

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WANDERSON MORAES SOARES

**ESTUDO DE SOLOS LATERÍTICOS FINO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO
PARA A REGIÃO DE SÃO LUÍS**

São Luís
2019

WANDERSON MORAES SOARES

**ESTUDO DE SOLOS LATERÍTICOS FINO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO
PARA A REGIÃO DE SÃO LUÍS**

Monografia apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dr.^a Maria Teresinha de Medeiros Coelho

São Luís

2019

Soares, Wanderson Moraes.

Estudo de solos lateríticos finos para uso em pavimentação para a região de São Luís / Wanderson Moraes Soares. - São Luís, 2019.

131f

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

1.Solos tropicais. 2.Solos lateríticos. 3.Pavimentação. I.Título

CDU: 625.8(812.1)

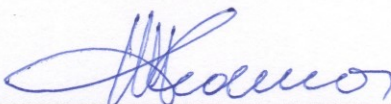
WANDERSON MORAES SOARES

**ESTUDO DE SOLOS LATERÍTICOS FINO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO
PARA A REGIÃO DE SÃO LUÍS**

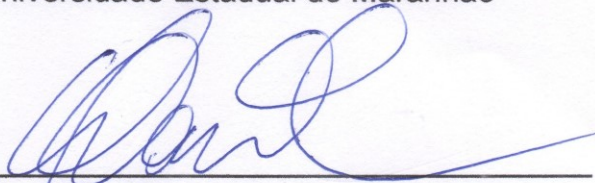
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 08 / 07 / 2019

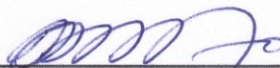
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dr.ª Maria Teresinha de Medeiros Coelho (Orientadora)
Doutora em Urbanismo
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana
Doutor em Engenharia de Transportes
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Msc. Marivaldo Costa Duarte
Mestre em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual do Maranhão

A Deus todo poderoso e a minha Família,
pois sem eles não teria forças para essa
longa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado saúde, discernimento e por ter me guiado nos momentos mais difíceis até o fim desta jornada.

Agradecer a toda a minha família e à Ana Lúcia, por nunca terem me desamparado, sempre me apoiando e me incentivando nesta fase tão importante da minha vida, em especial aos meus pais Antônio Enoc e Lucibele, por terem me dado esta oportunidade incrível e por terem me dado educação para ser a pessoa que sou hoje.

Agradecer a todos os amigos que cultivei durante todos esses anos, na graduação, no estágio, sendo peças importantes na minha formação e no meu crescimento profissional.

Também agradeço à professora Teresinha por ter me dado oportunidades de pesquisa dentro da universidade e por toda a confiança depositada em mim.

E por fim, agradecer à UEMA por todas as oportunidades de crescimento e de aprendizado durante estes árduos anos de graduação.

“Não é o conhecimento, mas o ato de aprender, não a posse, mas o ato de chegar lá, que concede a maior satisfação”.

Carl Friedrich Gauss

RESUMO

O Estado do Maranhão possui cerca de 55.000 km de estradas, mas apenas 6.873 km de rodovias pavimentadas (CNT, 2018). A grande extensão de rodovias que necessitam ser implantadas, pavimentadas ou restauradas, revela a necessidade de se estudar soluções que permitam a redução de custo de obras rodoviárias. Como alternativa tem-se os lateríticos finos, que podem ser utilizados em camadas de pavimento, e por isso é fundamental o conhecimento de suas propriedades, típicos de região de clima tropical, como o Brasil. Para isso, faz-se necessário a adoção de novas técnicas e métodos de estudos, mais adequadas às suas peculiaridades. Os solos tropicais são divididos em lateríticos, saprolíticos e transportados, sendo o laterítico uma variedade de solo superficial pedogenético (NOGAMI e VILLIBOR, 1995). Em virtude da limitação de outras metodologias, no que se refere ao estudo de solos tropicais, desenvolveu-se uma nova metodologia de estudo desses solos, denominada MCT proposta por Nogami e Villibor (1995). Diante disso este trabalho propõe o estudo de solos lateríticos finos extraídos na região de São Luís com vista a serem utilizados em camadas de pavimento. A utilização destes solos, em substituição aos materiais granulares, justifica-se pelo aspecto econômico e ambiental. Este trabalho consistiu na coleta e análise dos resultados de 7 amostras de solos coletados na região de São Luís, na qual foram realizados ensaios de caracterização (limites de consistência e granulometria) segundo as metodologias tradicionais, ensaios mecânicos e de classificação TRB e MCT. As amostras receberam a nomenclatura AMO1, AMO2, AMO3, AMO4, AMO5, AMO6, AMO7. As amostras AMO1, AMO2 e AMO3 foram coletadas em pontos distintos de uma jazida na zona rural de São José de Ribamar/MA; as amostras AMO4, AMO5 e AMO6 foram coletadas na zona urbana e AMO7 na zona industrial de São Luís/MA. Os resultados de classificação MCT mostraram que a amostra AMO3 foi caracterizada como um solo arenoso não laterítico, logo foi descartado, e que os ensaios mecânicos mostraram que as amostras AMO1, AMO5 e AMO6 podem ser utilizadas como sub-base de pavimentos, enquanto as amostras AMO2, AMO4 e AMO7 podem ser usadas como reforço do subleito de pavimentos da região.

Palavras-chave: Solos tropicais. Solos lateríticos. Pavimentação.

ABSTRACT

The State of Maranhão has about 55.000 km of roads, but only 6.873 km of paved roads (CNT, 2018). The great extension of roads that need to be implanted, paved or restored, reveals the need to study solutions that allow the reduction of the cost of road works. As an alternative, thin lateritics can be used in layers of pavement, and so the knowledge of their properties, typical of a tropical climate region, such as Brazil, is fundamental. For this, it is necessary to adopt new techniques and methods of studies, more appropriate to their peculiarities. Tropical soils are divided into lateritic, saprolithic and transported, and lateritic is a variety of pedogenetic surface soil (NOGAMI & VILLIBOR, 1995). Due to the limitation of other methodologies, a new methodology for the study of these soils, named MCT proposed by Nogami & Villibor (1995), was developed for the study of tropical soils. Therefore, this work proposes the study of fine lateritic soils extracted in the region of São Luís in order to be used in layers of pavement. The use of these soils, instead of granular materials, is justified by the economic and environmental aspects. This work consisted in the collection and analysis of the results of 7 soil samples collected in the São Luís region, in which characterization tests (consistency and grain size limits) were performed according to traditional methodologies, mechanical and TRB and MCT tests. Samples were given the nomenclature AMO1, AMO2, AMO3, AMO4, AMO5, AMO6, AMO7. The samples AMO1, AMO2 and AMO3 were collected at different points of a field in the rural area of São José de Ribamar/MA; the samples AMO4, AMO5 and AMO6 were collected in the urban zone and AMO7 in the industrial zone of São Luís/MA. The MCT results showed that the AMO3 sample was characterized as a non-lateritic sandy soil, and was then discarded, and that the mechanical tests showed that samples AMO1, AMO5 and AMO6 can be used as a pavement sub-base, while the samples AMO2, AMO4 and AMO7 can be used as reinforcement of the pavement sublet of the region.

Keywords: Tropical soils. Lateritic soils. Paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de seção transversal de um pavimento.....	24
Figura 2: Seção tipo de um pavimento flexível.....	26
Figura 3: Estrutura típica de um pavimento semi-rígido	27
Figura 4: Seção tipo de um pavimento rígido.....	28
Figura 5: Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical	29
Figura 6: Perfil típico de um solo tropical e suas evoluções	30
Figura 7: Esquema simplificado da formação pedogenética dos solos tropicais	31
Figura 8: Corte rodoviário com camada laterítica sobrejacente a uma camada saprolítica de origem sedimentar	33
Figura 9: Ocorrência de solos de comportamento laterítico em território brasileiro...	33
Figura 10: Fotografia microscópica de um solo laterítico (aumento 3.000x).....	34
Figura 11: Corte mostrando a linha de seixos.....	35
Figura 12: Concreção laterítica	36
Figura 13: Solo fino laterítico.....	36
Figura 14: Estrutura de talude composto por diferentes tipos de solos tropicais	37
Figura 15: Fotografia de microscopia eletrônica de varredura da microestrutura de um solo saprolítico (aumento 5.000x)	38
Figura 16: Localização aproximada dos pontos de coleta das amostras	48
Figura 17: Detalhes das coletas e preparação das amostras de solos	49
Figura 18: Perfil de AMO1	50
Figura 19: Localização de AMO1 em Zona Rural de São José de Ribamar.....	50
Figura 20: Perfil de AMO2	50
Figura 21: Localização de AMO2 em Zona Rural de São José de Ribamar.....	50
Figura 22: Perfil de AMO3	50
Figura 23: Localização de AMO3 em Zona Rural de São José de Ribamar.....	50
Figura 24: Perfil de AMO4	51
Figura 25: Localização de AMO4 em São Luís.....	51
Figura 26: Perfil de AMO5	51
Figura 27: Localização de AMO5 em Via Expressa.....	51
Figura 28: Perfil de AMO6	51
Figura 29: Localização de AMO6 em Via Expressa.....	51
Figura 30: Perfil de AMO7	52

Figura 31: Localização de AMO7 em BR-135.....	52
Figura 32: Ensaio de densidade real	52
Figura 33: Granulometria por sedimentação	53
Figura 34: Granulometria por peneiramento.....	53
Figura 35: Ensaio de Limite de Liquidez	56
Figura 36: Exemplo de curva de fluidez para determinação do Limite de Liquidez...	57
Figura 37: Ensaio de Limite de Plasticidade.....	58
Figura 38: a) preparação da amostra; b) compactação; c) nivelamento da amostra e pesagem do corpo de prova; d) determinação da umidade das amostras.....	60
Figura 39: a) imersão do corpo de prova; b) corpo de prova imerso para determinação da expansão; c) Penetração do pistão no corpo de prova no ensaio de ISC.....	62
Figura 40: Preparação das amostras.....	63
Figura 41: Cilindros de compactação.....	63
Figura 42: Compactador miniatura	64
Figura 43: Aferição do aparelho compactador	64
Figura 44: Discos espaçadores sobre o pistão	65
Figura 45: Amostra para compactação.....	65
Figura 46: Amostra sendo colocada no molde.....	65
Figura 47: Amostra a ser compactada.....	65
Figura 48: Extração de parte do corpo de prova	66
Figura 49: Parte extrudada do corpo de prova.....	66
Figura 50: Família de Curvas de Compactação do ensaio de Mini-MCV	68
Figura 51: Corpos de prova imersos no tanque.....	69
Figura 52: Material desprendido no ensaio.....	69
Figura 53: Aspecto dos corpos de prova após a o período de imersão.....	69
Figura 54: Material seco em estufa	69
Figura 55: Compactador miniatura.....	72
Figura 56: Corpo de prova após compactação	72
Figura 57: Equipamento utilizado no ensaio Mini-CBR.....	74
Figura 58: Sobrecarga do Mini-CBR.....	75
Figura 59: Cilindro do Mini-CBR	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo dos coeficientes da classificação MCT	78
Tabela 2: Composição granulométrica das amostras	86
Tabela 3: Densidade real dos materiais	89
Tabela 4: Resultados dos Limites de Atterberg das amostras	89
Tabela 5: Classificação das amostras através do TRB	90
Tabela 6: Resultados dos ensaios de compactação Proctor	90
Tabela 7: Resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia	91
Tabela 8: Resultados do ensaio de compactação em equipamento miniatura	91
Tabela 9: Resultados dos ensaios de Mini-CBR	92
Tabela 10: Comparativo entre as classificações TRB e MCT	92
Tabela 11: Relação de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima obtida através dos ensaios de Proctor e Mini-Proctor	93
Tabela 12: Resultados obtidos nos ensaios de ISC e Mini-CBR	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Primeiro conjunto de ensaios da Metodologia MCT.....	39
Quadro 1 (continuação): Primeiro conjunto de ensaios da Metodologia MCT.....	40
Quadro 2: Segundo conjunto de ensaios da Metodologia MCT.....	40
Quadro 3: Classificação TRB.....	44
Quadro 4: Resumo da coleta de materiais	48
Quadro 5: Descrição do Índice de Plasticidade	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Classificação MCT.....	41
Gráfico 2: Curvas de deformabilidade	67
Gráfico 3: Classificação MCT das amostras de solos.....	79
Gráfico 4: Curvas de deformabilidade (AMO1)	79
Gráfico 5: Curvas de deformabilidade (AMO2)	80
Gráfico 6: Curvas de deformabilidade (AMO3)	80
Gráfico 7: Curvas de deformabilidade (AMO4)	80
Gráfico 8: Curvas de deformabilidade (AMO5)	81
Gráfico 9: Curvas de deformabilidade (AMO6)	81
Gráfico 10: Curvas de deformabilidade (AMO7).....	81
Gráfico 11: Curva de compactação (AMO1).....	82
Gráfico 12: Curva de compactação (AMO2).....	82
Gráfico 13: Curva de compactação (AMO3).....	82
Gráfico 14: Curva de compactação (AMO4).....	83
Gráfico 15: Curva de compactação (AMO5).....	83
Gráfico 16: Curva de compactação (AMO6).....	83
Gráfico 17: Curva de compactação (AMO7).....	84
Gráfico 18: Curva Mini-MCV x Pi (AMO1).....	84
Gráfico 19: Curva Mini-MCV x Pi (AMO2).....	84
Gráfico 20: Curva Mini-MCV x Pi (AMO3).....	85
Gráfico 21: Curva Mini-MCV x Pi (AMO4).....	85
Gráfico 22: Curva Mini-MCV x Pi (AMO5).....	85
Gráfico 23: Curva Mini-MCV x Pi (AMO6).....	86
Gráfico 24: Curva Mini-MCV x Pi (AMO7).....	86
Gráfico 25: Curva granulométrica (AMO1)	87
Gráfico 26: Curva granulométrica (AMO2)	87
Gráfico 27: Curva granulométrica (AMO4)	87
Gráfico 28: Curva granulométrica (AMO5)	88
Gráfico 29: Curva granulométrica (AMO6)	88
Gráfico 30: Curva granulométrica (AMO7)	88

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A4n –	Altura do corpo de prova referente a 4 vezes n
AASHO –	American Association of State Highway Officials
AASHTO –	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
An –	Altura do corpo de prova referente a n golpes
ASTM –	American Society for Testing and Materials
c´ –	Coeficiente de deformabilidade da classificação MCT
CBR –	<i>Califórnia Bearing Ratio</i> . Em português: Índice de Suporte Califórnia
cm –	centímetro
CNPq –	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNT –	Confederação Nacional de Transporte
CP –	Corpo de prova
d´-	inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação na metodologia MCT
DNER –	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT –	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
e´-	Indica o comportamento laterítico ou não laterítico das amostras.
FAPEMA –	Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão
g –	Gramas
GPS –	Global Positioning System
h –	Hora
IG –	Índice de grupo
IME –	Instituto Militar de Engenharia
IP –	Índice de Plasticidade
ISC –	Índice de Suporte Califórnia. Em inglês: <i>California Bearing Ratio</i>
ISSMFE –	<i>International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering</i>
kg –	Quilograma
LA –	Areia laterítica quartzosa

LA' –	Solo arenoso laterítico
LG –	Argila Arenosa Laterítica
LG' –	Solo argiloso laterítico
LL –	Limite de liquidez
LP –	Limite de plasticidade
LSP –	Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação
m –	Metro
MCT –	Miniatura, Compacto, Tropical
MCV –	<i>Moisture Condition Value</i>
ME –	Método de Ensaio
mini-CBR –	Ensaio de suporte da metodologia MCT
mini-MCV –	Ensaio MCV da metodologia MCT
mini-Proctor –	Ensaio de compactação de energia constante da metodologia MCT
mm –	Milímetro
N –	Número de solicitações no eixo padrão (8,2 toneladas)
n –	Quantidade de golpes
Na –	Altura do corpo de prova referente a n golpes
NA –	Areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico
NA' –	Misturas de areias quartzosas com finos de comportamento não laterítico (solo arenoso)
NBR –	Norma Brasileira Registrada
NG' –	Solo argiloso não laterítico.
NS' –	Solo siltiloso não laterítico.
Ø –	Diâmetro
Pi –	Índice de perda de massa por imersão.
SUCS –	Sistema Unificado de Classificação de Solos
TRB –	Transportation Research Board
UEMA –	Universidade Estadual do Maranhão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivo	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
1.2 Justificativa	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 Pavimento	23
2.1.1 Camadas do Pavimento	23
2.1.1.1 Subleito	24
2.1.1.2 Regularização do Subleito	24
2.1.1.3 Reforço do Subleito	25
2.1.1.4 Sub-base	25
2.1.1.5 Base	25
2.1.1.6 Revestimento	26
2.1.2 Tipos de Pavimentos	26
2.1.2.1 Pavimentos Flexíveis	26
2.1.2.2 Pavimentos Semi-rígidos	27
2.1.2.3 Pavimentos Rígidos	27
2.2 Solos Tropicais	28
2.2.1 Conceituação	28
2.2.2 Formação	29
2.2.2.1 Evolução Geológica	29
2.2.2.2 Evolução Pedológica	30
2.2.3 Peculiaridades dos Solos Tropicais	32
2.2.4 Solos Lateríticos	32
2.2.4.1 Características Microscópicas	34
2.2.4.2 Características Macroscópicas	34
2.2.4.3 Linha de Seixos	35
2.2.4.4 Propriedades Importantes à Pavimentação	35
2.2.5 Solos Saprolíticos	37
2.2.6 Solos Transicionais	38
2.3 Metodologia MCT	38
2.3.1 Apresentação da Metodologia	38

2.3.2 Classificação Geotécnica MCT	41
2.4 Classificação de Solos TRB	44
3 METODOLOGIA	47
3.1 Materiais Utilizados	47
3.1.1 Solo	47
3.2 Ensaio de Caracterização	52
3.2.1 Densidade Real	52
3.2.2 Análise Granulométrica	53
3.2.2 Limite de Liquidez	55
3.2.3 Limite de Plasticidade.....	57
3.2 Ensaio Mecânicos	59
3.2.1 Compactação Proctor.....	59
3.2.2 Índice de Suporte Califórnia	61
3.3 Ensaio Mecânicos e Classificatórios da Metodologia MCT	63
3.3.1 Ensaio de Mini-MCV	63
3.3.1.1 Curvas de deformabilidade e o coeficiente c'	66
3.3.1.2 Curvas de compactação e o coeficiente d'	67
3.3.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão	68
3.3.2.1 Coeficiente P_i	69
3.3.2.2 Coeficiente e'	70
3.3.3 Ensaio de Mini-Proctor	71
3.3.4 Ensaio de Mini-CBR	74
4 RESULTADOS	78
4.1 Resultados dos Ensaio	78
4.1.1 Classificação MCT	78
4.1.2 Análise Granulométrica	86
4.1.3 Densidade Real	89
4.1.4 Limites de Atterberg.....	89
4.1.5 Classificação TRB.....	89
4.1.6 Compactação Proctor.....	90
4.1.7 Índice de Suporte Califórnia	91
4.1.8 Compactação Mini-Proctor	91
4.1.9 Mini-CBR	91
4.2 Análise dos Resultados.....	92

5 CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICES	101
APÊNDICE A - MINI-MCV	102
APÊNDICE B - LIMITES DE ATTERBEG	109
APÊNDICE C - COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR.....	115
APÊNDICE D - COMPACTAÇÃO PROCTOR.....	121
APÊNDICE E - ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.....	127

1 INTRODUÇÃO

Para Villibor (2000 apud SOUZA, 2007, p. 1), o déficit de pavimentos urbanos é grande em quase todas as cidades brasileiras, abrangendo desde vias principais de cidades de grande porte até vias de circulação de distritos e conjuntos habitacionais. Em outras regiões do país a situação quanto ao déficit de pavimentos urbanos é agravada ainda mais, demonstrando a necessidade e a importância do desenvolvimento de uma tecnologia de pavimentação que minimize os custos de implantação destes pavimentos.

É notável a importância do modal rodoviário para o desenvolvimento de regiões, sendo responsável por, segundo o Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), 60% do transporte de cargas e mais de 90% dos deslocamentos de passageiros do Brasil. Investir em infraestrutura de transporte é fundamental para a segurança dos motoristas, passageiros e pedestres e também favorece o setor e o crescimento econômico.

Segundo a 22ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2018), o Maranhão possui cerca de 57.000km de rodovias, mas apenas 6.873km (extensão federal, estadual e transitória) são pavimentadas, sendo destes 58,4% com estado geral de péssimo a regular e 41,6% com estado geral de bom a ótimo. Em relação a condição da superfície do pavimento 72,3% apresentam desgaste, trincas, afundamentos, buracos e destruídos.

Ao se introduzir conceitos de mecânica dos solos para a solução de problemas ligados à construção rodoviária no Brasil, foram detectadas discrepâncias entre as previsões e o comportamento real dos solos nas obras. Estas discrepâncias têm sido atribuídas, em grande parte, às peculiaridades dos solos brasileiros (ocorrência, constituição, formação, propriedades, índices e condições ambientais), que são diferentes das condições encontradas nas regiões de clima temperado onde foram desenvolvidos os sistemas de classificação de solos tradicionais (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Os dois principais sistemas internacionais e tradicionais de classificação de solos para utilização na área rodoviária são o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o *Transportation Research Board* (TRB). Ambas são baseadas na

consideração da granulometria, limites de liquidez e plasticidade e índice de plasticidade, portanto apresentam limitações similares.

Para Venturini (2015, p. 1) o uso dessas classificações para projetos de pavimentos de solos tipicamente tropicais leva frequentemente a resultados não condizentes com o desempenho real, devido ao seu comportamento diferenciado. Tendo em vista as deficiências e dificuldades apontadas no uso das classificações desenvolvidas para solos de clima frio e temperado quando aplicadas em solos de ambientes tropicais, Nogami e Villibor (1981) desenvolveram a Metodologia MCT. A partir dessa metodologia surge uma nova classificação que se baseia em propriedades mecânicas e hídricas dos solos e é específica para solos compactados tropicais.

De acordo com Villibor et al. (1996 apud DIAS, 2007, p. 19), “os novos procedimentos de escolha de dosagem de material, de projeto e de construção apropriados para o ambiente tropical úmido proporcionam o uso de camadas de custo relativamente menores e de baixo custo em comparação às tradicionais, através da utilização de maior porcentagem de solos finos locais de comportamento laterítico”.

Segundo DIAS (2007, p. 19), nos primeiros trabalhos publicados sobre a utilização de solos lateríticos na pavimentação foram analisados o uso desses materiais como subleito, reforço de subleito, sub-base e base, utilizando isoladamente ou em misturas solo-brita, solo-cimento, ou ainda solo-cal. Verificado o bom desempenho desses solos como material de construção para pavimentação, adveio a necessidade de se desenvolverem novos procedimentos laboratoriais que possibilitassem sua melhor caracterização e classificação, uma vez que não se enquadravam nas especificações das normas vigentes.

O desenvolvimento dos estudos de solos tropicais possibilitou o emprego de solos finos *in natura* ou em misturas como base de pavimentos para rodovias de baixo volume de tráfego, tecnologia que ficou conhecida por “Pavimento Econômico”. Esta nova tecnologia foi responsável pela pavimentação de mais de 8.000 km de estradas vicinais no estado de São Paulo e cerca de 12.300 km em todo o país, com custo relativamente baixo comparando-se aos custos dos pavimentos tradicionais. Além disso, os pavimentos econômicos proporcionam vantagens ambientais, já que é possível a recuperação da área degradada pela exploração, o que não ocorre com a

exploração de materiais beneficiados (agregados britados e cimento) (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

Diante do exposto, este trabalho objetiva adquirir maior conhecimento da metodologia MCT e avaliar a incidência de solos lateríticos finos para a região de São Luís, Maranhão, além dos ensaios de caracterização geotécnica para as jazidas selecionadas, buscando indicar a possibilidade de utilização desses solos em camadas de pavimentos da região.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar os solos lateríticos finos para uso em pavimentação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar amostras de solos arenosos e argilosos existentes na região metropolitana de São Luís pela classificação TRB e a MCT;
- b) Fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos para os solos analisados.

1.2 Justificativa

A engenharia rodoviária é um importante quesito a ser considerado quando pensamos no crescimento socioeconômico do país, interligando regiões, possibilitando o transporte de mercadorias, alimentos e pessoas, entre outras funções. O crescimento de cidades brasileiras exige investimentos em infraestrutura e crescente transporte de massa (MEDINA e MOTTA, 2015).

Portanto, o tema proposto nesta monografia é de suma importância para o meio rodoviário, pois aborda tópicos importantes e necessários para melhor compreensão das características dos solos lateríticos finos de forma a utilizá-los na pavimentação das vias do estado do Maranhão, em particular de São Luís.

A caracterização desses solos consiste em uma série de ensaios que fornecem informações sobre suas propriedades, podendo concluir se os mesmos são adequadas para seu uso na pavimentação.

Dentro deste contexto, observa-se uma crescente demanda de pesquisas a fim de conhecer e compreender as peculiaridades dos solos tropicais. Portanto, entende-se a importância desta pesquisa uma vez que trata de estudos sobre um tipo de solo que se torna como uma alternativa viável na pavimentação, tendo em vista que sua utilização é ainda pouco aplicada, como também diante da realidade da escassez de matérias de boa qualidade para pavimentação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito - a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito (DNIT, 2006).

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

Existem vários métodos para dimensionamento de camadas de pavimento sendo mais utilizados os métodos da AASHTO e DNER para pavimentos flexíveis, e o método DNIT para pavimentos rígidos.

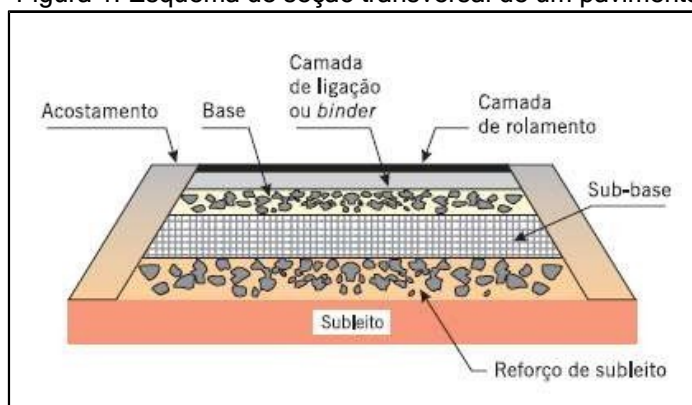
2.1.1 Camadas do Pavimento

Segundo o DNIT (2006), a seção transversal do pavimento é composta por subleito, regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

Alguns autores não consideram o subleito e a regularização do subleito como partes integrantes do pavimento, mas sim, o primeiro como a fundação do pavimento e o segundo como sendo uma etapa de execução. Para Bernucci et al. (2006, p. 9) o pavimento é formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

A Figura 1 mostra um esquema de seção transversal de um pavimento ilustrando a referidas camadas.

Figura 1: Esquema de seção transversal de um pavimento



Fonte: Bernucci et al. (2006, p. 10)

2.1.1.1 Subleito

É uma camada com espessura infinita, porém é considerada a sua parte mais superficial, uma vez que os esforços reduzem com o aumento da profundidade, ou seja, em grandes profundidades chega-se ao esforço nulo (SENÇO, 2007).

Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio CBR, menor ou igual a 2% e um CBR $\geq 2\%$ (DNIT, 2006, p. 142). No caso desse material ter CBR menor que 2%, recomenda-se fazer uma substituição de solo de pelo menos 1 metro de espessura (DNIT, 2006).

2.1.1.2 Regularização do Subleito

A regularização é uma camada irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, de acordo com o projeto geométrico (PINTO, 2002, p. 12). Segundo Senço (2007, p. 17), deve ser executada, sempre que possível, em aterro, evitando: que sejam executados cortes difíceis no material da "casca" já compactada pelo tráfego, a maioria das vezes já por muitos anos; que seja substituída uma camada já compactada naturalmente por uma camada a ser compactada, nem sempre atingindo o grau de compactação existe [sic].

2.1.1.3 Reforço do Subleito

É uma camada de espessura constante, construída, se necessário, acima da regularização, com características tecnológicas superiores às da regularização e inferiores às da camada imediatamente superior, ou seja, a sub-base (SENÇO, 2007).

Segundo o DNIT (2006, p. 142), para o reforço do subleito, os materiais utilizados nessa camada devem apresentar CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 libras)

2.1.1.4 Sub-base

É a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Segundo a regra geral - com exceção dos pavimentos de estrutura invertida - o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material do reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base (SENÇO, 2007).

Segundo o DNIT (2006, p. 142), os materiais empregados nessa camada, deverão apresentar CBR $\geq 20\%$, IG = 0 e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 libras)

2.1.1.5 Base

É camada da estrutura do pavimento que fica localizada abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existir, ou diretamente sobre o subleito.

Segundo Senço (2007, p. 20):

É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006, p. 142), os materiais para base, devem apresentar CBR $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 libras), LL $\leq 25\%$ e IP $\leq 6\%$. Para um número de repetições do eixo-

padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com $CBR \geq 60\%$.

2.1.1.6 Revestimento

Conforme Senço (2006, p. 20) é também chamada de capa de rolamento. É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura.

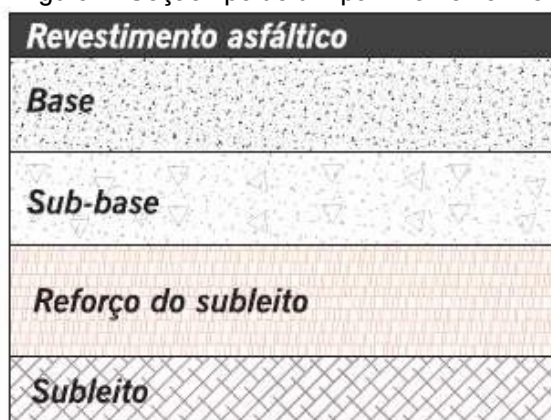
2.1.2 Tipos de Pavimentos

2.1.2.1 Pavimentos Flexíveis

Segundo o DNIT (2006, p. 95), é aquele em que todas as camadas sofrem 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 solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

A figura 2 mostra uma seção tipo de um de pavimento flexível.

Figura 2: Seção tipo de um pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2006, p. 338)

Senço (2007, p. 23) afirma que:

Os pavimentos flexíveis [...] são dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

2.1.2.2 Pavimentos Semi-rígidos

Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006, p. 95).

Diversos autores têm empregado a terminologia de pavimentos semi-rígidos para aqueles com revestimentos asfálticos que possuam em sua base ou sub-base materiais cimentados, que também são solicitados à tração (BERNUCCI et al., 2006, p. 338).

A figura 3 mostra um modelo típico de pavimento semi-rígido.

Figura 3: Estrutura típica de um pavimento semi-rígido



Fonte: Abada (2008 apud MATOS, 2018)

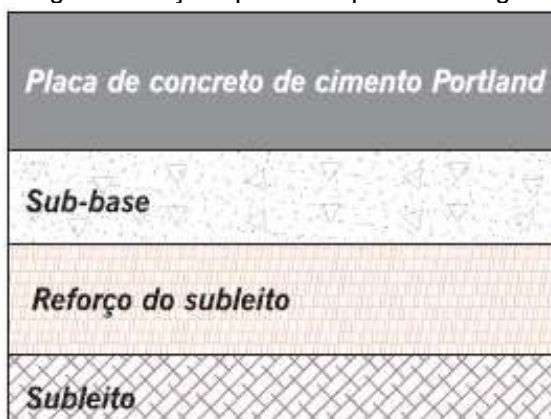
2.1.2.3 Pavimentos Rígidos

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006, p. 95), é 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. Um exemplo típico é o pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

A figura 4 mostra uma estrutura típica de um pavimento rígido.

Figura 4: Seção tipo de um pavimento rígido



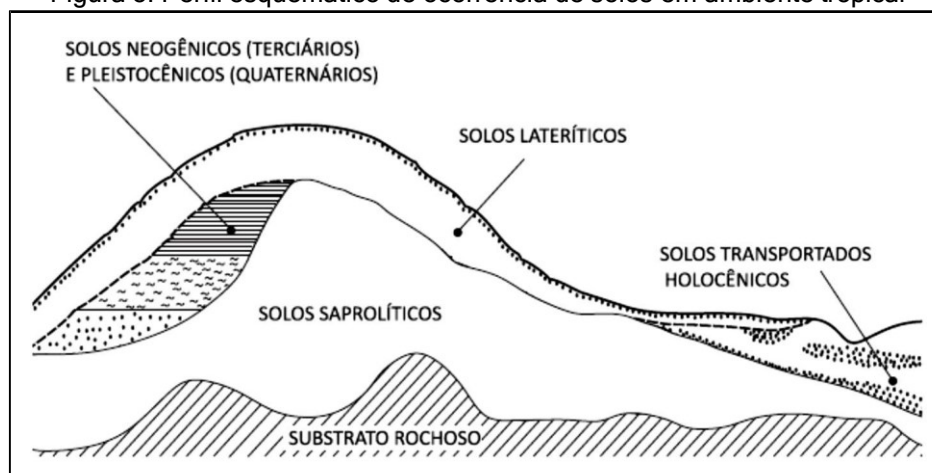
Fonte: Bernucci et al. (2006, p. 337)

2.2 Solos Tropicais

2.2.1 Conceituação

Segundo o *Committee on Tropical Soils of ISSMFE* e Nogami e Villibor (1995), solos tropicais, conforme mostrado na figura 5, são aqueles que apresentam comportamento e peculiaridades decorrentes da atuação de processos geológicos e/ou pedológicos típicos das regiões tropicais úmidas. Assim, para que um solo seja considerado tropical, não basta que tenha sido formado em regiões de clima tropical úmido, é necessário que apresente peculiaridades de interesse geotécnico (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Figura 5: Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Os solos tropicais abrangem sobretudo aqueles solos de regiões tropicais genericamente designados como solos lateríticos, saporlíticos e transportados, cujas características e peculiaridades apresentadas são apresentadas neste mesmo item.

