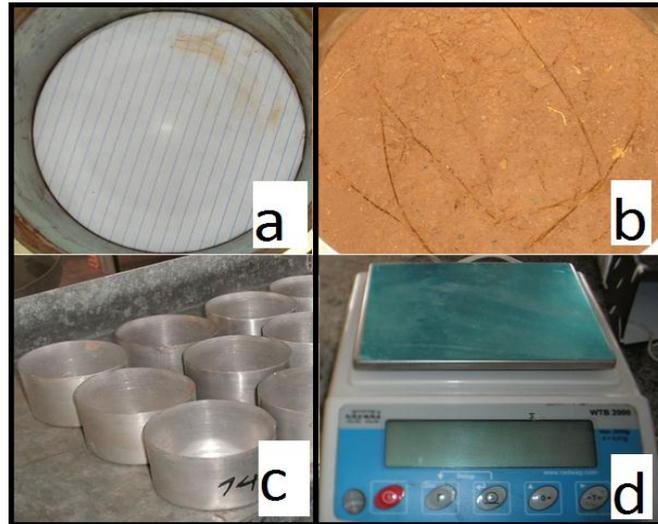


Figura 26: a) Papel colocado sobre o espaçador; b) escarificação da camada; c) retirada de amostra para determinação da umidade; d) balança RADWAG.

As misturas compactadas referentes à Tabela 11 do item 4.7 foram ensaiadas conforme item 3.2.2 (NBR-9895/1987) e foram imersas em água (Figura 27c) durante 4 dias, sendo colocadas sobre a base superior do cilindro uma sobrecarga de duas peças metálicas (Figura 27b) com cargas total de 4,54 kg, para determinação da expansão é colocado sobre a base superior um tripé sobre o qual é fixo um extensômetro (Figura 27a), os ensaios de resistência a penetração na amostra foram realizados na prensa contenco, (Figura 27d) a qual usa um anel dinamométrico calibrado de n° 804, para 5t., certificado pelo CETEC numero: 116.209.

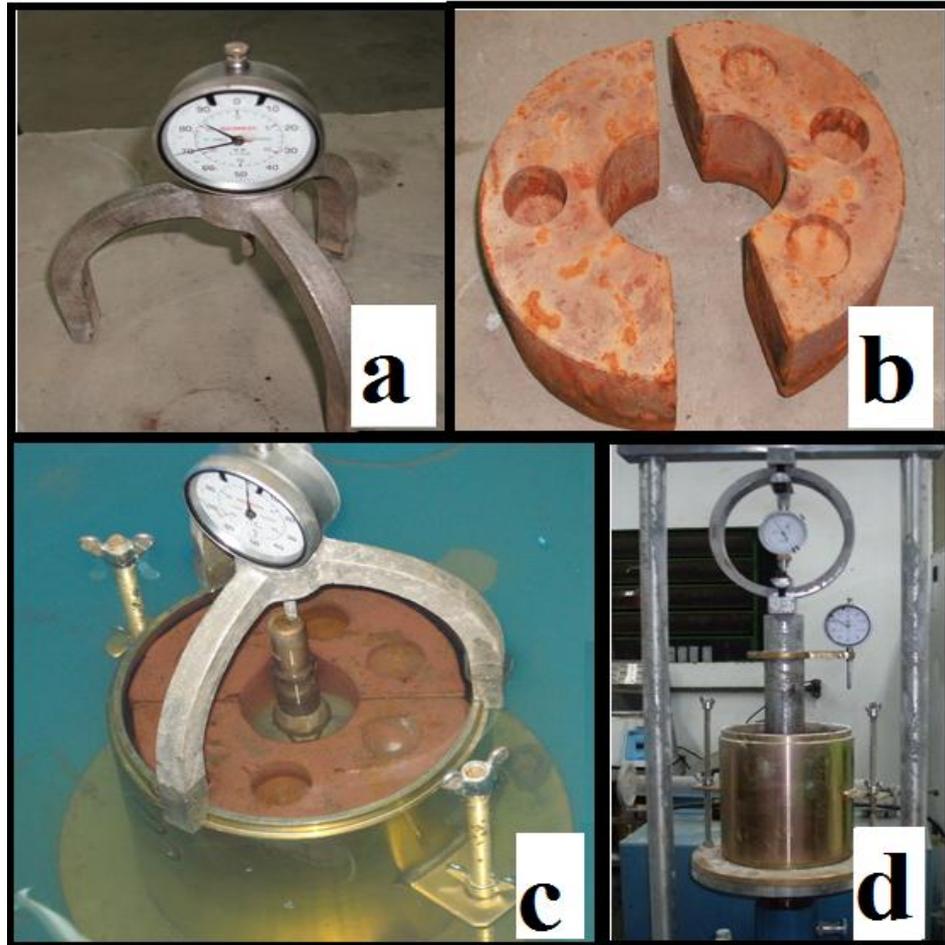


Figura 27:a) Extensômetro; b) 2 pesos; c) Cura e determinação da expansão; d) Ensaio de ISC.

4.8.1 Solo Natural

Foi realizada a compactação com energia normal com o soquete da Figura 25b e foi obtido o cilindro compactado da Figura 28a. Após a realização do ensaio a amostra ficou conforme mostrado na Figura 28b.

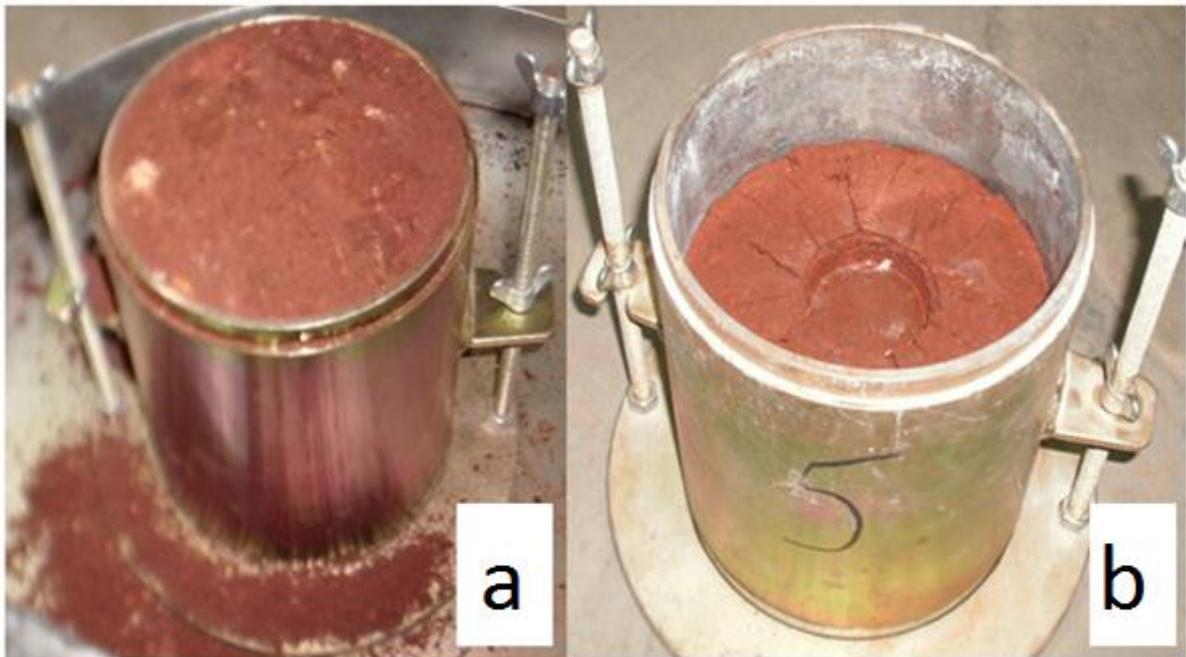


Figura 28: a) Cilindro de ISC compactado; b) cilindro após o ensaio.

4.8.2 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 2)

Na mistura 2 (Figura 29a) com adição de 5% de cimento e 1% de raspa de pneu foi utilizada a energia normal de compactação utilizando o soquete da Figura 25 b ,e foi obtido o cilindro compactado da Figura 29b.

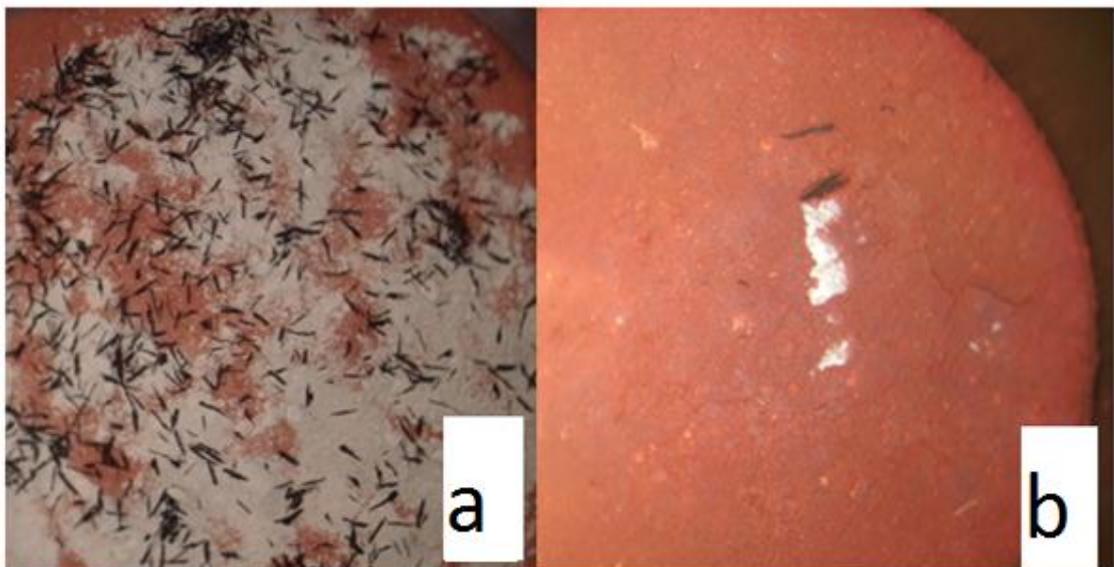


Figura 29: a) Mistura antes da Homogeneização; b) Vista superior da amostra compactado.

4.8.3 Solo natural (Mistura 3)

Foi realizada a compactação com energia intermediária do solo natural com o soquete da Figura 25 b. Após a realização do ensaio a amostra ficou conforme a Figura 30.



Figura 30: Cilindro de Solo Natural após o ensaio.

4.8.4 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 4)

Nesta mistura de 5% de cimento e 3% de raspa de pneu foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25 b. Foi obtida após a realização do ensaio a amostra da Figura 31.



Figura 31: Adição 5% de cimento e 3% de raspa de pneu após ensaio de ISC.

4.8.5 Mistura de solo-cimento (Mistura 5)

Na mistura 5 (Figura 32a) com adição de 8% de cimento foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25 b, e foi obtido o cilindro compactado da Figura 32 b o qual sofreu o processo de retirada de excesso de material demonstrada na Figura 32 c. Após a realização do ensaio a amostra ficou conforme demonstrado na Figura 32 d



Figura 32: a) Mistura sendo homogeneizada; b) Mistura Compactada; c) retirada de excesso de material; d) Mistura após o ensaio de ISC.

4.8.6 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 6)

Na mistura 6 com adição de 8% de cimento e 1% de raspa de pneu foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25 b, e foi obtido após a realização do ensaio a amostra deformada da Figura 33.



Figura 33: Amostra deformada após ensaio de ISC.

4.8.7 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 7)

Na mistura com adição de 8% de cimento e 3 % de raspa de pneu foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25b, e foi obtido o cilindro compactado da Figura 34 b.



Figura 34: Mistura Compactada solo-cimento-raspa de pneu (89%,8%,3%).

4.8.8 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 8)

Na mistura de solo + 8% de cimento e 5 % de raspa de pneu foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25.

4.8.9 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 9)

Na mistura (Figura 35 a) com adição de 8% de cimento e 10 % de raspa de pneu foi utilizada a energia intermediária de compactação utilizando o soquete da Figura 25b, e foi obtido o cilindro compactado da Figura 35 b o qual depois de compactado e deformado está determinado na Figura 35 c; e após retirado do molde é demonstrado em Figura 35 d.

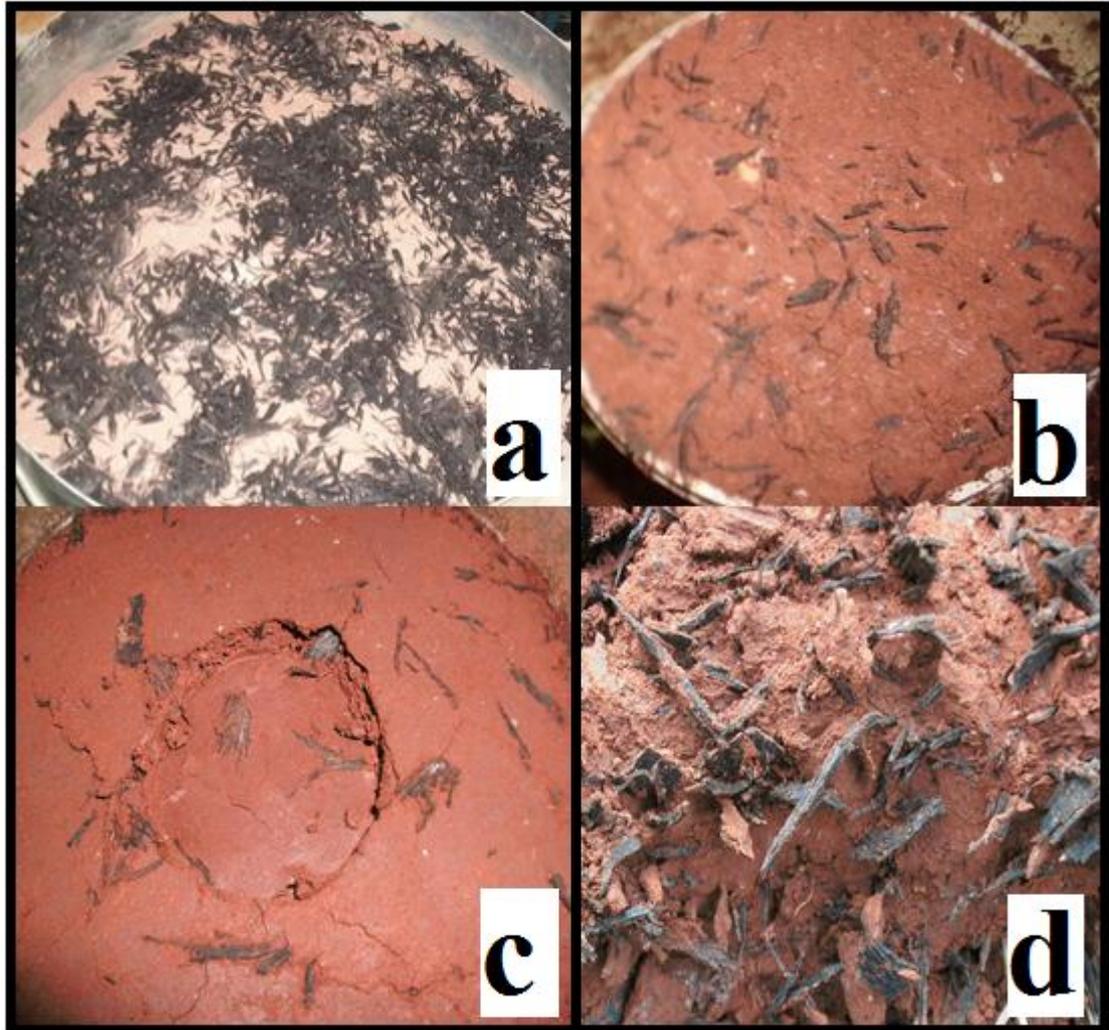


Figura 35: a) Mistura adição de 8% de cimento e 10 % de raspa de pneu antes da homogeneização; b) Mistura compactada; c) mistura após ensaio ISC; d) amostra restante após limpeza dos moldes.

4.9 Ensaio de Compressão Simples

O ensaio de compressão simples foi realizado segundo o item 3.2.3 (NBR 12024/92 e NBR 12253/1992) deste trabalho. Para o ensaio foram moldadas as amostras segundo as misturas da Tabela 13, referente ao item 4.7 também demonstrada na Tabela 13.

O solo foi preparado segundo os itens de preparação de amostras demonstradas em bibliografia no item 3.1.2 com secagem até a umidade higroscópica e destorroamento da amostra, sendo misturadas de forma homogênea como descrito no item 3.1.2 e compactada com energia intermediária conforme o item 3.2.1.

Tabela 13: Misturas para o ensaio de Compressão Simples

| Mistura | Solo (%) | Cimento (%) | Borracha de Pneu (%) |
|---------|----------|-------------|----------------------|
| 1 | 100 | — | — |
| 2 | 92 | 5 | 3 |
| 3 | 92 | 8 | — |
| 4 | 91 | 8 | 1 |
| 5 | 89 | 8 | 3 |
| 6 | 87 | 8 | 5 |
| 7 | 82 | 8 | 10 |

Foram preparadas as amostras juntando todos os materiais referentes a mistura, e realizando a mistura, isto como forma a serem moldados 5 corpos de prova para cada mistura, isto favoreceu a homogeneidade das misturas.

O molde utilizado foi o cilindro metálico pequeno (Figura 21) o qual foi previamente untado com um produto desmoldante para diminuir o atrito entre a mistura compactada e o cilindro. Na compactação foi utilizado o soquete grande (Figura 25 b), com a utilização da energia intermediária de compactação, a utilização desta energia favoreceu a realização do ensaio pelo motivo de a mesma já ter sido usada na compactação dos cilindros do ensaio de índice de suporte Califórnia (ISC), portanto tem-se a facilidade em correlacionar com a massa específica encontrada na compactação dos corpos de prova para o ensaio de compressão simples.

Foram moldados 5 corpos de prova (CP's) para cada mistura, sendo os mesmos extraídos pelo extrator de amostras (Figura 7a) e após isso, foi realizada a medição da massa da amostra compacta na balança (Toledo Modelo 2096DD, Figura 7b) como forma de obtenção da massa específica úmida compacta.

A cura dos corpos de prova foi realizada em ambiente com alta umidade do ar, acima de uma bancada de madeira localizada dentro de um reservatório de água, conforme mostrado na Figura 36.



Figura 36: a) Cura dos Corpos de prova; b) Altura da bancada de madeira.

Após o período de cura, variando entre 7 e 28 dias, foram executados os ensaios de compressão simples. Para isso, se utilizou a prensa hidráulica de acionamento elétrico com visor de leitura digital da marca EMIC modelo PC150C(Figura 7c).

A mistura 1 de solo natural demonstrada na Figura 36: a) Cura dos Corpos de prova; b) Altura da bancada de madeira mostra os corpos de prova de solo natural antes da ruptura aos 7 dias e na Figura 36: a) Cura dos Corpos de prova; b) Altura da bancada de madeira também observa-se o corpo de prova aos 28 dias após a ruptura.