2.2.2 Formação

2.2.2.1 Evolução Geológica

De acordo com Vertamatti (1994 apud MARSON, 2004, p. 11)

A evolução geológica ocorre na maioria das regiões do mundo em maior ou menor grau em função do clima local, sendo marcada por transformações físicas e químicas nas rochas. Assim, novas condições de pressão geram contrações e dilatações dos seus componentes, proporcionando o aparecimento de trincas e fissuras (intemperismo físico). Por meio dessas, a água penetra nas rochas carreando oxigênio e gás carbônico. Ocorre, então, uma reação de seus componentes com ácidos naturais decompondo os minerais e gerando novos materiais, como a argila e os óxidos de ferro e alumínio (intemperismo químico). Tais mecanismos são mais acelerados quanto mais quente e úmido for o clima.

Constituem um mecanismo de evolução geológica os processos de transporte através do vento, da água ou da gravidade, os quais dão origem aos solos sedimentares.

2.2.2.2 Evolução Pedológica

Para Marson (2004, p. 12)

A evolução pedológica é típica de regiões tropicais e constitui-se num processo complexo de transformação das camadas mais superficiais do terreno. Cinco fatores colaboram para que ocorra este fenômeno: o clima, a topografia, a rocha matriz, os organismos vivos e a idade.

O clima manifesta-se através das chuvas e das temperaturas das regiões tropicais. As condições de drenagem estão ligadas à topografia, ou seja, quanto maior for a drenagem maior será a lixiviação das camadas do solo.

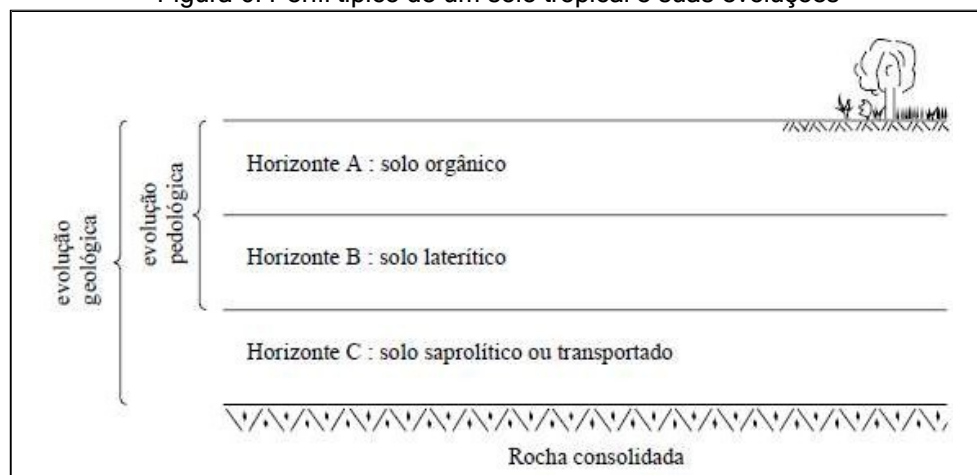
Para Vertamatti (1994 apud MARSON, 2004, p. 13) “a influência do material matriz ocorre no sentido de que se ele for favorável à evolução pedológica, esta ocorrerá. Por outro lado, se for uma areia pura não haverá tal processo”.

Quanto aos organismos vivos, Vertamatti (1994 apud MARSON, 2004, p. 13) afirma que

[...] a sua ação fica a cargo das plantas que absorvem elementos da atmosfera e das camadas mais profundas, incorporando-os ao perfil de solo no final de seu ciclo de vida. Além disso, certos animais escavam e revolvem o solo trazendo para a superfície materiais das camadas mais profundas e que, pela ação da água, incorporam-se novamente ao perfil.

A figura 6 mostra um perfil esquemático típico de solo de regiões tropicais e suas evoluções geológica e pedológica.

Figura 6: Perfil típico de um solo tropical e suas evoluções

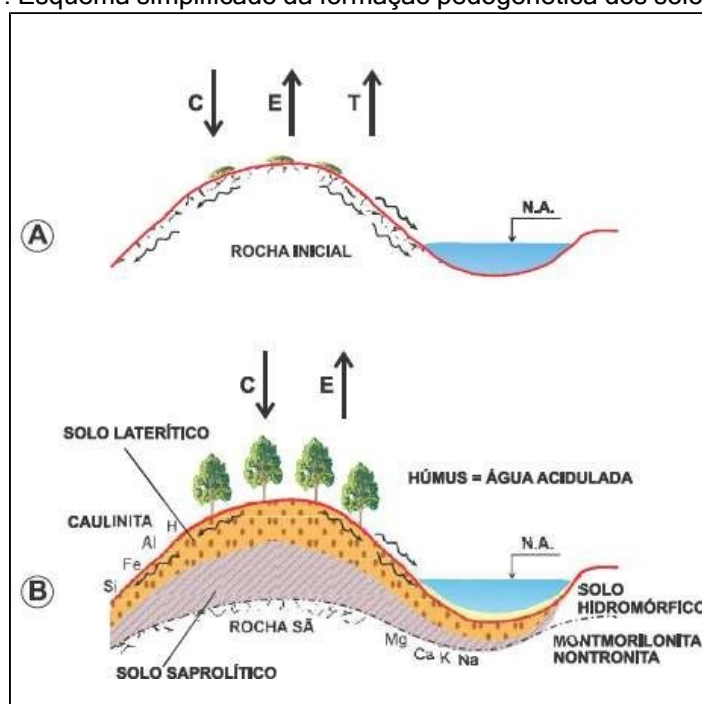


Fonte: Vertamatti (1994 apud MARSON, 2004, p. 13)

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 3), o processo de formação pedogenética dos solos tropicais ocorre através das temperaturas elevadas (T), ação mais intensa de chuva (C) e evaporação (E), ocorrendo estes processos simultaneamente.

A figura 7 ilustra a evolução dos processos de intemperismo físico e químico, responsáveis pelo processo de formação dos solos tropicais.

Figura 7: Esquema simplificado da formação pedogenética dos solos tropicais



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 3)

De acordo com Villibor e Nogami (2009, p. 3) o processo de formação dos solos tropicais ocorre na seguinte sequência:

Inicialmente, ocorre o intemperismo físico, com fratura da superfície da rocha. Com o passar do tempo geológico, ocorre o surgimento da vegetação na camada superficial (A), com a formação de húmus; nas condições ambientais tropicais (alta temperatura, muita chuva), inicia-se o intemperismo químico, com a formação do ácido húmico (B); com a infiltração do ácido húmico na rocha fragmentada, inicia-se o processo pedológico de laterização; após um determinado tempo geológico, ocorre a laterização, peculiar às partes bem drenadas do subsolo, cujo resultado final é um manto superficial de solo laterítico; entre o manto de solo laterítico e o substrato rochoso, tem-se um solo designado saprolítico que, tendo sofrido o processo de intemperismo físico e, em algumas partes em fase, de intemperismo químico, ainda apresenta resquícios da rocha que lhe deu origem

Os autores Villibor e Nogami (2009, p. 4) ressaltam que

O conceito de laterização, empregado em pedogênese, não coincide, integralmente, com aqueles geralmente adotados em pedologia (uma ciência natural que estuda a parte superficial do subsolo, influenciada pela ação simultânea das intempéries e de organismos vegetais e animais).

2.2.3 Peculiaridades dos Solos Tropicais

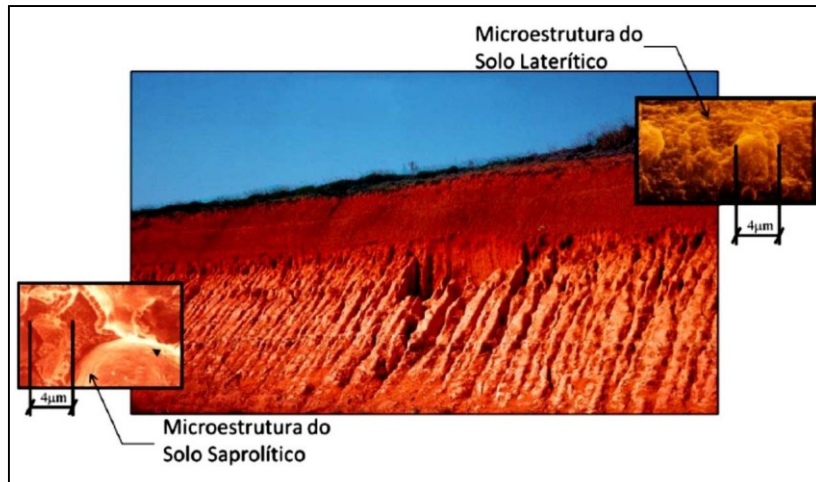
As características predominantes em regiões de clima tropical são as altas temperaturas, altos índices pluviométricos, ausência de congelamento do subsolo, lixiviação etc. Para Barroso (2002), as características de um solo são determinadas em função do clima, topografia, fauna e tempo. Além disso, o autor ressalta que não existe uma terminologia consagrada para a definição do que são solos tropicais. Devido a isso, é gerada uma confusão no âmbito técnico-científico, já que termos iguais podem ser usados para definir materiais diferentes.

Segundo Nogami e Villibor (1995), os solos precisam apresentar duas condições para que sejam considerados tropicais: possuir comportamento e propriedades não condizentes com o desempenho real quando classificado com os sistemas tradicionais de classificação de solos importados principalmente dos Estados Unidos. Ainda segundo o autor, para que seja considerado tropical, é necessário que possua determinadas propriedades de interesse geotécnico, e deve compreender os solos que se concentram na faixa astronômica entre os trópicos de Câncer e Capricórnio afastados cerca de 23 graus norte e sul do Equador e que delimitam a zona tropical ou intertropical.

2.2.4 Solos Lateríticos

De acordo com Nogami e Villibor (1995), os solos lateríticos (*later*, do latim: tijolo) constituem a parte mais superficial do subsolo, das áreas bem drenadas de regiões tropicais úmidas, altamente intemperizados e lixiviados, podendo atingir espessuras de uma dezena de metros e se destacam do perfil do terreno pela sua consistência e coloração características: vermelha, amarela ou alaranjada. A figura 8 mostra um corte rodoviário de solos tropicais.

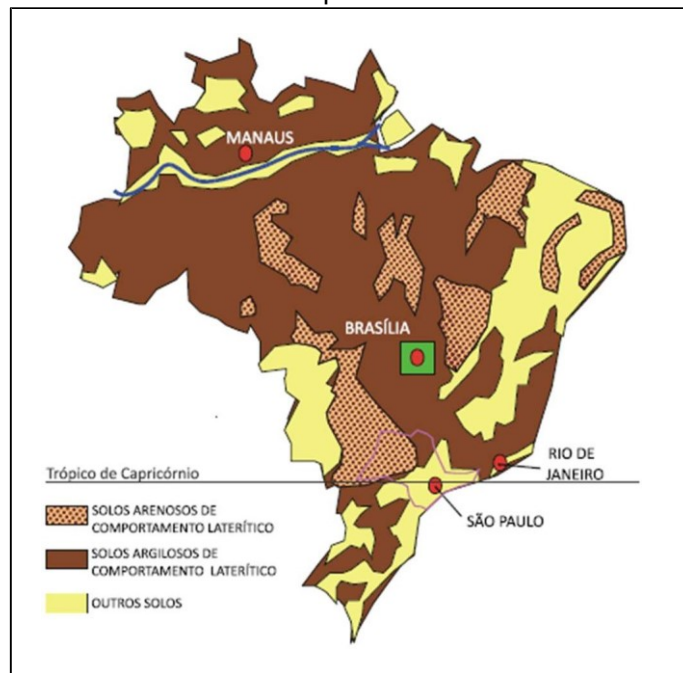
Figura 8: Corte rodoviário com camada laterítica sobrejacente a uma camada saprolítica de origem sedimentar



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Ainda segundo os autores Nogami e Villibor (1995), várias características são associadas ao processo de laterização sendo o enriquecimento no solo de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência da caulinita como argilomineral predominantemente e quase sempre exclusiva. Estes minerais conferem aos solos lateríticos sua colocação típica. Estima-se que o Brasil possua cerca de 65% do seu território coberto por solos lateríticos (figura 9).

Figura 9: Ocorrência de solos de comportamento laterítico em território brasileiro



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

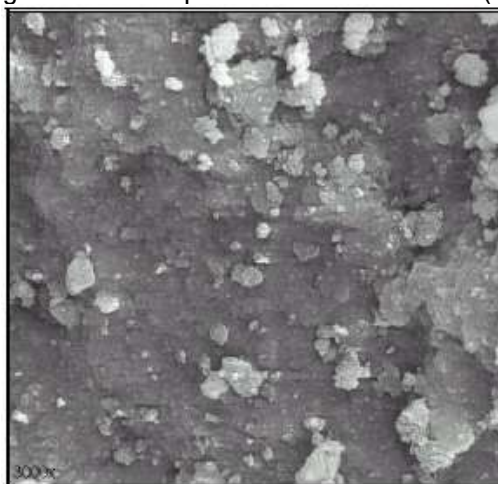
2.2.4.1 Características Microscópicas

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 5), do ponto de vista tecnológico, as características mais importantes dos solos lateríticos são:

[...] o enriquecimento da parte fina, em especial a argila, por óxidos e hidróxidos de ferro e/ou alumínio e a permanência do argilo-mineral caulinita, quase exclusivo. Ainda segundo os autores, "as placas de caulinita ($\varnothing < 2,00$ microns) são cimentadas pelos óxidos e pelos hidróxidos, produzindo uma microestrutura com aspecto de "pipoca". Sua fração areia, fina e grossa, é constituída, geralmente, de quartzo, sendo a porcentagem dessa fração responsável pela ocorrência de solos, desde arenosos até argilosos.

A figura 10 mostra a microestrutura típica de um solo laterítico analisada por Takeda (2006).

Figura 10: Fotografia microscópica de um solo laterítico (aumento 3.000x)



Fonte: Takeda (2006)

2.2.4.2 Características Macroscópicas

Em sua maioria, os solos lateríticos apresentam única coloração e de forma homogênea, em geral, vermelho, marrom ou amarelo.

De acordo com Franzoi (1990 apud RESCHETTI, 2008, p. 7),

Uma característica marcante neste tipo de solo é o desenvolvimento de agregação da fração argila, formando torrões distinguíveis. Nas variações arenosas percebe-se frequentemente vazios intergranulares. Em consequência destas características os solos lateríticos são considerados porosos, com baixa densidade e alta permeabilidade no estado natural.

2.2.4.3 Linha de Seixos

Uma característica muito comum nos horizontes dos solos lateríticos é a presença de uma linha de seixos (*stone line*, em inglês) no limite inferior das camadas de solos lateríticos. Esta linha significa uma descontinuidade genética do perfil (NOGAMI e VILLIBOR, 1995, p. 9). Esse fenômeno não é uma característica exclusiva dos solos lateríticos, porém é nos solos lateríticos que essas linhas aparecem com maior frequência.

Na figura 11 é mostrada a linha de seixos em um corte de solo tropical na região de São Luís, Maranhão.

Figura 11: Corte mostrando a linha de seixos



Fonte: O Autor (2019)

2.2.4.4 Propriedades Importantes à Pavimentação

Conforme relatam Santana e Gontijo (1987 apud MARSON, 2004, p. 17) as propriedades de interesse à pavimentação são:

Apresentam CBR relativamente alto e expansão baixa, LL e IP elevados e alto módulo resiliente. Não perdem muita resistência quando em contato com a água, podem apresentar contração elevada quando secos e possuem aglomeração bem desenvolvida, tornando-se permeáveis e resistentes à erosão [...].

Conforme Villibor et al. (1993 apud MARSON, 2004, p. 17) os materiais lateríticos disponíveis para serem usados em pavimentação viária são as concreções

lateríticas, que podem ser utilizadas como agregados graúdos, e os solos lateríticos de textura fina, que podem ser utilizados em bases e sub-bases (exceto para tráfego pesado).

As figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, as concreções lateríticas (pedregulho laterítico) e os solos lateríticos de textura fina.

Figura 12: Concreção laterítica



Fonte: O Autor (2019)

Figura 13: Solo fino laterítico

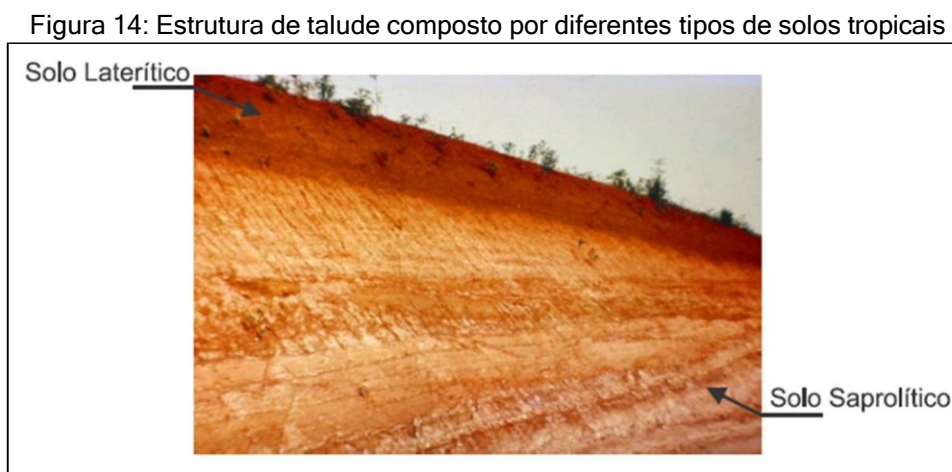


Fonte: O Autor (2019)

2.2.5 Solos Saprolíticos

Segundo os autores Villibor e Nogami (2009) os solos saprolíticos (*sapro*, do grego: podre) são formados a partir da desagregação *in situ* da rocha matriz, mantendo a estrutura da rocha que a originou. Constituem a parte subjacente da camada de solos lateríticos em terrenos bem drenados. São predominantemente heterogêneos (manchados, listrados, xistosos etc.), apresentando, na maioria das vezes, camadas de formas mais complexas, matacões, camadas inclinadas, dobras, etc. A sua cor é muito variada podendo apresentar-se nas cores branca, preta, azul, verde, roxa, róseo, amarelo, vermelho etc. Em poucos casos podem apresentar-se homogêneas em pequenas porções. Esses solos apresentam uma microestrutura com uma constituição mineralógica muito variada, com argilo-minerais individualizados, que apresentam coloração variada, de cores cinzentas ou esbranquiçadas. As frações silte e areia apresentam uma constituição mineralógica muito variada, sendo o quartzo um mineral muito comum nessas frações.

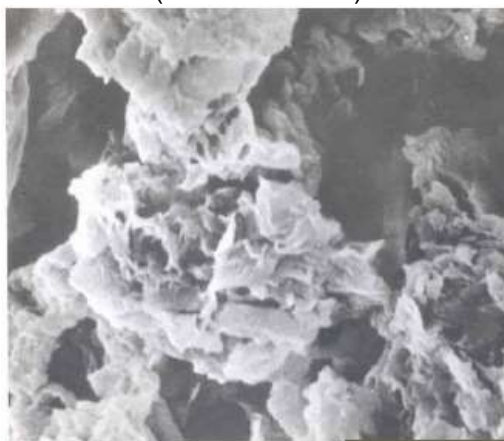
A figura 14 mostra um corte rodoviário mostrando tipos distintos de solos tropicais – camada de solo laterítico sobre a de solo saprolítico.



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

A figura 15 mostra a microestrutura de um solo saprolítico.

Figura 15: Fotografia de microscopia eletrônica de varredura da microestrutura de um solo saprolítico (aumento 5.000x)



Fonte: Villibor e Nogami (2009, p. 5)

2.2.6 Solos Transicionais

A denominação de solos transicionais foi introduzida por Vertamatti (1988 apud MARSON, 2004, p. 20) para identificar os solos transportados, geralmente coluvionares, ou, também, os solos pouco afetados pelos processos pedogênicos.

Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 5) quanto a formação dos solos transicionais:

[...] resultam da deposição de material, nas regiões de baixada, previamente transportados pela água, pelo vento ou pela gravidade. Mas, dependendo do período de formação, por exemplo, se for antiga, podem ser encontrados até mesmo no alto de morros. A sua granulometria é bastante variada e muito influenciada pelo tipo do agente transportador. Quando localizados abaixo do lençol freático, a influência climática tropical é insignificante. Nessas condições, não são considerados solos tropicais.

2.3 Metodologia MCT

2.3.1 Apresentação da Metodologia

Segundo Villibor e Nogami (2009), a metodologia MCT foi desenvolvida na década de 1970, quando os pesquisadores Job Nogami e Douglas Villibor observaram não conformidades nos procedimentos tradicionais durante a caracterização e classificação, com base nos resultados obtidos a partir dos Limites de Atterberg (limite de liquidez e índice de plasticidade) e da granulometria. Os pesquisadores chegaram

à conclusão que esses índices eram insuficientes para se distinguir os principais tipos de solos tropicais.

Segundo ARAÚJO e NETO (2014) esta metodologia é composta por vários ensaios que podem servir para classificar os solos tropicais e até servir de parâmetro para dimensionamento de pavimentos e escolha de solos em obras de pavimentação, utilizando corpos-de-prova em miniatura (50 mm de diâmetro), destinados à classificação e determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas de solos tropicais, como também a avaliação da erodibilidade quando utilizados em obras viárias.

Os ensaios apresentados no quadro 1 são os primeiros da Metodologia MCT, e que são utilizados para estudos das propriedades mecânicas e hídricas dos solos para uso em camadas de reforço do subleito, sub-base e base de camadas de pavimento (VILLIBOR e ALVES, 2019)

Quadro 1: Primeiro conjunto de ensaios da Metodologia MCT

ENSAIOS	ASSOCIAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CAMADA	APLICAÇÕES
Compactação Mini-Proctor Mini-MCV	Aumento da massa específica por compactação mecânica (densificação) para melhoria de suas propriedades.	Preparo de corpos de prova para ensaios de laboratório. Determinação de dados para Classificação MCT (Compactação Mini-MCV).
Mini-CBR	Capacidade de suporte.	Dimensionamento de pavimentos.
Expansão	Aumento de volume com o teor de umidade.	Seleção e controle de solos para subleito, bases e acostamento.
Contração	Desenvolvimento de trincas e fissuras.	Seleção de solos para aterros, subleitos, acostamentos e bases.
Infiltrabilidade	Velocidade de penetração da frente de umidade e quantidade de água associada à penetração, em solos não saturados.	Seleção de solos para aterros, subleitos, acostamentos e bases.
Permeabilidade	Percolação da água em meio saturado.	

Fonte: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

Quadro 1 (continuação): Primeiro conjunto de ensaios da Metodologia MCT

ENSAIOS	ASSOCIAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CAMADA	APLICAÇÕES
Perda de Massa por Imersão	Suscetibilidade da perda de massa por imersão de solo compactados.	Determinação de dados para Classificação MCT.
Método Exedito da Pastilha	Contração e perda de resistência por sucção de água	Determinação de dados para classificação MCT

Fonte: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

O quadro 2 apresenta os três últimos ensaios da Metodologia MCT relacionados à impermeabilização de base, Mini-CBR de campo e a previsão de erosão em taludes de cortes de solos tropicais (VILLIBOR e ALVES, 2019).

Quadro 2: Segundo conjunto de ensaios da Metodologia MCT

ENSAIOS	ASSOCIAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CAMADA	APLICAÇÕES
Penetração da Imprimadura Betuminosa	Espessura e quantidade de material betuminoso penetrado.	Determinação da taxa de betume necessária para proteção da base.
Mini-CBR em Campo	Capacidade suporte real.	Avaliação e controle da capacidade de suporte de bases e subleitos.
Erodibilidade	Infiltrabilidade e suscetibilidade de perda de massa por imersão de solos indeformados.	Seleção de solos para bordas de pavimentos.

Fonte: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

De acordo com Villibor e Nogami (2009), as principais aplicações desta metodologia são:

- Classificação de solos;
- Propriedades geotécnicas;
- Critérios de escolha e priorização de solos para bases;
- Dosagem de misturas com solos lateríticos
- Dosagem de imprimaduras asfálticas.

Segundo Villibor e Nogami (2009), a metodologia MCT é aplicada somente aos solos que apresentam, no mínimo, 95% de material passando na peneira de abertura nominal igual a 2mm (n° 10), solo laterítico de textura fina.

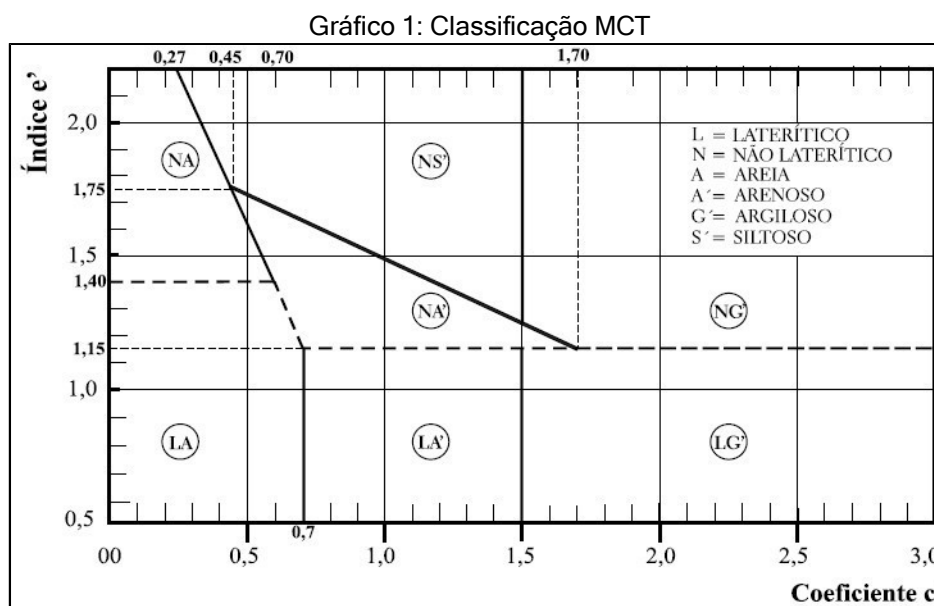
De acordo com Fortes (2014, apud BARBOSA, 2014, p. 25), a metodologia MCT se baseia em ensaios e procedimentos que reproduzem as condições reais de camadas de solos tropicais compactadas aferindo propriedades geotécnicas que espelham o comportamento *in situ* dos solos tropicais.

Os principais ensaios dessa metodologia são: mini-MCV, perda de massa por imersão, mini-Proctor, mini-CBR nas condições de corpo de prova com e sem imersão em água, ensaio de expansão e contração (MÉLO, 2011, p. 14).

Devido à complexidade, a variedade dos ensaios da metodologia MCT e, tendo em vista a disponibilidade dos equipamentos no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UEMA, foram executados os principais ensaios, conforme expõe Mélo (2011). Ressalta-se que o mini-CBR e a expansão foram executados no Laboratório de Misturas Asfálticas do IME, Rio de Janeiro, com o auxílio de alunos mestrados dessa instituição. No item 3 (Metodologia), apresentam-se todos os ensaios realizados neste estudo.

2.3.2 Classificação Geotécnica MCT

A determinação do grupo classificatório se dá a partir do gráfico 1 proposto por Nogami e Villibor (2009) em que estão representados no eixo das abscissas os valores de c' e no eixo das ordenadas os valores de e' .



No gráfico supracitado é apresentado dois grupos de solos: os que apresentam comportamento laterítico (L); e os solos que não apresentam comportamento laterítico (N). Nestes dois grupos são incluídos ainda os seguintes tipos de solos. Definições a seguir segundo Nogami e Villibor (1995).

a) Areias lateríticas quartzosa (LA)

Incluem nesse grupo as areias com pouco finos de comportamento laterítico. A porcentagem de finos lateríticos dos solos desse grupo é muito baixa, de maneira que mesmo quando devidamente compactados, podem ser relativamente permeáveis, pouco coesivos e pouco contrateis quando secos, características essas pouco desejáveis para bases de pavimentos econômicos nas regiões tropicais, apesar de possuírem elevada capacidade de suporte e módulos de resiliência relativamente elevados.

b) Solos arenosos lateríticos (LA')

Os solos desse grupo são tipicamente arenosos e constituintes do horizonte B. Quando devidamente compactados, adquirem elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoável coesão e pequena expansibilidade por imersão em água, propriedades essas que podem possibilitar o seu uso em bases e sub-bases de pavimentos.

c) Solos argilosos lateríticos (LG')

Os integrantes mais frequentes desse grupo tem sido as argilas e as argilas arenosas, que constituem o horizonte B. Quando possuem porcentagem relativamente elevada de grãos de areia, podem apresentar propriedades similares as dos solos do grupo LA', possuindo, entretanto, menor capacidade de suporte, menores módulos de resiliência, maior plasticidade, menor massa específica aparente seca e maior umidade ótima para mesma energia de compactação e maior contração por perda de umidade. Por outro lado, são mais resistentes a erosão hidráulica, quando compactados apropriadamente.

d) Areias não lateríticas (NA)

Os solos desse grupo são areias, siltes e misturas de areias e siltes, nos quais os grãos são constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica. Os tipos genéticos representativos são saprolíticos, associados a rochas sedimentares ou metamórficas; contudo, alguns solos não tropicais de origem pedogenética ou transportada classificaram-se nesse grupo. Quando compactados, possuem capacidade de suporte de pequena a média e, geralmente, são muito erodíveis.

e) Solos arenosos não lateríticos (NA')

Granulometricamente, os solos desse grupo são misturas de areias quartzosas (ou de minerais de propriedades similares) com finos passando na peneira de 0,075 mm, de comportamento não laterítico. Geneticamente, os tipos mais representativos são solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo tais como granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros. Muitas de suas variedades podem ser excessivamente expansivas, muito resilientes ou, ainda, muito sujeitas a erosão hidráulica.

f) Solos sedimentares não lateríticos (NS')

Compreende sobretudo os solos saprolíticos silte-arenosos peculiares, resultantes do intemperismo tropical nas rochas eruptivas e metamórficas, de constituição predominantemente feldspática-micácea-quartzosa.

Esses solos caracterizam-se principalmente por terem, quando compactados na umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, baixa capacidade de suporte quando imersos em água; baixo módulo de resiliência; elevada erodibilidade; elevada expansibilidade (porém baixa pressão de expansão); elevado coeficiente de sorção e permeabilidade média.

g) Solos argilosos não lateríticos (NG')

Compreendem sobretudo os saprolíticos argilosos, que derivam de rochas sedimentares argilosas (folhelhos, argilitos, siltitos) ou cristalinas, pobres em quartzo e ricas em anfibólios, piroxênios e feldspatos cálcicos. Quando compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, apresentam características das argilas tradicionais muito plásticas e expansivas. Do

ponto de vista da resiliência, apresentam, quando compactados, características bilineares em função da tensão desvio, sendo pouco dependentes da pressão de confinamento.

2.4 Classificação de Solos TRB

A classificação TRB tem origem na classificação do *Public Roads Administration*. Fundamenta-se na granulometria, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade e foi proposta para analisar materiais para base e sub-base de pavimentos. A classificação TRB, conforme mostrado no quadro 3, foi desenvolvida para solos de clima frio e temperado, estando assim, os solos de clima tropical sujeitos a uma má classificação. De acordo com DNIT (2006, p. 56) “determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta”.

Quadro 3: Classificação TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006, p. 56)

A seguir a definição dos grupos e subgrupos da classificação TRB segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006, p. 57):

Grupo A-1 - O material típico deste grupo é constituído de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou fracamente plástico. No entanto, este grupo inclui também fragmentos de pedra, pedregulho, areia grossa, cinzas vulcânicas etc., que não contêm aglutinantes de solo.

Subgrupo A-1-a - Inclui os materiais contendo, principalmente, fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.

Subgrupo A-1-b - Inclui os materiais constituídos, principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.

Grupo A-2 - Este grupo inclui grande variedade de materiais que se situam entre os grupos A-1 e A-3 e também entre os materiais constituídos de mistura silte-argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200, mas que não podem ser classificados como A-1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm, ou a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os citados grupos.

Subgrupos A-2-4 e A-2-5 - Incluem solo contendo 35% ou menos, passando na peneira nº 200, com uma porção menor retida na peneira nº 40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Estes grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o Grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 e A-2-7 - Incluem solos semelhantes aos descritos nos subgrupos A-2-4 e A-2-5-, exceção feita da porção de finos que contem argila plástica com características dos grupos A-6 ou A-7. Os efeitos combinados dos índices de plasticidade maiores que 10 e percentagem passando na peneira nº 200, maiores que 15, estão refletidos nos valores dos índices do grupo de 0 a 4.

Grupo A-3 - O material típico deste grupo é areia fina de praia ou de deserto, sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico.

O grupo inclui também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositados pelas correntes.

Grupo A-4 - O solo típico deste grupo é siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira n^o 200. Inclui também misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira n^o 200. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 8, as percentagens crescentes de material grosso, dando origem a valores decrescentes para os índices de grupo.

Grupo A-5 - O solo típico deste grupo é semelhante ao que foi descrito no A-4, exceto que ele é, geralmente, de caráter diatomáceo ou micáceo, altamente elástico, conforme indica seu elevado limite de liquidez. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 12; esses valores crescentes revelam o efeito combinado do aumento dos limites de liquidez e das percentagens decrescentes de material grosso.

Grupo A-6 - O solo típico deste grupo é argiloso, plástico, tendo, geralmente, 75% ou mais de material passando na peneira n^o 200. O grupo inclui também misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira n^o 200. Os solos deste grupo comumente sofrem elevada mudança de volume entre os estados seco e úmido. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 16, esses valores crescentes mostram o efeito combinado do aumento dos índices de plasticidade e diminuição dos materiais grossos.

Grupo A-7 - O solo típico deste grupo é semelhante ao descrito no grupo A-6, com a diferença que possui as características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ainda ser elástico e estar sujeito a elevada mudança de volume. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 20; este aumento indica o efeito combinado de crescimento dos limites de liquidez e dos índices de plasticidade, bem como a diminuição dos materiais grossos.

Subgrupo A-7-5 - Encerra materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume.

Subgrupo A-7-6 - Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho foi dividida em três etapas básicas:

a) etapa de pesquisa: revisão bibliográfica acerca da Metodologia MCT, solos tropicais lateríticos fino, ensaios geotécnicos de classificação;

b) etapa de campo: escolha das áreas de coleta dos solos para o estudo e retirada de amostras deformadas de cada perfil para realização dos ensaios de laboratório;

c) etapa de laboratório: realização dos ensaios básicos de caracterização física e mecânica, assim como dos ensaios classificatórios da Metodologia MCT e TRB.

Com a finalização dos ensaios, realizou-se a comparação e análise dos resultados obtidos através da classificação TRB com a classificação MCT e dos ensaios mecânicos e de caracterização com vistas para utilização das amostras em camadas de pavimento.

Nesse capítulo estão apresentados os materiais e ensaios laboratoriais utilizados na pesquisa.

3.1 Materiais Utilizados

3.1.1 Solo

Nesta etapa foram realizadas visitas aos locais de estudo, com o objetivo de conhecer os tipos de solos, fazer a análise tátil-visual, identificar os horizontes e fazer a coletas das amostras.

Como as informações geológicas e pedológicas para região de São Luís – entende-se, nesta pesquisa, por região de São Luís, toda área compreendida pelos municípios: São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa - são escassas, houve a necessidade de coletar várias amostras indeformadas dentro dessa região, transportá-las até laboratório e classificá-las de modo a se identificar os solos lateríticos fino. Foram feitas visitas em quatro locais, conforme mostra o quadro 4 e a figura 16, sendo: Jazida Newton (zona rural de São José de Ribamar, Maranhão); obra de construção do Hospital da Ilha (Avenida São Luís Rei de França, Turu, São

Luís, Maranhão); Avenida Via Expressa (Vinhais Velho, São Luís, Maranhão) e área da VALE S.A. (Avenida Engenheiro Emiliano Macieira, BR-135, Distrito Industrial de São Luís, Maranhão). Sendo, os materiais destes dois últimos locais, objetos de estudos das pesquisas de iniciação científica de SOARES (2018) e do relatório parcial de SOARES (2019).

Quadro 4: Resumo da coleta de materiais

Local	Coordenadas Geográficas	Nomenclatura adotada	Município	Observação
Newton	-2.599354, -44.144906	AMO1	São José de Ribamar	Fornece material para obras de pavimentação
	-2.600636, -44.143822	AMO2		Fornece material para obras de pavimentação
	-2.602333, -44.140593	AMO3		Fornece material para obras de pavimentação
Hospital da Ilha	-2.525420, -44.228211	AMO4	São Luís	Obra de construção civil na Av. São Luís Rei de França.
Av. Via Expressa	-2.514039, -44.270009	AMO5	São Luís	Retirado da pesquisa de SOARES (2018)
	-2.514039, -44.269267	AMO6		Retirado da pesquisa de SOARES (2018)
Vale S.A.	-2.594836, -44.338681	AMO7	São Luís	Retirado da pesquisa de SOARES (2018)

Fonte: O Autor (2019)

Figura 16: Localização aproximada dos pontos de coleta das amostras



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019)

As visitas e coletas de materiais ocorreram no 2º semestre de 2017, 1º semestre de 2018 e março a maio de 2019. Coletou-se três amostras indeformadas

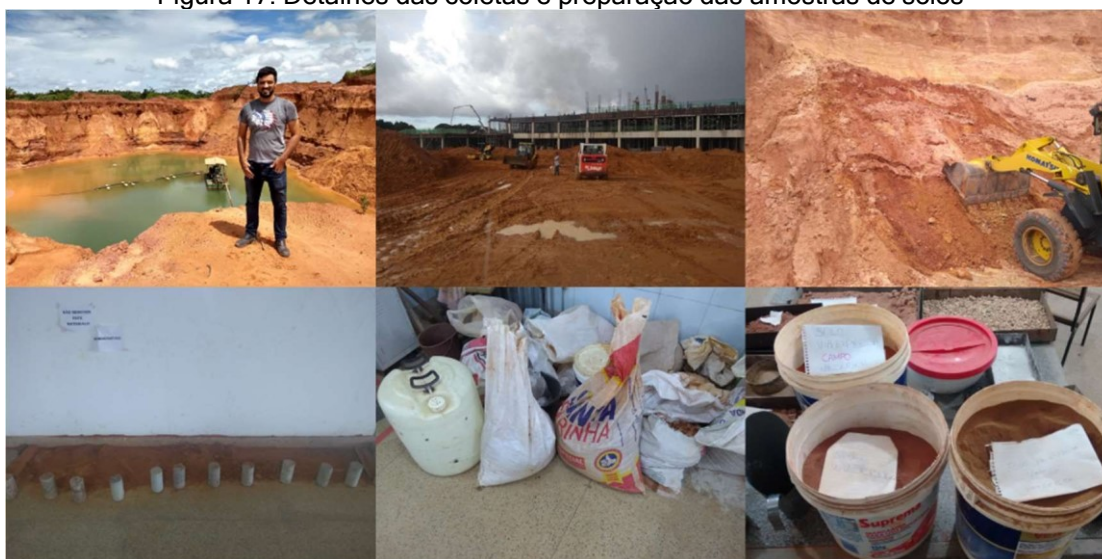
em pontos distintos da jazida Newton, duas amostras em pontos distintos da Av. Via Expressa, uma amostra coletada da obra de construção do Hospital da Ilha e uma amostra VALE S.A.

Das quatro jazidas visitadas, uma jazida é utilizada para exploração de materiais utilizados em pavimentação na região de São Luís, enquanto outro material foi coletado de uma obra de construção civil (Hospital da Ilha) e as demais estão “in natura” sem atual exploração.

As coletas foram conduzidas pelo autor, em parceria com a engenheira Gleyciane Almeida Serra, mestranda do IME, e com o motorista da UEMA, utilizando veículos utilitários ou de passeio.

As localizações e escavações (figura 17) dos materiais foram realizadas com auxílio de GPS e de ferramentas básicas: pá, picareta e de veículo pá-carregadeira nos locais de difícil acesso.

Figura 17: Detalhes das coletas e preparação das amostras de solos



Fonte: O Autor (2019)

As coletas variaram entre 25cm e 1,50m de profundidade, sempre tendo o cuidado de não coletar material orgânico, ou seja, material do horizonte A.

Foram coletados cerca de 60kg de cada amostra e encaminhadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UEMA para secagem ao ar e realizações dos ensaios de caracterização, como limites de Atterberg, compactação, CBR e os ensaios de classificação (Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão) e mini compactação da metodologia MCT. Para execução do ensaio de Mini-CBR, as

amostras de solos classificadas como lateríticas foram encaminhadas em quantidade suficiente ao Laboratório de Misturas Asfálticas do IME através da engenheira Gleyciane Almeida Serra.

A seguir as figuras de 18 a 31 ilustram com mais detalhes os locais de coleta dos materiais e suas respectivas localizações nos mapas.

Figura 18: Perfil de AMO1



Fonte: O Autor (2019)

Figura 19: Localização de AMO1 em Zona Rural de São José de Ribamar



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 20: Perfil de AMO2



Fonte: O Autor (2019)

Figura 21: Localização de AMO2 em Zona Rural de São José de Ribamar



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 22: Perfil de AMO3



Fonte: O Autor (2019)

Figura 23: Localização de AMO3 em Zona Rural de São José de Ribamar



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 24: Perfil de AMO4



Fonte: O Autor (2019)

Figura 25: Localização de AMO4 em São Luís



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 26: Perfil de AMO5



Fonte: O Autor (2019)

Figura 27: Localização de AMO5 em Via Expressa



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 28: Perfil de AMO6



Fonte: O Autor (2019)

Figura 29: Localização de AMO6 em Via Expressa



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 30: Perfil de AMO7



Fonte: SOARES (2018)

Figura 31: Localização de AMO7 em BR-135



Fonte: Google Maps (2019)

3.2 Ensaios de Caracterização

3.2.1 Densidade Real

O ensaio de Densidade Real dos solos (figura 32) é realizado de acordo com a norma DNER-ME 093/94. Neste ensaio foi utilizado uma bomba de vácuo para retirar o ar existente no solo.

Figura 32: Ensaio de densidade real



Fonte: O Autor (2019)

Neste ensaio, inicialmente, pesa-se o picnômetro vazio (□1). Em seguida, coloca-se 10g de solo (previamente seca em estufa) dentro do picnômetro e pesa-se o conjunto (□2). Depois, coloca-se água destilada no picnômetro até cobrir com excesso a amostra. Depois, conecta-se a mangueira da bomba e aguarda-se 15 minutos. Depois desse tempo, pesa-se o picnômetro com o conteúdo (□3). Por fim,

retira-se todo o material do picnômetro deixando-o bem seco e anota-se o peso do mesmo (ρ_4)

A densidade real do material (ρ_s) é dada pela equação 5

$$\rho_s = \frac{\rho_2 - \rho_1}{(\rho_4 - \rho_1) - (\rho_3 - \rho_2)} \quad (5)$$

3.2.2 Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria é normatizado pelas normas NBR 7181/84 e DNER-ME 051/94 e consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo. A análise granulométrica pode ser feita por sedimentação (figura 33) e por peneiramento (figura 34), sendo escolhida conforme o tamanho dos grãos a serem analisados.

Figura 33: Granulometria por sedimentação



Fonte: O Autor (2019)

Figura 34: Granulometria por peneiramento



Fonte: O Autor (2019)

Os grãos maiores que 0,075mm passam pela etapa de peneiramento. Para as partículas de solo menores do que 0,075mm utiliza-se o método de sedimentação em meio líquido. Este método é baseado na lei de Stokes, a qual estabelece uma relação entre o diâmetro, calculado através da equação 6, das partículas e sua velocidade sedimentação em um meio líquido e peso específico conhecidos.

$$d = \sqrt{\frac{1800n}{\gamma_g - \gamma_a} \cdot h} \quad (6)$$

Onde:

d = diâmetro equivalente da partícula, em mm;

γ_g = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³;

γ_a = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³;

n = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, em g*s/cm²;

h = altura de queda das partículas, correspondente à leitura no densímetro, em cm;

t = tempo de sedimentação, em segundos.

A porcentagem de material ainda não sedimentado é dado pela equação 7:

$$P = \alpha \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1} \cdot \frac{L_c}{W_s} \quad (7)$$

Onde:

P = porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

α = porcentagem de material que passa na peneira n° 10 (2mm);

L_c = leitura corrigida do densímetro;

W_s = peso do solo seco usado na suspensão, em g.

Segundo a DNER – ME 051/94, pesa-se 120g, no caso de solos arenosos e 70g para solos siltosos e argilosos. A amostra separada é pesada e misturada com 125ml de defloculante, solução de hexametáfosfato de sódio com concentração de 47,5g do sal por litro. Ambos são colocados em um béquer e a mistura é agitada até que toda a amostra de solo fique completamente molhada e em seguida é deixada em repouso por um período mínimo de 12 horas.

Em seguida, a mistura é colocada no corpo de dispersão e utiliza-se água destilada para retirar o material que tenha ficado aderido no béquer e adiciona-se mais

água destilada até que o nível fique 5 cm abaixo da borda do copo. Agita-se o material por 5, 10 ou 15 minutos, dependendo do índice de plastidade do solo.

Após a agitação o conteúdo é transferido para a proveta, utilizando água destilada para retirar todo material retido no copo do dispersor e completa-se, também, com água destilada, até atingir a marca de 1000ml. Após o equilíbrio da temperatura da suspensão, a proveta é agitada pelo tempo de 1 minuto, tampando a boca da proveta com a mão e uma luva de látex. Após esta etapa iniciam-se as leituras do densímetro e da temperatura para os tempos de 30s – 1min – 2min – 4min – 8min – 15min – 30min – 1hora – 4horas e 25 horas.

Com os resultados no ensaio de granulometria traça-se a curva granulométrica em um diagrama semi-logarítmico que tem como abscissa os logaritmos das dimensões das partículas e como ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (porcentagem de material que passa).

3.2.2 Limite de Liquidez

O ensaio de LL é normatizado pelo método de ensaio DNER-ME 122/94 e representa a transição do estado plástico ao estado líquido. O objetivo do ensaio é encontrar o menor teor de umidade com que uma amostra de solo pode ser capaz de fluir. O ensaio é realizado no aparelho de Casagrande (figura 35), que consiste em uma concha metálica que, acionada por uma manivela, golpeia a base do aparelho. A suposição do processo é que com as pancadas a água se encaminhe para a região do sulco feito no solo, aumentando o teor de umidade (o que diminui a resistência ao cisalhamento). O ensaio é feito com a fração de amostra representativa do solo que passa na peneira n° 40 (0,42mm).

Figura 35: Ensaio de Limite de Liquidez

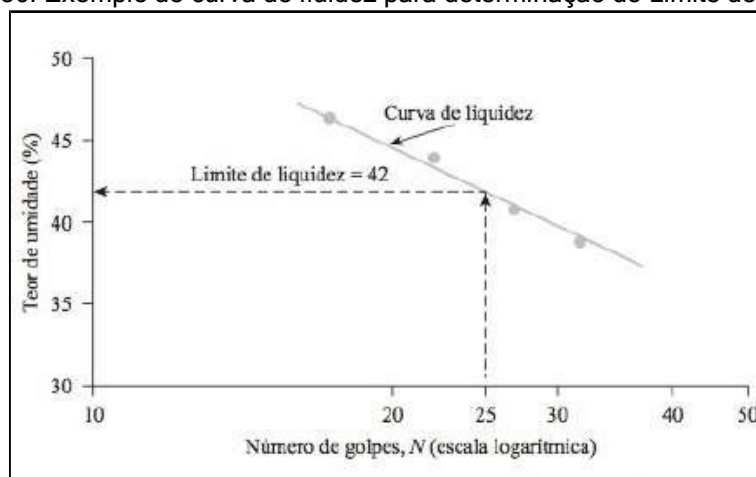


Fonte: Soares (2017)

A sequência de ensaio é executada pelo menos 5 vezes. A quantidade de material necessário para o ensaio é de cerca de 70g. Colocam-se os 70g de material em uma cápsula e homogeneiza-se com adição de água, aos poucos, até resultar na massa plástica. Transfere-se a parte da massa plástica, assim obtida, moldando-a dentro concha do aparelho. Com o cinzel, divide-se a massa do solo contida na concha em duas partes, abrindo-se um sulco no seu centro. Aciona-se a manivela, golpeando a concha contra a base do aparelho. Golpeia-se até que as bordas inferiores do sulco se unam em 1cm de comprimento, sendo registrado o número de golpes e retirada uma pequena quantidade de solo no ponto onde houve o fechamento do sulco, para determinação do teor de umidade.

O limite de liquidez é determinado no gráfico cartesiano, onde o eixo das abscissas representa os teores de umidade e no eixo das ordenadas é representado o número de golpes em escala logarítmica. Pelos pontos lançados no gráfico será traçada uma reta, tão próxima quanto possível, de pelo menos três pontos. O LL, expresso em teor de umidade, é o valor da abscissa do ponto da reta correspondente à ordenada de 25 golpes. O resultado é representado em porcentagem. A figura 36 mostra um modelo de curva de fluidez de um solo silte argiloso.

Figura 36: Exemplo de curva de fluidez para determinação do Limite de Liquidez



Fonte: DAS (2014, p. 75)

3.2.3 Limite de Plasticidade

O ensaio de LP é normatizado pelo método de ensaio DNER-ME 082/94 e corresponde ao teor de umidade no qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar um cilindro com 3mm de diâmetro e cerca de 10cm de comprimento. O LP representa a transição do solo do estado plástico para o semissólido.

O ensaio é realizado com uma fração do solo passante na peneira n° 40 (0,42mm). A quantidade de material necessária para o ensaio é de cerca de 50g. A amostra é colocada em uma cápsula e homogeneizada com adição de água aos poucos, até resultar em massa plástica. Com uma quantidade de massa plástica obtida, forma-se uma pequena bola, que será rolada sobre uma placa de vidro com pressão suficiente da mão, de modo a resultar a forma de cilindro (figura 37). Quando este atingir 3mm (verificando com o cilindro de comparação) sem se fragmentar, amassa-se o material e procede-se como anteriormente.

Figura 37: Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Soares (2017)

Repete-se a operação até que, por perda de umidade, o cilindro se fragmenta quando atingir 3mm de diâmetro. Transfere-se alguns pedaços do cilindro fragmentado para uma cápsula para se determina o teor de umidade através da estufa à temperatura de 105°C – 110°C. Repete-se o procedimento até serem obtidos 3 valores que não difiram da respectiva média de mais de 5%.

O Índice de Plasticidade é a diferença entre o LL e o LP, ou seja, através da equação 8.

$$IP = LL - LP \quad (8)$$

Burmister (1949 apud DAS, 2014, p. 78) classificou o índice de plasticidade qualitativamente conforme o quadro 5.

Quadro 5: Descrição do Índice de Plasticidade

Índice de Plasticidade	Descrição
0	Sem plasticidade
1-5	Plasticidade leve
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

Fonte: Adaptado de Burmister (1949 apud DAS, 2014, p. 78)

3.2 Ensaios Mecânicos

Nesta etapa, realizaram-se os ensaios de Compactação Proctor e o Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

3.2.1 Compactação Proctor

O ensaio de compactação é realizado com base na norma DNER-ME 162/94 para amostras não trabalhadas e a norma DNIT 164/2013-ME para amostras trabalhadas. O objetivo do ensaio é compactar uma porção de solo em um cilindro de volume conhecido, fazendo variar a umidade de forma a obter o ponto de compactação máxima no qual determina-se a umidade ótima de compactação.

A compactação tem o objetivo de estabilizar o solo através da aplicação de energia. Seu efeito confere ao solo um aumento de massa específica e resistência ao cisalhamento, com conseqüente diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Para a presente pesquisa foi utilizado 7kg de solo de cada amostra e utilizado o método de amostra trabalhadas compactado em energia modificada (5 golpes e 55 golpes em cada camada) para estudo das amostras em camadas de base.

Com auxílio da proveta de vidro, para o primeiro teor de umidade, adiciona-se água até o solo se tornar coesivo ao ser pressionado com a palma da mão. Em seguida, compacta-se a amostra no molde cilíndrico em 5 camadas, aplicando-se em cada uma delas 55 golpes, distribuídos uniformemente em cada camada. Remove-se o colarinho e a base, nivela-se a superfície do material à altura do molde e pesa-se o conjunto cilindro mais o solo compactado. Retira-se a amostra do molde com o auxílio de um extrator e, partindo-a ao meio, coleta-se uma pequena quantidade em duas cápsulas para a determinação da umidade. Repete-se o processo até se obter 5 pontos, sendo dois no ramo seco, um próximo à umidade ótima, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

Inicialmente, através da equação 9, determina-se a massa específica aparente úmida (ρ_h). Em seguida, calcula-se, através da equação 10, a massa específica aparente seca (ρ_s). Com os valores da massa específica aparente seca do solo compactado, e da respectiva umidade (equação 11) utilizada na compactação,

constrói-se o gráfico com os valores da massa específica aparente do solo seco no eixo das ordenadas e os valores da umidade no eixo das abscissas. O ponto de máximo da curva de compactação fornece a umidade ótima (h_o) e a massa específica aparente seca máxima ($\rho_{s,máx}$)

$$\rho_h = \frac{\rho'_h}{V} \quad (9)$$

$$\rho_s = \rho_h \cdot \frac{100}{100 + h} \quad (10)$$

$$h = \frac{\rho_h - \rho_s}{\rho_s} \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

ρ'_h é o peso do solo úmido compactado, em gramas;

V é o volume do solo compactado, em cm^3 ;

ρ_s é a massa específica aparente do solo seco, em g/cm^3

ρ_h é a massa específica aparente do solo úmido, em g/cm^3 ;

h é o teor de umidade do solo compactado, em %;

ρ_h é o peso da amostra úmida, em gramas;

ρ_s é o peso da amostra seca, em gramas.

A figura 38 ilustra a sequência do ensaio de compactação.

Figura 38: a) preparação da amostra; b) compactação; c) nivelamento da amostra e pesagem do corpo de prova; d) determinação da umidade das amostras



Fonte: O Autor (2019)

3.2.2 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de ISC ou ensaio de CBR é normatizado pela DNIT 172/2016 e tem como finalidade estimar a resistência de um solo compactado para sua utilização em bases, sub-bases e subleitos de pavimentos. É possível conhecer qual será a expansão de um solo sob um pavimento quando este estiver saturado, e também obter informações da perda de resistência do solo com a saturação.

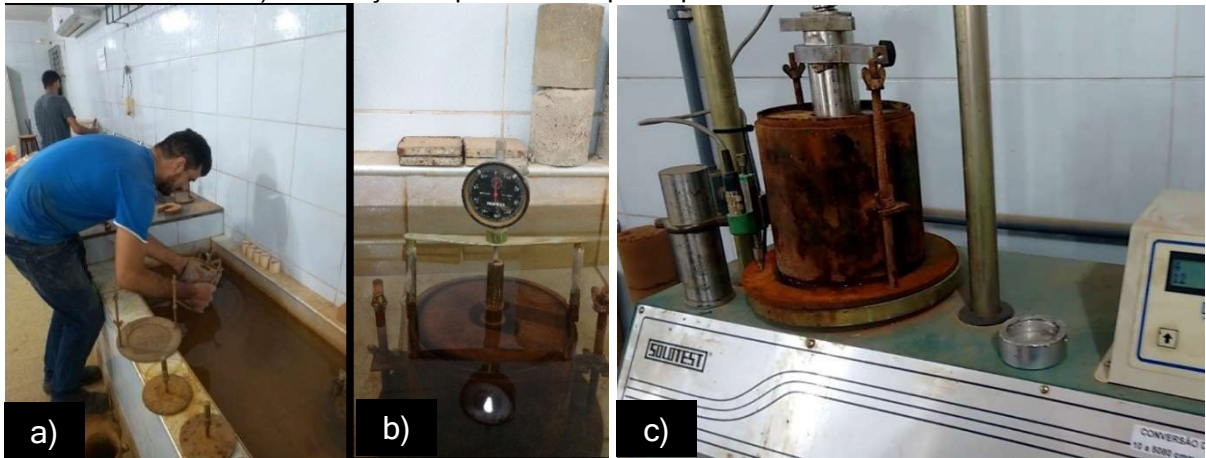
Segundo a norma DNIT 172/2016, o ensaio é realizado compactando-se o corpo-de-prova em 5 camadas com 12 golpes por camada (energia normal), 26 golpes por camada (energia intermediária) ou 55 golpes por camada, à umidade ótima já determinada pelo ensaio de compactação Proctor ou utilizando as amostras não trabalhadas. Em seguida, inverte-se o cilindro com o corpo de prova e, no espaço deixado pelo disco espaçador, coloca-se o prato perfurado com haste e as sobrecargas com peso não inferior a 4,536 kg. Colocar-se todo o conjunto no tanque de água. Coloca-se o relógio extensômetro sobre a haste do prato perfurado. O conjunto fica imerso durante 4 dias, anotando-se para cada dia a leitura no relógio extensômetro para determinação da expansão durante a embebição para cada corpo de prova, através da equação 12.

$$\Delta e (\%) = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \cdot 100 \quad (11)$$

Passado este período de imersão, o conjunto é colocado, durante 15 minutos, deitado para escoar a água em excesso. Após esse tempo, inicia-se o ensaio de penetração na prensa de ensaio ISC.

A figura 39 mostra uma parte da sequência do ensaio de ISC.

Figura 39: a) imersão do corpo de prova; b) corpo de prova imerso para determinação da expansão; c) Penetração do pistão no corpo de prova no ensaio de ISC



Fonte: O Autor (2019)

A prensa funciona com uma velocidade padrão de penetração de 1,27mm/min. Devem ser anotadas as leituras fornecidas pela máquina e repetir o procedimento para os corpos de prova restantes.

Finalizado o ensaio com todos os corpos de prova, os resultados do ISC são obtidos pela equação 12:

$$ISC = \frac{P_{corrigida} - P_{padrao}}{P_{padrao}} \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:

$P_{corrigida}$ é a pressão fornecida pela máquina do ensaio;

P_{padrao} é a pressão fornecida pela máquina corrigida quando necessária;

P_{padrao} é a pressão padrão para a penetração em estudo, fornecida pela norma do ensaio.

A pressão deve ser corrigida quando a curva penetração X pressão apresentar ponto de inflexão. O ISC é calculado para as penetrações de 2,54mm e 5,08mm. O ISC do material estudado será o maior entre os dois valores calculados.

3.3 Ensaios Mecânicos e Classificatórios da Metodologia MCT

3.3.1 Ensaio de Mini-MCV

O ensaio de Mini-MCV é um dos principais ensaios da Metodologia MCT e faz parte do processo de classificação dos solos tropicais. Para a execução deste ensaio foram seguidos os procedimentos das normas DNER-ME 258/94 e DNER-CLA 259/96.

Primeiramente, as amostras foram destorroadas, homogeneizadas e secas ao ar até a umidade higroscópica. Passou-se as amostras na peneira com abertura de 2mm, destorroando as frações retidas com o uso do almofariz e da mão de gral. Até 24 horas antes da execução do ensaio, as amostras foram preparadas: colocou-se cerca de 500g em cada saco de polietileno e adicionou-se água em quantidade tal que se obtivesse umidades crescentes, de cerca de 1,5% a 2% nos solos arenosos, 3% a 4% nos solos argilosos lateríticos, e de 5% nas argilas não lateríticas e siltes micáceos e cauliniticos, totalizando 5 porções (CP) com umidades crescentes para cada solo. As amostras foram guardadas numa caixa de isopor hermeticamente fechada (figura 40) para evitar perda de umidade. Após o período de 24 horas, os materiais são preparados para dar início ao ensaio de Mini-MCV (figura 41).

Figura 40: Preparação das amostras



Fonte: O Autor (2019)

Figura 41: Cilindros de compactação



Fonte: O Autor (2019)

Para realização do ensaio o primeiro passo consiste em fazer a aferição do equipamento Mini-MCV, conforme mostrado na figura 42. O objetivo é determinar a altura do corpo de prova. Coloca-se sobre o pistão do compactador os discos de polietileno e o cilindro padrão de altura (Ac). Em seguida, coloca-se o soquete sobre

a superfície do cilindro padrão, centrando-o de maneira mais perfeita possível. Faz-se a leitura no extensômetro (L_a), conforme ilustrado na figura 43, e calcula-se a constante de aferição (K_a) do conjunto compactador-soquete pela equação 13 (usa-se sinal negativo quando o extensômetro for colocado de cabeça para baixo e positivo caso contrário).

$$K_a = A_c \pm L_a \quad (13)$$

Após a aferição, o equipamento é então montado para a execução do ensaio.

Figura 42: Compactador miniatura



Fonte: O Autor (2019)

Figura 43: Aferição do aparelho compactador



Fonte: O Autor (2019)

Para este ensaio deve-se passar vaselina nos moldes a serem usados com auxílio de um pano e remove-se os excessos com uma flanela seca. Coloca-se os espaçadores envolvendo o pistão do compactador (figura 44), posteriormente coloca-se o molde sobre os mesmos de maneira que o pistão fique parcialmente dentro do molde. Coloca-se o disco de polietileno (para que não haja aderência do solo com a base do pistão) no molde de maneira que cubra o pistão. Homogeneiza-se novamente as porções de 500g de material e retira-se uma pequena amostra para determinação do teor de umidade. Separa-se 200g do material (figura 45) e despeja-o no molde com o auxílio de um funil (figura 46). Nivelava-se o solo dentro do molde com o auxílio de um assentador, exercendo pequena pressão e efetuando pequenos movimentos rotativos. Coloca-se o disco de polietileno sobre o topo da porção de solo, introduzindo

em seguida o anel de vedação. Posiciona-se o soquete, previamente aferido, sobre o solo do molde (figura 47). Dar-se o primeiro golpe, efetuando logo em seguida a leitura no extensômetro referente ao primeiro golpe. Dar-se golpes sucessivos e efetuar a leitura no extensômetro correspondente à série de golpes: 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256.

Figura 44: Discos espaçadores sobre o pistão



Fonte: O Autor (2019)

Figura 45: Amostra para compactação



Fonte: O Autor (2019)

Figura 46: Amostra sendo colocada no molde



Fonte: O Autor (2019)

Figura 47: Amostra a ser compactada



Fonte: O Autor (2019)

O ensaio é interrompido quando: a diferença entre a leitura obtida após A_4n golpes for menor que 2mm; houver intensa exsudação de água no topo e na base do corpo de prova ou o número de golpes atingir 256.

Terminada a operação de compactação, é feita a retirada do soquete e o molde é colocado de ponta cabeça. Com o auxílio do extrator, desloca-se o corpo-de-prova situado dentro do molde de maneira que seu topo fique um pouco acima do bordo superior do molde (cerca de 10mm), conforme mostrado na figura 48. Efetua-se a medida da altura deslocada do corpo-de-prova (figura 49). O ensaio é repetido para as outras porções de solo.

Figura 48: Extração de parte do corpo de prova



Fonte: O Autor (2019)

Figura 49: Parte extrudada do corpo de prova



Fonte: O Autor (2019)

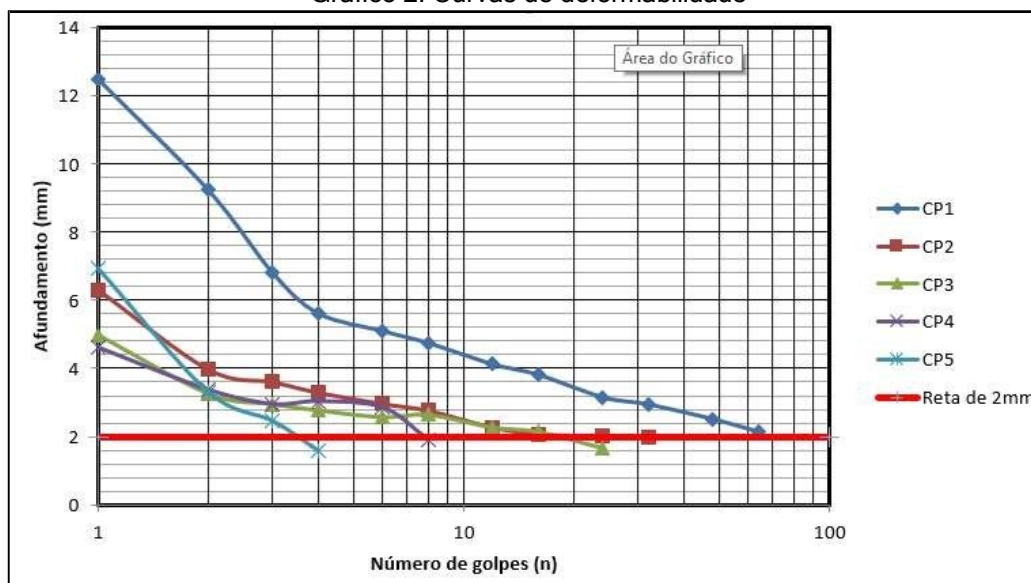
3.3.1.1 Curvas de deformabilidade e o coeficiente c'

A partir dos resultados do ensaio de mini-MCV, traça-se, para cada teor de umidade das amostras, as curvas de deformabilidade ou de mini-MCV (gráfico 2) que são lançadas em um diagrama, na qual o eixo das abscissas representa o número de golpes em escala logarítmica, e no eixo das ordenadas é representado em escala linear os afundamentos (ΔH) através da diferença de leituras calculado através da equação 1.

$$\Delta H = H_n - H_4 \quad (1)$$

Onde H_n é a altura do corpo de prova após o número de golpes (n), e H_4 é a altura do corpo de prova após 4 golpes.

Gráfico 2: Curvas de deformabilidade



Fonte: O Autor (2019)

A interseção de cada curva com a reta de afundamento correspondente a 2mm, que foi adotada como referência para os corpos de prova da metodologia, determina-se o valor de golpes (B) correspondente. Define-se o mini-MCV para cada teor de umidade pela equação 2.

$$\text{Mini-MCV} = 10 \cdot \log(B) \quad (2)$$

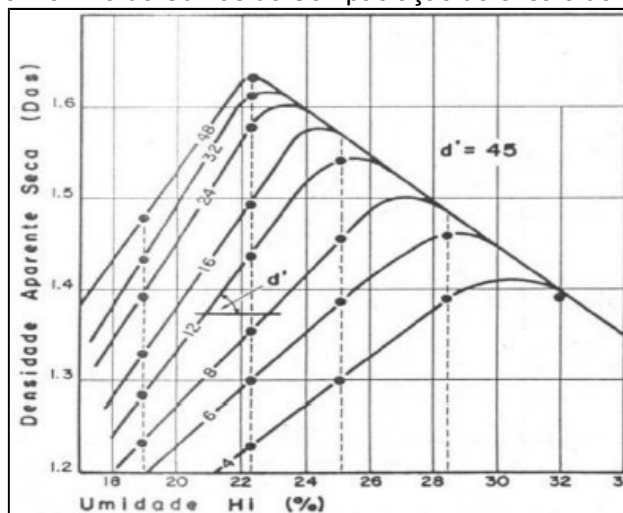
O coeficiente c' , designado de coeficiente de deformação, é obtido por meio do coeficiente angular da parte retilínea da curva de deformabilidade que mais se aproxima do valor de Mini-MCV igual a 10. Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 39), tal coeficiente indica a argilosidade do solo, ou seja, um coeficiente alto acima de 1,5 caracteriza as argilas, enquanto que um coeficiente inferior a 1,0 caracteriza as areias ou siltes não plásticos. No intervalo entre 1,0 e 1,5 encontram-se outros tipos de solos como areias siltosas, areias argilosas, argilas arenosas e argilas siltosas.

3.3.1.2 Curvas de compactação e o coeficiente d'

Conforme o DNER-ME 258/94 (DNER, 1994) traça-se a família de curvas de compactação (figura 50), representando no eixo das abscissas os teores de umidade e no eixo das ordenadas os valores de massa específica aparente seca (MEAS). O coeficiente d' é obtido a partir da curva de compactação referente a 12

golpes. Ou seja, o coeficiente d' é a inclinação da reta do ramo seco da curva de compactação referente ao número igual a 12 golpes, próximo do ponto de massa específica aparente seca máxima.