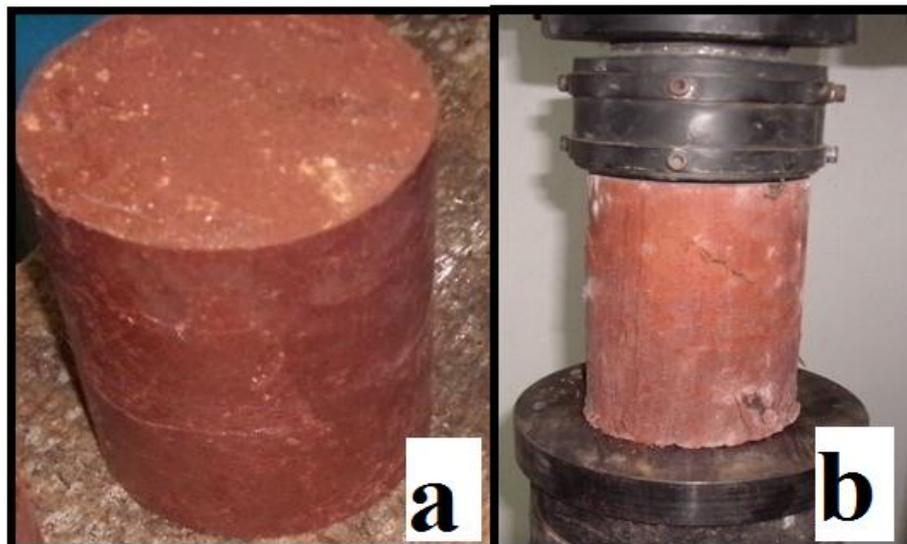


Figura 37: a) Corpo de Prova aos 7 dias; b)Corpo de Prova aos 28 dias.

Para a mistura 2 de solo-cimento-raspa de pneu (92%,5%,3%) foram utilizadas as quantidades de água e raspa de pneu mostradas na Figura 38a e de cimento na Figura 38b. Nas Figura 38c e na Figura 38d pode ser verificado um corpo de prova antes da ruptura e após.

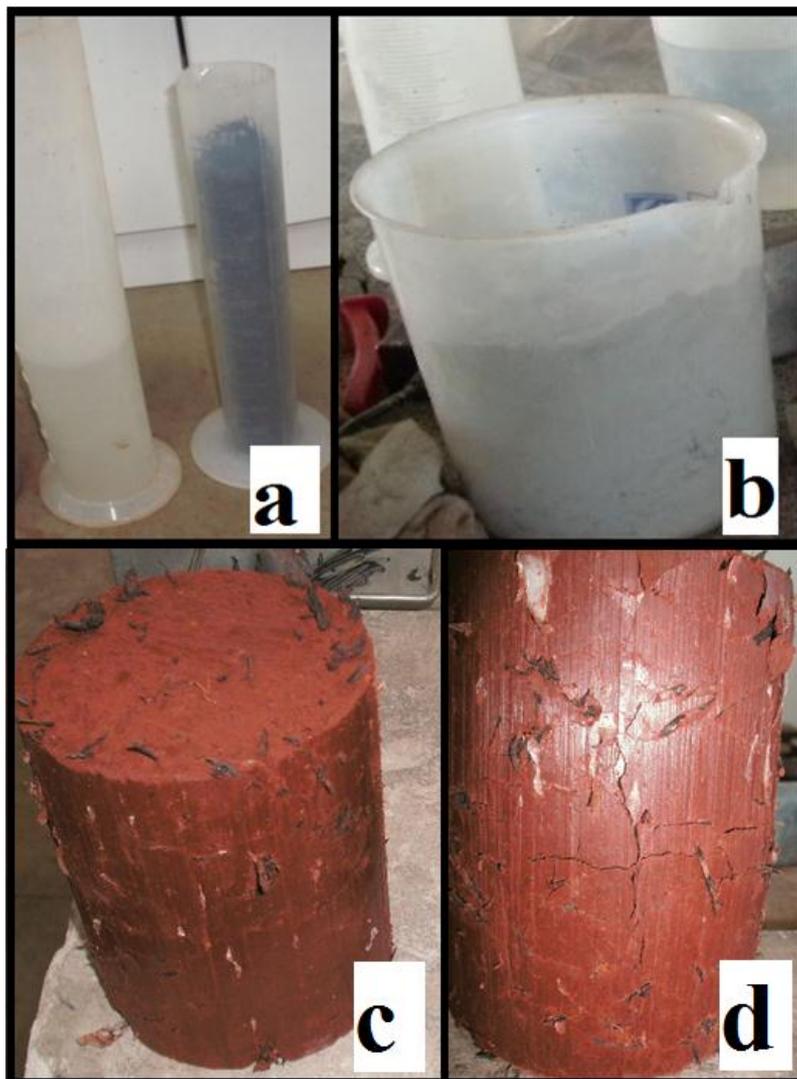


Figura 38: a) água e borracha utilizada na mistura; b) cimento utilizado na mistura;c) corpo de prova aos 7 dias antes do ensaio; d) corpo de prova aos 7 dias após ensaio.

O corpo de prova referente a amostra de solo-cimento-raspa de pneu (92%, 5%, 3%) demonstrada na Figura 38c pode se encontrar fissurado pelo fato a seguir descrito: em primeiro momento a raspa de pneu se encontra confinada somente pelo solo compactado, pois o cimento não está reagindo com a amostra nos primeiros minutos, a porcentagem de 3% de raspa de pneu tem fluência pelo fato da sobreposição das raspas de borracha, esta

sobreposição das raspas pode ser a causa das zonas de fraqueza na amostra compactada, sobre as quais são verificadas as trincas.

Para a mistura 3 de solo-cimento (92%, 8%) pode ser visto segundo a Figura 39 o corpo de prova de solo-cimento rompido após os 28 dias com suas linhas de ruptura bem centralizadas.



Figura 39: CP de solo-cimento rompido após os 28 dias.

Sobre a Figura 39 demonstrada acima, a mistura de solo-cimento (92%, 8%) compactada e ensaiada após os 28 dias, tem linhas de ruptura no sentido de maior dimensão do corpo de prova, portanto axial, isto demonstra que a área cilíndrica do corpo de prova transmite totalmente a carga por sobre o corpo de prova, o sentido de ruptura demonstra que, as camadas de compactação foram bem homogêneas não obtendo zonas de ruptura na horizontal na ligação entre as camadas.

Para a mistura 4 de solo-cimento-raspa de pneu (91%, 8%, 1%) o corpo de prova aos 7 dias tem a fisionomia da Figura 40a e após a ruptura demonstrada na Figura 40b.

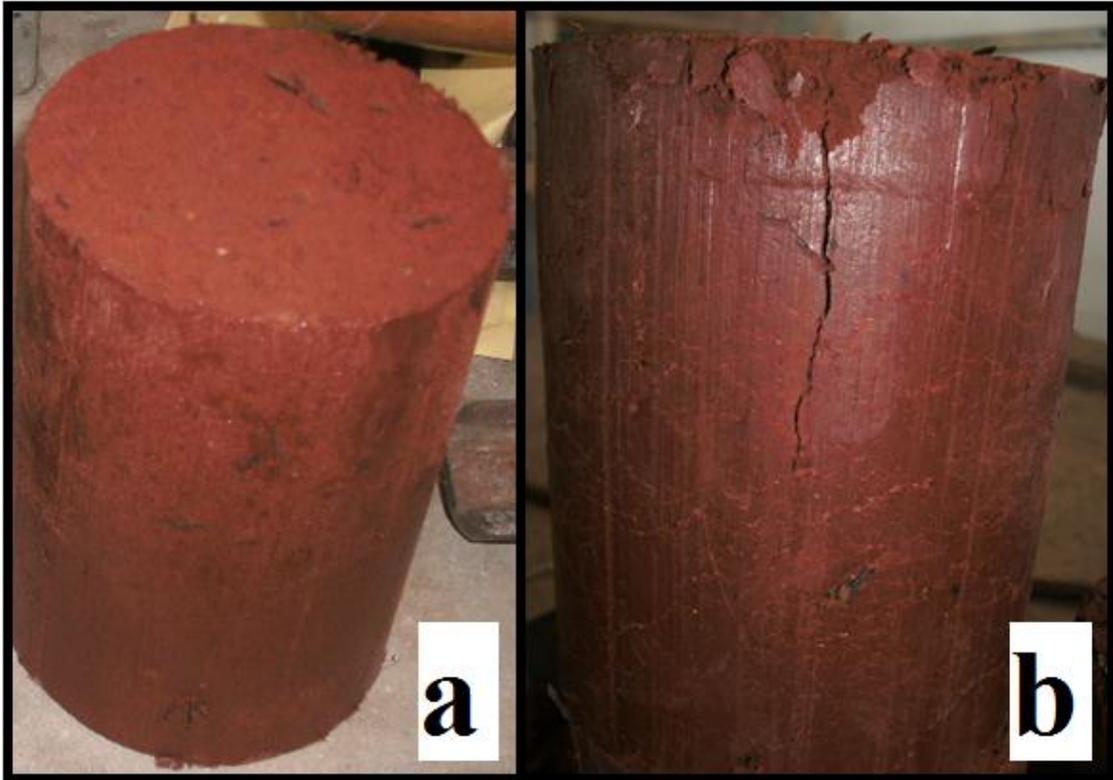


Figura 40:a) CP da Mistura 4 antes do ensaio aos 7 dias ; b) CP da Mistura 4 apos o ensaio aos 7 dias.

O corpo de prova referente a amostra de solo-cimento-raspa de pneu (92%, 8%, 1%) demonstrada na Figura 40a não apresenta fissuras consideráveis que possam ser vistas sem a utilização de um microscópio, a explicação deste fenômeno pode ter base no fato a seguir descrito: a porcentagem de raspas de pneu em baixas porcentagens no caso com 1% não tem influencia na sobreposição das raspas e portanto causa menores zonas de fraqueza na amostra compactada, a inclusão do teor de 1% de raspa de pneus, não tem influencia na ruptura em linhas verticais demonstrada também na mistura de solo-cimento (92%, 8%) , conforme demonstrado na Figura 40b.

Abaixo pode ser visto a mistura 5 composta por solo-cimento-raspa de pneu (87%,8%,3%) durante a mistura da porcentagem de borracha conforme Figura 41a, e o corpo de prova após a extração(Figura 41b).

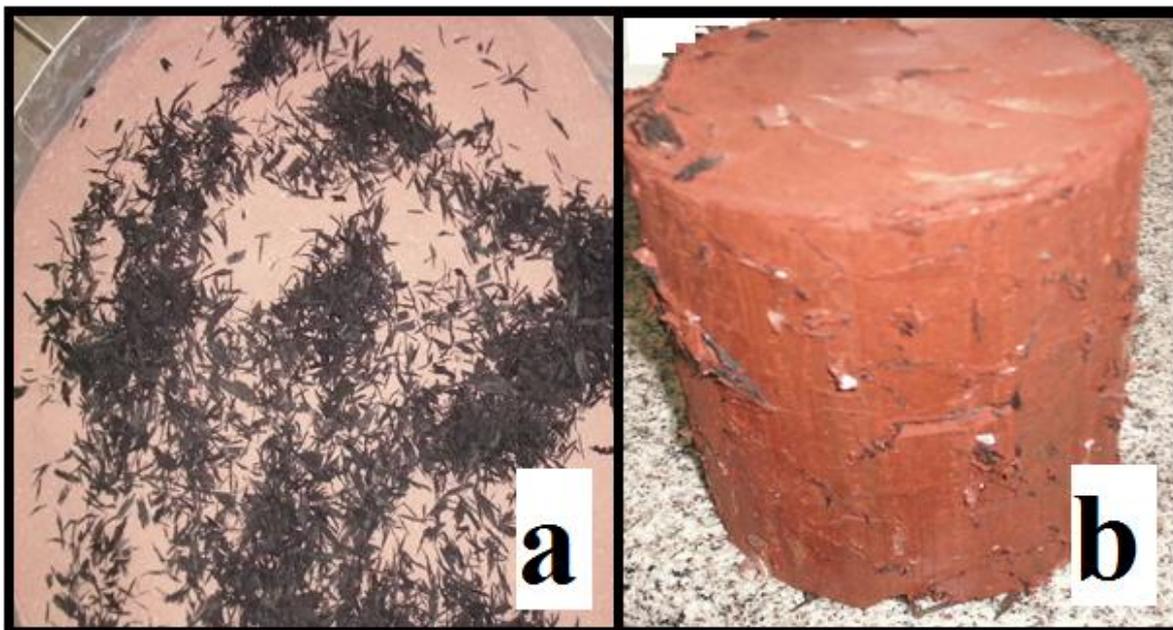


Figura 41: a) Homogeneização da Mistura 5; b) Corpo de prova após Moldagem.

O corpo de prova referente a amostra de solo-cimento-raspa de pneu (89%, 8%, 3%) demonstrada na Figura 41b, pode se encontrar fissurado pelo fato a seguir descrito: em primeiro momento a raspa de pneu se encontra confinada somente pelo solo compactado, pois o cimento não está reagindo com a amostra nos primeiros minutos, a porcentagem de raspas de pneu em baixas porcentagens no caso com 1% não tem fissuras consideráveis que poderão ser vistas sem a utilização de um microscópio, mas em porcentagem de 3% de raspa de pneu, conforme a mistura analisada esta adição já tem fluência pelo fato da sobreposição das raspas de pneu, o fato da sobreposição das raspas pode ser a causa das zonas de fraqueza na amostra compactada, sobre as quais são verificadas as trincas.

Pode ser visto na Figura 42a a mistura 6 composta por solo-cimento-raspa de pneu (87%,8%,5%) após a extração do cilindro e o CP após a ruptura (Figura 42b).

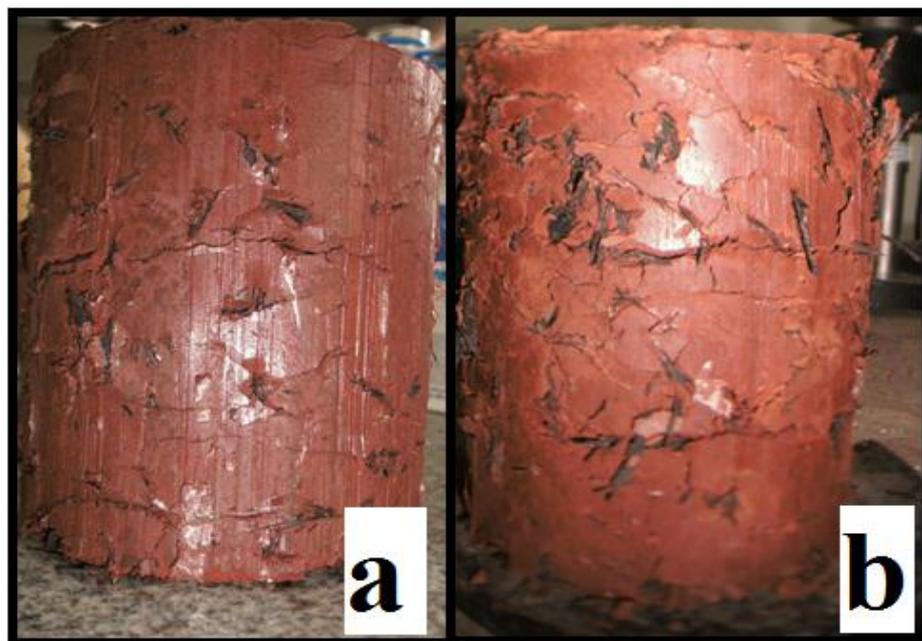


Figura 42: a) Mistura 6 após extração; b) Mistura 6 após o ensaio.

O corpo de prova referente a amostra de solo-cimento-raspa de pneu (87%, 8%, 5%) demonstrada na Figura 42a, pode se encontrar fissurado, pelo fato a seguir descrito e já anteriormente citado para a mistura de solo-cimento-raspa de pneu (89%, 8%, 3%) : em primeiro momento a raspa de pneu se encontra confinada somente pelo solo compactado, pois o cimento não está reagindo com a amostra nos primeiros minutos, em porcentagem de 5% de raspa de pneu, conforme a mistura analisada esta adição já tem fluência pelo fato da sobreposição das raspas de pneu, o fato da sobreposição das raspas pode ser a causa das zonas de fraqueza na amostra compactada, sobre as quais são verificadas as trincas.

Na Figura 43a é demonstrada os materiais adicionados a mistura 7 composta por solo-cimento-raspa de pneu (82%,8%,10%), e ficando ao final da homogeneização conforme mostrado na Figura 43 b, sendo este material compactado ficou como demonstrado na Figura 43c e ao final este material após a extração ficou com a fisionomia da Figura 43d.

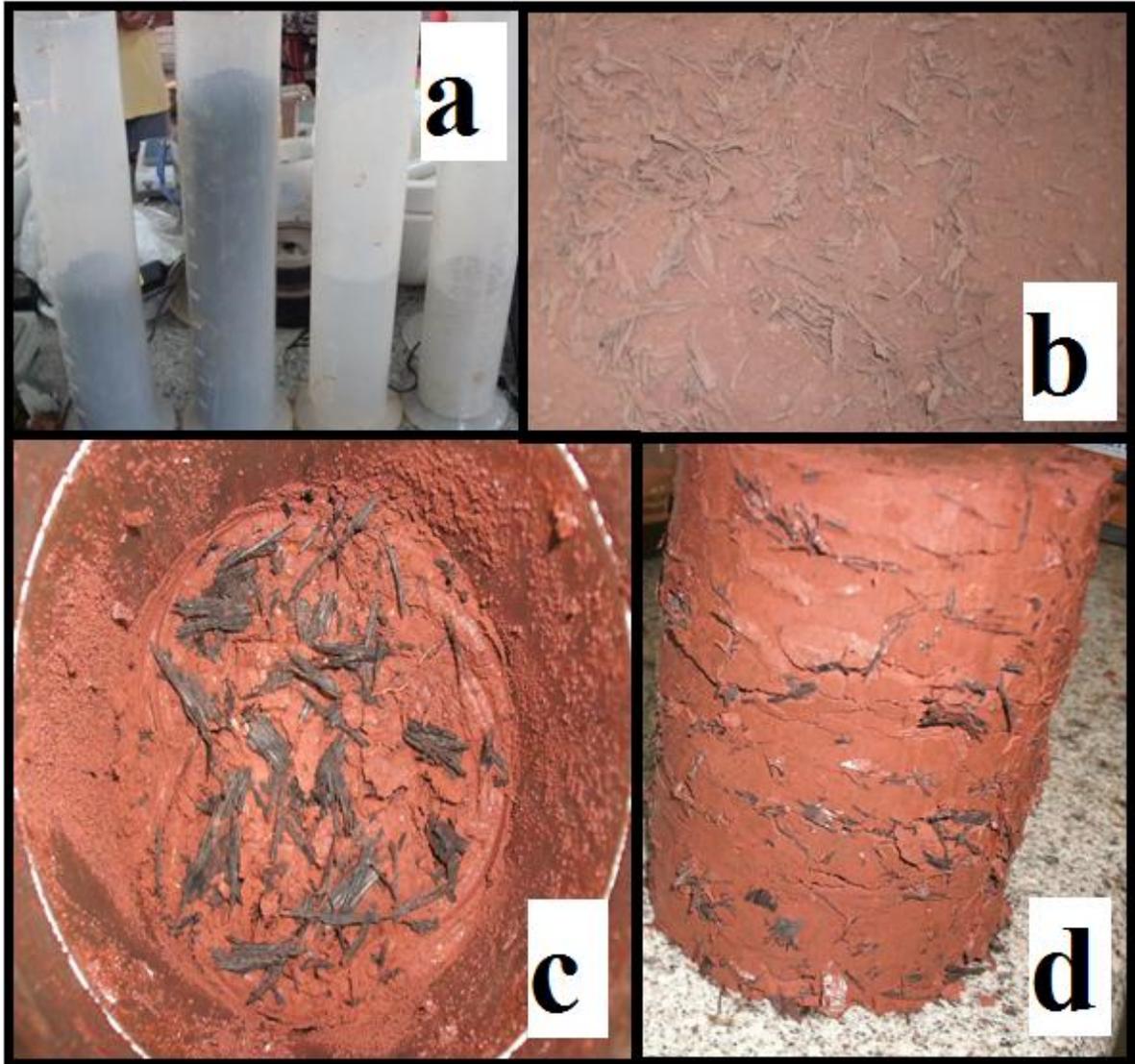


Figura 43: a) Materiais Utilizados; b) Mistura Homogeneizada; c) Solo durante a Compactação; d) Solo após a extração do cilindro.