Figura 50: Família de Curvas de Compactação do ensaio de Mini-MCV



Fonte: Bernucci (1992, apud VENTURINI, 2015, p. 19)

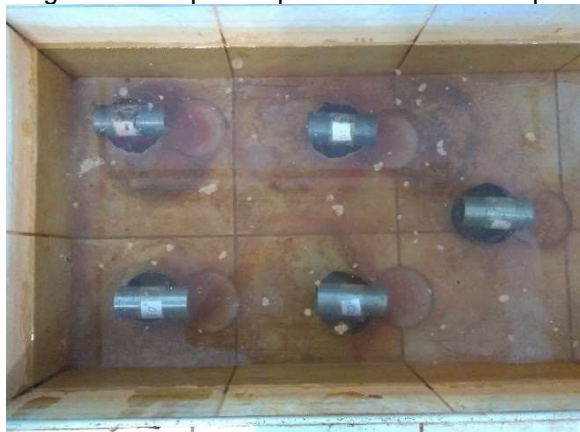
3.3.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão

O ensaio de perda de massa por imersão é realizado utilizando os corpos-de-prova segundo o procedimento Mini-MCV. Os equipamentos presentes nesse ensaio são o suporte dos moldes de compactação para que se possam mergulhar em posição horizontal os cilindros com os respectivos corpos de prova e, além disso, acomodar as cápsulas para coletar o solo que, eventualmente, se desprender de cada um dos corpos-de-prova; tanque que permita acomodar, em posição horizontal pelo menos 5 cilindros de compactação, cada um com o respectivo corpo-de-prova compactado, inteiramente mergulhados em meio aquoso.

Com um auxílio do dispositivo de alavanca, o corpo-de-prova deve ser extraído de seu molde, de maneira que fique saliente 10mm e, em seguida, submerso no tanque de água, na posição horizontal. Efetuar esta operação logo após o ensaio de mini-MCV. Em seguida, mergulhar cuidadosamente o conjunto (cilindros com os corpos-de-prova), assentando-o no suporte de maneira para que fique inteiramente mergulhado no tanque de água, em posição horizontal (figura 51), por pelo menos 12 horas. Após o período de imersão, retira-se cuidadosamente as cápsulas na quais houve deposição de solo e anotar o aspecto do material depositado (figura 52), o qual,

após eliminação de água limpa, deve ser colocado na estufa, a 105-110° C, para determinação da massa desprendida (Md).

Figura 51: Corpos de prova imersos no tanque



Fonte: O Autor (2019)

Figura 52: Material desprendido no ensaio



Fonte: O Autor (2019)

As figuras 53 e 54 mostram, respectivamente o aspecto do material desprendido no ensaio e o material seco após ser retirado da estufa.

Figura 53: Aspecto dos corpos de prova após a o período de imersão



Fonte: O Autor (2019)

Figura 54: Material seco em estufa



Fonte: O Autor (2019)

3.3.2.1 Coeficiente Pi

O coeficiente Pi é obtido a partir do ensaio de Perda de Massa por Imersão. Esse coeficiente é usado para fins de classificação dos solos tropicais segundo a metodologia MCT.

A Perda de Massa por Imersão é calculado através da equação 3:

$$P_i = 100 \cdot \frac{M_{ds} \cdot H_f}{M_{dsc} \cdot H_c} \cdot \alpha \quad (3)$$

Onde:

M_{ds} = Massa seca desprendida, em gramas.

M_{dsc} = Massa seca do corpo de prova, logo após a sua compactação, em gramas.

H_f = Altura final do cp, logo após a compactação, em milímetros .

H_c = 10 mm = Altura do Cp, para molde.

α = 1,0 quando ocorre um desprendimento normal (esperado).

α = 0,5 quando a parte desprendida é um monobloco (exceção).

De acordo com Villibor e Nogami (2009, p. 67)

Os valores de P_i dos solos lateríticos apresentam um decréscimo nítido, após o teor de umidade correspondente ao Mini-MCV = 10. Nas argilas e argilas arenosas lateríticas, geralmente o P_i próximo ao Mini-MCV = 10 é muito baixa ou igual a zero. Para valores decrescentes de Mini-MCV o valor tende a crescer.

3.3.2.2 Coeficiente e'

O coeficiente e' é obtido a partir dos coeficientes d' e P_i . Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 101),

O valor de e' está ligado a um índice de laterização do solo que indica um modelo de comportamento designado laterítico e, quanto menor seu valor, mais apropriado é o solo para execução de bases. Seu valor é função direta do valor da P_i , e inversa do coeficiente d' . Assim, os melhores solos, quanto ao comportamento laterítico, são os que apresentam baixa perda de massa (grande resistência à imersão em água) e elevado coeficiente angular no ramo seco da curva de compactação (curvas bem inclinadas).

Segundo Nogami e Villibor (1995, p. 89): “O índice e' foi concebido para indicar o comportamento laterítico ou não laterítico. Verificou-se que o comportamento laterítico começa a se manifestar quando $d' > 20$ e $P_i < 100$, o que permitiu o estabelecimento da linha horizontal principal [...]. Para os solos pobres em finos, a transição ocorre para valores mais altos de P_i , o que levou ao estabelecimento da linha horizontal secundária em posição um pouco acima (correspondente a $e' = 1,40$)”.

O coeficiente e' é calculado a partir da equação 4:

$$e' = \sqrt[3]{\frac{e_{\max}}{100} + \frac{20}{e}} \quad (4)$$

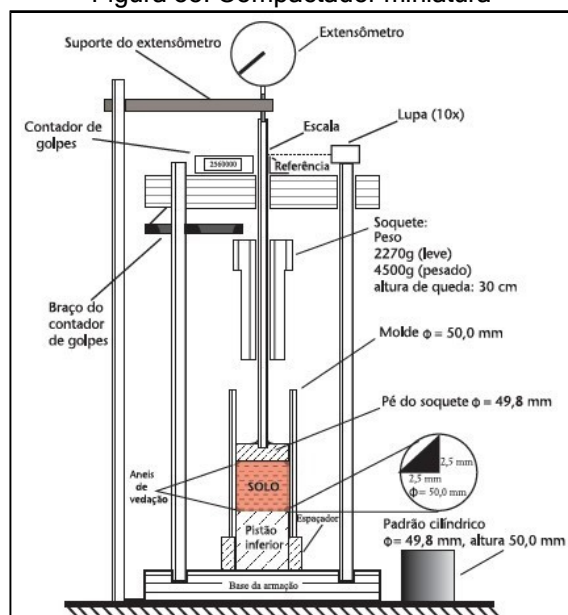
3.3.3 Ensaio de Mini-Proctor

O ensaio de compactação em equipamento miniatura ou designado comumente Mini-Proctor é normatizado no Brasil através da DNER-ME 228/94. Este ensaio visa determinar a massa específica aparente seca máxima (ρ_{\max}) e a úmida ótima (h_o) em amostras de solos compactadas com diferentes teores de umidade, para as energias de compactação normal, intermediária ou outra escolhida utilizando corpos-de-prova em forma reduzida. Este ensaio também fornece corpos-de-prova para a determinação das propriedades mecânicas e hídricas de solos, por meio de ensaios da Metodologia MCT.

Segundo Villibor e Nogami (2009) as vantagens que o procedimento Mini-Proctor apresenta são as seguintes: 1) Diminuição drástica da quantidade de amostra e do esforço na aplicação dos golpes; 2) Possibilidade de medir, com exatidão, a altura do corpo de prova após a aplicação dos golpes do soquete; 3) Maior uniformidade nos corpos de prova compactados.

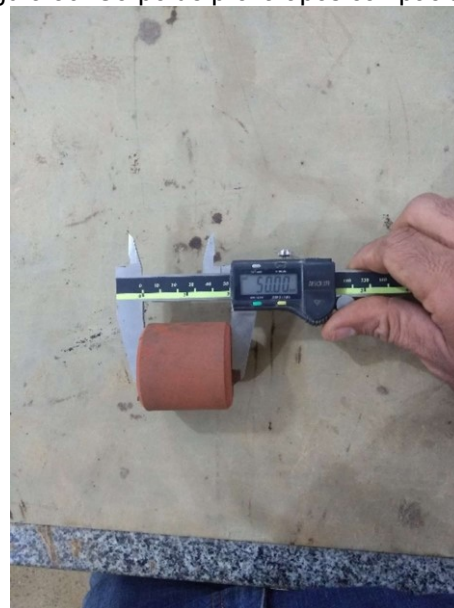
O ensaio de Mini-Proctor é realizado em amostras de solos naturais e/ou misturas de granulação fina (passante na peneira de 2,00mm) utilizando o mesmo compactador miniatura do ensaio de mini-MCV (figura 55), colocados em um molde cilíndrico padronizado, na qual é aplicada uma energia de compactação, por meio de golpes, com um soquete de massa e altura de queda padronizado, obtendo corpos de prova com altura aproximada de 50mm (figura 56).

Figura 55: Compactador miniatura



Fonte: Villibor e Nogami (2009)

Figura 56: Corpo de prova após compactação



Fonte: O Autor (2019)

O ensaio é semelhante ao ensaio de Mini-MCV, inclusive na preparação das amostras, e na aferição do aparelho compactador. Devido ao LSP não ter soquete tipo pesado, foi utilizada a compactação com energia normal (5 golpes em cada face) com soquete tipo leve de massa de 2.270g. A energia foi adotada a título de comparação.

Uma vez preparada as amostras em umidades crescentes e devidamente embaladas e guardadas hermeticamente fechadas, as amostras estão aptas a serem ensaiadas após o período mínimo de 24 horas, segundo a norma DNER-ME 228/94. Após esse período, homogeneizá-las e, para a amostra com o menor de umidade, é pesado cerca de 190g de solo. Depois, despeja-se no molde a porção pesada com o auxílio do funil. Nivelá-se o solo dentro do molde e, posteriormente, coloca-se o disco de polietileno sobre o topo da porção de solo, introduzindo, em seguida, o anel de vedação. Uma parte da amostra do saco é retirada para determinar a umidade da porção. Efetuar a compactação na seguinte sequência: cinco golpes com o soquete tipo leve, em seguida, inverte-se o corpo de prova e aplica-se o mesmo número de golpes. Em seguida, efetua-se a leitura no relógio extensômetro. Caso a altura do corpo de prova estiver compreendida entre 50mm +/- 1mm a operação é encerrada para esse teor de umidade. Se essa condição não for satisfeita, compactar a parte restante da porção da amostra utilizando uma nova massa calculada corrigida (□□) obtida pela equação 15.

$$\rho_a = \frac{\rho_s \cdot 50}{h} \quad (15)$$

Onde:

ρ_a = massa utilizada na compactação que resultou na altura A, em gramas;

h = altura do corpo de prova, em milímetros.

O ensaio é repetido para os outros teores de umidade. A partir do ensaio é traçado em um gráfico cartesiano os valores dos teores de umidade de compactação (h_c) no eixo das abcissas e suas correspondentes massas específicas aparentes secas ($\rho_{a,s}$) em ordenadas, ambas em escala linear, calculadas pelas equações 16 e 17, respectivamente. A curva de compactação define os limites, da massa específica aparente seca máxima ($\rho_{a,s,máx}$) e da umidade ótima (h_o) do solo, que permitem orientar e controlar a energia de compactação para a execução de camadas de pavimento e/ou aterros.

$$h_c = \frac{m_w \cdot 100}{m_s} \quad (16)$$

Onde:

h_c = Teor de umidade ou umidade de compactação (%);

m_w = Massa de água contida no solo (g);

m_s = Massa de solo seco (g).

$$\rho_{a,s} = \frac{m_s}{V} \quad (17)$$

Onde:

$\rho_{a,s}$ = Massa específica aparente seca do solo (g/cm³);

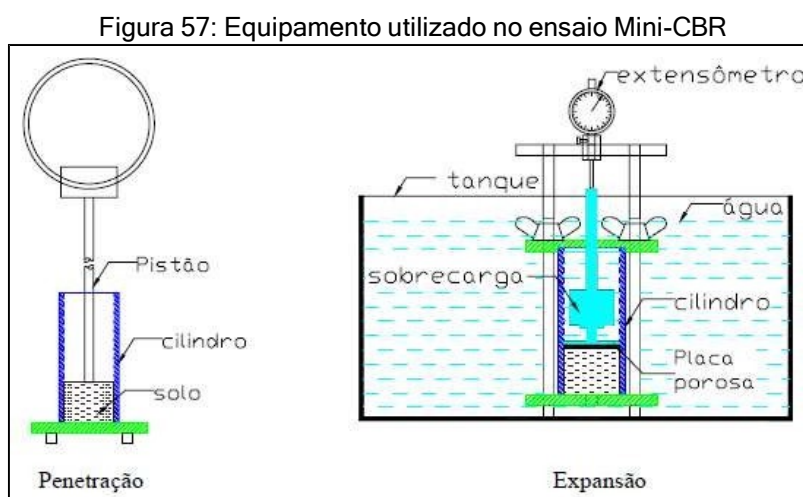
m_s = Massa de solo seco compactado (g);

V = Volume do corpo de prova (cm³).

Por fim, com os pares de massa específica aparente seca e de umidade, plota-se a curva de compactação, localiza-se o ponto máximo da curva, que corresponde ao ponto de umidade ótima (h_o) e massa específica aparente seca máxima ($\rho_{a,s,máx}$).

3.3.4 Ensaio de Mini-CBR

O ensaio de Mini-CBR (Índice de Suporte Califórnia em corpos-de-prova em miniatura) foi desenvolvido na Iowa State University (Lafluer et al, 1960) e adaptado pelo professor Nogami na década de 70 para os solos tropicais para uso em pavimentação, com a finalidade de simplificar os procedimentos de compactação e determinação dos índices de capacidade de suporte e expansão, possibilitando gerar resultados que possibilitam o dimensionamento de pavimentos e a escolha de solos para reforço do subleito, sub-bases e acostamentos. Em suma, o princípio básico do ensaio de Mini-CBR é o mesmo do CBR, só que se caracteriza por utilizar corpos-de-prova em miniatura, com 50mm de diâmetro e pistão de penetração de 16mm de diâmetro (figura 57).



Fonte: Andrade (2005, p. 70)

Segundo Nogami e Villibor (1995, p. 60) o Mini-CBR foi o primeiro ensaio da Metodologia MCT a ser desenvolvido, tendo em vista que o dimensionamento das camadas constituintes do pavimento era feito com base na capacidade de suporte do subleito e das camadas granulares constituintes do pavimento.

Ainda segundo Nogami e Villibor (1995, p. 72), "muitas das peculiaridades dos solos tropicais, penosamente determinadas com uso do CBR tradicional, foram facilmente confirmadas com o uso do Mini-CBR [...] o procedimento adotado no caso do ensaio Mini-CBR é similar ao tradicional, menos o tempo de imersão, que é reduzido para 20 horas, e outras adaptações decorrentes do uso de corpos de prova de pequenas dimensões".

O ensaio de Mini-CBR, de acordo com a DNER-ME 254/97, pode ser realizado com ou sem imersão e sobrecarga e, dependendo da finalidade para o qual o solo será utilizado, emprega-se energia de compactação normal, intermediária ou modificada. Nesta pesquisa foram moldados cinco corpos de prova de cada amostra dos materiais, com imersão e sobrecarga, compactados com energia normal.

A figuras 58 e 59 mostram uma parte dos acessórios usados no ensaio.

Figura 58: Sobrecarga do Mini-CBR



Fonte: O Autor (2019)

Figura 59: Cilindro do Mini-CBR



Fonte: O Autor (2019)

A amostra, uma vez preparada de modo a se obter corpo de prova recém compactados no ensaio de Mini-Proctor, devem ser deslocados no molde de compactação de forma que as hastes dos mesmos coincidam com a placa de base do referido molde.

O procedimento de ensaio de Mini-CBR imerso em água e com sobre carga segue a seguinte metodologia: retira-se os discos de polietileno da base e do topo do corpo-de-prova. Coloca-se um disco de papel de filtro na placa da base do conjunto para embebição e assentar sobre ele o molde com o corpo de prova. Sobre o corpo de prova, dentro do molde, colocasse-se outro disco de papel de filtro e sobre este o disco perfurado provido de haste vertical. Acrescenta-se a sobrecarga anelar. Coloca-se a placa superior do conjunto de embebição e aperta-se bem os parafusos prendedores. Transferir o conjunto para o tanque de imersão vazio e efetuar a primeira leitura do extensômetro (□□). Em seguida encher d'água o recipiente até que a lâmina

d'água fique 5mm acima do bordo superior do molde. Anota-se o tempo inicial de embebição. Deixar o conjunto imerso pelo menos 20 horas. Após esse prazo obter a leitura final ($\square\square$), em mm, com precisão de 0,01mm. Esvaziar o tanque e retirar o conjunto e deixar em repouso cerca de uma hora, para prosseguimento nas determinações do CBR ou das propriedades suplementares.

Transfere-se o conjunto molde com o corpo de prova para o prato da prensa, encosta-se suavemente a ponta do pistão no centro topo do corpo de prova. Liga-se o cronômetro e girando apropriadamente a manivela do macaco, fazer com que os ponteiros do cronômetro e do extensômetro da medida de penetração se desloquem paralelamente. Efetua-se medidas no extensômetro do anel dinamométrico, correspondentes às penetrações seguintes: 0,25 mm, 0,50 mm, 0,75 mm, 1,00 mm, 1,25 mm, 1,50 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, 3,5 mm, 4,0 mm, 4,5 mm e 5,0 mm

A expansão do corpo-de-prova é calculada através da equação 18:

$$\square = \frac{\square\square - \square\square}{\square\square} \cdot 100 \quad (18)$$

Onde:

\square = expansão do corpo-de-prova, expressa em %;

$\square\square$ = leitura inicial do extensômetro em milímetros antes da imersão.

$\square\square$ = leitura final do extensômetro em milímetros depois da imersão.

$\square\square$ = altura inicial do corpo-de-prova em milímetros obtida da compactação

Mini-Proctor do corpo de prova.

A determinação do valor de Mini-CBR de um solo é determinada através das equações 19 e 20. Para efeito de determinação do valor final do Mini-CBR, adota-se o maior valor adquirido a partir dos usos dessas duas equações.

$$\square\square\square(\square\square\square\square - \square\square\square1) = -0,254 + 0,896 \cdot \square\square\square\square1 \quad (19)$$

$$\square\square\square(\square\square\square\square - \square\square\square2) = -0,356 + 0,937 \cdot \square\square\square\square2 \quad (20)$$

Onde:

$(\square\square\square\square - \square\square\square1)$ = Mini-CBR correspondente à penetração de 2,0mm, dado em %;

$(\square\square\square\square - \square\square\square 2) = \text{Mini-CBR correspondente à penetração de 2,5mm, dado em \%};$

$\square 1 = \text{carga correspondente à penetração de 2,0mm, expressa em kgf};$

$\square 2 = \text{carga correspondente à penetração de 2,5mm, expressa em kgf}.$

4 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados para os materiais caracterizados como solos lateríticos de textura fina. A metodologia aplicada em cada ensaio segue a exposta no capítulo anterior.

4.1 Resultados dos Ensaio

4.1.1 Classificação MCT

Com os dados do ensaio de compactação Mini-MCV foram gerados os gráficos de deformabilidade (gráficos de 4 a 10) e as curvas de compactação (gráficos de 11 a 17). A partir do gráfico de deformabilidade, obteve-se o coeficiente c' (indicador do quão arenoso é o solo, no caso de solos de comportamento laterítico) e, a partir das curvas de compactação, obteve-se o coeficiente d' .

O coeficiente P_i foi determinado através do ensaio de Perda de Massa por Imersão, sendo esta etapa subsequente ao ensaio de compactação Mini-MCV. A partir dos valores de P_i em diferentes umidades, determinou-se o parâmetro P_i representativo do solo através dos gráficos “Mini-MCV x P_i ”, conforme mostrado nos gráficos 18 a 24.

Dispondo-se dos parâmetros d' e P_i , obteve-se o coeficiente e' (indicação do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos). A partir dos coeficientes c' e e' , classificou-se as amostras. Em resumo, os coeficientes calculados são mostrados na tabela 1.

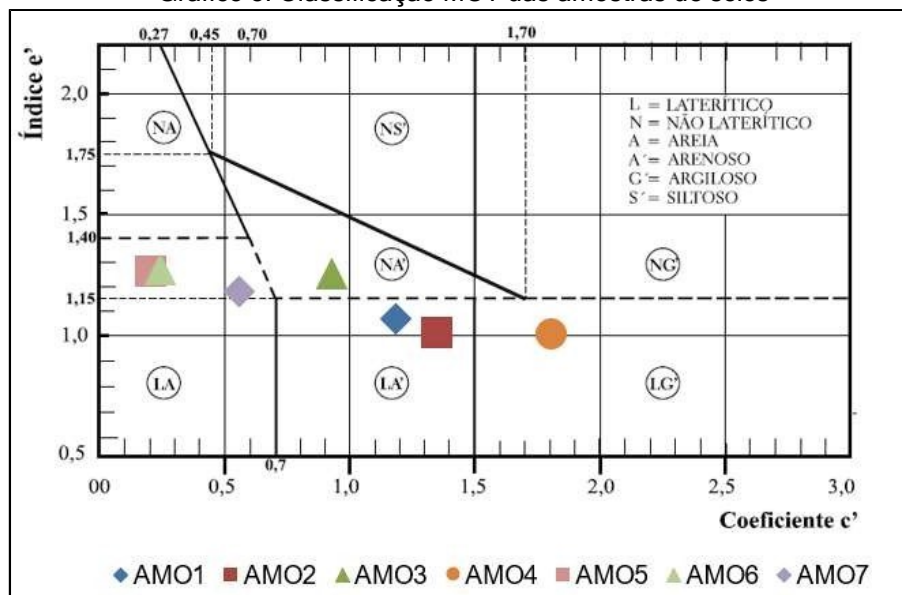
Tabela 1: Resumo dos coeficientes da classificação MCT

Amostra	c' (mm)	d' (100kg/m ³)	P_i (%)	e'	Classificação MCT
AMO1	1,19	40,22	91,20	1,12	LA'
AMO2	1,35	59,02	84,47	1,06	LA'
AMO3	0,93	27,67	161,80	1,33	NA'
AMO4	1,80	116,7	99,23	1,05	LG'
AMO5	0,55	109,61	203,96	1,32	LA
AMO6	0,25	132,6	233,42	1,35	LA
AMO7	0,53	41,77	148,05	1,25	LA

Fonte: O Autor (2019)

O gráfico 3 mostra a classificação das amostras, segundo DNER-CLA 259/96.

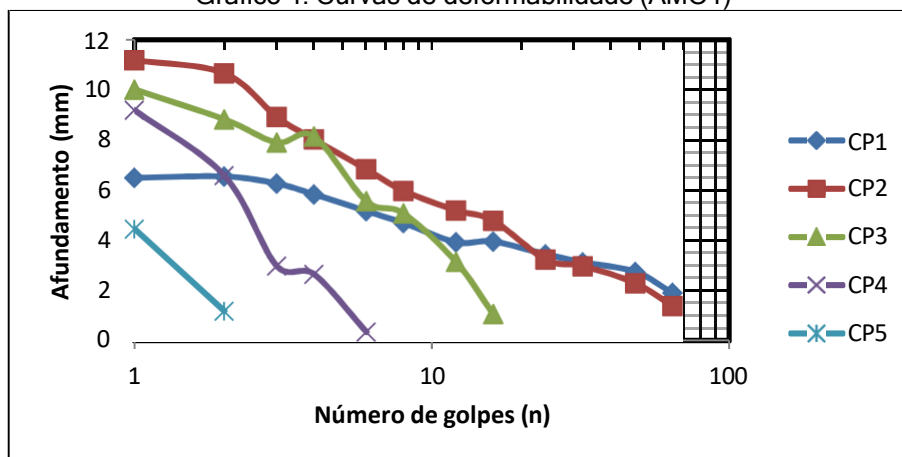
Gráfico 3: Classificação MCT das amostras de solos



Fonte: O Autor (2019)

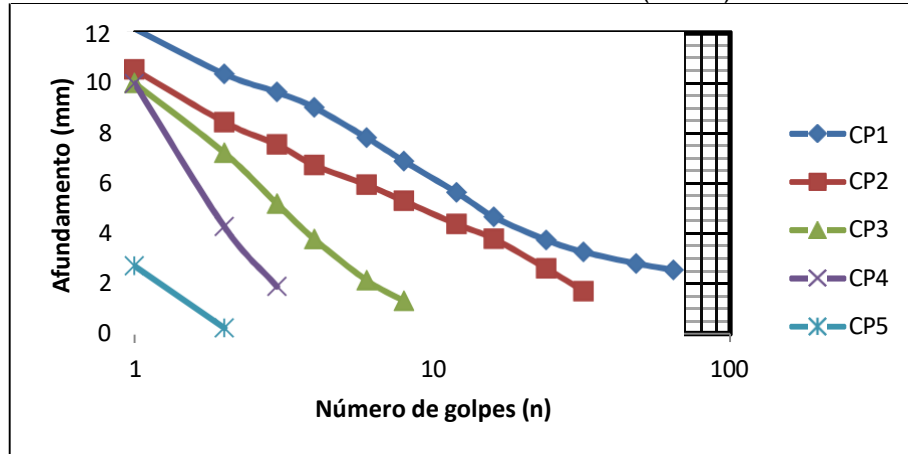
Percebe-se que a amostra AMO3, segundo a classificação MCT, possui classificação NA' (solo arenoso não laterítico). Portanto, esta amostra foi descartada por não se adequar à proposta de estudo desta pesquisa e não será apresentado os demais ensaios para esta amostra.

Gráfico 4: Curvas de deformabilidade (AMO1)



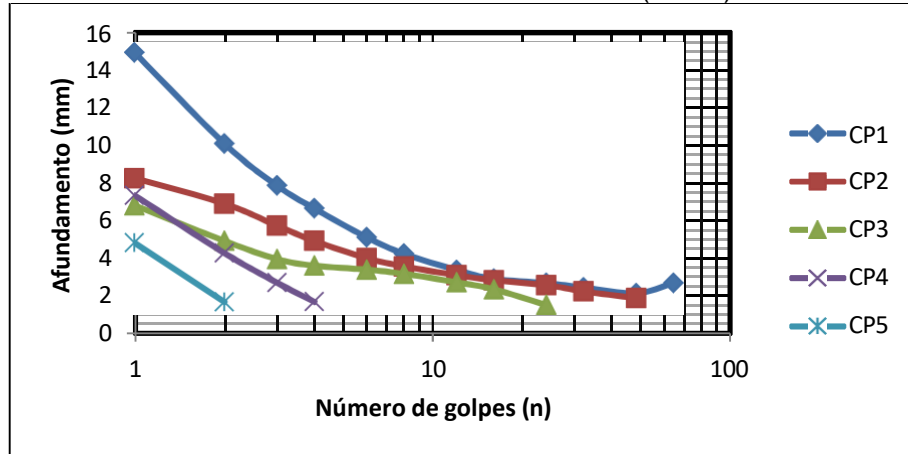
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 5: Curvas de deformabilidade (AMO2)



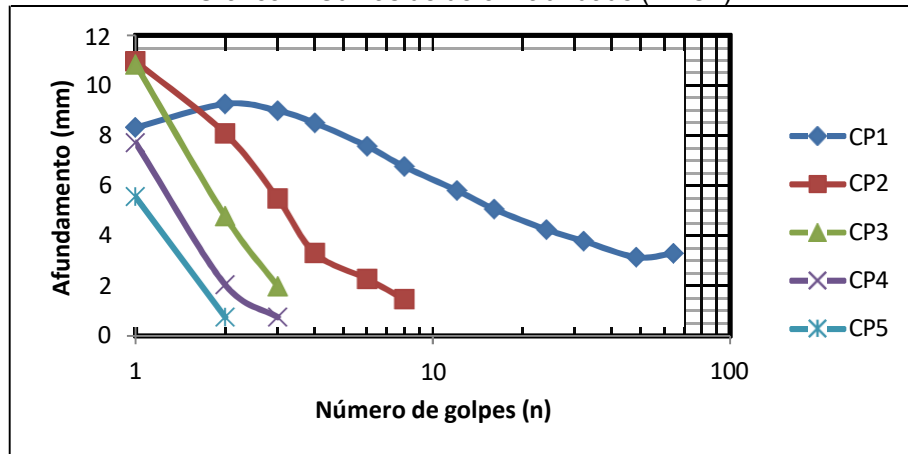
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 6: Curvas de deformabilidade (AMO3)



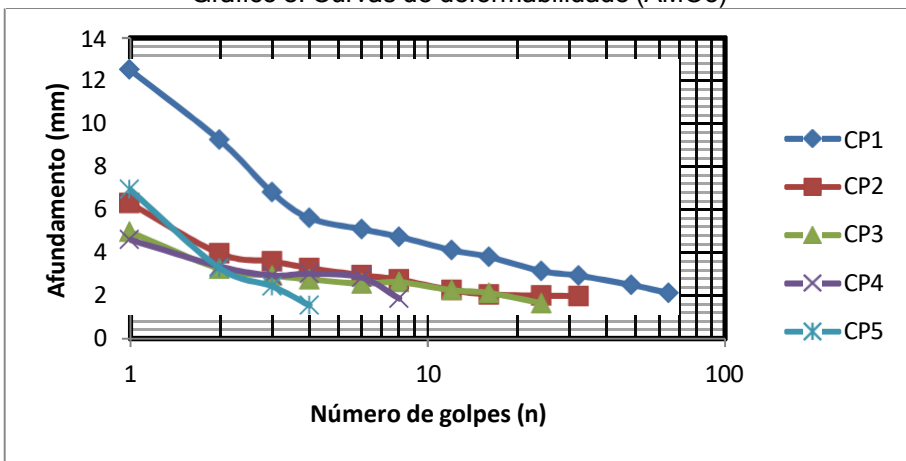
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 7: Curvas de deformabilidade (AMO4)



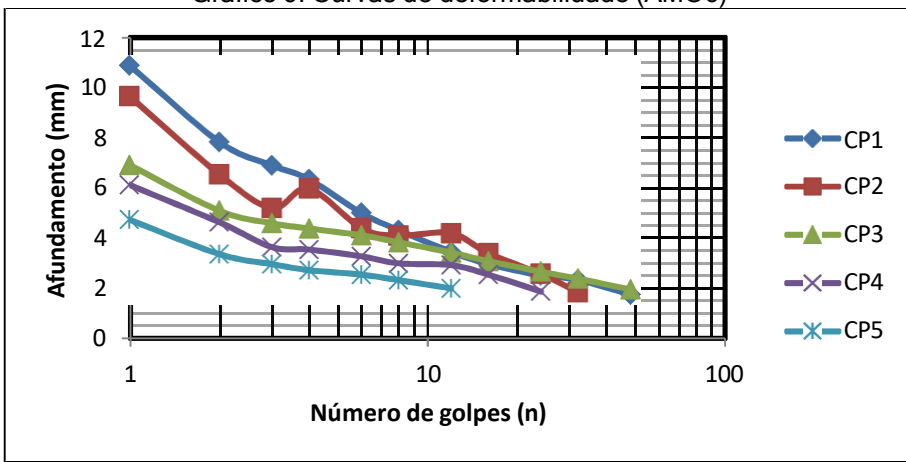
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 8: Curvas de deformabilidade (AMO5)



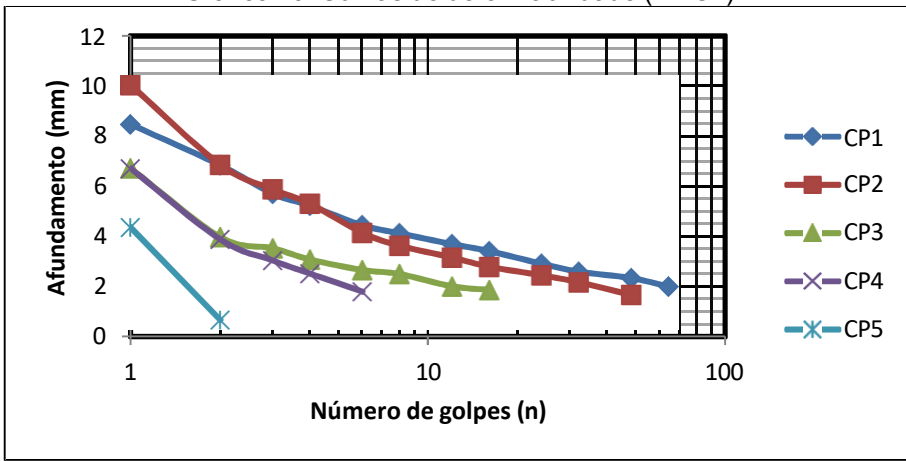
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 9: Curvas de deformabilidade (AMO6)



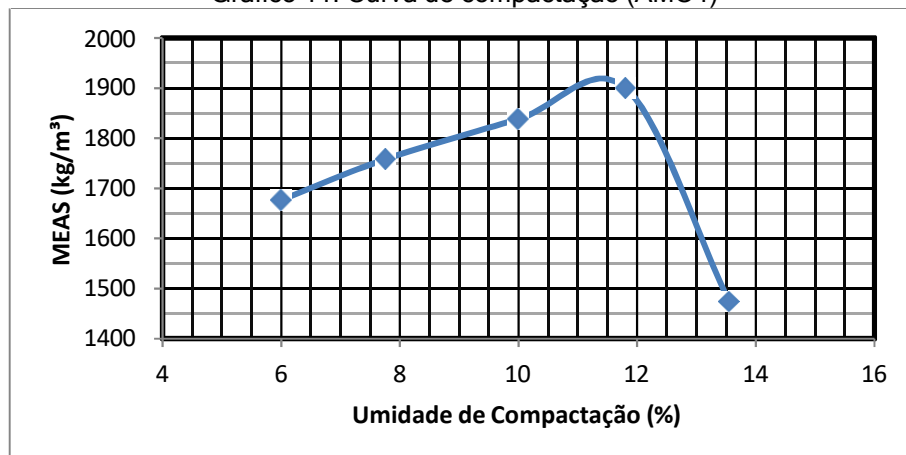
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 10: Curvas de deformabilidade (AMO7)



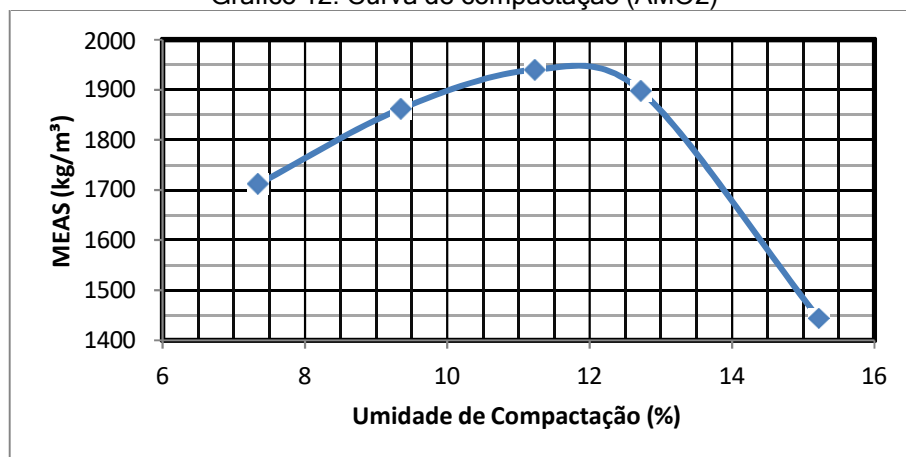
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 11: Curva de compactação (AMO1)



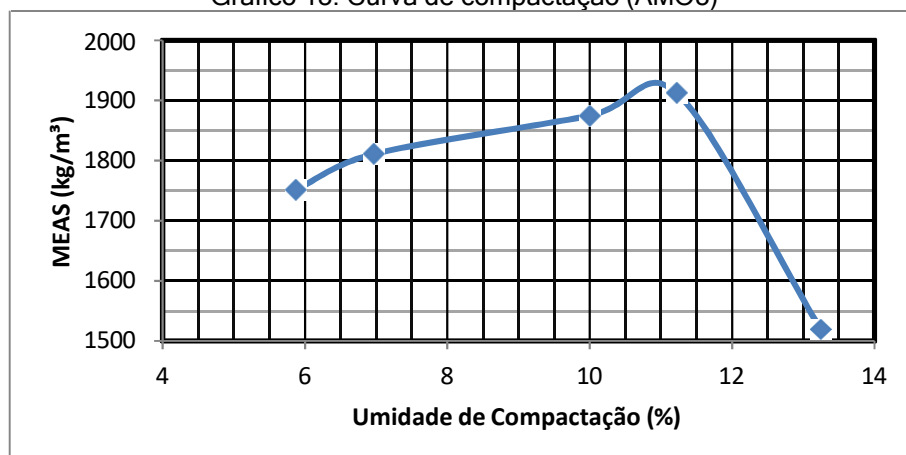
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 12: Curva de compactação (AMO2)



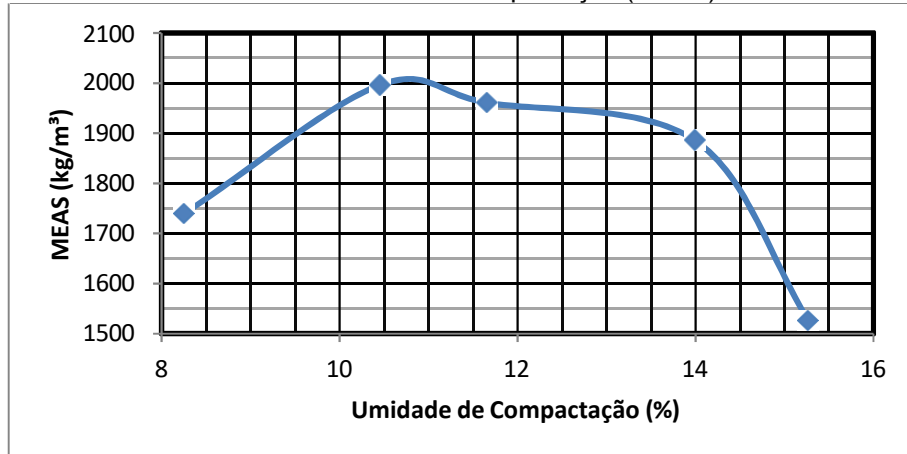
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 13: Curva de compactação (AMO3)



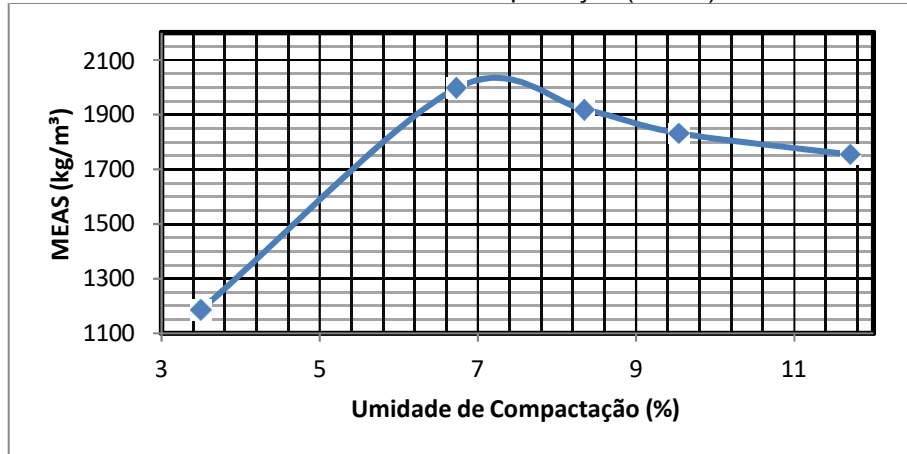
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 14: Curva de compactação (AMO4)



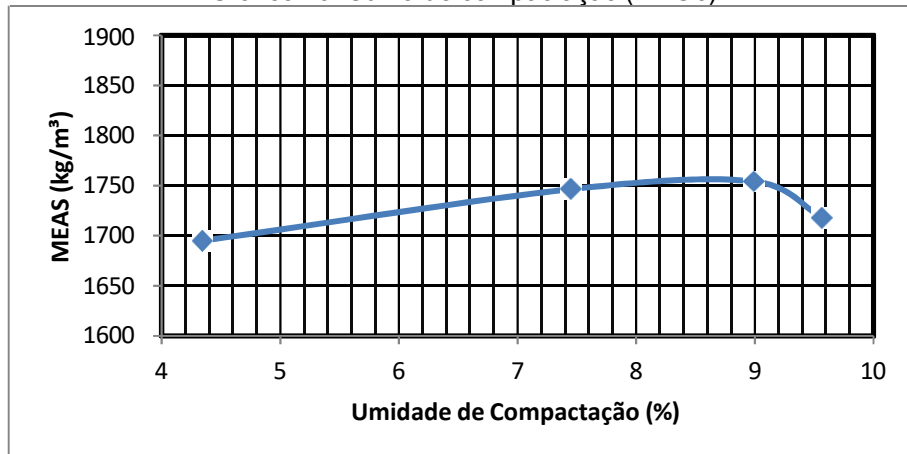
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 15: Curva de compactação (AMO5)



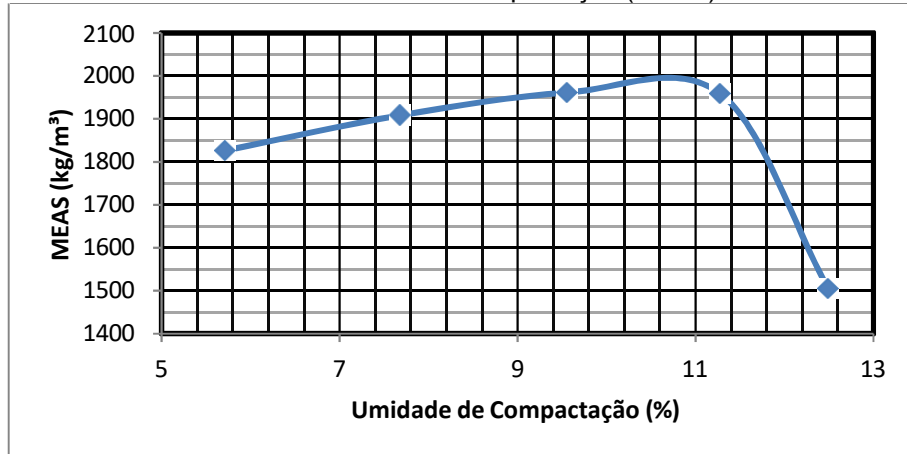
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 16: Curva de compactação (AMO6)



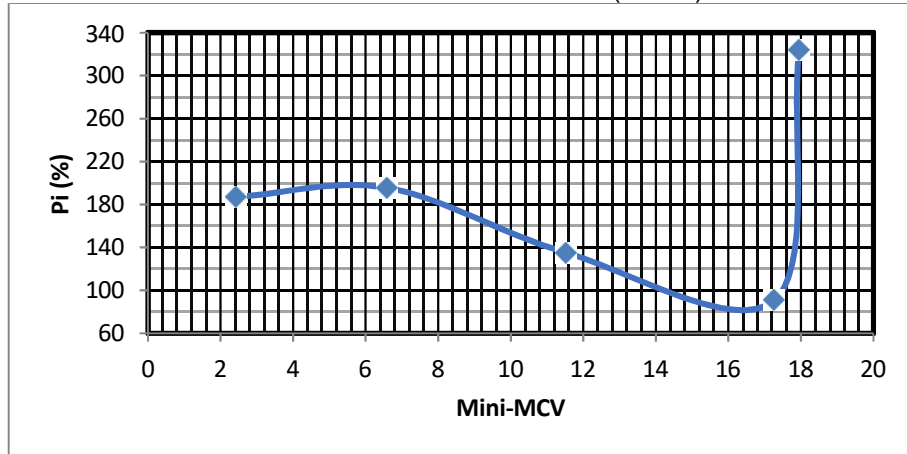
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 17: Curva de compactação (AM07)



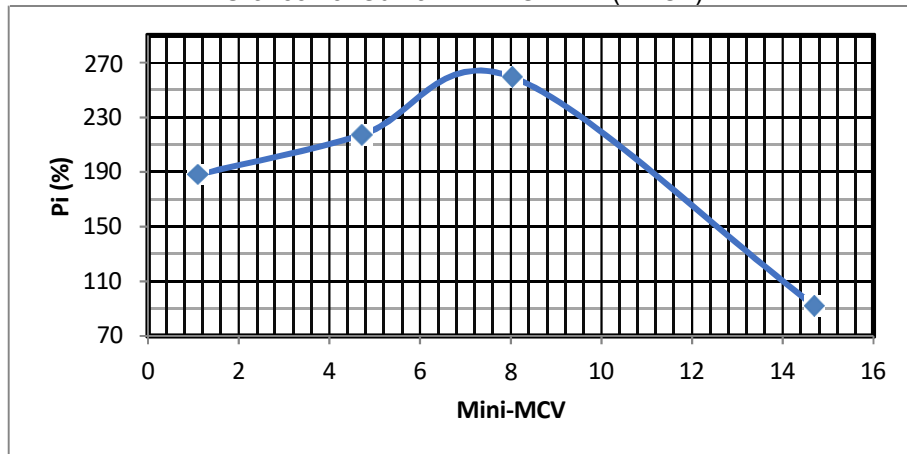
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 18: Curva Mini-MCV x Pi (AM01)



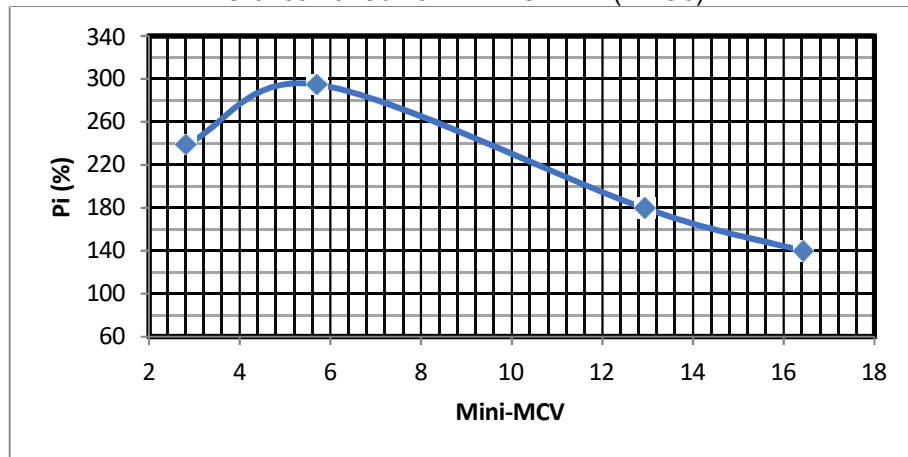
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 19: Curva Mini-MCV x Pi (AM02)



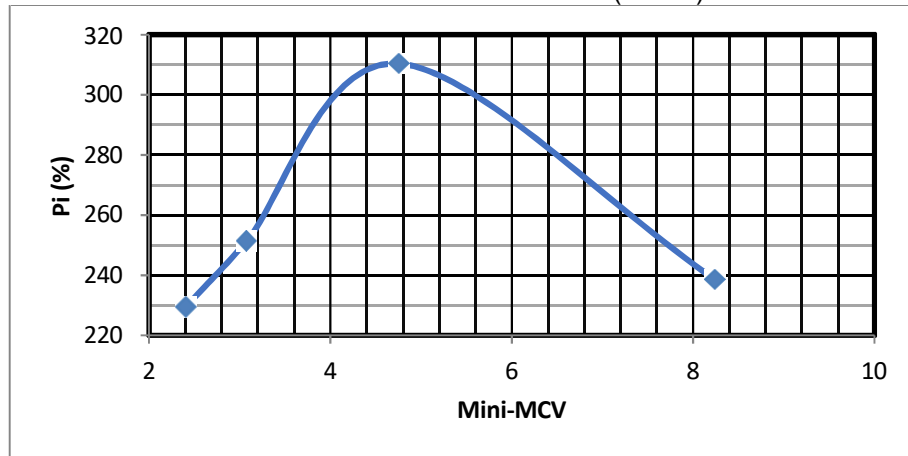
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 20: Curva Mini-MCV x Pi (AMO3)



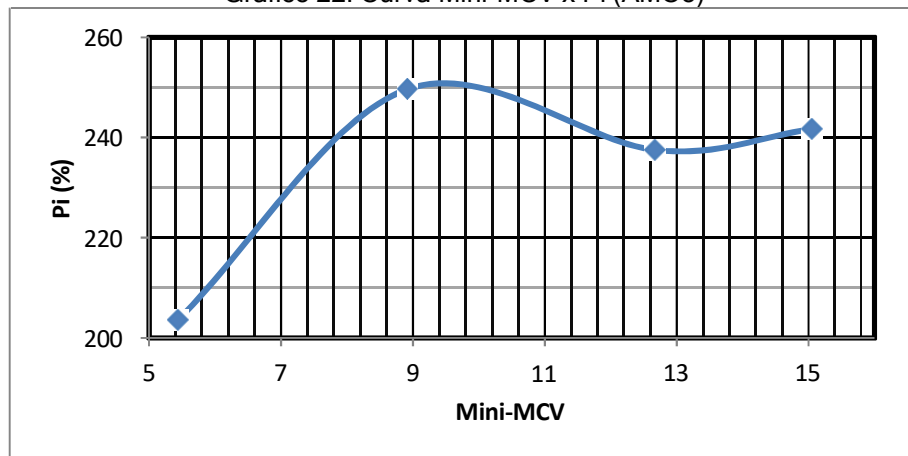
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 21: Curva Mini-MCV x Pi (AMO4)



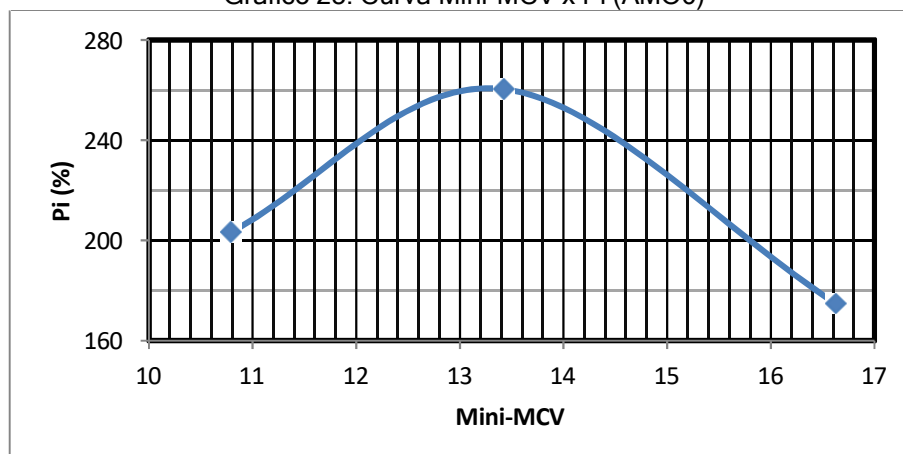
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 22: Curva Mini-MCV x Pi (AMO5)



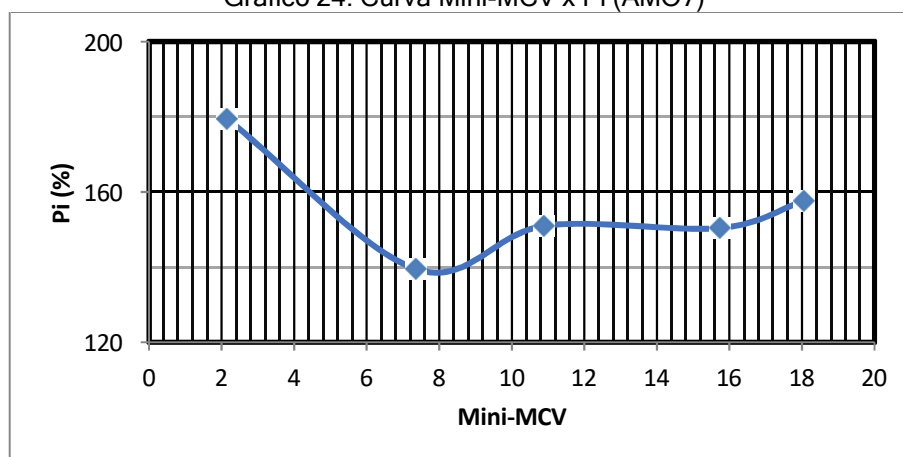
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 23: Curva Mini-MCV x Pi (AMO6)



Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 24: Curva Mini-MCV x Pi (AMO7)



Fonte: O Autor (2019)

4.1.2 Análise Granulométrica

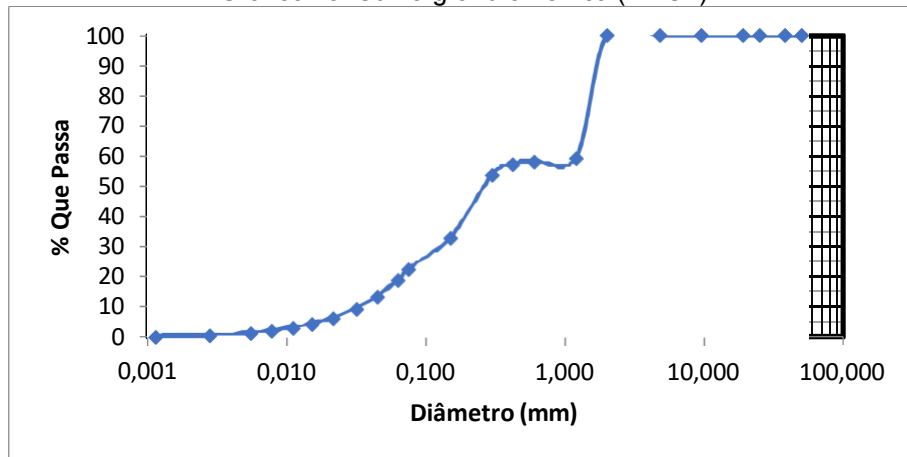
A tabela 2 mostra a composição granulométrica das amostras de acordo com a norma ABNT NBR 6502/1995, e nos gráficos 25 a 30, mostram as respectivas curvas granulométricas.

Tabela 2: Composição granulométrica das amostras

% de material	Amostras					
	AMO1	AMO2	AMO4	AMO5	AMO6	AMO7
Pedregulho	0	0	0	0	0	0
Areia grossa e média	77,50	58,10	37,50	80,50	74,00	71,70
Areia fina, silte e argila	22,50	41,90	62,50	19,50	26,00	28,30

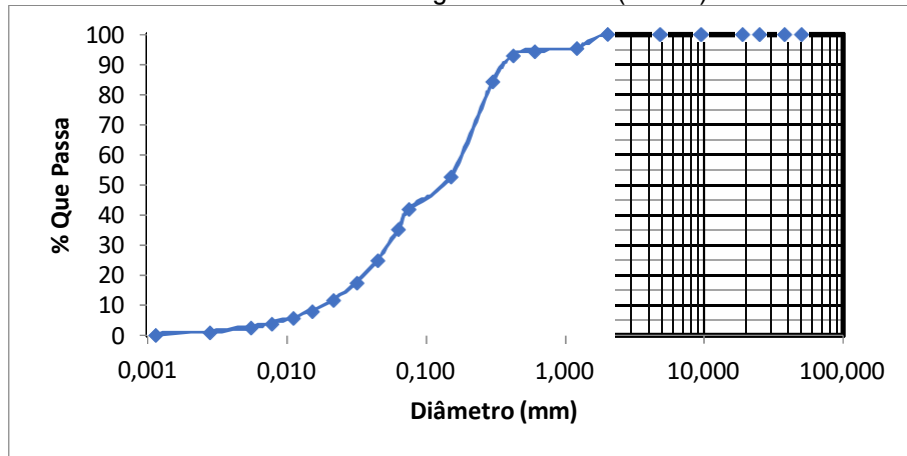
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 25: Curva granulométrica (AMO1)



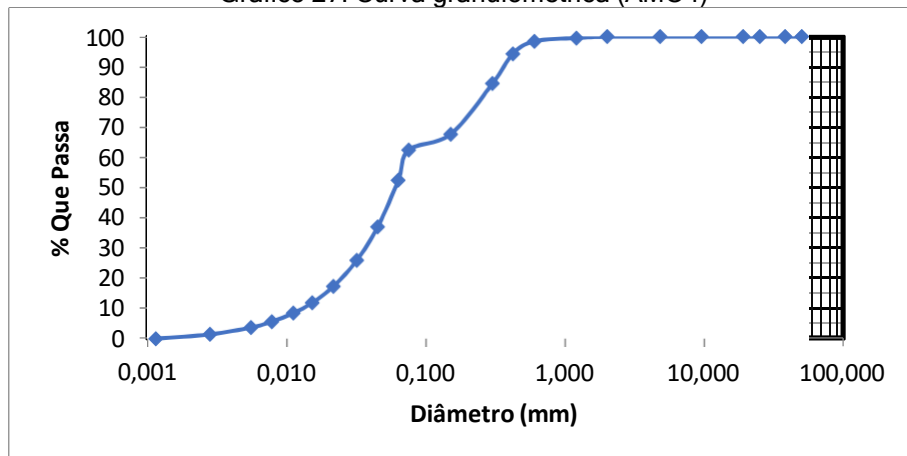
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 26: Curva granulométrica (AMO2)



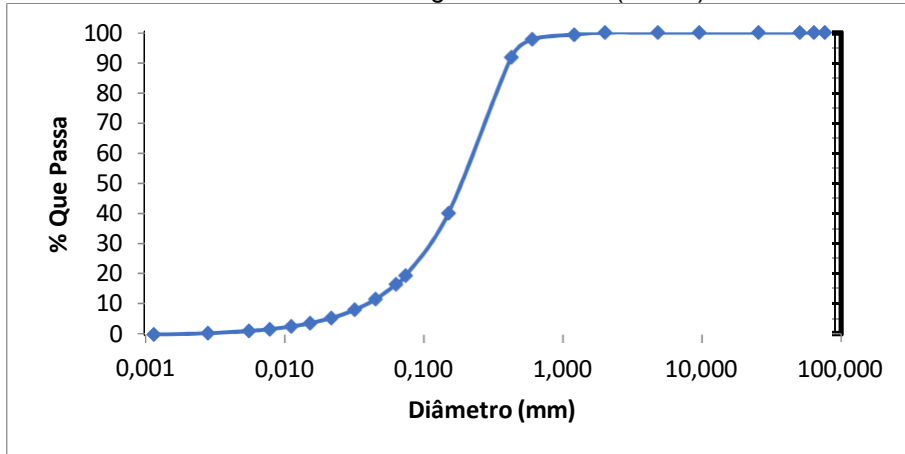
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 27: Curva granulométrica (AMO4)



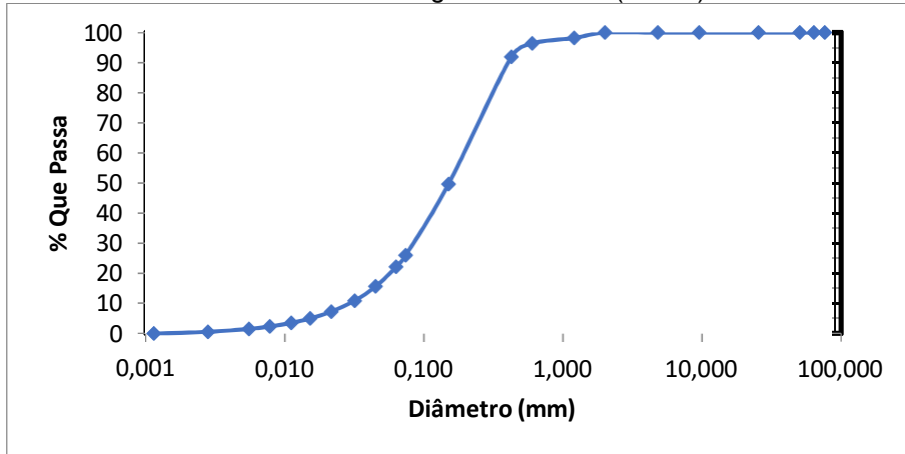
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 28: Curva granulométrica (AMO5)



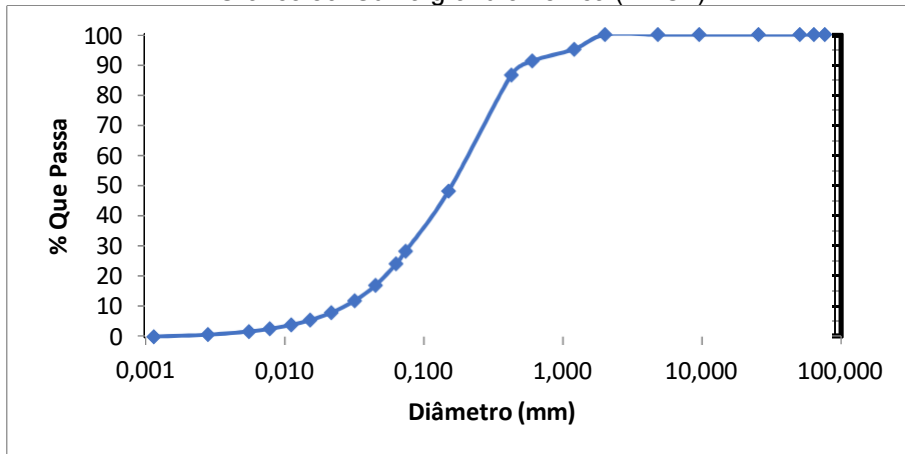
Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 29: Curva granulométrica (AMO6)



Fonte: O Autor (2019)

Gráfico 30: Curva granulométrica (AMO7)



Fonte: O Autor (2019)

4.1.3 Densidade Real

A tabela 3 apresenta os resultados para o ensaio de densidade real das amostras.

Tabela 3: Densidade real dos materiais

Amostra	Densidade real (g/cm ³)
AMO1	2,698
AMO2	2,601
AMO4	2,610
AMO5	2,651
AMO6	2,601
AMO7	2,705

Fonte: O Autor (2019)

4.1.4 Limites de Atterberg

A tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios LL, LP e IP das amostras de solo.

As amostras na qual não foi possível determinar o LL ou LP, anotou-se o índice como não plástico, conforme a nota 2 do item 6 da DNER-ME 082/94 (1994, p. 3).

Tabela 4: Resultados dos Limites de Atterberg das amostras

Amostra	Limites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
AMO1	20,20	14,58	5,63
AMO2	20,07	15,43	4,64
AMO4	20,28	15,26	5,02
AMO5	16,02	NP	NP
AMO6	17,01	NP	NP
AMO7	15,51	13,19	2,32

Fonte: O Autor (2019)

4.1.5 Classificação TRB

A tabela 5 mostra as classificações TRB e os respectivos IG's das amostras a partir dos resultados dos ensaios de granulometria, LL e IP.

Tabela 5: Classificação das amostras através do TRB

Amostra	Índice de Grupo (IG)	Classificação TRB	Materiais Constituintes	Comportamento como Subleito
AMO1	0	A-2-4	Pedregulho ou areias siltosas ou argilosas	Excelente a bom
AMO2	8	A-4	Solo siltoso	Sofrível a mau
AMO4	8	A-4		
AMO5	0	A-2-4	Pedregulho ou areias siltosas ou argilosas	Excelente a bom
AMO6	0	A-2-4		
AMO7	0	A-2-4		

Fonte: O Autor (2019)

4.1.6 Compactação Proctor

Para cada uma das 6 amostras de solos classificadas como solos lateríticos finos mencionados nesta pesquisa, foram realizados ensaios de compactação na energia modificada utilizando amostras trabalhadas.

A tabela 6 mostra os valores de massa específica aparente seca máxima e de umidade ótima das amostras ensaiadas.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de compactação Proctor

Amostra	Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
AMO1	2,059	10,15
AMO2	2,031	10,77
AMO4	2,043	10,45
AMO5	1,962	8,81
AMO6	1,939	10,24
AMO7	2,036	9,84

Fonte: O Autor (2019)

4.1.7 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio foi realizado com as amostras não trabalhadas e seguiu os procedimentos da norma DNIT 172/2016-ME com energia modificada para estudo das amostras em camadas de base. A tabela 7 mostra os resultados obtidos.

Tabela 7: Resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Amostra	Expansão (%)	ISC (%)
AMO1	0,009	20,33
AMO2	0,078	29,17
AMO4	0,009	12,60
AMO5	0,007	23,76
AMO6	0,022	22,84
AMO7	0,026	18,45

Fonte: O Autor (2019)

4.1.8 Compactação Mini-Proctor

A tabela 8 mostra os resultados de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima obtidos a partir dos ensaios de compactação em equipamento miniatura, segundo DNER-ME 228/94, aplicando-se energia normal em amostras não trabalhadas.

Tabela 8: Resultados do ensaio de compactação em equipamento miniatura

Amostra	Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
AMO1	1,980	11,10
AMO2	1,990	11,22
AMO4	2,030	10,20
AMO5	1,810	8,23
AMO6	1,845	8,70
AMO7	1,943	9,28

Fonte: O Autor (2019)

4.1.9 Mini-CBR

A tabela 9 mostra os resultados obtidos no ensaio de Mini-CBR das amostras, segundo a norma DNER-ME 254/97, com imersão e sobrecarga

Tabela 9: Resultados dos ensaios de Mini-CBR

Amostra	Expansão (%)	Mini-CBR (%)
AMO1	0,001	14,55
AMO2	0,002	26,44
AMO4	0,001	7,52
AMO5	0,003	26,92
AMO6	0,010	16,73
AMO7	0,015	22,61

Fonte: O Autor (2019)

4.2 Análise dos Resultados

A Tabela 10 mostra a comparação entre as classificações TRB e a MCT.

Tabela 10: Comparativo entre as classificações TRB e MCT

Amostra	TRB	MCT
AMO1	A-2-4	LA'
AMO2	A-4	LA'
AMO4	A-4	LG'
AMO5	A-2-4	LA
AMO6	A-2-4	LA
AMO7	A-2-4	LA

Fonte: O Autor (2019)

As amostras AMO1 e AMO2, coletadas na mesma jazida, mas em locais diferentes, resultaram em classificações distintas pela classificação TRB. AMO1, AMO5, AMO6 e AMO7 possuem características de solos granulares finos siltosos de baixa compressibilidade, onde apresentam bom funcionamento como sub-base de pavimentos, enquanto as amostras AMO2 e AMO4 são as amostras que mais possuem material passante na peneira Nº 200 (41,90% e 62,50%, respectivamente), classificadas como A-4, e possuem comportamento subleito de sofrível à mau segundo a classificação TRB.

Quanto dos solos lateríticos, percebe-se uma possível predominância de solos com classificações LA (areias lateríticas quartzosa) na região de São Luís. Este fato é percebido nos estudos de Sant'Ana (2009, p. 133) para esta mesma região, embora ainda seja muito escasso a disponibilidade de solos lateríticos finos na região de São Luís. Em relação aos solos lateríticos argilosos finos, estes são ainda mais escassos, pois das sete analisadas apenas uma (AMO4) classificou-se como LG'.

Em relação aos ensaios mecânicos, houve uma boa relação de umidade ótima, variando em menos de 1% para quase toda as amostras, mesmo em energias diferentes, exceto para a amostra AMO6. Segundo Villibor e Nogami (2009, p. 250) o ensaio de compactação Mini-Proctor proporciona “diminuição drástica da quantidade de amostra e do esforço na aplicação dos golpes; possibilidade de medir, com exatidão, a altura do corpo de prova após a aplicação dos golpes do soquete e maior uniformidade nos corpos de prova compactados”. A tabela 11 mostra a relação entre os resultados obtidos através dos ensaios de Proctor e Mini-Proctor.

Tabela 11: Relação de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima obtida através dos ensaios de Proctor e Mini-Proctor

Amostra	Proctor		Mini-Proctor	
	Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)	Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
AMO1	2,059	10,15	1,980	11,10
AMO2	2,031	10,77	1,990	11,22
AMO4	2,043	10,45	2,030	10,20
AMO5	1,962	8,81	1,810	8,23
AMO6	1,939	10,24	1,845	8,70
AMO7	2,036	9,84	1,943	9,28

Fonte: O Autor (2019)

A tabela 12 mostra a relação dos resultados obtidos a partir dos ensaios de ISC e Mini-CBR.