O corpo de prova referente a amostra de solo-cimento-raspa de pneu (82%,8%,10%), demonstrada na Figura 43a, pode se encontrar fissurado, pelo fato a seguir descrito e já anteriormente citado para as mistura de solo-cimento-raspa de pneu com porcentagem de raspa de pneu acima de 3% e 5%. em porcentagem de 10% de raspa de pneu, a adição já tem fluência pelo fato da sobreposição das raspas de pneu, o fato da sobreposição das raspas pode ser a causa das zonas de fraqueza na amostra compactada, sobre as quais são verificadas as trincas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES SOBRE OS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

5.1 Ensaio de Limites de Attemberg

Foram determinados os limites de liquidez (Figura 20a) e de plasticidade (Figura 20b) de todas as amostras de solos coletados das respectivas jazidas estudadas e, conseqüentemente, calculados os valores do índice de Plasticidade. Todos os resultados estão mostrados na Tabela 14: Valores de LL, LP e IP.

Tabela 14: Valores de LL, LP e IP

| Local de Extração | LL | LP | IP |
|----------------------|----|----|----|
| Jazida 1 (15 a 40cm) | 34 | 20 | 14 |
| Jazida 1 (40 a 60cm) | 71 | 40 | 31 |
| Jazida 2 | 50 | 20 | 30 |
| Jazida 3 | 47 | 27 | 20 |

Com base nos dados da Tabela 14: Valores de LL, LP e IP, a amostra de solo da jazida 1 (15 a 40cm) foi a que obteve melhor comportamento em termos de limites de consistência, apresentando um LL de 34% e LP de 20 %. Desta maneira, foi obtido um índice de plasticidade de 14 %. Com base na norma DNIT 142/2010 ES, somente a amostra da jazida 1 (15 a 40cm) é o solo que tem melhor aplicação para a realização das mistura de solo-cimento, pois tem $LL < 40$ e $LP = 20$ (margens toleráveis).

5.2 Ensaio de Compactação com as Amostras das Jazidas

A Figura 44 mostra a curva de compactação para o solo da jazida 1 na altura de extração de 15 a 40 cm. Assim também é importante destacar que a energia de compactação utilizada na compactação foi a normal.

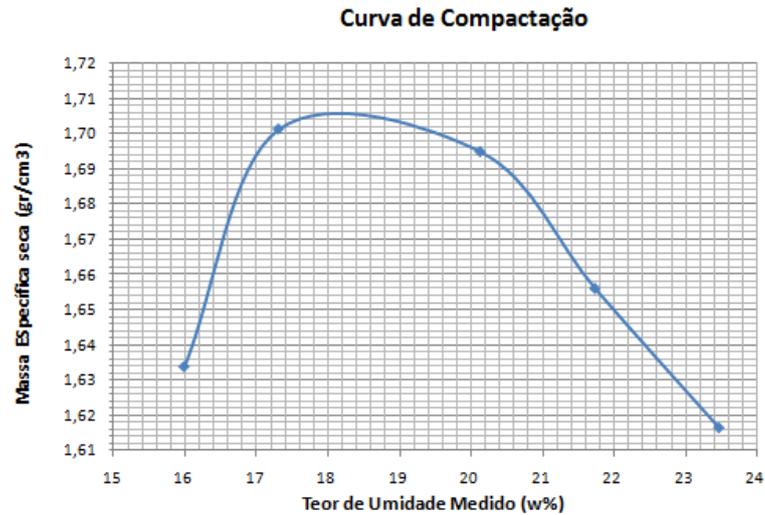


Figura 44: Curva de compactação jazida 1 (15 a 40 cm)

A Figura 45 mostra a curva de compactação para o solo da jazida 1 na altura de extração de 15 a 40 cm. Assim também é importante destacar que a energia de compactação utilizada na compactação foi a normal.

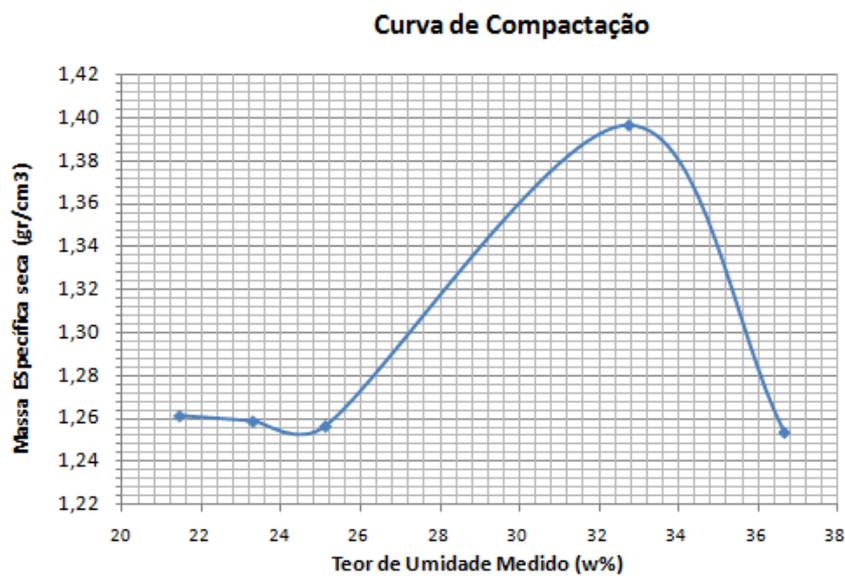


Figura 45: Curva de compactação jazida 1 (40 a 60 cm)

Pode ser verificada que a curva de compactação da Figura 45 obteve incoerência na curva de compactação. A partir deste fato se realizou a adequação da curva de compactação e se obteve a curva da Figura 46 sobre a qual se realizou a análise.

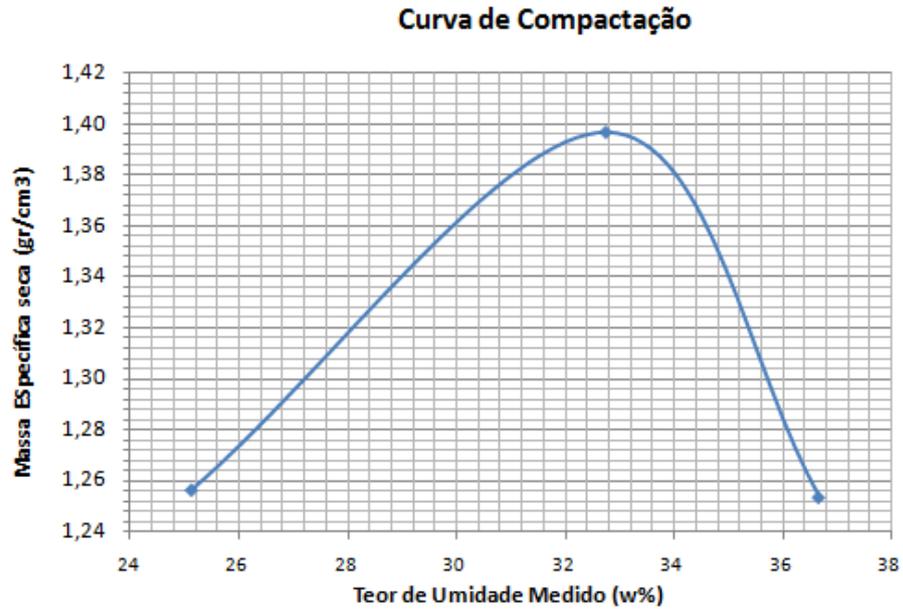


Figura 46: Curva de compactação corrigida

Pode ser verificado segundo as curvas de compactação das amostras coletadas da jazida 1 Figura 44 e Figura 46 que, a camada superficial de material retirada de 15 a 40 cm obteve, massa específica seca máxima maior entre ambas e chegou a $1,705 \text{ g/cm}^3$, com umidade ótima de 18 %. Em profundidades maiores de 40 a 60 cm a amostra alcançou massa específica seca máxima de $1,46 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 26%.

Na Figura 47 esta demonstrada a curva de compactação da jazida 2.

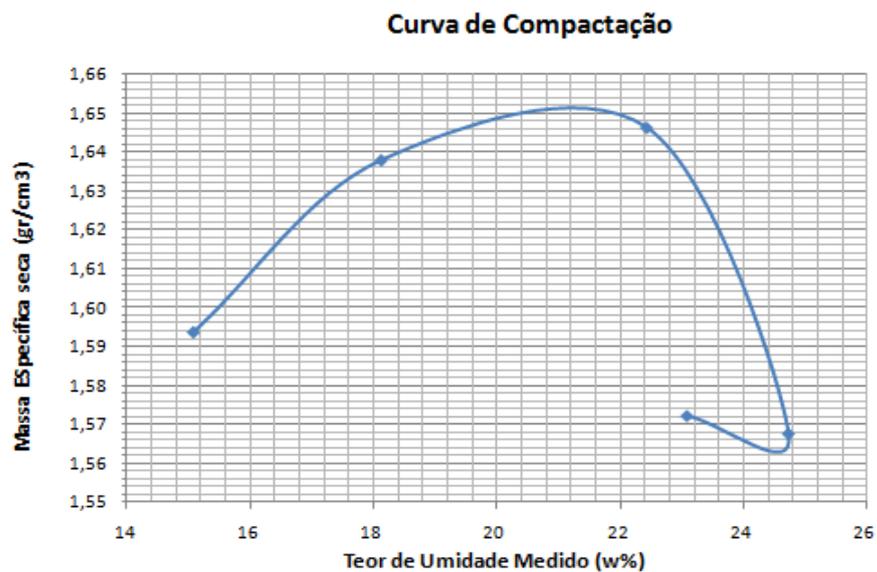


Figura 47: Curva de compactação jazida 2

Pode ser verificada que a curva de compactação da Figura 45 obteve incoerência na curva de compactação. A partir deste fato se realizou a adequação da curva de compactação e se obteve a curva da Figura 46 sobre a qual se realizou a análise.

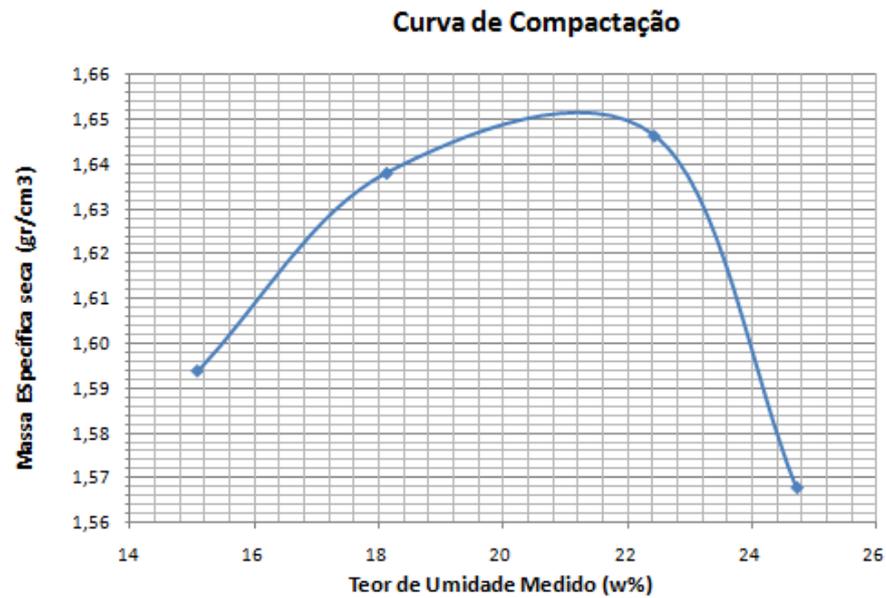


Figura 48: Curva de compactação corrigida jazida 2

Na Figura 47 pode ser verificado segundo a curva de compactação, que a amostra da jazida 2 obteve massa específica seca máxima de 1,65g/cm³ e umidade ótima de 21%.

Foi realizado o ensaio com a amostra da jazida 3 e se tiveram os resultados da Figura 49.

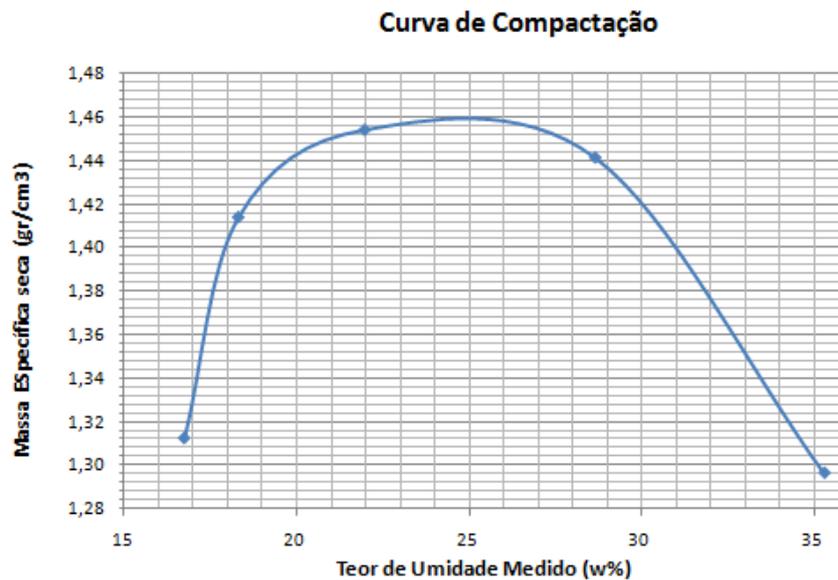


Figura 49: Curva de compactação jazida 3

Analisando a Figura 49, a curva de compactação demonstra que a amostra obtêm uma massa específica seca máxima de $1,46 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima máxima de 25%.

Analisando todas as curvas de compactação a que teve melhores resultados frente a compactação foi a jazida 1 (15-40cm) com uma massa específica seca máxima de $1,705 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 18%.

5.3 Escolha do material para os ensaios de ISC e Compressão Simples

Com base nos resultados dos ensaios de caracterização geotécnica e compactação (Itens 5.1 e 5.2), realizadas para as amostras de solos extraídas das 3 jazidas, foi determinado que a jazida 1 (15 a 40cm) teria a melhor aplicação ao estudo implementado, pois é a que tem os valores mais baixos de LL (34%), LP (20%) e IP (14%) e é a que melhor se aplica a mistura de solo cimento segundo a norma DNIT 142/2010 ES. Além disso, a amostra da jazida 1 (15 a 40cm) obteve maior valor de massa específica seca compacta de $1,715 \text{ g/cm}^3$. Novamente, é importante destacar que as amostras de solo coletadas da jazida próximo ao aeroporto do município de Alegrete, foram extraídas de poços executados no pé de um corte de talude. Desta maneira, embora nesta pesquisa o solo escolhido corresponda a profundidades de sondagens aproximadas de 15 a 40 cm, no campo a espessura desse solo varia entre 1,5 a 2,0 metros. Não obstante, nesta pesquisa não foi possível medir o volume do solo selecionado na jazida próxima do aeroporto, destacamos que o solo é comumente oriundo da região, assim como os solos das outras jazidas estudadas.

5.4 Ensaio de Caracterização do Solo da jazida 1 (15 a 40cm)

A partir da escolha da jazida 1(15 a 40cm) foram realizados os respectivos ensaios de análise do material, realizando os ensaios de caracterização de forma mais específica e detalhada.

5.4.1 Massa específica

O ensaio foi realizado conforme bibliografia referente ao item 3.1.5 e detalhado no item 6.2.3 deste trabalho. Desta maneira, foram determinadas as massas específicas dos grãos (ρ_s) que passam na peneira de abertura de 4,8 mm e foram obtidos os valores mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 15: Massa Especifica dos Grãos.

| Massa especifica dos grãos # 4,8mm | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Ensaio com picnômetro: | A | B | C |
| Picnômetro N° | 2 | 3 | 4 |
| massa do solo úm. Utilizado (g) | 50 | 100 | 100 |
| Temperatura (°C) | 28,0 | 28,0 | 28,0 |
| Pic. + água (g) | 643,64 | 1276,79 | 1261,80 |
| Pic. + água + solo(g) | 674,40 | 1337,93 | 1322,92 |
| Mass. Esp. Água (g/cm ³) | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| ρ_s (g/cm ³) | 2,77 | 2,74 | 2,74 |
| | | ρ_s | 2,75 |

5.4.2 Granulometria

Pelo ensaio de granulometria foram alcançados os valores definidos na Tabela 16, destacando-se nesta, as porcentagens de material de pedregulho, areia, silte e argila definida, pelo diâmetro das partículas.

Tabela 16 : Definição dos Resultados por Sedimentação.

| d (mm) | % mat. passa | % mat.ret. | MATERIAL* | % do material |
|--|--------------|------------|--------------------------------------|---------------|
| 50,80 | 100,0 | 0,0 | 20,0< Pedregulho grosso <60,0 | 0,0 |
| 38,10 | 100,0 | 0,0 | | |
| 25,40 | 100,0 | 0,0 | | |
| 19,10 | 100,0 | 0,0 | 6,0< Pedregulho médio <20,0 | 6,7 |
| 9,52 | 98,7 | 1,3 | | |
| 4,76 | 91,4 | 8,6 | 2,0< Pedregulho fino <6,0 | 10,2 |
| 2,00 | 83,1 | 16,9 | | |
| 1,190 | 82,2 | 17,8 | 0,6< Areia grossa <2,0 | 2,8 |
| 0,590 | 80,2 | 19,8 | 0,2< Areia média <0,6 | 8,5 |
| 0,420 | 79,2 | 20,8 | | |
| 0,250 | 77,2 | 22,8 | | |
| 0,149 | 66,3 | 33,7 | 0,06< Areia fina <0,2 | 26,7 |
| 0,074 | 59,3 | 40,7 | | |
| 0,0574 | 42,5 | 57,5 | 0,002 < Silte < 0,06 | 14,5 |
| 0,0409 | 41,1 | 58,9 | | |
| 0,0289 | 41,1 | 58,9 | | |
| 0,0206 | 39,7 | 60,3 | | |
| 0,0148 | 37,0 | 63,0 | | |
| 0,0109 | 36,3 | 63,7 | | |
| 0,0078 | 34,9 | 65,1 | | |
| 0,0055 | 33,2 | 66,8 | | |
| 0,0039 | 33,7 | 66,3 | | |
| 0,0029 | 30,7 | 69,3 | | |
| 0,0021 | 29,1 | 70,9 | Argila < 0,002 | 30,6 |
| 0,0012 | 27,3 | 72,7 | | |
| * ABNT - NBR 6502, Rochas e Solos - setembro 1995 (unidade em mm) | | | | 100,0 |

Com os valores acima determinados foi realizada a curva granulométrica destacada na Figura 50.

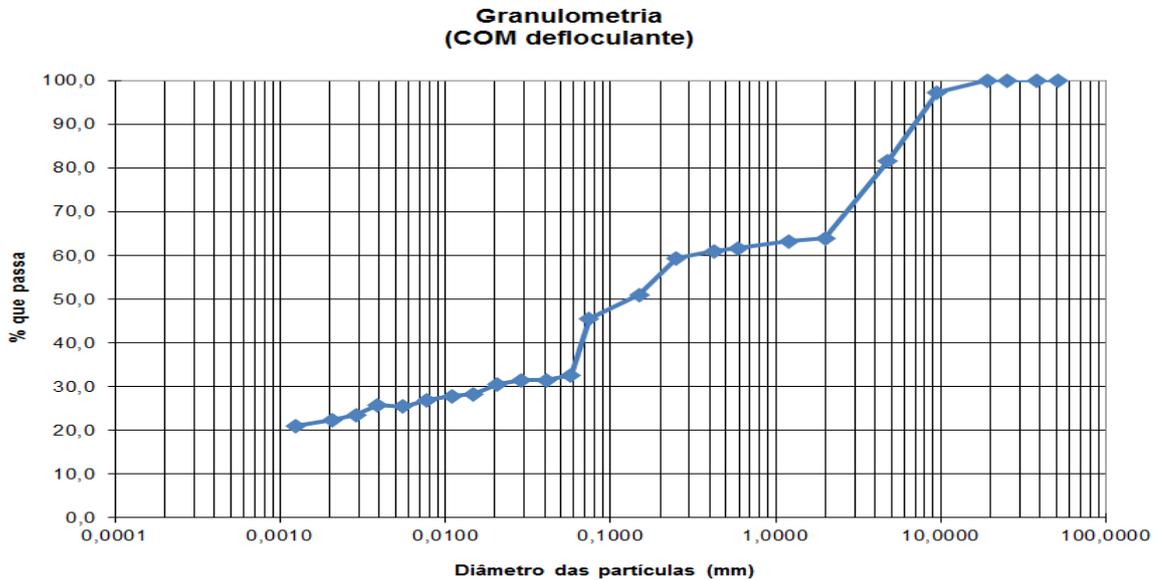


Figura 50: Curva Granulométrica.

5.5 Classificação do Solo utilizado

A partir dos ensaios de caracterização realizados com o solo da jazida 1 (15-40cm), tais como: LL(34%) LP(20%) e a análise de granulometria, o solo foi classificado pelas classificações geotécnicas da Highway Research Board (HRB) e Sistema unificada (Sucs). Desta maneira, segundo a classificação HRB o solo se enquadraria um material argiloso A-6. Além disso, pela classificação do Sistema unificada (Sucs) o solo foi classificado como uma areia argilosa com pedregulho, o pedregulho foi adicionado ao nome, pois seu valor ultrapassa os 15% em relação à porcentagem total de material.

5.6 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A seguir serão descritos os resultados obtidos dos ensaios de Índice de suporte Califórnia e juntamente com os de Expansão.

5.6.1 Solo Natural (Mistura 1 e Mistura 3)

Foi realizada a compactação do solo natural e o ensaio de ISC como descrito em 4.8.1 para a mistura 1 e 4.8.3 para a mistura 3 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2 e foram obtidos os valores descritos na Figura 51.

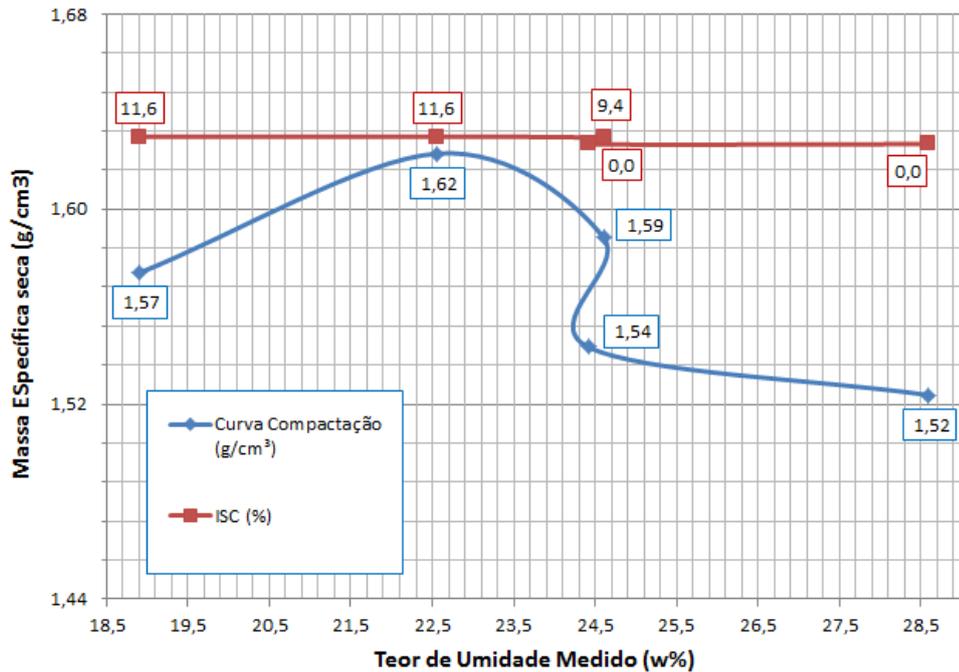


Figura 51: Curva de Compactação e ISC mistura 1.

A curva de compactação demonstrada na Figura 51 tem um ponto distinto ao normal da curva de compactação, e por este fato, se descartou o ponto referente a massa específica seca máxima de 1,54 g/cm³ e w=24,5%, obtendo a curva de compactação para análise da Figura 52.

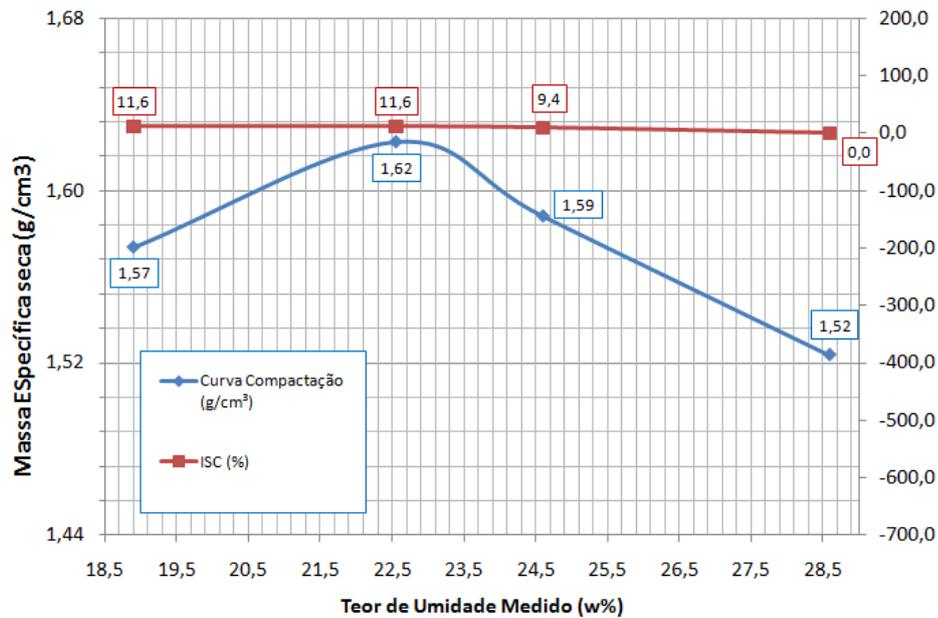


Figura 52: Curva de compactação e ISC mistura 1 ajustada.

Baseado na Figura 51 pode ser avaliado que a umidade ótima da amostra está localizada em 22,5% e a massa específica seca máxima obtida foi de 1,62 g/cm³ isto com energia normal de compactação. Foi realizado conjuntamente ao ensaio de ISC o ensaio de expansão cujos resultados estão mostrando na Tabela 17.

Tabela 17: Expansão Mistura 1.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 3,99 | 114,3 | 3,49 |
| 2 | 0 | 2,39 | 114,3 | 2,09 |
| 3 | 0 | 0,69 | 114,3 | 0,60 |
| 4 | 0 | - | 114,3 | - |
| 5 | 0 | 0,99 | 114,3 | 0,87 |

Pode ser avaliado segundo a Figura 51 que o ISC foi maior no ramo mais seco da compactação alcançando 11,6 %. Os valores distinguidos como nulos nas massas específicas de 1,54g/cm³ e 1,54g/cm³ foram assim atribuídos, pois segundo SENÇO (2007), a penetração que ocorre no ensaio de ISC referente a 2,54mm não pode ser superior a penetração aos 5,08 mm.

Na Tabela 17 (solo natural compactado sob energia normal) pode ser observada que a expansão foi considerada muito alta, não podendo ser utilizada como base, e segundo o DNER – ES 300/97 nem como reforço de subleito, pois a expansão é maior que 1%.

Para a mistura 3 composta por solo natural compactado sob a energia intermediária foram obtidos os valores descritos na Figura 53.

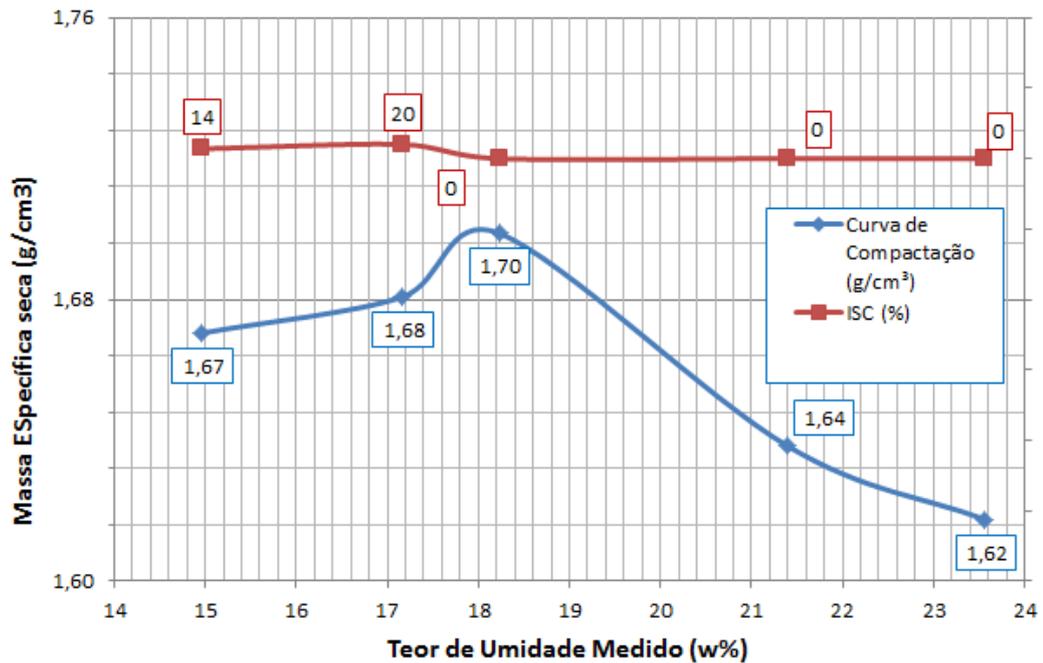


Figura 53: Curva de Compactação e ISC mistura 3.

Foi realizado conjuntamente ao ensaio de ISC o ensaio de expansão cujos resultados estão mostrando na Tabela 18.

Tabela 18: Expansão Mistura 3.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 1,25 | 114,3 | 1,09 |
| 2 | 0 | 0,9 | 114,3 | 0,79 |
| 5 | 0 | 0,36 | 114,3 | 0,31 |

Pode ser avaliado segundo a Figura 53 (solo natural compactado sob energia intermediária) que o ISC foi maior no ramo mais seco da compactação alcançando 18 % de umidade e massa específica seca compacta máxima de 1,705 g/cm³. Já para as massas específicas de 1,64g/cm³ e 1,62g/cm³, correspondentes ao ramo úmido, foram medidas valores

nulos de ISC. Os valores distinguidos como nulos foram assim atribuídos, pois segundo SENÇO (2007) a penetração no ensaio referente a 2,54mm não pode ser superior a penetração aos 5,08 mm. Além disso, na Tabela 18 pode ser observada que a expansão é maior que 0,5%, não atendendo ao requisito de expansão máxima da amostra na base pela norma do DNIT 142/2010 ES , mas a mesma atende a outra norma DNER – ES 300/97 referente a pavimentação- no intuito do reforço do subleito, pois a expansão é menor que 1% e podendo, portanto a mesma ser utilizada como reforço de sub-base desde que atenda os critérios de projeto quanto ao ISC.

5.6.2 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 2)

Foi realizada a mistura de 94% de solo natural 5% de cimento e 1% de raspa de pneu como descrito em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2 e foram obtidos os valores descritos na , com energia de compactação normal.

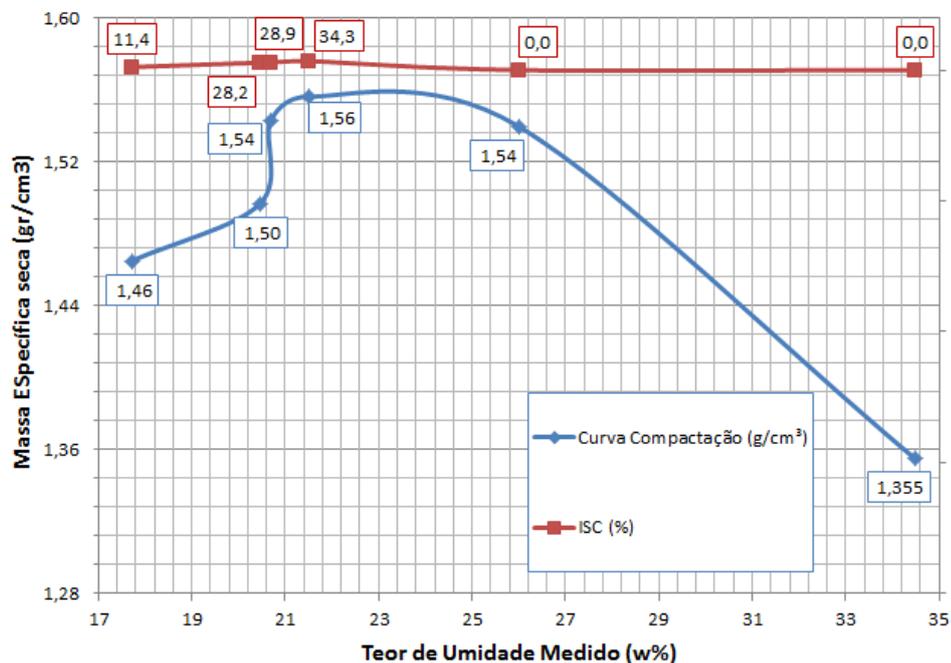


Figura 54: Curva de Compactação e ISC mistura 2.

A curva de compactação demonstrada na Figura 54 tem um ponto distinto ao normal comportamento de curva de compactação, e por este fato, se descartou o ponto referente a massa específica seca máxima de 1,50 g/cm³ e w=20,75%, obtendo a curva de compactação para análise da Figura 55.

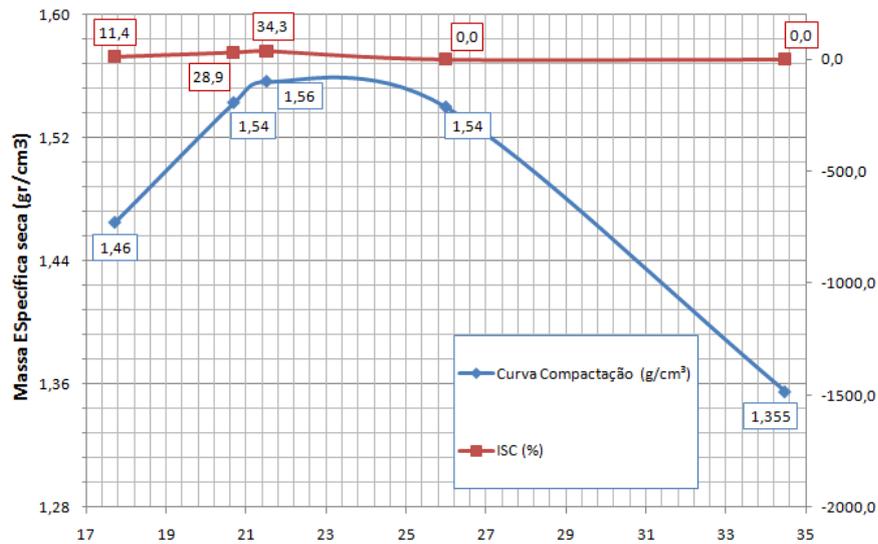


Figura 55: Curva de Compactação e ISC mistura 2 ajustada

Foi realizado conjuntamente ao ensaio de ISC o ensaio de expansão cujos resultados estão mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Expansão Mistura 2.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 6 | 0 | 1,52 | 114,3 | 1,33 |
| 7 | 0 | 0,59 | 114,3 | 0,52 |
| 8 | 0 | 1,59 | 114,3 | 1,39 |
| 9 | 0 | 0,78 | 114,3 | 0,68 |
| 10 | 0 | 0,59 | 114,3 | 0,52 |
| 11 | 0 | 0,55 | 114,3 | 0,48 |

Baseado na Figura 55 pode ser avaliado que a umidade ótima da amostra está localizada em 21,5% e a massa específica seca máxima obtida foi de 1,56 g/cm³ isto com energia normal de compactação.

Pode ser avaliado segundo a Figura 55 que o ISC foi maior no ramo mais seco da compactação alcançando 34 % e obteve valores nulos em 1,54g/cm³ e em 1,355g/cm³, portanto valores nulos no ramo úmido da amostra (Figura 44). Conforme a Tabela 19 pode ser verificada que a expansão foi considerada muito alta não podendo ser utilizada nem como bases segundo o DNER – ES 300/97, mas a mesma pode ser usada como reforço de subleito se tiver ISC especificado de projeto.

Em virtude dos valores baixos de ISC medidas na mistura 1 (solo natural) e mistura 2 (solo-cimento-raspa de pneu), optou-se por alterar a energia de compactação e a proporção de cimento nas misturas a ser trabalhadas. Desta maneira, para os próximos ensaios executados foram adotados a energia de compactação intermediária, além de considerar uma proporção de 8 % de cimento para as futuras misturas trabalhadas com cimento.

5.6.3 Mistura de solo-cimento-raspa de pneu (Mistura 4)

Foi realizada a compactação da mistura de solo natural 5% de cimento e 3 % de raspa de pneu como descrito em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2 e foram obtidos os valores mostrados na Figura 56.

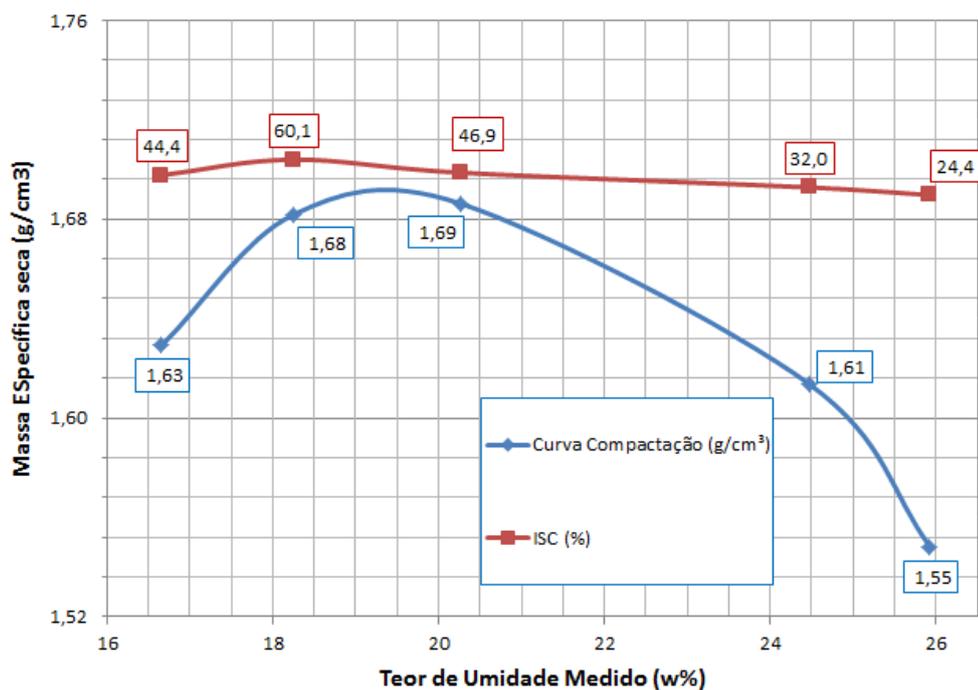


Figura 56: Curva de Compactação e ISC mistura 4.