Tabela 12: Resultados obtidos nos ensaios de ISC e Mini-CBR

Amostra	Índice de Suporte Califórnia		Mini-CBR	
	Expansão (%)	ISC (%)	Expansão (%)	Mini-CBR (%)
AMO1	0,009	20,33	0,001	14,55
AMO2	0,078	29,17	0,002	26,44
AMO4	0,009	12,60	0,001	7,52
AMO5	0,007	23,76	0,003	26,92
AMO6	0,022	22,84	0,010	16,73
AMO7	0,026	18,45	0,015	22,61

Fonte: O Autor (2019)

Percebe-se, quanto aos ensaios de capacidade de suporte das amostras, que, para algumas amostras, os resultados obtidos nos dois ensaios foram próximos.

Importante frisar que as correlações entre CBR e Mini-CBR são regionais e devem ser recalculadas sempre que houver variação do solo e da região em estudo. Sant'Ana (2009, p. 143) afirma que "as correlações entre os resultados de mini-CBR e CBR são encontradas em alguns trabalhos científicos, sendo que o próprio resultado de Mini-CBR origina-se de expressão baseada em correlação com Mini-CBR, desenvolvida empiricamente por Nogami (1972)".

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006, p. 142), os materiais para sub-base devem apresentar $CBR \geq 20\%$, $IG = 0$ e $expansão \leq 1\%$. Ainda segundo o Manual de Pavimentação, os valores de expansão para sub-base, subleito e reforço do subleito devem ser, respectivamente, igual ou inferior a 1%, 2% e 2%. Portanto, as amostras AMO1, AMO5, e AMO6 podem ser usadas em camadas de sub-base. Embora a amostra AMO2 possui CBR superior ao mínimo recomendado, não possui IG satisfatório. As amostras AMO2, AMO4 e AMO7 podem ser utilizadas como reforço do subleito.

5 CONCLUSÃO

Através dos ensaios realizados foi possível caracterizar as amostras de solos coletados na região de São Luís, segundo a classificação tradicional TRB e a metodologia MCT, chegando-se à conclusão, através dos resultados de capacidade de suporte ISC, de que as amostras ideais para uso em sub-base de pavimentos são AMO1, AMO2, AMO5 e AMO6. Além disso, as amostras AMO4 e AMO6 podem ser utilizadas como reforço do subleito. Nenhuma das amostras estudadas tem capacidade de suporte suficiente para uso em bases de pavimentos.

Os ensaios de caracterização indicaram um considerável teor de material fino (passante na peneira Nº 200) nas amostras AMO2 e AMO4. De acordo com os critérios de Burmister (1949 apud DAS, 2014, p. 78) as amostras AMO1 e AMO4 são consideradas de baixa plasticidade; as amostras AMO2 e AMO7 são consideradas de leve plasticidade; as amostras AMO5 e AMO6 são consideradas sem plasticidade.

Em relação às classificações TRB e MCT, pôde-se observar que os materiais AMO1 e AMO2 coletadas na mesma jazida, possuem classificações distintas pela TRB (A-2-4 e A-4, respectivamente) e iguais pela MCT (ambas LA').

Com este trabalho foi possível indicar as áreas mais propensas à ocorrência dos solos lateríticos e com o estudo foi possível mostrar as características geotécnicas básicas de um solo incidente nas áreas caracterizadas. Assim, pode-se dizer que a utilização de solos lateríticos como base de pavimentos na região de São Luís é possível, desde que haja a constatação das características geotécnicas requeridas através dos estudos de classificação MCT. Estes estudos podem ser realizados para cada trecho específico em que as características pedológicas, geomorfológicas e fisiográficas indiquem a ocorrência dos solos lateríticos.

Devido à grande necessidade de redução de custos na construção e manutenção de obras rodoviárias, o uso de materiais alternativos em bases e sub-bases de pavimentos deve ser incentivado. Entre os materiais alternativos presentes em nosso país em abundância, estão os solos lateríticos finos. Sabe-se que os solos lateríticos finos, quando devidamente compactados, apresentam CBR relativamente alto e baixa expansão.

Esse estudo faz-se necessário pois pode colaborar para suprir, parcialmente, o problema de carência de material para o uso em obras de

pavimentação, fato esse que tem se tornado uma realidade na região de São Luís, assim como em outras regiões do estado, quando se refere a encontrar solos com características ideais para esse tipo de obra. Além disso, tem-se a vantagem em executar um pavimento regionalizado, utilizando um solo típico de ambientes tropicais e que podem ser encontrados em diversas regiões do país, bem como na área metropolitana de São Luís.

A confirmação do bom comportamento dos solos lateríticos finos para uso em camadas de pavimento, não só reduzem os custos necessários de transporte para busca de materiais nobres, mas aproveita o potencial dos solos disponíveis na região de execução das obras rodoviárias. Portanto, é importante reforçar a necessidade da aplicação efetiva de ensaios adequados à realidade dos solos lateríticos brasileiros.

Para os trabalhos futuros sugere-se:

- Aumentar a abrangência deste estudo para outros tipos de solos para a região de São Luís;
- Realizar o ensaio de Módulo de Resiliência das amostras de solos encontrados na região de São Luís;
- Correlacionar os estudos de ensaios de Mini-CBR com CBR para os solos lateríticos finos da região de São Luís.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. F. de. **Mapeamento Geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia – MG**. 2005. 140f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ARAÚJO, C. B. C. de; NETO, S. A. D. **Caracterização de solos lateríticos para utilização em pavimentos de baixo custo na cidade de Canindé/CE**. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiânia: 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: 2016 Versão corrigida: 2016: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 6502:1995: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

BARBOSA, F. C. **Solos lateríticos para pavimentação no sul de minas: estudo de caso para a rodovia Municipal de Ligação Alfenas-Fama**. 2014. 79f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Itajubá, Itajubá, 2014.

BARROSO, S. H. de A. **Estudo dos solos da região metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária**. 2002. 178f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERNUCCI, L. L. B., et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1ºed. Programa Asfalto nas Universidades, Petrobras Distribuidora S.A., 2006.

BRASIL. Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de rodovias 2018**. Brasília: SEST SENAT, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3º ed. Rio de Janeiro, 2006, 274p.

_____. DNIT 164/2013-ME: **Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas**. Brasília, 2013.

_____. DNIT 172/2016-ME: **Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Brasília, 2016.

DAS, Braja M.; KHALED, Sobhan. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DIAS, I. de M. **Estudo de solos tropicais para uso em pavimentação a partir de ensaios triaxiais estáticos**. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-CLA 259/96: **Classificação dos solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpo-de-prova compactados em equipamento miniatura**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. DNER-ME 041/94: **Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 051/94: **Solos – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 080/94: **Solos – análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 082/94: **Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 122/94: **Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 162/94: **Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 228/94: **Compactação em equipamento miniatura**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 254/97: **Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-CBR e expansão**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. DNER-ME 256/94: **Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 258/94: **Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV**. Rio de Janeiro, 1994.

MARSON, Michele. **Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais**. 2004. 216f. Tese (Mestrado em Ciência no Curso de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

MATOS, A. C. R. **Estabilização de solos com utilização de revestimento asfáltico fresado em camadas de pavimentos**. 2018. 138f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2015.

MÉLO, V. da. S. **Classificação e estabilização de solos lateríticos do estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

PINTO, Salomão. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: S. Pinto, 2002.

RESCHETTI, P. R. Jr. **Avaliação do comportamento mecânico de um solo arenoso fino laterítico reforçado com fibras para uso em pavimentos**. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANT'ANA, W. C. **Contribuição ao estudo de solo-emulsão em pavimentos de vias de baixo volume de tráfego para o Estado do Maranhão**. 2004. 341f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2009.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 2007.

SOARES, W. M. **Relatório Parcial: estudo de solos lateríticos fino para uso em pavimentação a partir da metodologia MCT**. Programa de bolsas de iniciação científica FAPEMA. Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, MA. 2019.

SOARES, W. M. **Uso de solos lateríticos fino para uso em pavimentação a partir dos métodos HRB e MCT**. Programa de bolsas de iniciação científica CNPq. Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, MA. 2018.

SOUSA, R. A. de. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia - MG**. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TAKEDA, M. de C. **A influência da variação da umidade pós-compactação no comportamento mecânico de solos de rodovias do interior paulista**. 2006. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

VENTURINI, J. A. **Aplicação da metodologia MCT para classificação de alguns solos e rochas da região de santa maria**. 2015. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VILLIBOR, D. F.; ALVES, D. M. L. **Pavimentação de baixo custo em regiões tropicais: solos lateríticos em rodovias - experiência brasileira**. 1. ed. São Paulo: 2019.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Pavimentos Econômicos**: Tecnologia de uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

VILLIBOR, D. F., et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. 196 p. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A - MINI-MCV

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				JAZIDA: NEWTON AMOSTRA: AMO1						OPERADOR: Wanderson Moraes Soares DATA: 04/05/2019					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	188,68			185,60			181,83			178,88			176,13		
Umidade (%)	6,00			7,76			9,99			11,80			13,55		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	68,03	6,50	1415,03	70,88	11,19	1335,98	65,60	10,02	1414,18	59,93	9,20	1522,90	53,37	4,46	1683,79
2	64,76	6,55	1486,48	65,55	10,67	1444,61	60,29	8,83	1538,73	54,58	6,59	1672,17	49,94	1,19	1799,43
3	62,91	6,27	1530,19	61,80	8,93	1532,27	57,43	7,91	1615,36	51,07	2,99	1787,10	49,09		1830,59
4	61,53	5,84	1564,51	59,69	8,03	1586,44	55,58	8,15	1669,13	50,73	2,66	1799,08	48,91		1837,33
6	59,55	5,17	1616,53	56,77	6,84	1668,03	51,99	5,57	1784,38	48,42	0,36	1884,91	48,78		1842,22
8	58,21	4,70	1653,75	54,88	5,98	1725,48	51,46	5,08	1802,76	47,99		1901,80	48,75		1843,36
12	56,64	3,93	1699,59	52,87	5,20	1791,08	49,52	3,15	1873,39	48,08		1898,24			
16	55,69	3,96	1728,58	51,66	4,79	1833,03	47,43	1,07	1955,94	48,07		1898,63			
24	54,38	3,45	1770,22	49,93	3,24	1896,54	46,42		1998,49	48,06		1899,03			
32	53,51	3,13	1799,00	48,90	2,98	1936,49	46,38		2000,22						
48	52,71	2,75	1826,30	47,67	2,30	1986,46	46,37		2000,65						
64	51,73	1,91	1860,90	46,87	1,39	2020,36	46,36		2001,08						
96	50,93		1890,13	46,69		2028,15									
128	50,38		1910,77	45,92		2062,16									
192	49,96		1926,83	45,37		2087,16									
256	49,82		1932,25	45,48		2082,11									
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	273,91			172,62			204,95			231,09			240,03		
Peso da Cápsula (g)	151,23			135,59			151,97			158,35			172,46		
Peso Solo Seco (g)	122,68			37,03			52,98			72,74			67,57		
Perda de Massa por Imersão (%)	323,93			90,74			135,08			195,43			187,02		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				JAZIDA: NEWTON AMOSTRA: AMO2						OPERADOR: Wanderson Moraes Soares DATA: 04/05/2019					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	186,32			182,90			179,82			177,43			173,59		
Umidade (%)	7,34			9,35			11,23			12,72			15,22		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	73,83	12,14	1287,55	65,28	10,52	1429,49	60,42	9,98	1518,42	58,29	9,96	1553,06	51,93	2,72	1705,47
2	67,14	10,34	1415,85	59,53	8,43	1567,56	54,92	7,21	1670,48	52,08	4,28	1738,24	49,40	0,26	1792,81
3	63,94	9,62	1486,71	56,69	7,54	1646,09	52,06	5,19	1762,25	49,50	1,91	1828,84	49,29		1796,81
4	61,69	9,01	1540,93	54,76	6,72	1704,11	50,44	3,79	1818,85	48,33		1873,11	49,21		1799,73
6	58,70	7,81	1619,42	52,55	5,94	1775,77	48,69	2,15	1884,22	47,89		1890,32	49,13		1802,66
8	56,80	6,88	1673,59	51,10	5,30	1826,16	47,71	1,33	1922,92	47,80		1893,88	49,14		1802,30
12	54,32	5,64	1750,00	49,15	4,38	1898,61	46,87		1957,39	47,59		1902,24			
16	52,68	4,67	1804,48	48,04	3,80	1942,48	46,65		1966,62						
24	50,89	3,75	1867,95	46,61	2,62	2002,08	46,54		1971,26						
32	49,92	3,28	1904,25	45,80	1,72	2037,49	46,38		1978,06						
48	48,68	2,82	1952,75	44,77		2084,36									
64	48,01	2,56	1980,00	44,24		2109,33									
96	47,14		2016,55	43,99		2121,32									
128	46,64		2038,16	44,08		2116,99									
192	45,86		2072,83												
256	45,45		2091,53												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	535,75			560,18			656,44			635,75			589,57		
Peso da Cápsula (g)	531,10			522,00			555,90			554,80			523,10		
Peso Solo Seco (g)	4,65			38,18			100,54			80,95			66,47		
Perda de Massa por Imersão (%)	11,34			92,02			259,32			217,12			188,17		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				JAZIDA: NEWTON AMOSTRA: AMO3						OPERADOR: Wanderson Moraes Soares DATA: 29/05/2019					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	188,91			186,97			181,81			179,81			176,60		
Umidade (%)	5,87			6,97			10,00			11,23			13,25		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	74,85	14,91	1287,68	64,48	8,26	1479,44	58,73	6,82	1579,45	56,91	7,35	1612,01	53,63	4,84	1680,09
2	65,96	10,09	1461,23	60,24	6,91	1583,58	54,91	4,94	1689,33	52,43	4,30	1749,75	50,13	1,71	1797,39
3	62,08	7,87	1552,56	57,79	5,75	1650,71	52,98	3,98	1750,87	50,58	2,73	1813,74	49,10		1835,10
4	59,94	6,66	1607,99	56,22	4,94	1696,81	51,91	3,63	1786,96	49,56	1,72	1851,07	48,79		1846,76
6	57,34	5,13	1680,90	54,40	4,03	1753,58	50,71	3,42	1829,25	48,58		1888,42	48,45		1859,72
8	55,87	4,26	1725,13	53,33	3,59	1788,76	49,97	3,20	1856,34	48,13		1906,07	48,42		1860,87
12	54,21	3,40	1777,96	52,04	3,13	1833,10	49,00	2,75	1893,08	47,85		1917,22			
16	53,28	2,93	1808,99	51,28	2,86	1860,27	48,28	2,38	1921,31	47,84		1917,63			
24	52,21	2,71	1846,06	50,37	2,60	1893,88	47,29	1,55	1961,54						
32	51,61	2,47	1867,53	49,74	2,27	1917,87	46,77		1983,35						
48	50,81	2,17	1896,93	48,91	1,91	1950,41	46,25		2005,64						
64	50,35	2,71	1914,26	48,42		1970,15	45,90		2020,94						
96	49,50		1947,13	47,77		1996,96	45,74		2028,01						
128	49,14		1961,40	47,47		2009,58									
192	48,64		1981,56	47,00		2029,67									
256	47,64		2023,15												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	660,72			614,18			619,23			627,84			618,86		
Peso da Cápsula (g)	549,75			558,65			547,85			517,01			531,83		
Peso Solo Seco (g)	110,97			55,53			71,38			110,83			87,03		
Perda de Massa por Imersão (%)	279,85			139,59			179,58			294,87			238,61		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				JAZIDA: HOSPITAL DA ILHA AMOSTRA: AMO4						OPERADOR: Wanderson Moraes Soares DATA: 30/05/2019					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	184,75			181,08			179,11			175,45			173,51		
Umidade (%)	8,26			10,45			11,66			13,99			15,27		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	68,27	8,31	1380,68	60,45	10,95	1528,33	58,03	10,82	1574,78	55,42	7,70	1615,21	53,99	5,55	1639,64
2	64,65	9,25	1457,99	54,58	8,07	1692,70	51,39	4,77	1778,25	49,51	2,04	1808,02	49,01	0,75	1806,25
3	61,99	8,98	1520,55	51,56	5,48	1791,85	48,57	1,98	1881,50	48,21	0,75	1856,77	48,61		1821,11
4	59,96	8,49	1572,03	49,50	3,30	1866,42	47,21		1935,70	47,72		1875,84	48,44		1827,50
6	57,28	7,56	1645,58	47,46	2,27	1946,64	46,63		1959,78	47,50		1884,53	48,41		1828,64
8	55,40	6,75	1701,43	46,51	1,46	1986,40	46,62		1960,20	47,47		1885,72	48,26		1834,32
12	53,01	5,80	1778,14	46,08		2004,94	46,59		1961,46	47,46		1886,12			
16	51,47	5,06	1831,34	46,20		1999,73									
24	49,72	4,24	1895,80	45,19		2044,43									
32	48,65	3,78	1937,49	45,05		2050,78									
48	47,21	3,14	1996,59												
64	46,41	3,29	2031,01												
96	45,48		2072,54												
128	44,87		2100,71												
192	44,07		2138,85												
256	43,12		2185,97												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	91,73			146,99			171,27			153,38			131,53		
Peso da Cápsula (g)	62,51			51,10			51,94			60,49			49,02		
Peso Solo Seco (g)	29,22			95,89			119,33			92,89			82,51		
Perda de Massa por Imersão (%)	68,20			238,56			310,39			251,27			229,50		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				RODOVIA: VIA EXPRESSA AMOSTRA: AMO4						OPERADOR: Pesquisador DATA: 20/01/2018					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	193,25			187,39			184,59			182,57			179,03		
Umidade (%)	3,50			6,73			8,35			9,55			11,71		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	66,90	12,49	1473,76	39,29	6,31	2433,37	42,20	4,98	2231,72	44,05	4,62	2114,59	43,86	6,95	2082,62
2	73,17	9,24	1347,47	43,41	3,98	2202,42	45,46	3,27	2071,68	47,23	3,38	1972,22	48,65	3,31	1877,57
3	77,21	6,81	1276,97	44,75	3,61	2136,47	46,50	2,96	2025,35	48,13	2,96	1935,34	49,74	2,46	1836,43
4	79,39	5,62	1241,90	45,60	3,30	2096,65	47,18	2,78	1996,16	48,67	3,04	1913,87	50,81	1,58	1797,75
6	81,19	5,10	1214,37	46,67	2,97	2048,58	48,24	2,58	1952,30	49,39	2,86	1885,97	51,44		1775,74
8	82,41	4,75	1196,39	47,39	2,77	2017,45	48,73	2,65	1932,66	50,61	1,90	1840,50	51,96		1757,96
12	84,02	4,13	1173,47	48,36	2,28	1976,99	49,46	2,28	1904,14	51,09		1823,21	52,20		1749,88
16	85,01	3,82	1159,80	48,90	2,08	1955,15	49,96	2,15	1885,08	51,71		1801,35	52,39		1743,54
24	86,29	3,16	1142,60	49,64	2,03	1926,01	50,82	1,68	1853,18	52,25		1782,73			
32	87,16	2,95	1131,19	50,16	2,00	1906,04	51,38		1832,98	52,51		1773,91			
48	88,15	2,52	1118,49	50,64		1887,98	51,74		1820,23						
64	88,83	2,15	1109,92	50,98		1875,38	52,11		1807,31						
96	89,45		1102,23	51,67		1850,34	52,50		1793,88						
128	90,11		1094,16	52,16		1832,96									
192	90,67		1087,40												
256	90,98		1083,69												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	116,01			145,08			133,54			134,37			110,54		
Peso da Cápsula (g)	30,18			29,81			29,65			30,89			27,44		
Peso Solo Seco (g)	85,83			115,27			103,89			103,48			83,10		
Perda de Massa por Imersão (%)	297,14			241,69			237,51			249,67			203,58		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				RODOVIA: VIA EXPRESSA AMOSTRA: AMO6						OPERADOR: Pesquisador DATA: 05/07/2018					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	191,67			186,13			183,50			182,54			179,28		
Umidade (%)	4,34			7,45			8,99			9,57			11,56		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	73,13	10,89	1337,23	68,43	9,66	1387,80	63,18	6,92	1481,83	62,73	6,13	1484,65	59,64	4,74	1533,68
2	66,38	7,84	1473,21	61,34	6,55	1548,20	59,10	5,10	1584,13	59,16	4,64	1574,24	56,87	3,37	1608,38
3	63,78	6,91	1533,27	59,18	5,21	1604,71	57,36	4,60	1632,18	57,54	3,65	1618,56	55,69	2,97	1642,46
4	62,24	6,35	1571,21	58,77	5,98	1615,91	56,26	4,39	1664,09	56,60	3,55	1645,44	54,90	2,73	1666,09
6	59,84	5,01	1634,22	55,90	4,40	1698,87	54,92	4,12	1704,70	55,35	3,28	1682,60	54,11	2,55	1690,42
8	58,54	4,32	1670,51	54,79	4,11	1733,29	54,00	3,84	1733,74	54,52	3,00	1708,22	53,50	2,33	1709,69
12	56,87	3,46	1719,57	53,97	4,20	1759,62	52,76	3,43	1774,49	53,89	2,93	1728,19	52,72	2,00	1734,99
16	55,89	2,97	1749,72	52,79	3,40	1798,96	51,87	3,09	1804,93	53,05	2,55	1755,55	52,17		1753,28
24	54,83	2,52	1783,55	51,50	2,58	1844,02	50,80	2,67	1842,95	52,07	1,88	1788,59	51,56		1774,02
32	54,22	2,34	1803,61	50,68	1,85	1873,85	50,16	2,39	1866,46	51,52		1807,69	51,17		1787,54
48	53,41	1,76	1830,97	49,77		1908,11	49,33	1,96	1897,87	50,96		1827,55	50,72		1803,40
64	52,92		1847,92	49,39		1922,79	48,78		1919,27	50,50		1844,20			
96	52,31		1869,47	48,92		1941,27	48,13		1945,19	50,19		1855,59			
128	51,88		1884,96	48,83		1944,85	47,77		1959,85						
192	51,65		1893,36				47,37		1976,40						
256															
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	68,30			79,30			97,30			125,50			99,50		
Peso da Cápsula (g)	30,20			29,90			29,60			30,80			27,60		
Peso Solo Seco (g)	38,10			49,40			67,70			94,70			71,90		
Perda de Massa por Imersão (%)	102,67			129,59			174,77			260,38			203,41		

ENSAIO DE MINI - MCV DNER-258/94				RODOVIA: VALE S.A. AMOSTRA: AMO7						OPERADOR: Pesquisador DATA: 05/01/2019					
Cilindro Nº	1			2			3			4			5		
Peso Solo Úmido a Compactar (g)	200,00			200,00			200,00			200,00			200,00		
Peso Solo Seco Compactado (g)	189,18			185,74			182,55			179,74			177,79		
Umidade (%)	5,72			7,68			9,56			11,27			12,49		
Nº de Golpes	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)	Altura (mm)	Δh (mm)	M.E.A.S. (Kg/m³)
1	64,96	8,46	1485,88	63,50	10,02	1492,33	56,33	6,71	1653,42	55,39	6,70	1655,59	52,30	4,36	1734,43
2	60,36	6,83	1599,12	57,15	6,85	1658,15	51,89	3,97	1794,90	50,94	3,88	1800,21	48,45	0,68	1872,25
3	57,88	5,70	1667,64	54,90	5,87	1726,11	51,37	3,53	1813,07	49,58	3,04	1849,60	48,10		1885,88
4	56,50	5,22	1708,37	53,48	5,30	1771,94	49,62	3,08	1877,01	48,69	2,52	1883,40	47,94		1892,17
6	54,59	4,44	1768,14	51,38	4,14	1844,36	48,69	2,66	1912,86	47,71	1,80	1922,09	47,88		1894,54
8	53,53	4,12	1803,15	50,30	3,63	1883,96	47,92	2,50	1943,60	47,06		1948,64	47,77		1898,91
12	52,18	3,69	1849,81	49,03	3,16	1932,76	47,06	2,01	1979,12	46,54		1970,41			
16	51,28	3,41	1882,27	48,18	2,79	1966,86	46,54	1,87	2001,23	46,17		1986,20			
24	50,15	2,91	1924,68	47,24	2,45	2005,99	46,03		2023,40	45,91		1997,45			
32	49,41	2,59	1953,51	46,67	2,17	2030,49	45,42		2050,58						
48	48,49	2,34	1990,57	45,87	1,67	2065,91	45,05		2067,42						
64	47,87	2,00	2016,35	45,39		2087,75	44,67		2085,01						
96	47,24		2043,24	44,79		2115,72									
128	46,82		2061,57	44,50		2129,51									
192	46,15		2091,50	44,20		2143,96									
256	45,87		2104,27												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO															
Cápsula Nº	1			2			3			4			5		
Comp. Saliente (cm)	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Volume (cm³)	19,60			19,60			19,60			19,60			19,60		
Peso Solo Seco + Cápsula (g)	92,10			93,30			91,60			85,50			94,60		
Peso da Cápsula (g)	27,10			30,10			29,90			30,90			27,80		
Peso Solo Seco (g)	65,00			63,20			61,70			54,60			66,80		
Perda de Massa por Imersão (%)	157,60			150,40			150,98			139,46			179,48		

APÊNDICE B - LIMITES DE ATTERBERG



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO1

Operador: Wanderson Moraes Soares

Data: 15/05/2019

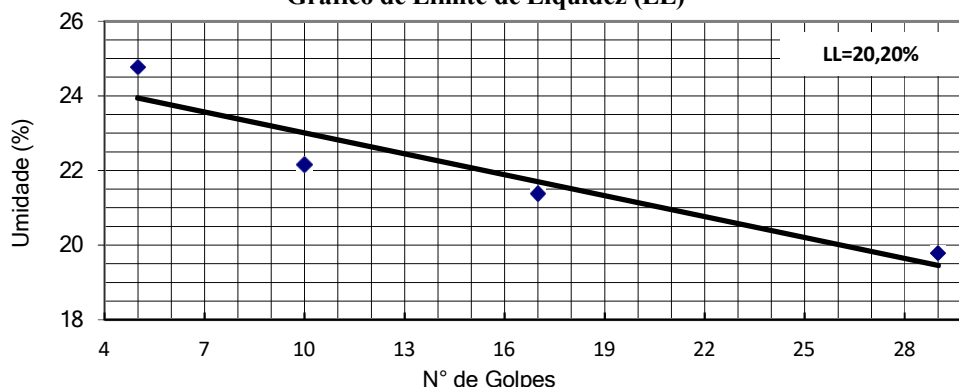
LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Solo Úmido + Cápsula (g)	33,30	37,13	32,72	24,52	32,87	23,14	27,08	30,83
Solo Seco + Cápsula (g)	30,29	33,38	29,65	22,97	30,73	21,97	25,58	28,63
Peso da Cápsula (g)	18,21	18,15	15,95	15,90	19,86	16,90	18,10	17,36
Água (g)	3,01	3,75	3,07	1,55	2,14	1,17	1,50	2,20
Solo Seco (g)	12,08	15,23	13,70	7,07	10,87	5,07	7,48	11,27
Umidade (%)	24,92	24,62	22,41	21,92	19,69	23,08	20,05	19,52
Umidade Média (%)	24,77		22,17		21,38		19,79	
Número de golpes	5		10		17		29	

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°:	27	7	19	42	35	8	43	20
Solo Úmido + Cápsula (g)	6,56	7,00	7,85	7,66	5,78	5,97	6,10	6,18
Solo Seco + Cápsula (g)	6,27	6,70	7,45	7,23	5,58	5,80	5,86	6,00
Peso da Cápsula (g)	4,28	4,62	4,66	4,39	4,21	4,65	4,23	4,76
Peso da água (g)	0,29	0,30	0,40	0,43	0,20	0,17	0,24	0,18
Solo seco (g)	1,99	2,08	2,79	2,84	1,37	1,15	1,63	1,24
Umidade (%)	14,57	14,42	14,31	14,98	14,47	14,51	14,56	14,78
LP (%)	14,58							

Gráfico de Limite de Liquidez (LL)



Resultados:

LL (%):	20,20	LP (%):	14,58	IP (%):	5,63
----------------	--------------	----------------	--------------	----------------	-------------



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO2

Operador: Wanderson Moraes Soares

Data: 15/05/2019

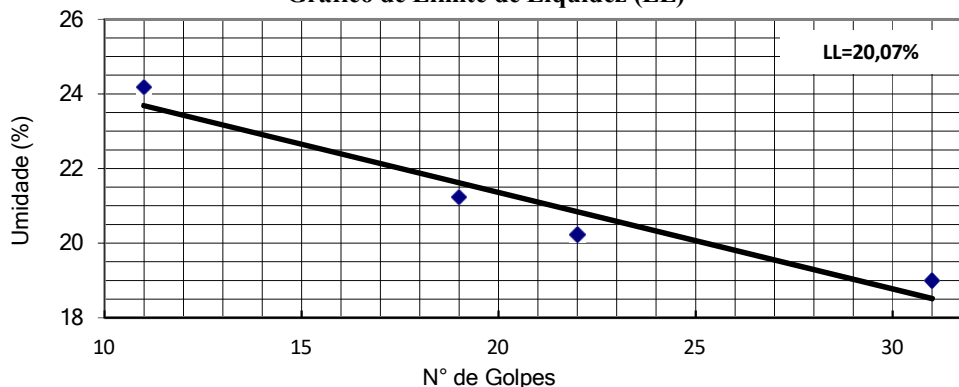
LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Solo Úmido + Cápsula (g)	41,43	34,77	34,13	32,53	33,52	34,60	31,73	36,26
Solo Seco + Cápsula (g)	36,5	31,49	30,94	30,01	30,21	31,63	29,45	33,46
Peso da Cápsula (g)	15,9	18,07	15,95	18,12	13,87	16,94	17,32	18,88
Água (g)	4,93	3,28	3,19	2,52	3,31	2,97	2,28	2,80
Solo Seco (g)	20,60	13,42	14,99	11,89	16,34	14,69	12,13	14,58
Umidade (%)	23,93	24,44	21,28	21,19	20,26	20,22	18,80	19,20
Umidade Média (%)	24,19		21,24		20,24		19,00	
Número de golpes	11		19		22		31	

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°:	27	7	19	42	35	8	43	20
Solo Úmido + Cápsula (g)	6,66	6,73	7,85	7,66	5,78	5,97	6,10	6,18
Solo Seco + Cápsula (g)	6,34	6,45	7,41	7,23	5,56	5,80	5,85	5,99
Peso da Cápsula (g)	4,28	4,62	4,66	4,39	4,21	4,65	4,23	4,76
Peso da água (g)	0,32	0,28	0,44	0,43	0,22	0,17	0,25	0,19
Solo seco (g)	2,06	1,83	2,75	2,84	1,35	1,15	1,62	1,23
Umidade (%)	15,63	15,21	15,99	15,32	15,89	15,01	15,22	15,16
LP (%)	15,43							

Gráfico de Limite de Liquidez (LL)



Resultados:

LL (%):	20,07	LP (%):	15,43	IP (%):	4,64
----------------	--------------	----------------	--------------	----------------	-------------



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO4

Operador: Wanderson Moraes Soares

Data: 15/05/2019

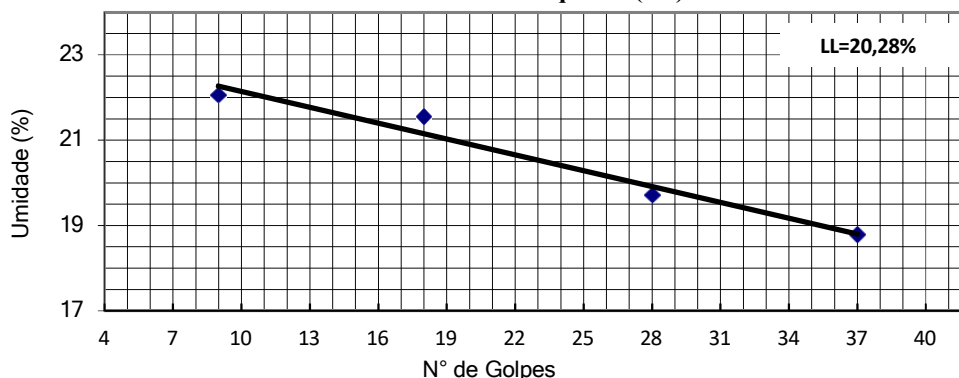
LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Cápsula n°	27	36	30	7	35	46	41	14
Solo Úmido + Cápsula (g)	10,21	8,72	10,30	9,71	9,80	11,56	11,80	12,05
Solo Seco + Cápsula (g)	9,14	7,89	9,26	8,81	8,90	10,47	10,63	10,80
Peso da Cápsula (g)	4,26	4,15	4,45	4,62	4,41	4,85	4,34	4,22
Água (g)	1,07	0,83	1,04	0,90	0,90	1,09	1,17	1,25
Umidade (%)	21,93	22,19	21,62	21,48	20,04	19,40	18,60	19,00
Umidade Média (%)	22,06		21,55		19,72		18,80	
Número de golpes	9		18		28		37	

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°:	15	21	31	27	7	19	42	35
Solo Úmido + Cápsula (g)	5,20	5,14	5,83	5,55	5,21	5,66	6,01	5,78
Solo Seco + Cápsula (g)	5,13	5,08	5,65	5,40	5,07	5,54	5,79	5,63
Peso da Cápsula (g)	4,70	4,55	4,66	4,39	4,21	4,65	4,23	4,76
Peso da água (g)	0,07	0,06	0,18	0,15	0,14	0,12	0,22	0,15
Solo seco (g)	0,43	0,53	0,99	1,01	0,86	0,89	1,56	0,87
Umidade (%)	16,28	11,32	18,18	14,89	16,87	13,49	14,22	16,86
LP (%)	15,26							

Gráfico de Limite de Liquidez (LL)



Resultados:

LL (%):	20,28	LP (%):	15,26	IP (%):	5,02
----------------	--------------	----------------	--------------	----------------	-------------