Foi realizado conjuntamente ao ensaio de ISC o ensaio de expansão cujos resultados estão mostrando na Tabela 20.

Tabela 20: Expansão Mistura 4.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 0,79 | 114,3 | 0,69 |
| 2 | 0 | 0,14 | 114,3 | 0,12 |
| 3 | 0 | 0,23 | 114,3 | 0,20 |
| 4 | 0 | 0,22 | 114,3 | 0,19 |
| 5 | 0 | 0,2 | 114,3 | 0,17 |

Baseado na Figura 56 pode ser avaliado que a umidade ótima da amostra está localizada em 19,5 % e a massa específica seca máxima obtida foi de 1,69 g/cm³ isto com energia intermediária de compactação.

Pode ser avaliado segundo a Figura 56 que o ISC obteve valores mais elevados no ramo mais seco da compactação alcançando 60,1% e obteve valores decrescentes no ramo úmido da curva de compactação. Isto demonstra que o incremento de água além da umidade ótima tende a piorar a compactação da amostra. Isto pelo fato do excesso de água presente na amostra não cumprindo mais a função de aglomerar as partículas de solo.

Referente à Tabela 20 pode ser observada que a expansão foi considerada aconselhável aos requisitos da norma do DNIT 142/2010 ES definida no item 4.0 em 0,5%, mas o ISC foi menor que 80 %, portanto esta mistura não poderia ser aplicada a camada de base do pavimento.

Segundo os resultados alcançados com a mistura 4, não atendendo ao requisito de ISC mínimo, optou-se pela troca da porcentagem de cimento de 5% para 8% de cimento Portland Pozolânico.

5.6.4 Mistura de solo-cimento (Mistura 5)

Foi realizada a compactação da mistura de 8% de cimento e 92% de solo seguindo a bibliografia do item 3.2.2. Consequentemente foram obtidos os valores descritos na Figura 57.

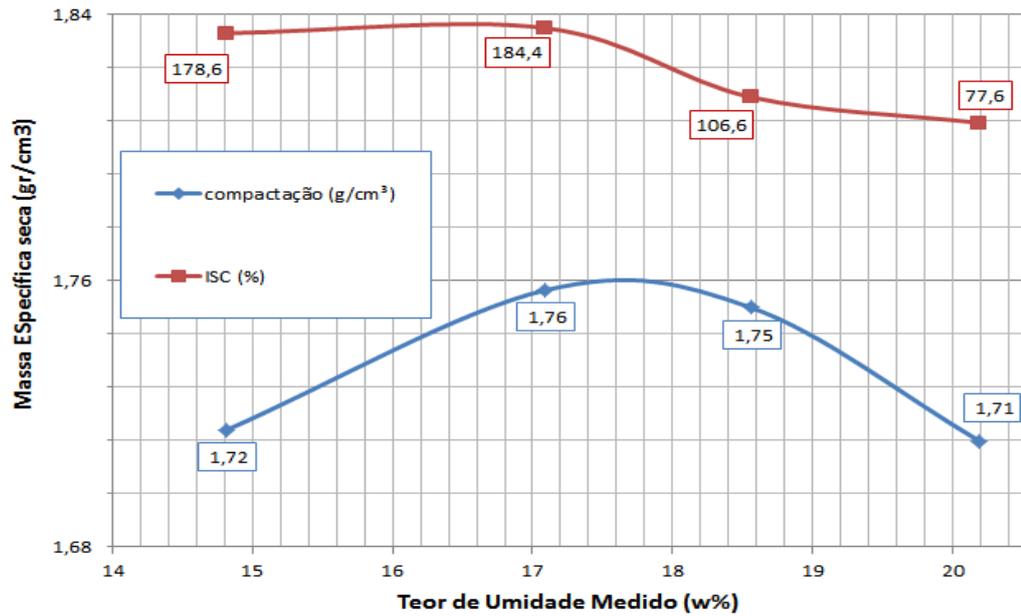


Figura 57: Curva de Compactação e ISC da mistura 5.

Segundo a Figura 57: pode ser avaliada que a umidade ótima da amostra está localizada em 17,5% e a massa específica seca máxima obtida foi de 1,76 g/cm³, com ISC de 184%.

Foi realizada também a expansão dos corpos cilíndricos moldados e os valores podem ser observados na Tabela 21.

Tabela 21: Expansão Mistura 5.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 0,28 | 114,3 | 0,245 |
| 2 | 0 | 0,1 | 114,3 | 0,087 |
| 3 | 0 | 0,12 | 114,3 | 0,105 |
| 4 | 0 | 0,14 | 114,3 | 0,122 |

Segundo os resultados mostrados na Figura 57 pode ser avaliado que a mistura com a adição de 8% de cimento obteve a resistência máxima no ISC de 184,4% no ramo mais seco da curva de compactação e próximo a da massa específica seca máxima da mistura, mas mesmo assim obtendo valores razoáveis de resistência. Após a resistência máxima a mistura de solo-cimento obteve uma queda considerada brusca por se tratar de uma pequena diferença de massa específica seca. A expansão foi pequena para todos os cilindros compactados,

atingindo 0,5% e sendo menor para o cilindro 2 que obteve a massa especifica seca mais próxima da massa especifica seca e do valor mais alto de ISC .

Segundo os resultados, pode esta mistura pela norma do DNIT 142/2010 ES e conforme o item 4.0 deste trabalho, ser avaliada como aplicável a base sob critérios de expansão da amostra e sobre o ISC.

5.6.5 Mistura de solo-cimento (Mistura 6)

Na mistura de 8% de cimento, 91% de solo e 1% de borracha teve a compactação conforme orientado em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2 e foram obtidos os valores mostrados na Figura 58.

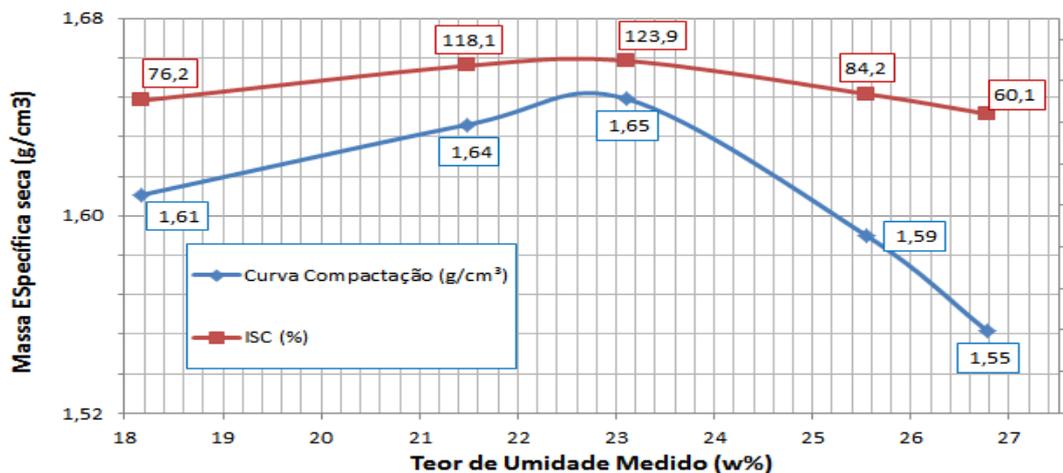


Figura 58: Curva de Compactação e ISC da mistura 6

Pode ser verificado na curva de compactação (Figura 58) que a umidade ótima da amostra está em 22% e a massa especifica seca máxima esta em 1,65 g/cm³.

Foi realizado também o ensaio de expansão dos corpos cilíndricos moldados e podem ser encontrados os valores descritos na Tabela 22.

Tabela 22: Expansão Mistura 6

| CILINDRO | Expansão | | Altura Inicial | Expansão (%) |
|----------|----------|-------|----------------|--------------|
| | Na hora | 4 dia | | |
| 1 | 0 | 0,8 | 114,3 | 0,70 |
| 2 | 0 | 0,61 | 114,3 | 0,53 |
| 3 | 0 | 0,165 | 114,3 | 0,14 |
| 4 | 0 | 0,22 | 114,3 | 0,19 |
| 5 | 0 | 0,25 | 114,3 | 0,22 |

Segundo a Figura 58 pode ser analisado que a resistência máxima de 124% no ISC foi obtida o mais próximo da massa específica seca máxima de 1,65g/cm³. A curva de ISC tem comportamento linear (Figura 58) não tendo valores absurdos de queda de resistência mesmo com uma queda considerável da massa específica seca nos corpos de prova. A expansão de 0,5% foi atendida, na massa específica seca mais próxima a massa específica seca máxima da amostra, atingindo o valor de 0,14% ao final dos 4 dias de imersão.

Segundo os resultados pode esta mistura ser avaliada conforme o item 4.0 deste trabalho na norma do DNIT 142/2010 ES como aplicável sob critérios de expansão da amostra e sobre o ISC, pois a expansão é menor que 0,5% e o ISC é maior que 80%.

5.6.6 Mistura de solo-cimento (Mistura 7)

Na mistura de 8% de cimento, 89% de solo e 3% de borracha teve a compactação como descrito em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2. Desta maneira, foram obtidos os valores descritos na Figura 59.

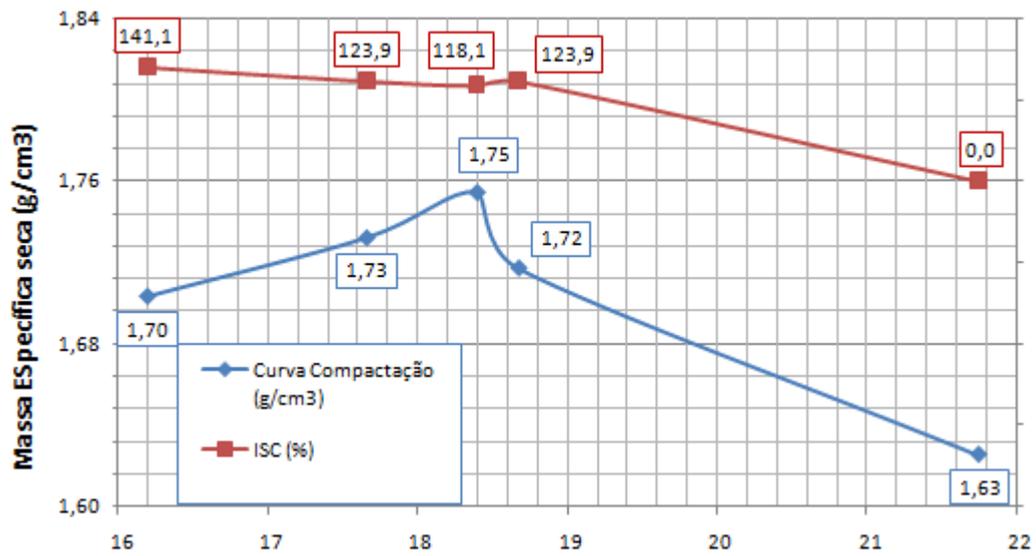


Figura 59: Curva de Compactação e ISC mistura 7

Pode ser verificado na curva de compactação (Figura 59) que a umidade ótima da amostra está em 18,5 % e a massa específica seca máxima está em 1,75 g/cm³ e ISC de

Foi realizado também o ensaio de expansão dos corpos cilíndricos moldados e podem ser encontrados os valores na Tabela 23.

Tabela 23: Expansão Mistura 7

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 0,32 | 114,3 | 0,28 |
| 2 | 0 | 0,32 | 114,3 | 0,28 |
| 3 | 0 | 0,13 | 114,3 | 0,11 |
| 4 | 0 | 0,13 | 114,3 | 0,11 |
| 5 | 0 | 0,63 | 114,3 | 0,55 |

Segundo a Figura 59, pode ser analisado que a resistência máxima foi de 142%, mas a mesma foi desconsiderada da análise, pois o mesmo cilindro foi rompido após um período distinto dos demais obtendo tempo de imersão em água maior por conseguinte valor maior de ISC. Portanto o valor máximo para a análise foi de 124% no ISC e foi obtida em dois pontos de compactação os 2 circundam a massa específica máxima um pelo ramo seco da curva e um pelo ramo úmido da curva. Nesta mistura (Figura 59) o valor da massa específica seca máxima não coincidiu com o valor de ISC Máximo, isto pode estar vinculação à disposição das raspas de pneus dentro da mistura. A expansão de 0,5% foi atendida na massa específica máxima da amostra e nas massas específicas que a circundam (Tabela 23).

Segundo os resultados, pode esta mistura ser avaliada conforme o item 4.0 deste trabalho, na norma do DNIT 142/2010 ES como aplicável a base de pavimentos sob critérios de expansão da amostra e sobre o ISC, pois a expansão é menor que 0,5% e o ISC é maior que 80%.

5.6.7 Mistura de solo-cimento (Mistura 8)

Na mistura de 8% de cimento, 87% de solo e 5% de borracha teve a compactação como descrito em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2. Conseqüentemente, foram obtidos os valores descritos na Figura 60.

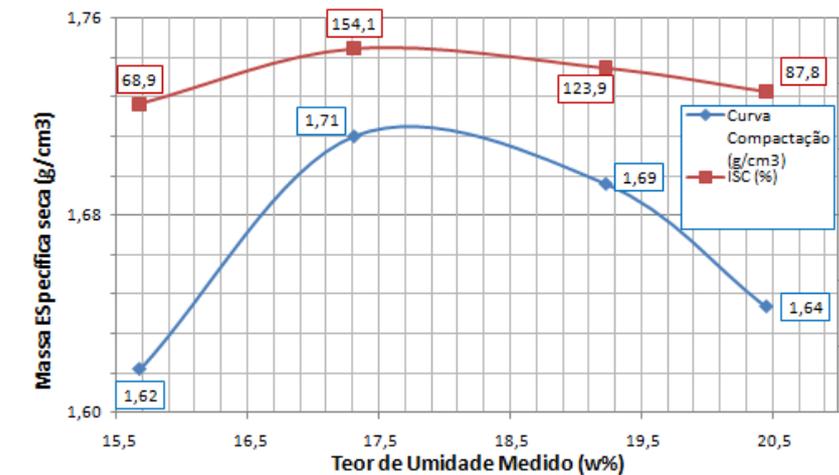


Figura 60: Curva de Compactação e ISC mistura 8.

Pode ser verificado na curva de compactação (Figura 60) que a umidade ótima da amostra está em 18% e a massa específica seca máxima esta em 1,71 g/cm³. Além disso foi obtido o valor no ISC de 154% .

Foi realizado também o ensaio de expansão dos corpos cilíndricos moldados e podem ser encontrados os valores na Tabela 24.

Tabela 24: Expansão Mistura 8.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 0,54 | 114,3 | 0,47 |
| 2 | 0 | 0,12 | 114,3 | 0,10 |
| 3 | 0 | 0,07 | 114,3 | 0,06 |
| 4 | 0 | 0,07 | 114,3 | 0,06 |

Segundo a Figura 60, pode ser analisado que a resistência máxima foi de 154,1% a qual foi encontrada na massa específica máxima de compactação. A curva de ISC tem linearidade com a curva de compactação obtendo valores maiores de ISC nas umidades próximas a umidade ótima de compactação. A expansão de 0,5% foi atendida para todas as umidades de compactação.

Segundo os resultados referentes a mistura de 8% de cimento, 87% de solo e 5% de borracha pode esta ser avaliada conforme o item 4.0 deste trabalho na norma do DNIT 142/2010 ES como aplicável a base na umidade ótima da mistura. Sob critérios de expansão a mesma é atendida para todas as misturas, quanto ao ISC somente o cilindro 1 com a menor massa específica seca de compactação e menor umidade de compactação na mistura não atende a mesma, pois obteve valor menor que 80% para o ensaio de ISC.

Mistura de solo-cimento (Mistura 9)

Na mistura de 8% de cimento, 82% de solo e 10% de borracha teve a compactação como demonstrado em 4.8.1 e seguindo a bibliografia do item 3.2.2. Desta maneira, foram obtidos os valores descritos na Figura 61.

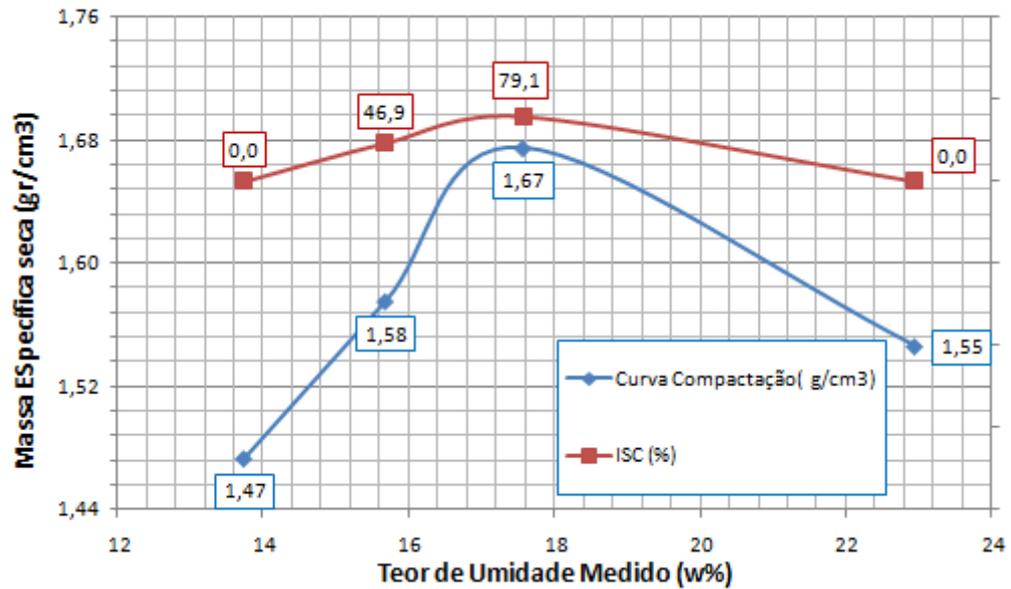


Figura 61: Curva de Compactação e ISC mistura 9

Pode ser verificado na curva de compactação (Figura 61) que a umidade ótima da amostra está em 17,5 % e a massa específica seca máxima esta em 1,67 g/cm³, o ISC de 79%.

Foi realizado também o ensaio de expansão dos corpos cilíndricos moldados e os valores pode ser observados na Tabela 25.

Tabela 25: Expansão Mistura 9.

| Expansão | | | | |
|----------|---------|-------|----------------|--------------|
| CILINDRO | Na hora | 4 dia | Altura Inicial | Expansão (%) |
| 1 | 0 | 0,93 | 114,3 | 0,81 |
| 2 | 0 | 0,47 | 114,3 | 0,41 |
| 3 | 0 | 0,24 | 114,3 | 0,21 |

Segundo a Figura 61 pode ser analisado que a resistência máxima do ISC foi de 79 %, a qual foi encontrada na massa específica máxima de compactação de 1,67 g/cm³. A curva de ISC tem linearidade com a curva de compactação, obtendo valores maiores de ISC nas umidades próximas a umidade ótima de compactação. A expansão de 0,5% foi atendida para a massa específica seca que mais se aproximou da massa específica seca compacta máxima.

Segundo os resultados demonstrados na Figura 61, pode esta mistura ser avaliada conforme o item 4.0 deste trabalho na norma do DNIT 142/2010 ES como não aplicável em qualquer umidade de compactação, pois não é atendido o valor de ISC mínimo estabelecido em norma que é de 80%.

5.6.8 Análise dos Ensaio de ISC

5.6.8.1 Compactação

Tendo se em mãos os resultados alcançados referente à compactação dos corpos de prova das misturas analisadas, realizou-se um gráfico comparativo, conforme mostrado na Figura 62. Os valores com marcadores destacados em vermelho são a massa específica seca compacta que mais se aproximaram dos valores de massa específica seca compacta máxima encontrada para cada curva de compactação. Além disso, cada curva de compactação representa um tipo de mistura.

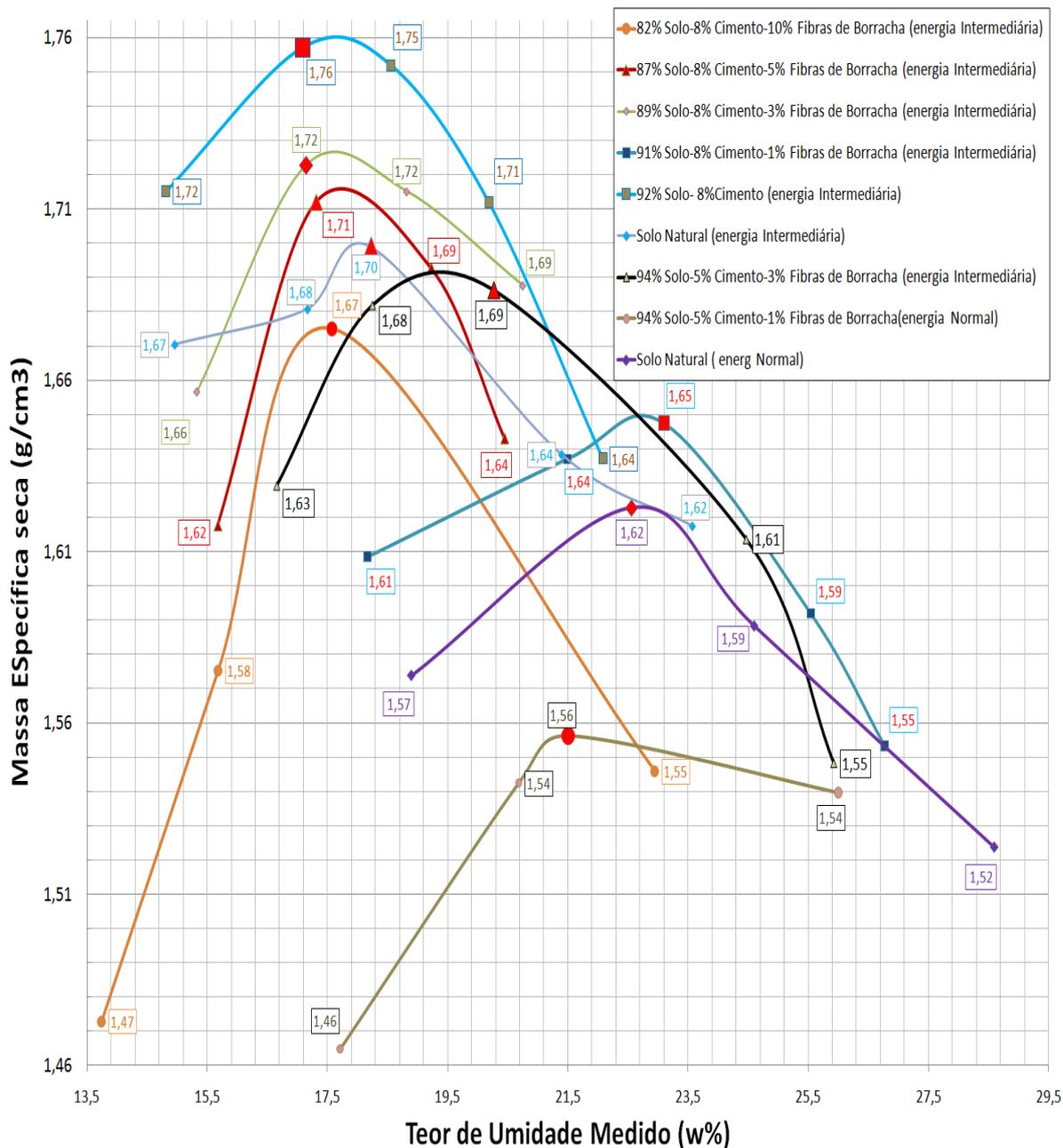


Figura 62: Compactação dos corpos de prova das misturas para ISC.

A massa específica máxima para cada curva é obtido no ponto mais alto da curva, sobre a qual a curva altera sua declividade, no sentido de ascensão e após o ponto mais alto decréscimo da massa específica seca compacta.

Com base na Figura 62 pode ser verificada que as misturas que utilizaram energia de compactação normal foram as que obtiveram massa específica seca máxima mais baixas das misturas analisadas.

A mistura que obteve maior massa específica seca compacta máxima foi a mistura 5 (92% solo- 8% cimento) que alcançou o valor de 1,76 g/cm³, referente a mistura de solo

natural a energia de normal para intermediária trouxe benefício como demonstrado o aumento de diferença de $1,62 \text{ g/cm}^3$ para o valor de $1,705 \text{ g/cm}^3$. Com a utilização das misturas de solo-cimento-raspa de pneu a que obteve melhor índice de compactação foi a mistura de 8% de cimento, 89% de solo e 3% de borracha que obteve massa específica seca compacta de $1,72 \text{ g/cm}^3$.

Analisa-se pela Figura 62, que a adição de valores maiores de cimento de 8% na mistura 5 trás benefício a compactação da mesma se comparado a mistura 4 que teve adição de 5% de cimento. O aumento no valor da compactação pode ter base na diminuição do teor de finos da mistura o que provoca uma melhor graduação da mistura e favorece a compactação da mesma.

A inclusão de raspa de pneus de borracha em altos valores acima de 10% como no caso da mistura 9 prejudica a compactação (Figura 62). Isto pode ter base no fato da borracha tender a se expandir após a compactação causando áreas de fraqueza ou fissuras na amostra no cilindro, ou pelo fato de a mistura ter grandes áreas de vazios na mistura que ocorre pela transposição das raspa de pneus.

Conforme Figura 62, na mistura 6, a adição de 1% de borracha faz com que a mistura tenha uma queda de massa específica seca compacta em relação ao solo natural. Isto pode ter ocorrência no fato desta porcentagem causar um aumento no índice de vazios da amostra ou pelo fato da raspa de pneu ter peso específico menor que a do solo.

A relação na compactação das misturas de solo natural com diferentes energias é muito destacável como pode ser observado na Figura 62. O incremento de massa específica seca compacta referente a energia intermediária em comparação a energia normal é de $0,08 \text{ g/cm}^3$, isto pode ter relação com a diminuição da porcentagem de vazios da mistura e diminuição também da umidade ótima de compactação.

Nas misturas com compactações com energia intermediária, todas as umidades ótimas são reduzidas para valores menores que 20%, exceto na mistura 6, portanto a modificação na energia de compactação trouxe benefícios neste quesito.

5.6.8.2 Resistência à penetração

Tendo se em mãos os resultados alcançados referente à resistência a penetração do pistão ou ensaio de ISC para os corpos de prova (diferentes misturas analisadas), realizou-se um gráfico comparativo entre as mesmas, conforme mostrado na Figura 63. Cada curva de ISC é responsável por uma mistura avaliada.

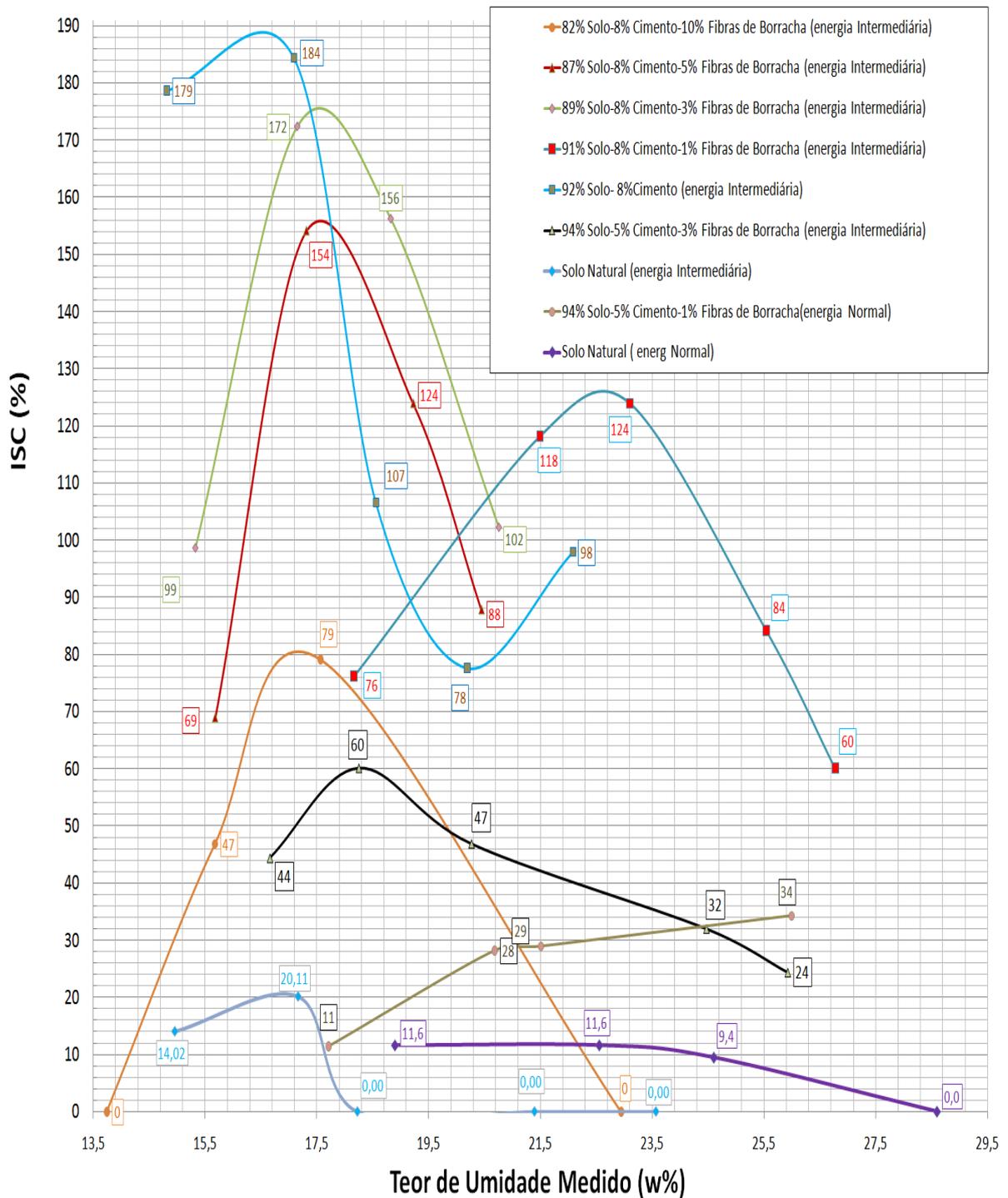


Figura 63: Comparação dos resultados do ISC.

Analisando os resultados demonstrados na Figura 63 para todas as misturas, as misturas de solo natural foram como previsto as que apresentaram menor resistência frente às outras misturas.

Segundo a Figura 63, a maior resistência a penetração das amostras no ISC foi encontrada para a mistura 5 (92% solo- 8% cimento) que alcançou o valor de 184%, seguido da mistura 7 (89% solo- 8% cimento-3% raspa de pneu) que obteve 172%. A mistura 8 (87% solo- 8% cimento-5% raspa de pneu) alcançou os 154%, a mistura 6 (91% solo- 8% cimento-1% raspa de pneu) alcançou o valor de 124% , a mistura 9 (82% solo- 8% cimento-10% raspa de pneu) obteve 79 %, a mistura 4 (92% solo- 5% cimento-3% raspa de pneu) obteve 60%, a mistura 2 (94% solo- 5% cimento-1% raspa de pneu, energia normal) resultou num ISC de 34%. Já a mistura de solo natural sob energia intermediária obteve 20% e, finalmente, a mistura de solo natural sob energia Normal obteve 12%.

O comportamento da mistura 5 (92% solo- 8% cimento), pode ser considerado como frágil pois com uma pequena variação de umidade de 1% a mesma tem uma queda de 77% no ISC (Figura 63) em comparação , a qual é considerada uma queda muito brusca de resistência.

Na mistura 5 (92% solo- 8% cimento), mistura 6 (91% solo- 8% cimento-1% raspa de pneu) mistura 7 (89% solo- 8% cimento-3% raspa de pneu), mistura 8 (87% solo- 8% cimento-5% raspa de pneu) e na mistura 9 (82% solo- 8% cimento-10% raspa de pneu), a curva de resistência a penetração apresenta comportamento linear, tendo valor máximo o mais próximo da umidade ótima de compactação.

O incremento alto de borracha com 10% em massa seca de solo na mistura 9 (82% solo- 8% cimento-10% raspa de pneu), fez com que a mistura tivesse baixo ISC comparado as outras misturas que tiveram o mesmo incremento com adição de 8% de cimento e energia intermediária. O fator baixo de resistência a penetração pode estar ligado a explicação a seguir disposta: em primeiro momento a raspa de pneu se encontra confinada somente pelo solo compactado, pois o cimento não está reagindo com a amostra nos primeiros minutos, a porcentagem de 3% de raspa de pneu tem fluência pelo fato da sobreposição das raspas de borracha, esta sobreposição das raspas pode ser a causa das zonas de fraqueza na amostra compactada, sobre as quais são verificadas as trincas.

A mistura 7 (89% solo- 8% cimento-3% raspa de pneu), foi a que obteve menor queda de resistência dentre as que utilizaram raspa de pneu em comparação a mistura 5 (92% solo- 8% cimento), tendo redução de 6,5% no seu valor . O incremento de 3% de raspa de pneus de borracha favorece o comportamento da matriz frente à resistência a penetração do pistão na amostra.

As misturas 5 (92% solo- 8% cimento),mistura 6 (91% solo- 8% cimento-1% raspa de pneu), mistura 7 (89% solo- 8% cimento-3% raspa de pneu), mistura 8 (87% solo- 8% cimento-5% raspa de pneu), que tiveram a adição de 8% de cimento ultrapassaram a resistência mínima prescrita na norma do DNIT 142/2010 ES), a qual indica o índice de Suporte Califórnia em 80% podendo portanto segundo esta norma serem utilizadas como base em rodovias. As misturas 5, 6, 7, 8 obtiveram também expansões menores que 0,5% nos cilindros em que a amostra se encontrava na massa especificas máxima podendo portanto as mesmas serem utilizadas conforme a DNIT 142/2010 ES.

5.7 Ensaio de Compressão Simples

5.7.1 Resultados do ensaio

O ensaio de compressão simples foi realizado conforme descrito em 4.9 e seguindo a bibliografia do item 3.2.3.

Foram alcançados resultados frente à compressão simples com utilização de energia intermediária para as mistura de solo natural argiloso (Mistura 1), a mistura de solo -8% cimento (Mistura 3) e as misturas de solo-cimento-raspa de pneu de: 92%- 5 %- 3% (Mistura 2), 91%- 8 %- 1% (Mistura 4), 89%- 8 %- 3% (Mistura 5),87%- 8 %- 5% (Mistura 6),82%- 8 %- 10%(Mistura 7) .

Como forma de demonstração os resultados alcançados frente a este ensaio, estão todos descritos de forma conjunta na Tabela 26. As misturas estão descritas na tabela por ordem de realização das mesmas.

Tabela 26: Resultados ensaio de compressão simples.

| Compressão Simples | | | | | | | | Média |
|--------------------|-------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Mistura 1 | Solo Natural | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 0,63 | 0,6 | ----- | ----- | ----- | 0,615 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | 0,83 | 0,91 | 1,113 | 0,91 |
| Mistura 2 | Solo +5% Cimento +3%Borracha | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 0,94 | 0,93 | 0,88 | ----- | ----- | 0,93 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | ----- | 1,3 | 1,35 | 1,325 |
| Mistura 3 | Solo +8% Cimento | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 2,54 | 2,56 | ----- | ----- | ----- | 2,55 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | 2,61 | 2,7 | 2,72 | 2,7 |
| Mistura 4 | Solo +8% Cimento + 1%Borracha | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 1,66 | 1,65 | ----- | ----- | ----- | 1,655 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | 2,15 | 3,02 | 3,11 | 3,02 |
| Mistura 5 | Solo +8% Cimento +3%Borracha | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 1,53 | 1,23 | ----- | ----- | ----- | 1,38 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | 1,06 | 1 | 1,35 | 1,06 |
| Mistura 6 | Solo+8% Cimento +5%Borracha | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 1,04 | 1,13 | ----- | ----- | ----- | 1,085 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | 1,28 | 0,78 | 0,77 | 0,78 |
| Mistura 7 | Solo +8% Cimento +10%Borracha | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | σ (Mpa) |
| | | 7 Dias | 0,75 | 0,83 | 0,68 | ----- | ----- | 0,75 |
| | | 28 Dias | ----- | ----- | ----- | 0,7 | 0,69 | 0,695 |

Os corpos de prova das diferentes misturas foram confeccionados seguindo os valores adotados de teor de umidade e massas específicas compactadas conforme a Tabela 27.

Tabela 27: Massa Especifica seca Compacta.

| Características da Compactação | Misturas | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Massa esp. úmida compacta (g/cm ³) | 2,01 | 2,01 | 2,09 | 2,05 | 2,00 | 1,96 | 1,90 |
| Teor de umidade medido (%) | 18,91 | 18,77 | 20,92 | 21,54 | 16,53 | 16,31 | 16,41 |
| Massa esp. seca compacta (g/cm ³) | 1,69 | 1,69 | 1,73 | 1,68 | 1,71 | 1,68 | 1,64 |

5.7.2 Análise dos resultados

Pode ser verificado pela Tabela 26, que a inclusão de cimento é benéfico, pois causa um aumento no valor de compressão simples para todos os dias de ruptura (7 e 28 dias). Baseado na Tabela 26, se realizou a Figura 64 para melhor análise do benefício da inclusão de cimento e de borracha à mistura de solo.