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO5

Operador: Pesquisador

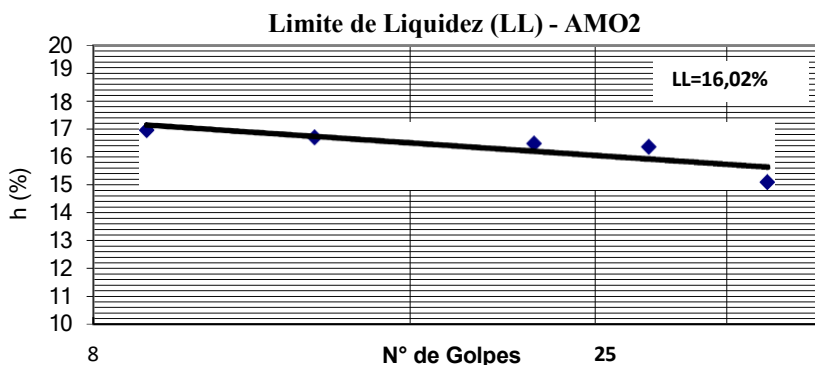
Data: 15/01/2017

LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Cápsula n°	100	10	53	45	279	122	20	9	56	57
Solo Úmido + Cápsula (g)	35,08	30,17	34,23	31,44	22,37	27,33	29,04	30,13	28,13	26,91
Solo Seco + Cápsula (g)	32,26	27,99	31,49	29,52	20,94	25,46	27,53	28,62	26,49	25,55
Peso da Cápsula (g)	15,57	15,15	15,03	18,05	12,44	13,85	18,27	19,41	15,93	16,30
Água (g)	2,82	2,18	2,74	1,92	1,43	1,87	1,51	1,51	1,64	1,36
Solo Seco (g)	16,69	12,84	16,46	11,47	8,50	11,61	9,26	9,21	10,56	9,25
Umidade (%)	16,90	16,98	16,65	16,74	16,82	16,11	16,31	16,40	15,53	14,70
Umidade Média (%)	16,94		16,69		16,47		16,35		15,12	
Número de golpes	9		13		21		27		35	

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°										NP
Solo Úmido + Cápsula (g)										
Solo Seco + Cápsula (g)										
Cápsula (g)										
Peso da água (g)										
Solo seco (g)										
Umidade (%)										
LP (%)										



LL(%): 16,02

LP (%): NP

IP(%): NP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO6

Operador: Pesquisador

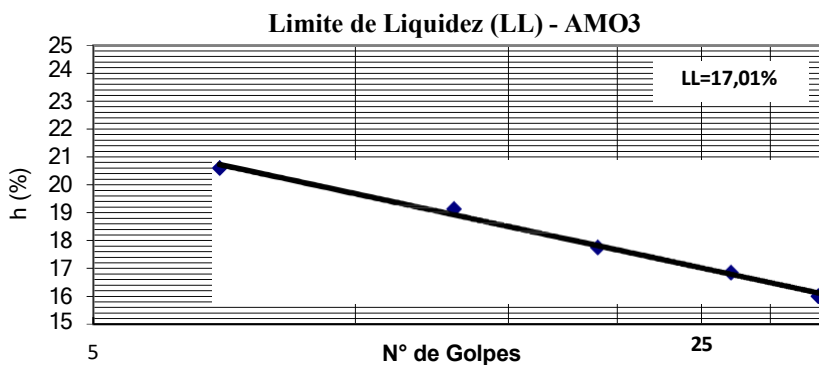
Data: 15/01/2017

LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Cápsula n°	29	53	41	56	43	57	90	39	5	10
Solo Úmido + Cápsula (g)	33,43	27,54	34,66	31,44	29,46	32,81	27,99	32,01	29,86	28,78
Solo Seco + Cápsula (g)	30,61	25,40	31,87	28,93	27,59	30,34	25,73	29,93	27,87	26,87
Peso da Cápsula (g)	16,87	15,02	17,22	15,85	17,13	16,32	12,34	17,57	15,28	15,11
Água (g)	2,82	2,14	2,79	2,51	1,87	2,47	2,26	2,08	1,99	1,91
Solo Seco (g)	13,74	10,38	14,65	13,08	10,46	14,02	13,39	12,36	12,59	11,76
Umidade (%)	20,52	20,62	19,04	19,19	17,88	17,62	16,88	16,83	15,81	16,24
Umidade Média (%)	20,57		19,12		17,75		16,85		16,02	
Número de golpes	7		13		19		27		34	

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°										NP
Solo Úmido + Cápsula (g)										
Solo Seco + Cápsula (g)										
Cápsula (g)										
Peso da água (g)										
Solo seco (g)										
Umidade (%)										
LP (%)										



LL(%): 17,01

LP (%): NP

IP(%): NP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Ensaio: Limites de Atterberg

Amostra: AMO7

Operador: Pesquisador

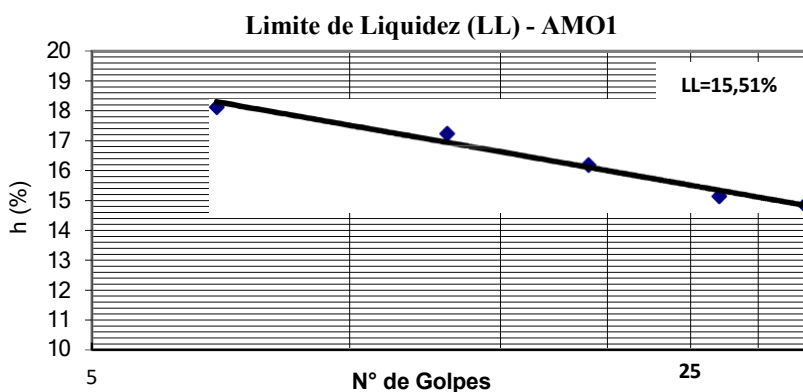
Data: 18/10/2017

LIMITE DE LIQUIDEZ - DNER-ME 122/94

Cápsula n°	8	26	37	41	77
Solo Úmido + Cápsula (g)	17,60	22,99	24,26	23,03	21,67
Solo Seco + Cápsula (g)	15,62	20,24	21,55	20,58	19,43
Peso da Cápsula (g)	4,68	4,27	4,80	4,40	4,35
Água (g)	1,98	2,75	2,71	2,45	2,24
Solo Seco (g)	10,94	15,97	16,75	16,18	15,08
Umidade (%)	18,10	17,22	16,18	15,14	14,85
Umidade Média (%)	18,10	17,22	16,18	15,14	14,85
Número de golpes	7	13	19	27	34

LIMITE DE PLASTICIDADE - DNER-ME 082/94

Cápsula n°:	1	2	3	4	
Solo Úmido + Cápsula	12,16	11,11	11,92	12,45	
Solo Seco + Cápsula	11,62	10,71	11,42	11,98	
Cápsula	7,63	7,78	7,68	8,13	
Peso da água	0,54	0,40	0,50	0,47	
Solo seco	3,99	2,93	3,74	3,85	
Umidade (%)	13,53	13,65	13,37	12,21	
LP. (%)					13,19



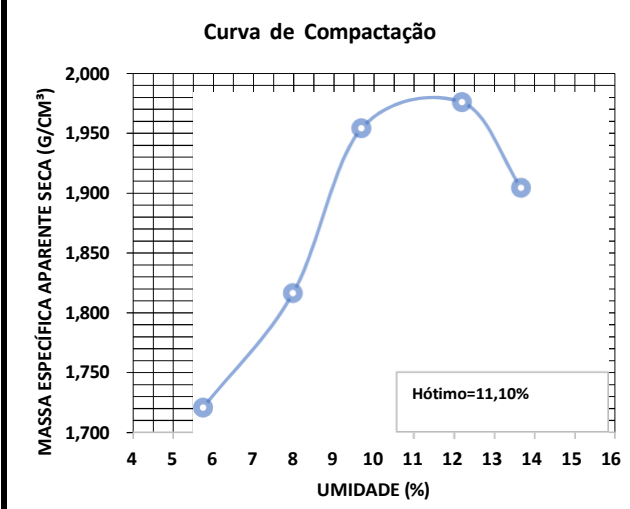
LL(%): 15,51

LP (%): 13,19

IP(%): 2,32

APÊNDICE C - COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)														
Jazida: Newton			Furo: Nº 1			Data: 16/05/2019								
Localização: Zona Rural de São José de Ribamar			Amostra: AMO1			Operador: Wanderson M. Soares								
Energia: Normal			CILINDRO Nº											
					1	2	3	4	5					
Moldes: Diâmetro: 49,80 mm Seção: 19,60 cm ² Aferição: $Kc = Ac \pm La$ Kc = 81,54 mm Ac = Altura do cilindro padrão = 50mm La = leitura do extensômetro FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%			COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)	190,00	190,00	195,00	215,00	220,00				
					Leitura Extensômetro (mm)	27,63	32,42	35,2	31,91	29,69				
					Altura do C.P. (mm)	53,91	49,12	46,34	49,63	51,85				
				2º	Massa Solo Úmido (g)	176,22		210,40		212,15				
					Leitura Extensômetro (mm)	31,47		31,2		31,65				
					Altura do C.P. (mm)	50,07		50,34		49,89				
				3º	Massa Solo Úmido (g)									
					Leitura Extensômetro (mm)									
					Altura do C.P. (mm)									
			Volume do C.P. (cm ³)					98,00	96,40	98,38	97,64	98,23		
			Massa do Solo Compactado + Molde					1003,48	1014,28	1036,23	1037,48	1028,45		
			Tara do Molde (g)					825,14	825,21	825,38	821,07	815,85		
Massa do Solo Úmido Compactado (g)					178,34	189,07	210,85	216,41	212,60					
UMIDADE	Cápsula Nº				39	34	56	19	55	279	43	27	421	10
	Massa Solo Úmido + Cápsula				35,45	41,73	40,33	36,84	36,61	29,69	47,82	43,15	36,02	50,83
	Massa Solo Seco + Cápsula				34,45	40,48	38,51	35,59	34,90	28,18	44,44	40,61	33,36	46,89
	Tara da Cápsula (g)				17,36	18,46	15,90	19,85	17,41	12,48	17,14	19,44	13,82	18,14
	Massa de Água				1,00	1,25	1,82	1,25	1,71	1,51	3,38	2,54	2,66	3,94
	Massa Solo Seco (g)				17,09	22,02	22,61	15,74	17,49	15,70	27,30	21,17	19,54	28,75
	Umidade (%)				5,85	5,68	8,05	7,94	9,78	9,62	12,38	12,00	13,61	13,70
	Umidade Média (%)				5,76		8,00		9,70		12,19		13,66	
	Massa de Solo Seco Compactado (g)					168,62	175,07	192,21	192,90	187,05				
	Massa Específica Ap. Seca (g/cm ³)					1,721	1,816	1,954	1,976	1,904				
Observações:														



ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)

Jazida: Newton

Furo: Nº 2

Data: 16/05/2019

Localização: Zona Rural de São José de Ribamar

Amostra: AMO2

Operador: Wanderson M. Soares

Energia: **Normal**

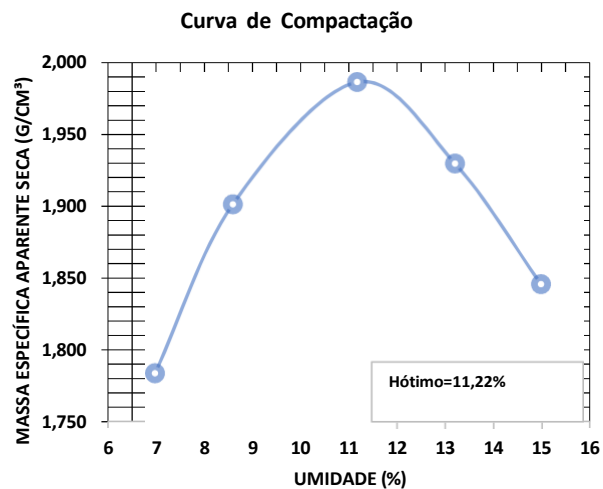
Moldes: **Diâmetro:** 49,80 mm
Seção: 19,60 cm²

Aferição: $Kc = Ac \pm La$
Kc = 81,51 mm

Ac = Altura do cilindro padrão = 50mm
La = leitura do extensômetro

FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%

		CILINDRO Nº		1	2	3	4	5				
COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)		190,00	190,00	205,00	225,00	220,00				
		Leitura Extensômetro (mm)		29,75	34,9	34,03	28,6	28,68				
		Altura do C.P. (mm)		51,76	46,61	47,48	52,91	52,83				
	2º	Massa Solo Úmido (g)		183,54	203,82	215,88	212,63	208,22				
		Leitura Extensômetro (mm)		32,36	30,83	31,25	31,64	31,52				
		Altura do C.P. (mm)		49,15	50,68	50,26	49,87	49,99				
	3º	Massa Solo Úmido (g)										
		Leitura Extensômetro (mm)										
		Altura do C.P. (mm)										
Volume do C.P. (cm ³)			96,20	99,46	98,23	98,12	98,43					
Massa do Solo Compactado + Molde			1008,78	1030,58	1042,28	1035,39	1024,77					
Tara do Molde (g)			825,14	825,21	825,38	821,07	815,85					
Massa do Solo Úmido Compactado (g)			183,64	205,37	216,90	214,32	208,92					
UMIDADE	Cápsula Nº		47	42	8	08.1	12	44	3	10	41	9
	Massa Solo Úmido + Cápsula		27,99	34,95	28,48	27,91	38,33	38,52	34,53	36,83	38,73	39,68
	Massa Solo Seco + Cápsula		27,29	33,81	27,52	26,85	36,26	36,19	32,13	34,76	35,90	36,91
	Tara da Cápsula (g)		17,42	17,27	16,79	14,01	17,23	15,89	14,43	18,64	17,36	18,06
	Massa de Água		0,70	1,14	0,96	1,06	2,07	2,33	2,40	2,07	2,83	2,77
	Massa Solo Seco (g)		9,87	16,54	10,73	12,84	19,03	20,30	17,70	16,12	18,54	18,85
	Umidade (%)		7,09	6,89	8,95	8,26	10,88	11,48	13,56	12,84	15,26	14,69
	Umidade Média (%)			6,99	8,60	11,18	13,20	14,98				
Massa de Solo Seco Compactado (g)			171,64	189,10	195,09	189,33	181,70					
Massa Específica Ap. Seca (g/cm ³)			1,784	1,901	1,986	1,930	1,846					



Observações:

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)

Jazida: Hospital da Ilha
Localização: Av. São Luís Rei de França

Furo:
Amostra: AMO4

Data: 16/05/2019
Operador: Wanderson M. Soares

Energia: **Normal**

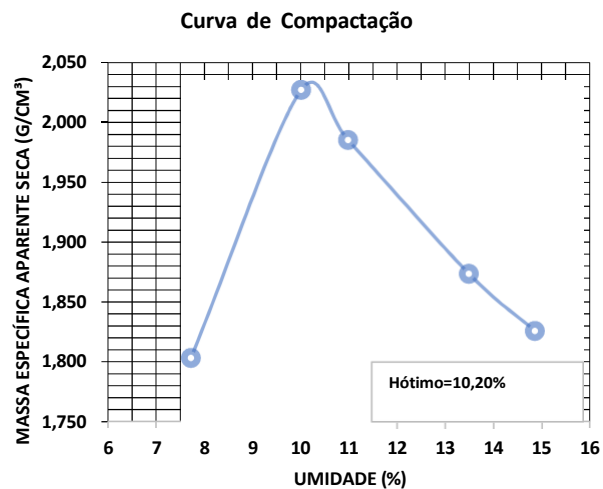
Moldes: **Diâmetro:** 49,80 mm
Seção: 19,60 cm²

Aferição: $Kc = Ac \pm La$
Kc = 81,58 mm

Ac = Altura do cilindro padrão = 50mm
 La = leitura do extensômetro

FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%

		CILINDRO Nº		1	2	3	4	5				
COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)		189,00	195,00	225,00	220,00	215,00				
		Leitura Extensômetro (mm)		31,79	36,5	28,63	29,14	29,70				
		Altura do C.P. (mm)		49,79	45,08	52,95	52,44	51,88				
	2º	Massa Solo Úmido (g)			216,28	212,46	209,76	207,21				
		Leitura Extensômetro (mm)			31,51	31,7	31,51	31,61				
		Altura do C.P. (mm)			50,07	49,88	50,07	49,97				
	3º	Massa Solo Úmido (g)										
		Leitura Extensômetro (mm)										
			Volume do C.P. (cm ³)		97,45	98,26	97,48	98,51	98,39			
		Massa do Solo Compactado + Molde		1014,52	1044,34	1040,18	1030,57	1022,23				
		Tara do Molde (g)		825,14	825,21	825,38	821,07	815,85				
		Massa do Solo Úmido Compactado (g)		189,38	219,13	214,80	209,50	206,38				
UMIDADE	Cápsula Nº		46	20	122	57	58	45	25	2	90	35
	Massa Solo Úmido + Cápsula		36,17	39,89	37,02	35,84	39,86	41,31	43,98	41,99	43,28	43,93
	Massa Solo Seco + Cápsula		34,88	38,37	34,96	34,02	37,54	39,05	40,75	39,22	39,29	40,53
	Tara da Cápsula (g)		18,56	18,27	13,82	16,32	16,78	18,12	16,75	18,73	12,28	17,77
	Massa de Água		1,29	1,52	2,06	1,82	2,32	2,26	3,23	2,77	3,99	3,40
	Massa Solo Seco (g)		16,32	20,10	21,14	17,70	20,76	20,93	24,00	20,49	27,01	22,76
	Umidade (%)		7,90	7,56	9,74	10,28	11,18	10,80	13,46	13,52	14,77	14,94
	Umidade Média (%)			7,73	10,01	10,99	13,49	14,86				
	Massa de Solo Seco Compactado (g)			175,79	199,18	193,54	184,60	179,69				
	Massa Específica Ap. Seca (g/cm ³)			1,804	2,027	1,985	1,874	1,826				



Observações:

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)

Estrada: Avenida Via Expressa
Trecho: Vinhais

Amostra: AM05
Operador: Pesquisador

Data: 24/07/2018

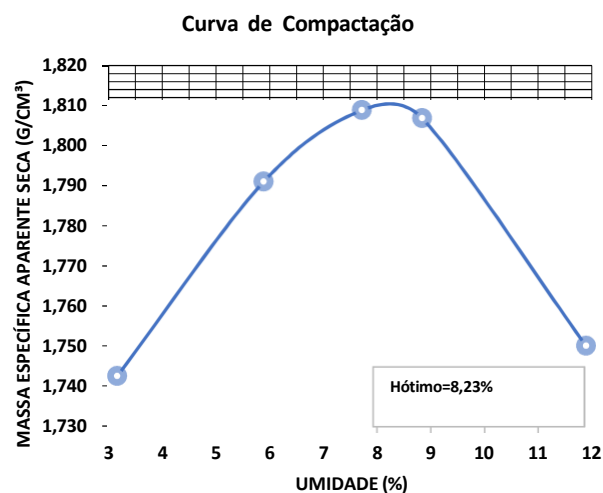
Energia: **Normal**

Moldes: **Diâmetro:** 49,80 mm
Seção: 19,60 cm²

Aferição: $K_c = A_c \pm L_a = 50\text{mm} + 31,82\text{mm} = \mathbf{81,82\text{mm}}$

Altura do C.P. 85,14 mm

FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%



		CILINDRO Nº		1	2	3	4	5				
COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)		190,40	182,41	200,10	195,60	193,06				
		Leitura Extensômetro (mm)		28,45	32,18	31,54	30,31	30,97				
		Altura do C.P. (mm)		53,37	49,64	50,28	51,51	50,85				
	2º	Massa Solo Úmido (g)		178,38		191,78	189,87					
		Leitura Extensômetro (mm)		31,19		31,54	32,60					
		Altura do C.P. (mm)		50,63		50,28	49,22					
	3º	Massa Solo Úmido (g)										
		Leitura Extensômetro (mm)										
		Altura do C.P. (mm)										
Volume do C.P. (cm³)			99,23	97,29	98,55	96,47	99,67					
Massa do Solo Compactado + Molde			1022,80	1024,81	1034,20	1033,90	1016,86					
Tara do Molde (g)			836,50	832,40	834,30	836,30	813,80					
Massa do Solo Úmido Compactado (g)			178,40	184,51	192,00	189,70	195,16					
UMIDADE	Cápsula Nº		55	43	53	39	57	234	19	12	122	16
	Massa Solo Úmido + Cápsula		50,50	45,70	49,90	56,20	58,70	34,70	57,10	50,30	65,70	57,60
	Massa Solo Seco + Cápsula		49,40	44,90	48,00	54,00	55,50	33,30	54,10	47,60	60,30	52,50
	Tara da Cápsula (g)		17,50	17,20	15,00	17,50	16,40	14,00	19,90	17,30	13,90	10,50
	Massa de Água		1,10	0,80	1,90	2,20	3,20	1,40	3,00	2,70	5,40	5,10
	Massa Solo Seco (g)		31,90	27,70	33,00	36,50	39,10	19,30	34,20	30,30	46,40	42,00
	Umidade (%)		3,45	2,89	5,76	6,03	8,18	7,25	8,77	8,91	11,64	12,14
	Umidade Média (%)			3,17	5,89	7,72	8,84	11,89				
Massa de Solo Seco Compactado (g)			172,92	174,24	178,24	174,29	174,42					
Massa Específica Ap. Seca (g/cm³)			1,743	1,791	1,809	1,807	1,750					

Observações:

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)

Estrada: Avenida Via Expressa
Trecho: Vinhais

Amostra: AM05
Operador: Pesquisador

Data: 24/07/2018

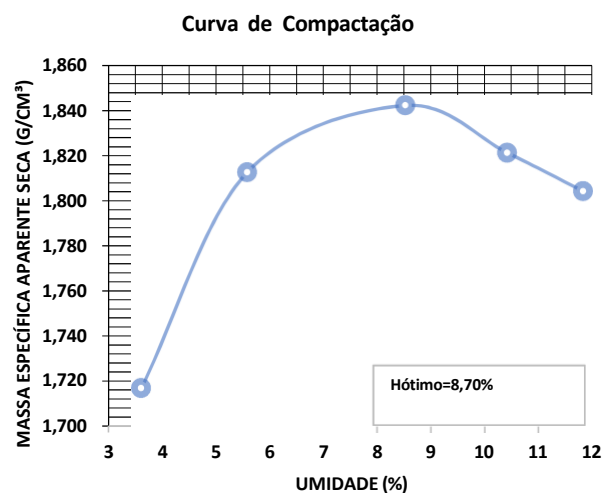
Energia: **Normal**

Moldes: **Diâmetro:** 49,80 mm
Seção: 19,60 cm²

Aferição: $Kc = Ac \pm La = 50\text{mm} + 31,88\text{mm} = \mathbf{81,88\text{mm}}$

Altura do C.P. 85,14 mm

FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%



CILINDRO Nº		1	2	3	4	5						
COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)	190,10	180,30	196,27	197,04	199,76					
		Leitura Extensômetro (mm)	27,25	34,14	31,25	31,35	30,83					
		Altura do C.P. (mm)	54,63	47,74	50,63	50,53	51,05					
	2º	Massa Solo Úmido (g)	173,99	188,83								
		Leitura Extensômetro (mm)	32,15	31,65								
		Altura do C.P. (mm)	49,73	50,23								
	3º	Massa Solo Úmido (g)										
		Leitura Extensômetro (mm)										
		Altura do C.P. (mm)										
Volume do C.P. (cm³)		97,47	98,45	99,23	99,04	100,06						
Massa do Solo Compactado + Molde		1018,40	1024,90	1040,57	1043,94	1022,96						
Tara do Molde (g)		837,10	828,60	834,30	836,90	813,20						
Massa do Solo Úmido Compactado (g)		173,40	188,40	198,37	199,14	201,86						
UMIDADE	Cápsula Nº		39	55	122	45	16	43	19	234	8	25
	Massa Solo Úmido + Cápsula		47,30	52,00	47,70	45,00	36,00	61,00	60,40	51,20	69,10	71,80
	Massa Solo Seco + Cápsula		46,10	51,00	45,90	43,60	33,80	57,90	56,40	47,90	63,60	66,00
	Tara da Cápsula (g)		17,80	17,60	14,00	18,30	10,50	17,20	20,20	14,20	17,10	17,00
	Massa de Água		1,20	1,00	1,80	1,40	2,20	3,10	4,00	3,30	5,50	5,80
	Massa Solo Seco (g)		28,30	33,40	31,90	25,30	23,30	40,70	36,20	33,70	46,50	49,00
	Umidade (%)		4,24	2,99	5,64	5,53	9,44	7,62	11,05	9,79	11,83	11,84
	Umidade Média (%)		3,62		5,59		8,53		10,42		11,83	
Massa de Solo Seco Compactado (g)		167,35	178,43	182,78	180,35	180,50						
Massa Específica Ap. Seca (g/cm³)		1,717	1,812	1,842	1,821	1,804						

Observações:

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA (DNER-ME 228/94)

Estrada: Vale S.A.

Amostra: AM07

Data: 17/10/2017

Trecho: Distrito Industrial de São Luís-MA (BR-135)

Operador: Pesquisador

Energia: **Normal**

Moldes: **Diâmetro:** 49,80 mm

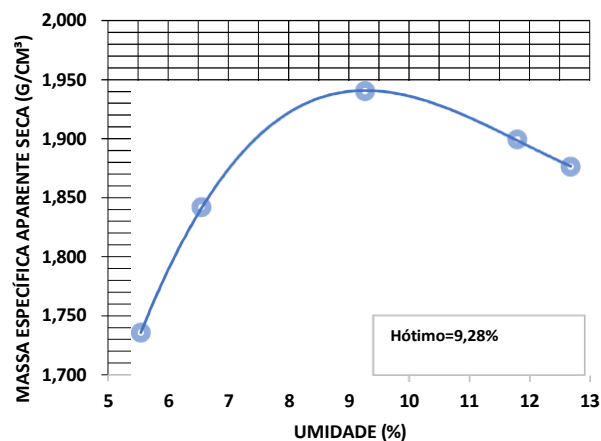
Seção: 19,60 cm²

Aferição: $K_c = A_c \pm La = 50\text{mm} + 35,14\text{mm} = \mathbf{85,14\text{mm}}$

Altura do C.P. 85,14 mm

FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE 2mm: 0%

Curva de Compactação



		CILINDRO Nº		1	2	3	4	5				
COMPACTAÇÕES TENTATIVAS	1º	Massa Solo Úmido (g)		190,00	190,00	195,00	206,00	206,00				
		Leitura Extensômetro (mm)		32,45	35,75	37,88	35,63	35,42				
		Altura do C.P. (mm)		52,69	49,39	47,26	49,51	49,72				
	2º	Massa Solo Úmido (g)		180,30		206,30						
		Leitura Extensômetro (mm)		34,94		35,48						
		Altura do C.P. (mm)		50,20		49,66						
	3º	Massa Solo Úmido (g)										
		Leitura Extensômetro (mm)										
		Altura do C.P. (mm)										
Volume do C.P. (cm³)			98,39	96,80	97,33	97,04	97,45					
Massa do Solo Compactado + Molde			1024,70	1030,30	1048,50	1050,20	1027,70					
Tara do Molde (g)			836,50	832,40	834,30	836,30	813,80					
Massa do Solo Úmido Compactado (g)			180,30	190,00	206,30	206,00	206,00					
UMIDADE	Cápsula Nº		41	90	100	33	12	21	36	42	20	29
	Massa Solo Úmido + Cápsula		72,33	72,91	77,70	76,38	91,22	80,81	114,60	85,66	91,54	100,39
	Massa Solo Seco + Cápsula		69,45	69,7	73,82	72,78	84,88	75,63	104,37	78,45	83,4	90,88
	Tara da Cápsula (g)		17,24	12,36	15,63	17,01	17,31	19,04	17,46	17,42	18,3	16,87
	Massa de Água		2,88	3,21	3,88	3,60	6,34	5,18	10,23	7,21	8,14	9,51
	Massa Solo Seco (g)		52,21	57,34	58,19	55,77	67,57	56,59	86,91	61,03	65,10	74,01
	Umidade (%)		5,52	5,60	6,67	6,46	9,38	9,15	11,77	11,81	12,50	12,85
	Umidade Média (%)			5,56	6,56	9,27	11,79	12,68				
Massa de Solo Seco Compactado (g)			170,81	178,30	188,80	184,27	182,82					
Massa Específica Ap. Seca (g/cm³)			1,736	1,842	1,940	1,899	1,876					

Observações:

APÊNDICE D - COMPACTAÇÃO PROCTOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO		UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA										
Laboratório de Solos e Pavimentação - LSP		Laboratório de Solos e Pavimentação - LSP										
Centro de Ciências Tecnológicas - CCT		Centro de Ciências Tecnológicas - CCT										
Jazida: Newton		Localização: Zona Rural de São José de Ribamar										
Furo: Nº 1		Data: 16/05/2019										
Amostra: AMO1		Operador: Wanderson Moraes Soares										
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86												
UMIDADE HIGROSCÓPICA		PROPRIEDADES DO MOLDE										
Nº Cápsula	46 8	Tamanho	Grande									
Peso da capsula (g)	18,65 16,89	Volume (cm³)	2.052,42									
Solo úmido + cápsula (g)	58,26 53,88	Peso (g)	4.260,50									
Solo seco + cápsula (g)	57,09 52,89	Soquete (g)	4.536,00									
Solo úmido (g)	39,61 36,99	Disco Espaçador (mm)	62,77									
Solo seco (g)	38,44 36,00	Energia	Modificada									
Água (g)	1,17 0,99	Nº de Camadas	5									
Umidade (%)	3,04 2,75	Golpes / Camada	55									
Umidade Média (%)	2,90											
Peso da amostra (g)	7.000,00											
Massa Esp. Aparente Seca Máxima:		2,059 g/cm³										
Umidade Ótima		10,15 %										
PONTO Nº	Cilindro + Solo Úmido (g)	Solo Úmido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm³)	
				Nº Cápsula	Solo úmido + cápsula (g)	Solo seco + cápsula (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)			Umidade (%)
1	8.042,00	3.781,50	1,842	35	53,46	51,33	17,78	2,13	33,55	6,35	6,36	1,732
				421	43,68	41,89	13,82	1,79	28,07	6,38		
2	8.617,90	4.357,40	2,123	2	41,65	39,92	18,74	1,73	21,18	8,17	8,36	1,959
				43	51,24	48,55	17,11	2,69	31,44	8,56		
3	8.908,80	4.648,30	2,265	34	41,75	39,62	18,43	2,13	21,19	10,05	10,09	2,057
				6	39,86	37,40	13,11	2,46	24,29	10,13		
4	8.912,10	4.651,60	2,266	122	45,00	42,28	15,87	2,72	26,41	10,30	10,14	2,058
				279	29,09	27,58	12,46	1,51	15,12	9,99		
5	8.837,60	4.577,10	2,230	70	26,56	24,57	8,22	1,99	16,35	12,17	12,11	1,989
				10	24,07	22,42	8,72	1,65	13,70	12,04		

CURVA DE COMPACTAÇÃO

Umidade (%)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm³)
6,36	1,732
8,36	1,959
10,09	2,057
10,14	2,058
12,11	1,989



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Laboratório de Solos e Pavimentação - LSP
Centro de Ciências Tecnológicas - CCT

Jazida: Newton

Localização: Zona Rural de São José de Ribamar

Furo: Nº 2

Data: 16/05/2019

Amostra: AMO2

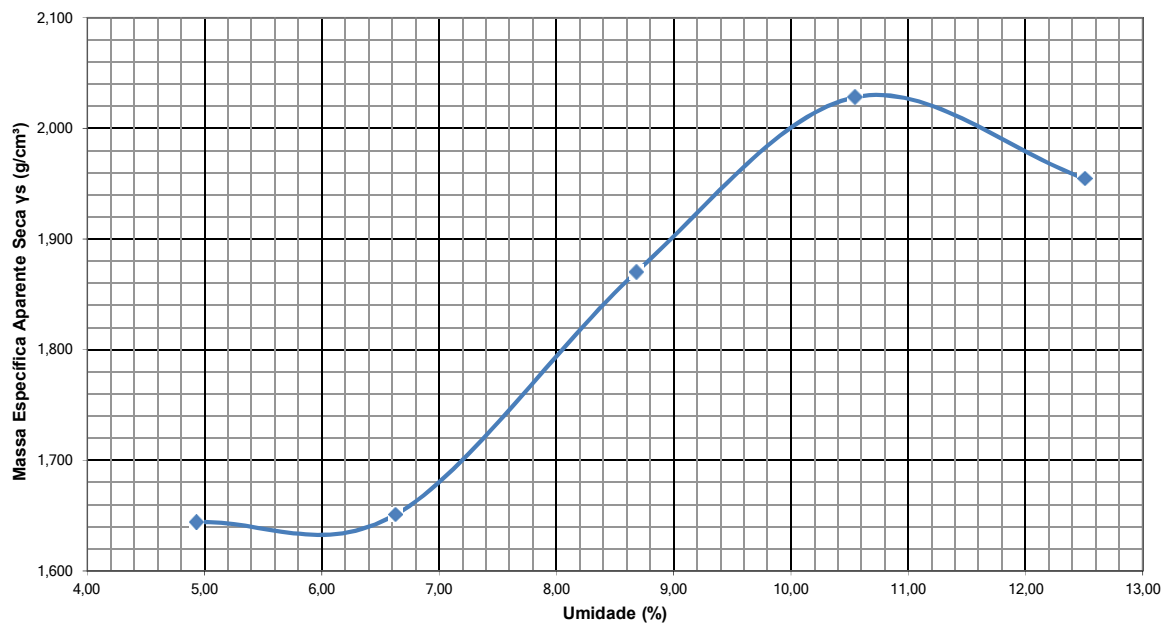
Operador: Wanderson Moraes Soares

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86

UMIDADE HIGROSCÓPICA			PROPRIEDADES DO MOLDE		Massa Esp. Aparente Seca Máxima: 2,031 g/cm ³ Umidade Ótima 10,77 %
Nº Cápsula	06	10	Tamanho	Grande	
Peso da capsula (g)	13,07	18,12	Volume (cm ³)	2.052,42	
Solo úmido + cápsula (g)	53,97	56,48	Peso (g)	4.260,50	
Solo seco + cápsula (g)	52,40	56,01	Soquete (g)	4.536,00	
Solo úmido (g)	40,90	38,36	Disco Espaçador (mm)	62,77	
Solo seco (g)	39,33	37,89	Energia	Modificada	
Água (g)	1,57	0,47	Nº de Camadas	5	
Umidade (%)	3,99	1,24	Golpes / Camada	55	
Umidade Média (%)	2,62				
Peso da amostra (g)	6.426,86				