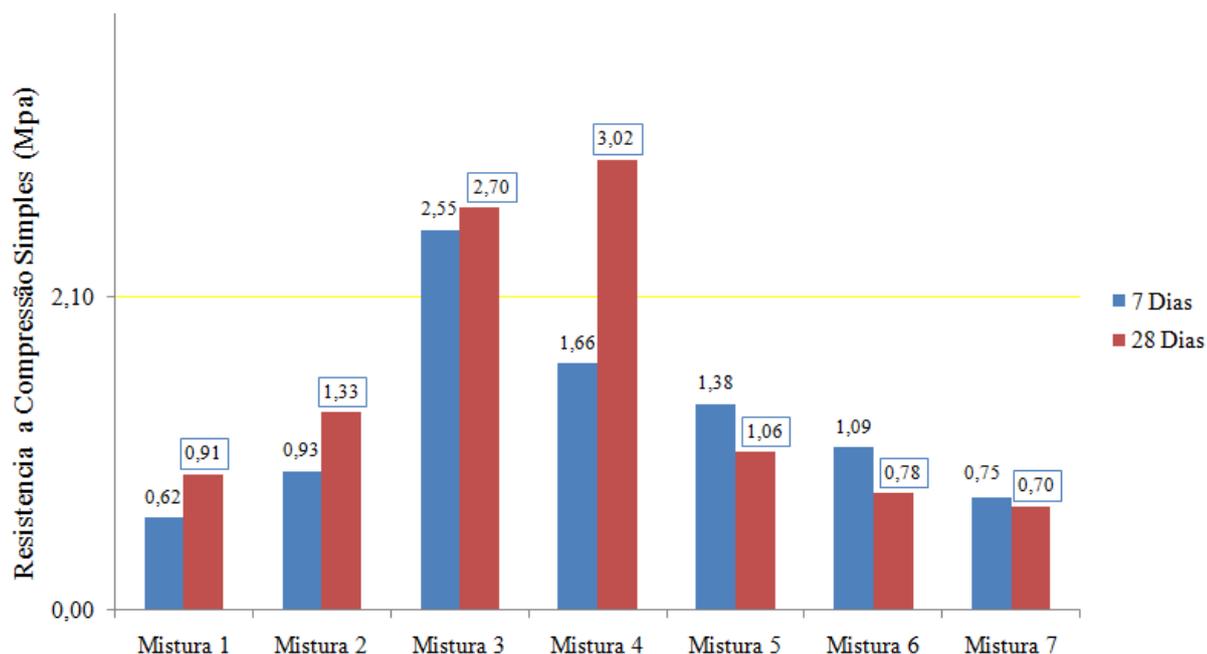


Figura 64: Resistência a Compressão Simples das Misturas

Com relação a Figura 64, tem se a clareza que somente a mistura 3, composta pela mistura de solo - 8% cimento atingiu a resistência mínima estabelecida pela norma 143/2010 – ES citada no item 4.0 deste trabalho, pois é, a única amostra que ultrapassa a resistência estipulada pela mesma em 2,10 Mpa ou 21 Kgf/cm². A mesma mistura (solo-cimento: 92%-8%) obtêm uma resistência médias aos 7 dias de 2, 55 Mpa e aos 28 dias de 2,70Mpa .

A mistura 4 composta por solo-cimento-raspa de pneu (91% - 8 % - 1%) obtêm a resistência estipulada pela norma somente aos 28 dias, portanto 21 dias após. Se comparado a resistência aos 28 dias da mistura 1 a mesma tem um aumento considerável de 0,32 Mpa ou 32 tf/m², este aumento equivale a 12%.

As misturas 5, 6, 7, têm diminuição da resistência se comparado às resistências iniciais, e esta diminuição pode estar ligada ao fato da borracha se comprimir durante a compactação, logo após o desconfinamento ou extração do corpo de prova, a borracha tende a expandir para chegar ao seu estado natural, a raspa de pneu se encontra confinada somente pelo solo compactado, pois o cimento não está reagindo com a amostra nos primeiros minutos e este fato faz com que a borracha tenha facilidade de retornar ao seu estado normal.

6 Considerações finais

A partir dos ensaios de caracterização geotécnica e ensaios de compactação para os diferentes solos estudados nesta pesquisa, foi verificado que o solo da camada superior da jazida localizada na entrada do aeroporto de Alegrete, apresentou melhor desempenho para a realização deste trabalho. Este solo classificado pelo Sucs como uma areia argilosa com pedregulho, foi a que obteve melhor comportamento e, portanto é o que mais se adapta aos critérios do DNIT 142/2010 ES, que trata do reforço de bases com utilização de solo melhorado com cimento.

Após a escolha do solo para o estudo, foram determinadas as primeiras misturas para que se realizassem o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC). As raspa de pneus utilizadas segundo a devida pesquisa foram classificadas de forma a obterem comprimento estabelecido na faixa de 25 mm. A mistura proposta inicialmente para o ensaio de ISC foi a mistura de solo natural com energia normal que obteve 11,6%, após esta foi realizada a mistura solo-cimento Portland CPIV-32 -raspa de pneu (94%, 5%, 1%), que alcançou o valor de 34% no ISC, ficando bem abaixo do estabelecido pela norma do DNIT 142/2010 ES em 80% e portanto não podendo a mesma ser utilizada para estabilização de bases em rodovias.

Tendo por vista o resultado com adição de 5% de cimento e 1% de raspa de pneu foi alterada a energia de compactação para a energia intermediária, e posteriormente alterada para 8% a adição de cimento Portland CPIV-32, as novas misturas foram então devidamente compostas por adições de raspa de pneu com valores de 1%, 3% ,5% e 10%. Após os ensaios das mesmas foi analisado como benéfico a alteração da energia de compactação assim como o aumento da porcentagem de adição de cimento portland nas mesmas.

A troca da energia de compactação para energia intermediária aumentou a massa específica compacta da amostra de solo natural reduzindo o teor de vazios na amostra, isto causa conjuntamente a redução do teor de umidade ótimo de compactação da amostra. A maior massa específica seca compacta foi obtida com a mistura de solo- cimento Portland CPIV-32 (92%, 8%), se comparado a massa compacta de massa de solo-cimento a amostra com adição de raspa de pneus terá por si só uma massa menor pelo fato da raspa de pneu ter uma densidade baixa e por ocupar um volume considerável na amostra.

Dentre as misturas que tiveram adição de borracha as que apresentaram melhor comportamento foram às compostas por baixos teores de raspa de pneu. Com o incremento do teor de raspa de pneus de borracha no solo é aumentado a fragilidade da mistura causando

áreas de fraqueza ou fissuras na amostra no cilindro, ou pelo fato da mistura ter grande áreas de vazios na mistura que ocorre pela transposição das raspa de pneus.

A mistura que obteve melhor comportamento dentre todas as adições frente à resistência máxima no ISC foi a mistura de solo-cimento (92%-8%), que alcançou o valor de 184%, seguida pela mistura de solo com adição de 8% de cimento e 1% de raspa de pneu, que alcançou os 172% de resistência. No entanto, as misturas com adições de raspa de pneus de borracha tem uma particularidade, que é o fato das mesmas ter um comportamento mais linear, não tornando a amostra muito frágil com a pouca mudança de umidade, diferentemente das misturas de solo-cimento (características frágeis).

Baseado nos valores da massa específica seca compacta, obtida com a utilização de energia intermediária para compactar os cilindros do ensaio do ISC, se realizou o ensaio de compressão simples com as amostras, apesar desta base frente a massa específica seca compacta obtida em outro ensaio, algumas misturas obtiveram alguma variância na massa específica seca compacta. Os resultados alcançados neste ensaio foram satisfatórios segundo a norma 143/2010 – ES somente para a mistura que é constituída de 92% de solo e 8% de cimento, pois é a única amostra que ultrapassa a resistência estipulada pela mesma em 2,06 Mpa ou 21 Kgf/cm².

A mistura com adição de 8% de cimento e 1% de raspa de pneu, só obteve a resistência estipulada aos 28 dias, no qual teve o resultado de 3,065 Mpa, as demais misturas não obtiveram a resistência estipulada pela norma 143/2010 – ES, e portanto as mesmas não poderiam ser utilizadas como base em pavimentos rodoviários. A resistência a compressão simples também foi prejudicada, pelo fato das misturas com teores significativos de 3%, 5% e 10% de raspa de pneus de borracha se encontrarem fissurados pela expansão da raspa de pneu que ocorre logo após a extração da amostra.

7 Sugestões para pesquisas futuras

Muitas dúvidas puderam ser esclarecidas neste estudo, contudo algumas preocupações e investigações ainda necessitam serem melhores analisadas. Neste sentido, sugere-se a realização de estudos adicionais e pesquisas futuras que possam esclarecer melhor alguns pontos ou mesmo complementar estas investigações.

✓ Analisar as misturas através do ensaio por compressão triaxial para determinação do ângulo de atrito e coesão, pois os mesmos fatores seriam facilitadores no sentido de esclarecer melhor o funcionamento da raspa de pneu em conjunto com o cimento na matriz de solo.

✓ Avaliar o comportamento das misturas através de um software para determinação do provável funcionamento da estrutura de base de pavimento, sendo esta mistura estruturada pelo reforço composto de solo-cimento-raspa de pneu. Através deste parâmetro poderá ser analisado o fator de segurança da estrutura, determinando também as linhas de ruptura da estrutura e conseqüentemente os planos mais frágeis.

✓ Outra sugestão que poderá ser realizada futuramente se refere ao comprimento das raspa de pneus de borracha utilizadas, esta se baseia no aumento ou redução das raspa de pneus de borracha, a partir desta mudança poderíamos ter outra visão sobre o funcionamento destas raspa de pneus na matriz da mistura.

8 Bibliografias:

ANIP; QUASE 200 ANOS DE TECNOLOGIA; disponível em :<<http://www.anip.com.br/index.php?cont=anip>> acesso em : 14 mai. 2012.

ANIP; Fabricação; disponível em :<<http://www.anip.com.br/index.php?cont=fabricacao>> acesso em : 15 mai. 2012.

ANIP, Você sabe o que acontece com os pneus que não têm mais utilidade? disponível em :<http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=438&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias> acesso em : 15 mai. 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; Solo-cimento; disponível em :<<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento>> acesso em : 07 jun. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5732: Cimento Portland

Comum: Especificações. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12025 – Solo-cimento: Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1990.

_____. NBR 12024 – Solo-cimento: - Moldagem E Cura De Corpos De Prova Cilíndricos. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

_____. NBR 12770 – Solo Coesivo: - Determinação Da Resistência A Compressão Não Confinada , Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

_____. NBR 12253 – Solo-cimento: Dosagem para o emprego como camada de pavimento. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

_____.NBR 6457 - Amostras de solos - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 5734: Peneiras para ensaio – Especificação. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro,1984.

_____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

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

_____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

- _____. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. NBR 12023: Solo-cimento: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR 12024: Solo-cimento: Moldagem e cura corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR NM-ISO 2395: Peneiras De Ensaio E Ensaio De Peneiramento. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. NBR 9895: Solo: Índice De Suporte Califórnia, Método De Ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR NM-ISO 2395: PENEIRAS DE ENSAIO ENSAIO DE PENEIRAMENTO. Rio de Janeiro, 1997.
- BERTOLLO, Sandra Margarido; JÚNIOR, José Leomar Fernandes; BENEFÍCIOS DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria , , México, Cancun ,2002.
- BECKER ,Andreas; Uma pequena história da borracha sintética; 29 dez. 2009; disponível em :<http://www.dw.de/dw/article/0,,5069207_page_0,00.html> acesso em : 14 mai. 2012
- BRIDGESTONE; Bridgestone realiza logística reversa para descarte de pneus; 20 jan 2012; disponível em: <http://www.motonline.com.br/bridgestone-realiza-logistica-reversa-para-descarte-de-pneus/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=bridgestone-realiza-logistica-reversa-para-descarte-de-pneus> acesso em : 15 mai. 2012
- DNIT; Sistema Nacional de Viação(SNV); disponível em: <http://www.dnit.gov.br/plano-nacional-de-viacao/snv_2012> acesso em : 15 Julho 2012.
- DEC, Departamento de Engenharia Civil UDESC Joinville, disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/equipamentos.php>> acesso em : 27 março 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 201-94: Solo-cimento-compressão axial de corpos de prova cilíndricos, Norma Rodoviária, Método de Ensaio, 1994.
- _____. DNER 202-94: Solo-cimento-moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos, Norma Rodoviária, Método de Ensaio, 1994.
- _____. DNER 300-97: Norma rodoviária, Especificações de Serviço, Pavimentação- Reforço do Subleito , Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 143/2010, Pavimentação –Base De Solo-Cimento-Especificações De Serviço. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 142/2010: Pavimentação –Base De Solo Melhorado Com Cimento - Especificações De Serviço. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 141/2007: Pavimentação –Base estabilizada granulometricamente - Especificações De Serviço. Rio de Janeiro, 2007.

_____. DNIT 098/2007: Pavimentação –Base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico - Especificações De Serviço. Rio de Janeiro, 2007.

ESPINDOLA, Carlos Roberto; HISTÓRIA DA PEDOLOGIA: UM RESGATE BIBLIOGRÁFICO. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, 1, Anais, p.349-352, São Paulo, 2007.

FEUERHARMEL; Marcos R; COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO ; Dissertação de mestrado em Engenharia Civil; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; Brasil; jun. 2000.

FREITAS, Leonardo Mello de; Borracha e Vulcanização - A invenção de Charles Goodyear, disponível em : <<http://www.coladaweb.com/quimica/quimica-geral/borracha-e-vulcanizacao-a-invencao-de-charles-goodyear>> acesso em : 14 mai. 2012.

GRECO; Jisela Aparecida Santanna ; Notas de Aula da disciplina de Construção de Estradas e Vias Urbanas; disponível em: < <http://etg.ufmg.br/~jisela/pagina/Notas%20de%20aula%20solos.pdf>> acesso em : 25 mai. 2012.

IME; Instituto Militar de Engenharia ; Seção de Engenharia de Fortificação e Construção ; Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas, disponível em: < http://transportes.ime.br/MATERIAL%20DE%20PESQUISA/LABOTATORIO/LAB%20LIGANTES/02_tipos_de_pavimento.htm > acesso em : 29 mar. 2013.

LIMA, T.V. Estudo da produção de blocos de solo-cimento com solo do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes - RJ. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2006

MACEDO. Mirtes Maria de. Solos modificados com cimento - efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2004.

- MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO; Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes(DNIT); Diretoria De Planejamento E Pesquisa; Coordenação-Geral De Estudos E Pesquisa Instituto De Pesquisas Rodoviárias; IPR-719; 2006.
- MASCHIO, Emanuelle; SOUZA, Fernanda C. de; MILLEO, Ida Agner de Faria; MÉTODO INVESTIGATIVO PARA UM QUADRO DE ESPECIFICAÇÕES DE COMPACTAÇÃO DE ATERROS EM OBRAS DE SUBESTAÇÕES DE ENERGIA. Monografia Especialista em Patologia nas Obras Civas; Curitiba,2007.
- MOH, Z.C. Reactions of soil minerals with cement and chemicals. Highway Research Record, Washington, v.86. p.39-61, 1965.
- OLIVEIRA, Rodrigo Fidelis Viana De; Análise De Dois Solos Modificados Com Cimento Para Dimensionamento De Pavimentos; Mestrado Profissional Em Engenharia Geotécnica; UFOP ; Ouro Preto; 2011.
- PITTA, M. R. Estabilização com solo-cimento. Revista Techne, São Paulo: Pini. n. 17, jul./ago. 1995.
- PINTO, C. S. (2000). Curso Básico de Mecânica dos Solos. Ed. Oficina de Textos, 247 p
- PNEUSOST; Processos de Recapagem ; disponível em: <[http://pt.scribd.com/doc/70652102/50717892-Mecanica - Dos-Solos-CEFET-RS](http://pt.scribd.com/doc/70652102/50717892-Mecanica-Dos-Solos-CEFET-RS)>acesso em : 25 Ago. 2012.
- _____. Conheça seu Pneu; disponível em: <http://www.pneusost.com/portal/institucional/conheca_seu_pneu.php >acesso em : 27 Mar. 2013
- RAFALKO, Susan D.; BRANDON, Thomas L.; FILZ, George M.;MITCHELL, James K.;FIBER REINFORCEMENT FOR RAPID STABILIZATION OF SOFT CLAY SOILS;Department of Civil and Environmental Engineering ; Virginia Polytechnic Institute and State University; Blacksburg, Virginia, United States of America; 2006
- RIBEIRO, Simão P. T. ; TERRAPLENAGEM. METODOLOGIA E TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

- SANTOS ,Diogo Gomes dos; Recriando historicamente o período da borracha até o 3º ciclo, disponível em :<<http://www.coladaweb.com/historia-do-brasil/ciclo-da-borracha-e-a-amazonia-atual>> acesso em : 14 mai. 2012.
- SAYÃO, Alberto; SIEIRA, Ana Cristina; SANTOS, Petrucio ; MACCAFERRI MANUAL TÉCNICO; Reforço de solos; Brasil; 2009.
- SCHMITZ ,Cristiane Salerno; Notas de Aula da disciplina de Mecânica dos Solos; pg 26;figura 3.4; disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/70652102/50717892-Mecanica-Dos-Solos-CEFET-RS>>acesso em : 25 mai. 2012.
- SENÇO, Wlastermiler de ; Manual de técnicas de pavimentação;2. Ed. Ampl. São Paulo;PINI,2007.
- SILVA, CLÁUDIA CLAUMANN da; COMPORTAMENTO DE SOLOS SILTOSOS QUANDO REFORÇADOS COM FIBRAS E MELHORADOS COM ADITIVOS QUÍMICOS E ORGÂNICOS; Tese de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba; 2007.
- SOARES, Rodrigo Almeida; Assis, Edilson Machado de; O USO DA BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO COMO UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL; disponível em: < info.ucs.br/banmon/Arquivos/ART_161208.doc > acesso em : 15 mai. 2012.
- TEODORO, J.M.; BUENO, B.S. Estudo do comportamento dos solos reforçados com fibras plásticas de polipropileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., Brasília, 1998. Anais... v.2, p.1093-1100.
- TRINDADE, Tiago Pinto da; IASBIK, Israel; LIMA Dario Cardoso de ; SILVA, Cláudio Henrique Carvalho ; BARBOSA, Paulo Sérgio de Almeida, Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório, Revista Escola de Minas, vol.57 no.1, Ouro Preto, MG, Jan./Mar. 2004.
- TYRES, ANIMAL; Reciclagem de pneus, vamos salvar o mundo; disponível em: <http://www.funtyres.com.br/Animal_Tyres/reciclar.html> acesso em : 15 mai. 2012.
- VENDRUSCOLO, Márcio Antônio; ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS FIBROSOS PARA APLICAÇÃO COMO REFORÇO DE BASE DE

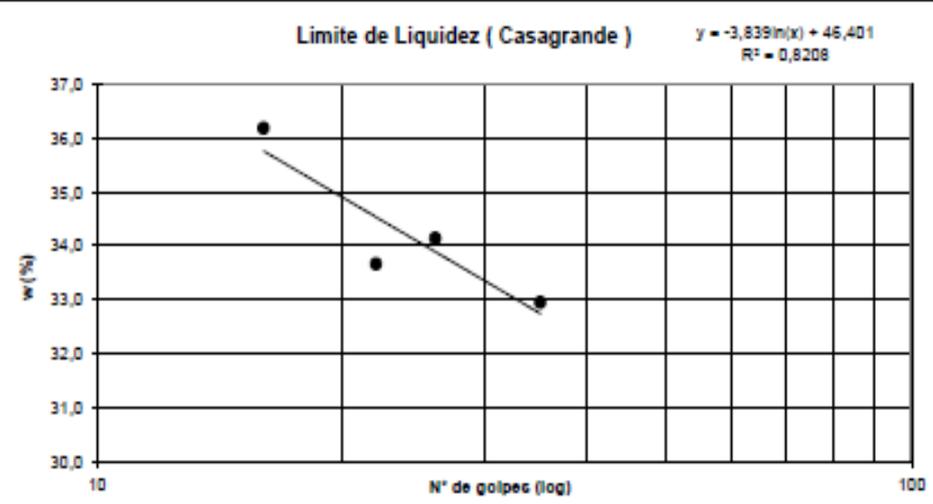
FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS; Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; 2003.

VILLIBOR, Douglas Fadul ;FORTES, Rita Moura; FORTES, Fábio Quintela ; JUNIOR, Cláudio Nogueira; DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DE BASES DE SOLO-CIMENTO EGRANULARES; 36.a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO;CURITIBA; 2005.

WIKIPÉDIA; História da Estrada Romana;<http://pt.wikipedia.org/wiki/Estrada_romana>acesso em : 15 junho. 2012.

9 Apêndices

9.1 Apêndice A: Planilhas dos Ensaios de Limite de Líquides e de Plasticidade do Solo utilizado para os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Compressão Simples.

|  UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA <small>Universidade Federal do Pampa</small> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------|------|----------|--------------|---------------|-------|---------------|-------|-------------|-------|----------------|--|-----------|---------------|--|--|--|--|---------------|--|--|--|--|-------------|-------|-------|-------|------|----------------|--|--|--------------------|--|
| DADOS: | Solo com Tonalidade escura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLIENTE: | Wilber Chambi Tapahuasco | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENDEREÇO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVAÇÕES: | Camada Superior de 15 a 40 cm de solo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Local: | Aeroporto de Alegrete | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITES DE CONSISTENCIA (NBR 6459 e NBR 7180) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Nº da capsula</td> <td>D</td> <td>100</td> <td>191</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Nº de golpes</td> <td>35</td> <td>26</td> <td>22</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>tara (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tara + SH (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tara + SS (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Umidade (%)</td> <td>32,95</td> <td>34,14</td> <td>33,67</td> <td>36,2</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">WL (%):</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">34,04373571</td> </tr> </tbody> </table> | | Nº da capsula | D | 100 | 191 | 200 | Nº de golpes | 35 | 26 | 22 | 16 | tara (g) | | | | | tara + SH (g) | | | | | tara + SS (g) | | | | | Umidade (%) | 32,95 | 34,14 | 33,67 | 36,2 | WL (%): | | | 34,04373571 | |
| Nº da capsula | D | 100 | 191 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº de golpes | 35 | 26 | 22 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara + SH (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara + SS (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umidade (%) | 32,95 | 34,14 | 33,67 | 36,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WL (%): | | | 34,04373571 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">LIMITE DE PLASTICIDADE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nº da capsula</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>tara (g)</td> <td>7,95</td> </tr> <tr> <td>tara + SH (g)</td> <td>13,33</td> </tr> <tr> <td>tara + SS (g)</td> <td>12,44</td> </tr> <tr> <td>Umidade (%)</td> <td>19,82</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">WP (%):</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">20</td> </tr> </tbody> </table> | | LIMITE DE PLASTICIDADE | | Nº da capsula | 77 | tara (g) | 7,95 | tara + SH (g) | 13,33 | tara + SS (g) | 12,44 | Umidade (%) | 19,82 | WP (%): | | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITE DE PLASTICIDADE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº da capsula | 77 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara (g) | 7,95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara + SH (g) | 13,33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tara + SS (g) | 12,44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umidade (%) | 19,82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WP (%): | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INDICE DE PLASTICIDADE (%): | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Limite de Liquidez (Casagrande)</p> <p style="text-align: right;">$y = -3,839 \ln(x) + 46,401$ $R^2 = 0,9208$</p>  <table border="1"> <caption>Data points for Liquid Limit (Casagrande)</caption> <thead> <tr> <th>Nº de golpes (log)</th> <th>wL (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35</td> <td>36,2</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>33,7</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>34,1</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>33,0</td> </tr> </tbody> </table> | | Nº de golpes (log) | wL (%) | 35 | 36,2 | 26 | 33,7 | 22 | 34,1 | 16 | 33,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº de golpes (log) | wL (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 36,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 33,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 34,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 33,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

9.2 APENDICE B: Planilha do Ensaio de Massa Especifica dos grãos passantes pela peneira de abertura 4,8mm referente ao solo natural utilizado para os ensaios de resistência.

| Umidade higroscópica | | Massa específica dos grãos # 4,8mm | | | | | |
|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | | Ensaio com picnômetro: | | | | | |
| | | A | B | C | | | |
| Capsula N° | 18 | 38 | 39 | Picnômetro N° | 2 | 3 | 4 |
| cap. (g) | 18,17 | 18,49 | 17,92 | massa do solo úm. Utilizado (g) | 50 | 100 | 100 |
| cap. + SH (g) | 51,81 | 35,00 | 36,41 | Temperatura (°C) | 28,0 | 28,0 | 28,0 |
| cap. + SS (g) | 50,51 | 34,37 | 35,73 | Pic. + água (g) | 643,64 | 1276,79 | 1261,80 |
| Umidade (%) | 4,02 | 3,97 | 3,82 | Pic. + água + solo(g) | 674,40 | 1337,93 | 1322,92 |
| | | w (%) | 3,94 | Mass. Esp. Água (g/cm ³) | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | ρ_s (g/cm ³) | 2,77 | 2,74 | 2,74 |
| | | | | | | G_s | 2,75 |

Ensaio executado conforme a Norma ABT NBR 6508/84

Observações: A massa específica dos grãos foi calculada pela média entre eles.

9.3 APENDICE C: Planilha Referente ao ensaio de Peneiramento da amostra de Solo extraído da Jazida 1(15 a 40cm) e referente ao solo natural utilizado para os ensaios de resistência.

| Massa da amostra seca ao ar M_d (g) - | | 70 | | Massa total da amostra seca M_s (g) - | | 68,85 | |
|---|---------------|-----------------|---------------------------|---|--|--------------|--|
| Peneiramento Grosso | | | | | | | |
| Peneira | Abertura (mm) | Sala retida (g) | Sala retida acumulada (g) | % de material que passa | | | |
| 2" | 50,8 | 0,00 | 0,00 | 100,0000 | | | |
| 1 1/2" | 38,1 | 0,00 | 0,00 | 100,0000 | | | |
| 1" | 25,4 | 0,00 | 0,00 | 100,0000 | | | |
| 3/4" | 19,1 | 0,00 | 0,00 | 100,0000 | | | |
| 3/8" | 9,5 | 1,88 | 1,88 | 97,2696 | | | |
| 4 | 4,76 | 10,78 | 12,66 | 81,6131 | | | |
| 10 | 2,00 | 12,16 | 24,82 | 63,9524 | | | |
| Peneiramento Fino | | | | | | | |
| Peneira | Abertura (mm) | Sala retida (g) | Sala retida acumulada (g) | % de material que passa | | | |
| 16 | 1,19 | 0,76 | 0,76 | 63,2 | | | |
| 30 | 0,59 | 1,60 | 2,36 | 61,7 | | | |
| 40 | 0,42 | 0,86 | 3,22 | 60,9 | | | |
| 60 | 0,25 | 1,66 | 4,88 | 59,4 | | | |
| 100 | 0,149 | 8,90 | 13,78 | 51,0 | | | |
| 200 | 0,074 | 5,76 | 19,54 | 45,6 | | | |

9.4 APENDICE D: Planilha Referente ao ensaio de Sedimentação da amostra de Solo extraído da Jazida 1(15 a 40cm)

| SEDIMENTAÇÃO | | | | | | | |
|--|-----------|------------|------------------------|-------------------------|--------|-------------|----------|
| Massa do material úmido submetido à sedimentação M_u (g) = | | | | | 70 | Observação: | 49984/07 |
| tempo | tempo (s) | temp. (°C) | L (g/cm ³) | Ld (g/cm ³) | a (cm) | Q5 (%) | d (mm) |
| 30s | 30 | 28,0 | 1,0350 | 1,0039 | 11,3 | 32,7 | 0,0574 |
| 1min. | 60 | 28,0 | 1,0340 | 1,0039 | 11,5 | 31,6 | 0,0409 |
| 2min. | 120 | 28,0 | 1,0340 | 1,0039 | 11,5 | 31,6 | 0,0289 |
| 4min. | 240 | 28,0 | 1,0330 | 1,0039 | 11,7 | 30,6 | 0,0206 |
| 8min. | 480 | 28,0 | 1,0310 | 1,0039 | 12,1 | 28,5 | 0,0148 |
| 15min. | 900 | 28,0 | 1,0305 | 1,0039 | 12,2 | 27,9 | 0,0109 |
| 30min. | 1800 | 28,0 | 1,0295 | 1,0039 | 12,3 | 26,9 | 0,0078 |
| 1h | 3600 | 28,0 | 1,0282 | 1,0039 | 12,6 | 25,5 | 0,0055 |
| 2h | 7200 | 29,0 | 1,0270 | 1,0023 | 12,8 | 25,9 | 0,0039 |
| 4h | 14400 | 25,5 | 1,0265 | 1,0040 | 12,9 | 23,6 | 0,0029 |
| 8h | 28800 | 24,0 | 1,0260 | 1,0047 | 13,0 | 22,4 | 0,0021 |
| 24h | 86400 | 21,5 | 1,0250 | 1,0050 | 13,2 | 21,0 | 0,0012 |
| Massa específica do água = | | | | | | 1,0000 | |

9.5 APENDICE E: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da fazenda Bicca (jazida 3).

|  UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA <small>Universidade Federal do Pampa</small> | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------|----------|----------|-----------|--|--------|--------|--------|
| Interessado: | Wilber Chambi Tapahuasco | | | | Estudo: | Ensaio de Compactação por Proctor | | | |
| Obra: | - | | | | Material: | Argila de Tonalidade Escura | | | |
| Local: | Bicca | | | | Estaca: | - | | | |
| Grupo responsável: | Grupo 1 | | | | Data: | 21/10/2011 | | | |
| preparo de amostra | Secagem Prévia do Material | | | | Reg: | | | | |
| moldagem | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade higroscópica | | | |
| peso úmido da amostra (g) | 4719,20 | 4200 | 3620 | 2700 | 2500 | cápsula | 1 | 2 | 3 |
| água higr. (ml) | 281,13 | 579,3103 | 552,2034 | 486,8852 | 140,5562 | C-cápsula | 86,99 | 87,49 | 84,49 |
| água adic. (ml) | 473,94 | 72,41379 | 122,7119 | 88,52459 | 567,2769 | C+S+A | 132,9 | 138,73 | 129,83 |
| água total (ml) | 755,07 | 651,72 | 674,92 | 575,41 | 707,83 | C+S | 130,31 | 135,86 | 127,28 |
| úm. Estimada (w%) | 16 | 18 | 22 | 26 | 30 | A-água | 2,59 | 2,87 | 2,55 |
| úm. Higroscópica (w%) | 5,957 | | | | | S-solo sec | 43,32 | 48,37 | 42,79 |
| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade | 5,98 | 5,93 | 5,96 |
| Massa do cilindro (gr) | 4240 | 4240 | 4240 | 4240 | 4240 | w% méd. | 5,957 | | |
| Diâmetro do cilindro (cm) | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | OBS: Ensaio proctor normal Cálculos Conforme NBR 7182 Energia de Compactação Normal com a utilização de um cilindro pequeno e soquete pequeno 3 camada e 26 golpes por camada | | | |
| altura corpo de prova (cm) | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | | | | |
| Volume do cilindro (cm ³) | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | | | | |
| Determinações | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| Massa do Cilindro + solo úmido (g) | 5760 | 5900 | 6000 | 6080 | 5980 | | | | |
| Massa do solo úmido (g) | 1520 | 1660 | 1760 | 1840 | 1740 | | | | |
| Massa esp. úmida compacta (gr/cm ³) | 1,53 | 1,67 | 1,77 | 1,85 | 1,75 | | | | |
| Componentes (moldes) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| Massa esp. seca compacta (g/cm ³) | 1,312 | 1,414 | 1,454 | 1,441 | 1,296 | | | | |
| teor de umidade medido (%) | 16,75 | 18,32 | 21,98 | 28,85 | 35,29 | | | | |

9.6 APENDICE F: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da Jazida
2.

|  UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA <small>Universidade Federal do Pampa</small> | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|----------|----------|------------------|--|--------|--------|--------|------|
| Interessado: | Wilber Chambi Tapahuasco | | | | Estudo: | Ensaio de Compactação por Proctor | | | | |
| Obra: | - | | | | Material: | Solo de Tonalidade amarelada | | | | |
| Local: | Olaria Nicolle | | | | Estaca: | - | | | | |
| Grupo responsável: | Grupo 2 | | | | Data: | 21/10/2011 | | | | |
| preparo de amostra | Secagem Prévia até a umidade higroscópica | | | | Reg: | | | | | |
| moldagem | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade higroscópica | | | | |
| peso úmido da amostra (g) | 5000,00 | 4520 | 4000 | 3500 | 3000 | cápsula | | 1 | 2 | 3 |
| água higr. (ml) | 126,00 | 623,4483 | 610,1695 | 631,1475 | 580,6452 | C-cápsula | 99,03 | 93,84 | 92,57 | |
| água adic. (ml) | 674,00 | 77,93103 | 135,5932 | 57,37705 | 48,3871 | C+S+A | 140,43 | 149,29 | 148,27 | |
| água total (ml) | 800,00 | 701,38 | 745,76 | 688,52 | 629,03 | C+S | 139,47 | 147,89 | 146,85 | |
| úmud. Estimada (w%) | 16 | 18 | 22 | 24 | 26 | A-água | 0,96 | 1,4 | 1,42 | |
| úmud. Higroscópica (w%) | 2,520 | | | | | S-solo sec | 40,44 | 54,05 | 54,28 | |
| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | úmidade | | 2,37 | 2,59 | 2,62 |
| Massa do cilindro (gr) | 4460 | 4460 | 4460 | 4460 | 4460 | w% méd. | | 2,527 | | |
| Diâmetro do cilindro (cm) | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | OBS: Ensaio proctor normal Cálculos Conforme NBR 7182 Energia de Compactação Normal com a utilização de um cilindro pequeno e soquete pequeno 3 camada e 26 golpes por camada | | | | |
| altura corpo de prova (cm) | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | | | | | |
| Volume do cilindro (cm ³) | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Determinações | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
| Massa do Cilindro + solo úmido (g) | 6280 | 6380 | 6460 | 6400 | 6380 | | | | | |
| Massa do solo úmido (g) | 1820 | 1920 | 2000 | 1940 | 1920 | | | | | |
| Massa esp. úmida compacta (gr/cm ³) | 1,83 | 1,94 | 2,02 | 1,96 | 1,94 | | | | | |
| Componentes (moldes) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
| Massa esp. seca compacta (g/cm³) | 1,594 | 1,638 | 1,646 | 1,568 | 1,572 | | | | | |
| teor de umidade medido (%) | 15,09 | 18,13 | 22,43 | 24,73 | 23,08 | | | | | |

9.7 APENDICE G: Planilha Referente aos dados do ensaio de Compactação da Jazida 1(15-40cm).

| unipampa | | UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA | | | | | |
|---|---|-------------------------------|----------|---------|----------------|---|-----------------------------------|
| Interessado: | Wilber Chambi Tapahuasco | | | | | Estudo: | Ensaio de Compactação por Proctor |
| Obra: | - | | | | | Material: | Solo de Tonalidade marrom-argila |
| Local: | Jazida Aeroporto | 15 a 40cm | | | Estaca: | - | |
| Grupo responsável: | Grupo 1 | | | | | Data: | 07/11/2011 |
| preparo de amostra: | Secagem Prévia até a umidade higroscópica | | | | | Reg: | |
| moldagem | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade higroscópica | |
| peso úmido da amostra (g) | 5660,00 | 3760 | 4920 | 6000 | 4000 | cápsula | 1 2 3 |
| água higr. (ml) | 229,97 | 518,6207 | 750,5085 | 1000 | 774,1335 | C-cápsula | 25,85 24,44 25,16 |
| água adic. (ml) | 675,63 | 64,82759 | 83,38983 | 200 | 64,51613 | C+S+A | 79,46 61,16 76,37 |
| água total (ml) | 905,60 | 583,45 | 833,90 | 1200,00 | 838,71 | C+S | 77,39 59,74 74,33 |
| úm. Estimada (w%) | 16 | 18 | 20 | 24 | 26 | A-água | 2,07 1,42 2,04 |
| úm. Higroscópica (w%) | 4,063 | | | | | S-solo sec | 51,54 35,3 49,17 |
| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade | 4,02 4,02 4,15 |
| Massa do cilindro (gr) | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | w% méd. | 4,063 |
| Diâmetro do cilindro (cm) | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | OBS: | |
| altura corpo de prova (cm) | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | Ensaio proctor normal | |
| Volume do cilindro (cm ³) | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | Cálculos Conforme NBR 7182 | |
| Determinações | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Energia de Compactação Normal com a utilização de um cilindro pequeno e soquete pequeno | |
| Massa do Cilindro + solo úmido (g) | 6380 | 6480 | 6520 | 6500 | 6480 | 3 camada e 26 golpes por camada | |
| Massa do solo úmido (g) | 1880 | 1980 | 2020 | 2000 | 1980 | | |
| Massa esp. úmida compacta (gr/cm ³) | 1,89 | 2,00 | 2,04 | 2,02 | 2,00 | | |
| Componentes (moldes) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Massa esp. seca compacta (g/cm ³) | 1,634 | 1,701 | 1,695 | 1,656 | 1,616 | | |
| teor de umidade medido (%) | 15,98 | 17,30 | 20,13 | 21,73 | 23,47 | | |

9.8 APENDICE H: Planilha referente aos dados do ensaio de compactação da jazida 1(40cm).

| unipampa | | UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA | | | | | |
|---|---|-------------------------------|----------|----------|----------------|---|-----------------------------------|
| Interessado: | Wilber Chambi Tapahuasco | | | | | Estudo: | Ensaio de Compactação por Proctor |
| Obra: | - | | | | | Material: | Solo de Tonalidade Vermelhada |
| Local: | Aeroporto | 40 cm | | | Estaca: | - | |
| Grupo responsável: | Grupo 1 | | | | | Data: | 02/11/2011 |
| preparo de amostra: | Secagem Prévia até a umidade higroscópica | | | | | Reg: | |
| moldagem | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade higroscópica | |
| peso úmido da amostra (g) | 5000,00 | 4520 | 3180 | 4000 | 2960 | cápsula | 1 2 3 |
| água higr. (ml) | 341,30 | 815,082 | 615,4839 | 273,0425 | 717,5758 | C-cápsula | 92,58 87,01 93,83 |
| água adic. (ml) | 758,70 | 74,09836 | 51,29032 | 1006,957 | 60 | C+S+A | 121,2 134,64 125,3 |
| água total (ml) | 1100,00 | 889,18 | 666,77 | 1280,00 | 777,58 | C+S | 119,15 132,14 123,18 |
| úm. Estimada (w%) | 22 | 24 | 26 | 32 | 35 | A-água | 2,05 2,5 2,12 |
| úm. Higroscópica (w%) | 6,826 | | | | | S-solo sec | 26,57 45,13 29,35 |
| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | umidade | 7,72 5,54 7,22 |
| Massa do cilindro (gr) | 4240 | 4240 | 4240 | 4240 | 4500 | w% méd. | 6,826 |
| Diâmetro do cilindro (cm) | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | 100,1 | OBS: | |
| altura corpo de prova (cm) | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | 127,4 | Ensaio proctor normal | |
| Volume do cilindro (cm ³) | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | 992,180 | Cálculos Conforme NBR 7182 | |
| Determinações | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Energia de Compactação Normal com a utilização de um cilindro pequeno e soquete pequeno | |
| Massa do Cilindro + solo úmido (g) | 5760 | 5780 | 5800 | 6080 | 6200 | 3 camada e 26 golpes por camada | |
| Massa do solo úmido (g) | 1520 | 1540 | 1560 | 1840 | 1700 | | |
| Massa esp. úmida compacta (gr/cm ³) | 1,53 | 1,55 | 1,57 | 1,85 | 1,71 | | |
| Componentes (moldes) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Massa esp. seca compacta (g/cm ³) | 1,261 | 1,259 | 1,257 | 1,397 | 1,254 | | |
| teor de umidade medido (%) | 21,45 | 23,30 | 25,12 | 32,75 | 36,67 | | |