PONTONº	Cilindro + Solo Úmido (g)	Solo Úmido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm ³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm ³)	
				Nº Cápsula	Solo úmido + cápsula (g)	Solo seco + cápsula (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)			Umidade (%)
1	7.801,50	3.541,00	1,725	122	44,01	42,64	15,80	1,37	26,84	5,10	4,93	1,644
				35	50,34	48,86	17,79	1,48	31,07	4,76		
2	7.873,00	3.612,50	1,760	122	38,98	37,51	13,85	1,47	23,66	6,21	6,63	1,651
				55	50,87	48,67	17,42	2,20	31,25	7,04		
3	8.431,80	4.171,30	2,032	25	43,62	41,45	16,78	2,17	24,67	8,80	8,68	1,870
				10	42,20	40,30	18,12	1,90	22,18	8,57		
4	8.862,40	4.601,90	2,242	27	43,47	41,21	19,49	2,26	21,72	10,41	10,55	2,028
				9	53,01	49,77	19,46	3,24	30,31	10,69		
5	8.773,60	4.513,10	2,199	43	43,16	40,26	17,13	2,90	23,13	12,54	12,51	1,954
				2	58,80	54,36	18,77	4,44	35,59	12,48		

CURVA DE COMPACTAÇÃO





**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Laboratório de Solos e Pavimentação - LSP
Centro de Ciências Tecnológicas - CCT

Jazida: Hospital da Ilha

Localização: Av. São Luís Rei de França, Turú

Furo:

Data: 16/05/2019

Amostra: AMO4

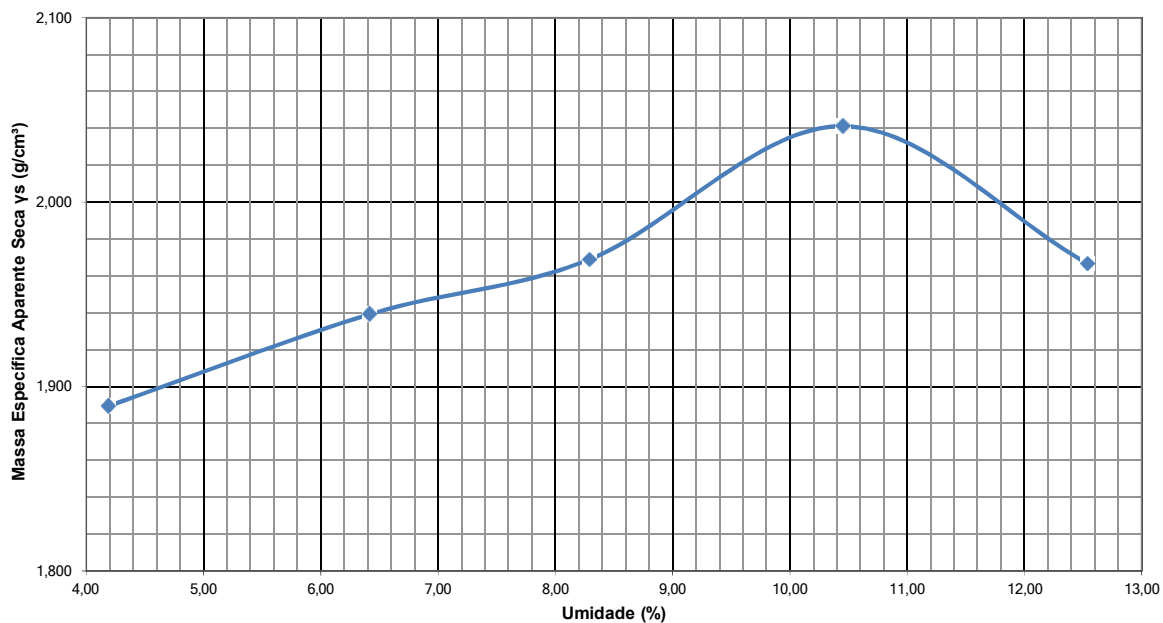
Operador: Wanderson Moraes Soares

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86

UMIDADE HIGROSCÓPICA			PROPRIEDADES DO MOLDE		Massa Esp. Aparente Seca Máxima: 2,043 g/cm ³ Umidade Ótima 10,45 %
Nº Cápsula	122	2	Tamanho	Grande	
Peso da capsula (g)	15,83	18,71	Volume (cm ³)	2.052,42	
Solo úmido + cápsula (g)	44,06	48,30			
Solo seco + cápsula (g)	43,15	47,22	Peso (g)	4.260,50	
Solo úmido (g)	28,23	29,59	Soquete (g)	4.536,00	
Solo seco (g)	27,32	28,51	Disco Espaçador (mm)	62,77	
Água (g)	0,91	1,08			
Umidade (%)	3,33	3,79	Energia	Modificada	
Umidade Média (%)	3,56		Nº de Camadas	5	
Peso da amostra (g)	706,36		Golpes / Camada	55	

PONTO Nº	Cilindro + Solo Úmido (g)	Solo Úmido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm ³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm ³)	
				Nº Cápsula	Solo úmido + cápsula (g)	Solo seco + cápsula (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)			Umidade (%)
1	8.301,00	4.040,50	1,969	35	53,46	52,00	17,78	1,46	34,22	4,27	4,19	1,889
				421	43,68	42,50	13,82	1,18	28,68	4,11		
2	8.496,10	4.235,60	2,064	2	41,65	40,31	18,74	1,34	21,57	6,21	6,42	1,939
				43	51,24	49,12	17,11	2,12	32,01	6,62		
3	8.636,50	4.376,00	2,132	25	41,52	39,63	16,72	1,89	22,91	8,25	8,29	1,969
				9	47,84	45,66	19,49	2,18	26,17	8,33		
4	8.887,90	4.627,40	2,255	55	46,28	43,61	17,36	2,67	26,25	10,17	10,45	2,041
				27	46,49	43,87	19,45	2,62	24,42	10,73		
5	8.802,90	4.542,40	2,213	10	64,09	58,91	18,09	5,18	40,82	12,69	12,54	1,967
				122	46,42	42,83	13,85	3,59	28,98	12,39		

CURVA DE COMPACTAÇÃO





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Via Expressa

Localização: Avenida Via Expressa, Vinhais Velho

Furo: Nº 1

Data: 29/01/2018

Amostra: AMO5

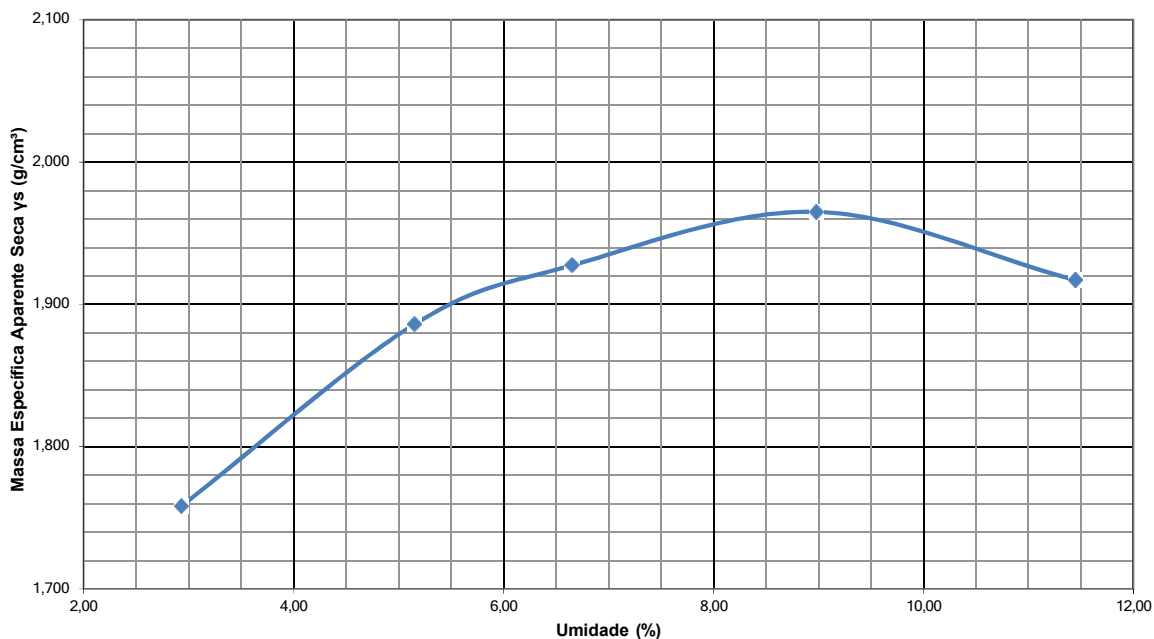
Operador: Pesquisador

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86

UMIDADE HIGROSCÓPICA			PROPRIEDADES DO MOLDE		Massa Esp. Aparente Seca Máxima: 1,962 g/cm ³ Umidade Ótima 8,81 %
Nº Cápsula	33	90	Nº do Molde	17	
Peso da Cápsula (g)	16,89	12,34	Volume do Molde (cm ³)	940,83	
Peso Bruto Umido (g)	55,73	54,26	Peso do Molde (g)	1.953,83	
Peso Bruto Seco (g)	55,59	54,16	P. do Soquete (g)	4.536,00	
Peso do Solo Umido (g)	38,84	41,92	Disco Espaçador (mm)	63,50	
Peso de Solo Seco (g)	38,70	41,82	Energia	Modificada	
Peso da Água (g)	0,14	0,10	Nº de Camadas	5	
Umidade (%)	0,36	0,24	Golpes / Camada	27	
Umidade Média (%)	0,30				

PONTO Nº	Cilindro + Solo Úmido (g)	Solo Úmido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm ³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm ³)
				Nº Cápsula	Cápsula + Solo Úmido (g)	Cápsula + Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Umidade (%)		
1	3.656,6	1.702,77	1,810	23	72,10	70,35	12,77	1,75	57,58	3,04	2,93	1,758
				39	105,93	103,50	17,55	2,43	85,95	2,83		
2	3.819,7	1.865,87	1,983	27	95,35	91,85	19,44	3,50	72,41	4,83	5,15	1,886
				10	118,91	113,68	18,07	5,23	95,61	5,47		
3	3.887,9	1.934,07	2,056	36	92,25	87,50	17,40	4,75	70,10	6,78	6,65	1,927
				7	112,72	106,94	18,47	5,78	88,47	6,53		
4	3.968,6	2.014,77	2,141	9	75,85	71,22	19,39	4,63	51,83	8,93	8,98	1,965
				44	117,57	109,16	15,99	8,41	93,17	9,03		
5	3.963,9	2.010,07	2,136	42	145,58	132,27	13,91	13,31	118,36	11,25	11,45	1,917
				35	124,63	113,49	17,84	11,14	95,65	11,65		

CURVA DE COMPACTAÇÃO





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Via Expressa

Localização: Avenida Via Expressa, Vinhais Velho

Furo: Nº 2

Data: 29/01/2018

Amostra: AMO6

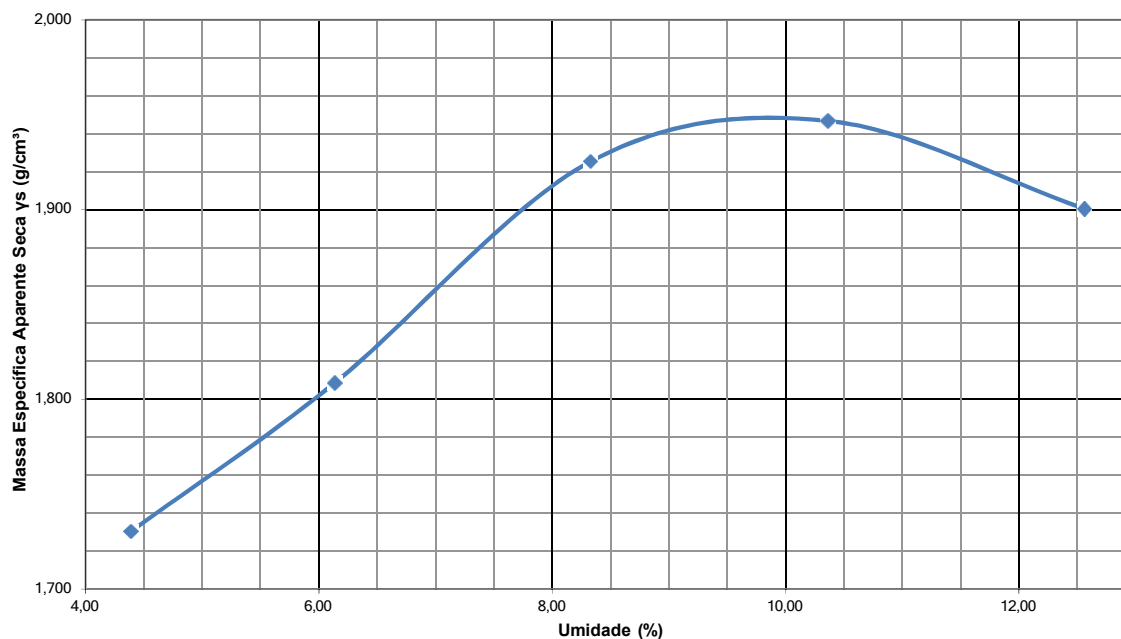
Operador: Pesquisador

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86

UMIDADE HIGROSCÓPICA			PROPRIEDADES DO MOLDE		Massa Esp. Aparente Seca Máxima: 1,939 g/cm ³ Umidade Ótima 10,24 %
Nº Cápsula	38	5	Nº do Molde	17	
Peso da Capsula (g)	16,40	15,27	Volume do Molde (cm ³)	940,83	
Peso Bruto Umido (g)	63,95	54,86	Peso do Molde (g)	1.953,83	
Peso Bruto Seco (g)	63,53	54,40	P. do Soquete (g)	4.536,00	
Peso do Solo Umido (g)	47,55	39,59	Disco Espaçador (mm)	63,50	
Peso de Solo Seco (g)	47,13	39,13	Energia	Modificada	
Peso da Agua (g)	0,42	0,46	Nº de Camadas	5	
Umidade (%)	0,89	1,18	Golpes / Camada	27	
Umidade Média (%)	1,03				
Peso da amostra (g)	3.000,00				

PONTO Nº	Cilindro + Solo Umido (g)	Solo Úmido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm ³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm ³)
				Nº Cápsula	Cápsula + Solo Umido (g)	Cápsula + Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)	Umidade (%)		
1	3.653,20	1.699,37	1,806	55	121,81	117,25	17,40	4,56	99,85	4,57	4,39	1,730
				16	57,43	55,54	10,61	1,89	44,93	4,21		
2	3.759,80	1.805,97	1,920	12	76,70	73,26	17,27	3,44	55,99	6,14	6,13	1,809
				38	66,66	63,76	16,41	2,90	47,35	6,12		
3	3.916,10	1.962,27	2,086	21	75,38	71,04	18,96	4,34	52,08	8,33	8,33	1,925
				279	69,46	65,08	12,45	4,38	52,63	8,32		
4	3.975,20	2.021,37	2,148	30	86,30	79,94	17,60	6,36	62,34	10,20	10,36	1,947
				19	91,32	84,52	19,90	6,80	64,62	10,52		
5	3.966,50	2.012,67	2,139	44	105,48	95,23	15,95	10,25	79,28	12,93	12,56	1,900
				42	101,33	92,20	17,35	9,13	74,85	12,20		

CURVA DE COMPACTAÇÃO





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Via Expressa

Localização: Zona Industrial de São Luís, BR-135. VALE S.A.

Furo:

Data: 29/01/2018

Amostra: AMO7

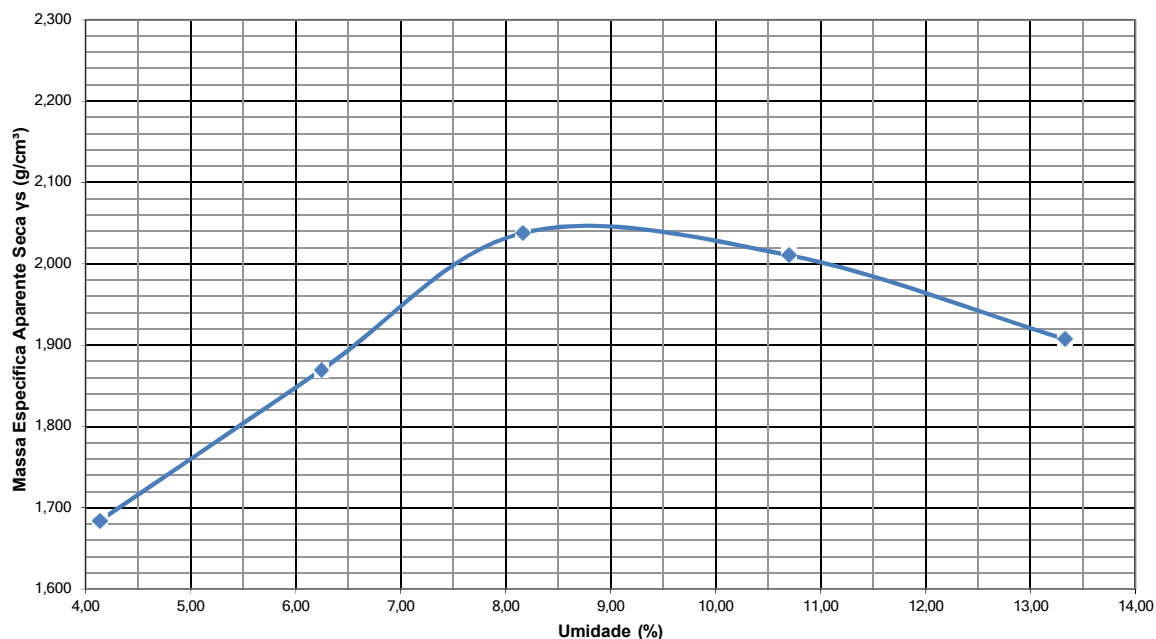
Operador: Pesquisador

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/86


UMIDADE HIGROSCÓPICA			PROPRIEDADES DO MOLDE		<p>Massa Esp. Aparente Seca Máxima:</p> <p>2,036 g/cm³</p> <p>Umidade Ótima</p> <p>9,84 %</p>
Nº Cápsula	12	61	Nº do Molde	17	
Peso da Capsula (g)	17,32	14,99	Volume do Molde (cm ³)	940,83	
Peso Bruto Umido (g)	61,86	58,34	Peso do Molde (g)	1.769,00	
Peso Bruto Seco (g)	61,59	58,19	P. do Soquete (g)	4.536,00	
Peso do Solo Umido (g)	44,54	43,35	Disco Espaçador (mm)	63,50	
Peso de Solo Seco (g)	44,27	43,20	Energia	Modificada	
Peso da Agua (g)	0,27	0,15	Nº de Camadas	5	
Umidade (%)	0,61	0,35	Golpes / Camada	27	
Umidade Média (%)	0,48				

PONTO Nº	Cilindro + Solo Umido (g)	Solo Umido (g)	Massa Esp. Apar. Úmida (g/cm ³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						Umidade Média (%)	Massa Esp. Apar. Seca (g/cm ³)	
				Nº Cápsula	Cápsula + Solo Umido (g)	Cápsula + Solo Seco (g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco (g)			Umidade (%)
1	3.419,00	1.650,00	1,754	16	79,35	76,66	10,48	2,69	66,18	4,06	4,14	1,684
				34	86,30	83,56	18,45	2,74	65,11	4,21		
2	3.638,00	1.869,00	1,987	2	63,48	60,82	18,83	2,66	41,99	6,33	6,25	1,870
				39	95,84	91,30	17,64	4,54	73,66	6,16		
3	3.843,00	2.074,00	2,204	42	86,44	81,24	17,44	5,20	63,80	8,15	8,16	2,038
				44	82,01	77,02	16,01	4,99	61,01	8,18		
4	3.863,00	2.094,00	2,226	14	80,80	74,91	20,12	5,89	54,79	10,75	10,70	2,011
				6	87,19	80,06	13,10	7,13	66,96	10,65		
5	3.803,00	2.034,00	2,162	7	106,39	96,08	18,48	10,31	77,60	13,29	13,33	1,908
				122	104,12	93,48	13,87	10,64	79,61	13,37		

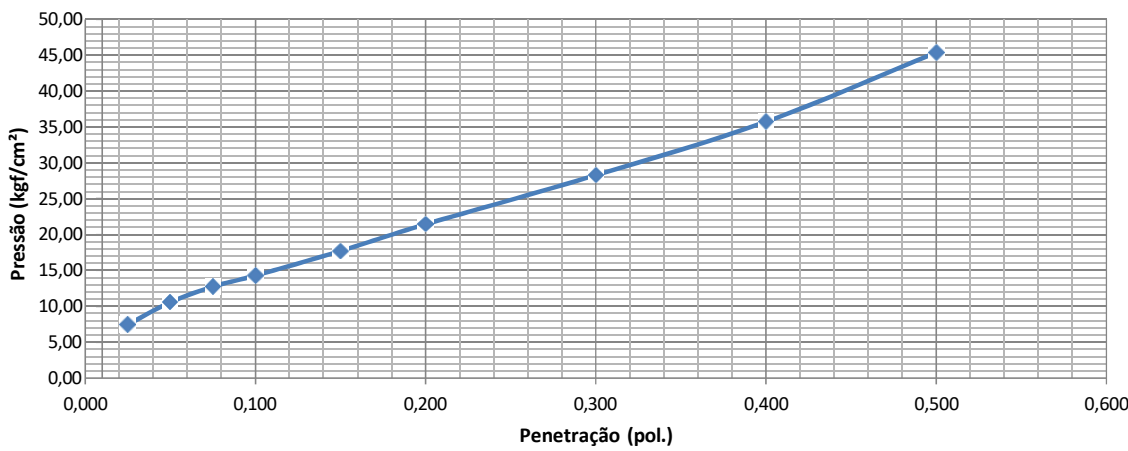
CURVA DE COMPACTAÇÃO



APÊNDICE E - ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO		UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP									
Jazida: Newton		Localização: Zona Rural de São José de Ribamar									
Furo: N° 1		Data: 20/05/2019									
Amostra: AMO1		Operador: Wanderson Moraes Soares									
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016											
DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA								
Cilindro N°	SN		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)	
Umidade Higroscópica (%)	2,90						Anel	Corrigida			
Peso do Cilindro + Solo Umido (g)	8.912,10			0,5	0,63	0,025	146	7,46			
Peso do Cilindro (g)	4.260,50			1	1,27	0,050	207	10,56			
Volume do Cilindro (cm ³)	2.052,42			1,5	1,90	0,075	250	12,74			
Peso Solo Umido (g)	4.651,60			2	2,54	0,100	281	14,29	70,32	20,32	
Dens. Solo Umido (g/cm ³)	2,266			3	3,81	0,150	348	17,71			
Cápsula N°	14	11		4	5,08	0,200	421	21,44	105,46	20,33	
Cápsula + Solo Umido (g)	45,00	29,09		6	7,62	0,300	555	28,27	131,58	21,49	
Cápsula + Solo Seco (g)	42,28	27,58		8	10,16	0,400	702	35,73	161,71	22,09	
Peso da Cápsula (g)	15,87	12,46	10	12,70	0,500	891	45,36	182,80	24,81		
Peso da Água (g)	2,72	1,51	EXPANSÃO	Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel:		
Peso do Solo Seco (g)	26,41	15,12		01/06/2019	17:00	0,00	0,00			0,05092958	
Umidade (%)	10,30	9,99		02/06/2019	17:00	0,00	0,00			CBR:	
Umidade média	10,14			03/06/2019	17:00	0,00	0,00			20,33	
Dens. Solo seco (g/cm ³)	2,058			04/06/2019	17:00	0,00	0,00				
			05/06/2019	17:00	0,01	0,01	0,009				

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Newton

Localização: Zona Rural de São José de Ribamar

Furo: Nº 2

Data: 20/05/2019

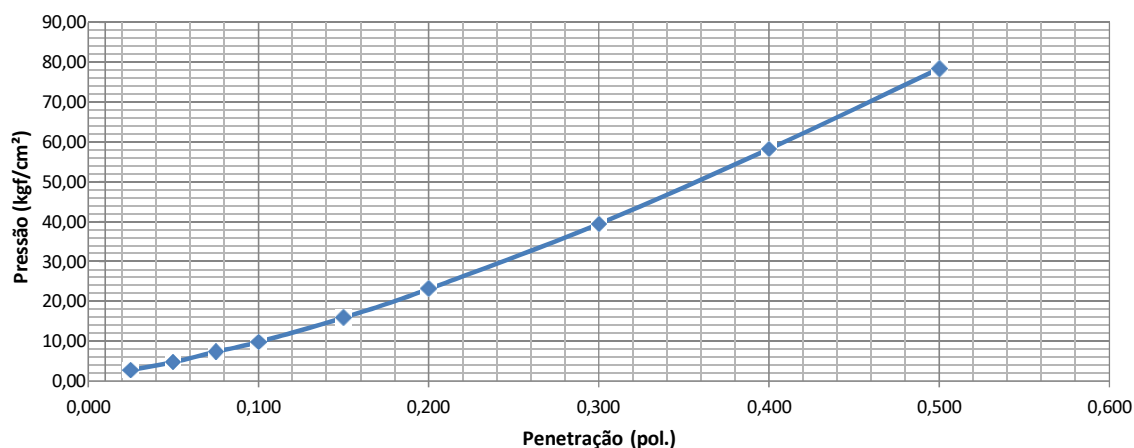
Amostra: AMO2

Operador: Wanderson Moraes Soares

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016

DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA								
Cilindro Nº	SN		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)	
Umidade Higroscópica (%)	2,62						Anel	Corrigida			
Peso do Cilindro + Solo Umido (g)	8.862,40			0,5	0,63	0,025	54	2,75			
Peso do Cilindro (g)	4.260,50			1	1,27	0,050	93	4,74			
Volume do Cilindro (cm ³)	2.052,42			1,5	1,90	0,075	144	7,33			
Peso Solo Umido (g)	4.601,90			2	2,54	0,100	192	9,78	70,32	13,91	
Dens. Solo Umido (g/cm ³)	2,242			3	3,81	0,150	312	15,89			
Cápsula Nº	27	25		4	5,08	0,200	453	23,07	105,46	21,88	
Cápsula + Solo Umido (g)	43,47	53,01		6	7,62	0,300	774	39,42	131,58	29,96	
Cápsula + Solo Seco (g)	41,21	49,77		8	10,16	0,400	1143	58,21	161,71	36,00	
Peso da Cápsula (g)	19,49	19,46	10	12,70	0,500	1539	78,38	182,80	42,88		
Peso da Água (g)	2,26	3,24	EXPANSÃO	Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel:		
Peso do Solo Seco (g)	21,72	30,31		01/06/2019	17:00	0,05	0,05			0,05092958	
Umidade (%)	10,41	10,69		02/06/2019	17:00	0,06	0,01			CBR:	
Umidade média	10,55			03/06/2019	17:00	0,07	0,02			21,88	
Dens. Solo seco (g/cm ³)	2,028			04/06/2019	17:00	0,12	0,07				
				05/06/2019	17:00	0,14	0,09	0,078			

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Hospital da Ilha

Localização: Av. São Luís Rei de França, Turú

Furo:

Data: 20/05/2019

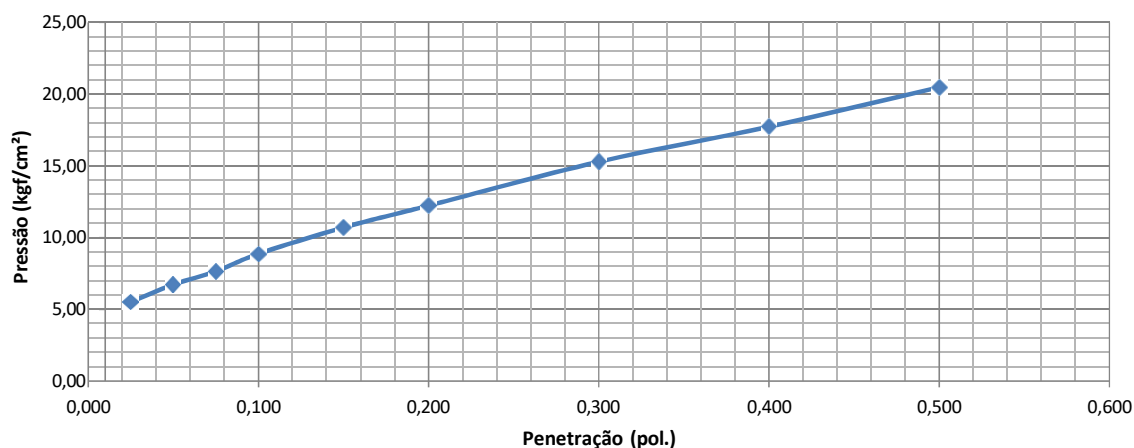
Amostra: AMO4

Operador: Wanderson Moraes Soares

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016

DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA							
Cilindro Nº	SN		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
Umidade Higroscópica (%)	3,56						Anel	Corrigida		
Peso do Cilindro + Solo Umido (g)	8.887,90			0,5	0,63	0,025	108	5,50		
Peso do Cilindro (g)	4.260,50			1	1,27	0,050	132	6,72		
Volume do Cilindro (cm ³)	2.052,42			1,5	1,90	0,075	150	7,64		
Peso Solo Umido (g)	4.627,40			2	2,54	0,100	174	8,86	70,32	12,60
Dens. Solo Umido (g/cm ³)	2,255			3	3,81	0,150	210	10,70		
Cápsula Nº	10	15		4	5,08	0,200	240	12,22	105,46	11,59
Cápsula + Solo Umido (g)	46,28	46,49		6	7,62	0,300	300	15,28	131,58	11,61
Cápsula + Solo Seco (g)	43,61	43,87		8	10,16	0,400	348	17,72	161,71	10,96
Peso da Cápsula (g)	17,36	19,45	10	12,70	0,500	402	20,47	182,80	11,20	
Peso da Água (g)	2,67	2,62	EXPANSÃO		Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel: 0,05092958 CBR: 12,60
Peso do Solo Seco (g)	26,25	24,42	01/06/2019	17:00	0,00	0,00				
Umidade (%)	10,17	10,73	02/06/2019	17:00	0,00	0,00				
Umidade média	10,45		03/06/2019	17:00	0,00	0,00				
Dens. Solo seco (g/cm ³)	2,041		04/06/2019	17:00	0,00	0,00				
			05/06/2019	17:00	0,01	0,01	0,009			

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Via Expressa

Localização: Av. Via Expressa, Vinhais Velho

Furo: Nº 1

Data: 13/07/2018

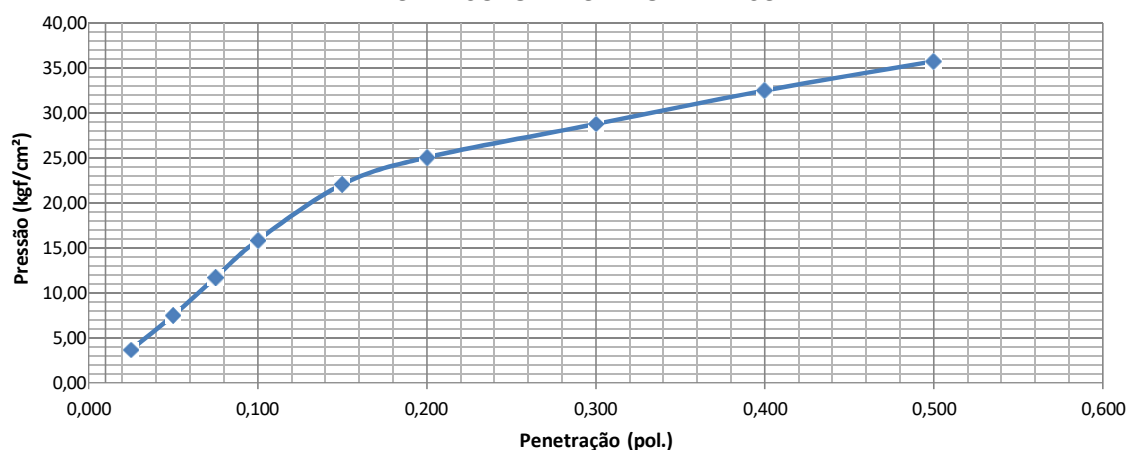
Amostra: AMO5

Operador: Pesquisador

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016

DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA							
Cilindro Nº	AMO2		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
Umidade Higroscópica (%)	0,48						Anel	Corrigida		
Peso do Cilindro + Solo Umido (g)	6,471,10			0,5	0,63	0,025	72	3,67		
Peso do Cilindro (g)	4.229,20			1	1,27	0,050	147	7,49		
Volume do Cilindro (cm ³)	2.087,46			1,5	1,90	0,075	230	11,71		
Peso Solo Umido (g)	4.241,90			2	2,54	0,100	311	15,84	70,32	22,52
Dens. Solo Umido (g/cm ³)	2,032			3	3,81	0,150	433	22,05		
Cápsula Nº	234	55		4	5,08	0,200	492	25,06	105,46	23,76
Cápsula + Solo Umido (g)	72,10	70,30		6	7,62	0,300	565	28,78	131,58	21,87
Cápsula + Solo Seco (g)	67,30	66,10		8	10,16	0,400	638	32,49	161,71	20,09
Peso da Cápsula (g)	14,10	17,50	10	12,70	0,500	702	35,75	182,80	19,56	
Peso da Água (g)	4,80	4,20	EXPANSÃO	Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel:	
Peso do Solo Seco (g)	53,20	48,60		13/07/2018	12:01	0,00	0,00	0,000	0,05092958	
Umidade (%)	9,02	8,64		14/07/2018	12:45	0,01	0,01	0,007	CBR:	
Umidade média	8,83			15/07/2018	11:35	0,01	0,01	0,007	23,76	
Dens. Solo seco (g/cm ³)	1,867			16/07/2018	12:22	0,01	0,01	0,007		
				17/07/2018	12:10	0,01	0,01	0,007		

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Via Expressa

Localização: Av. Via Expressa, Vinhais Velho

Furo: Nº 2

Data: 13/07/2018

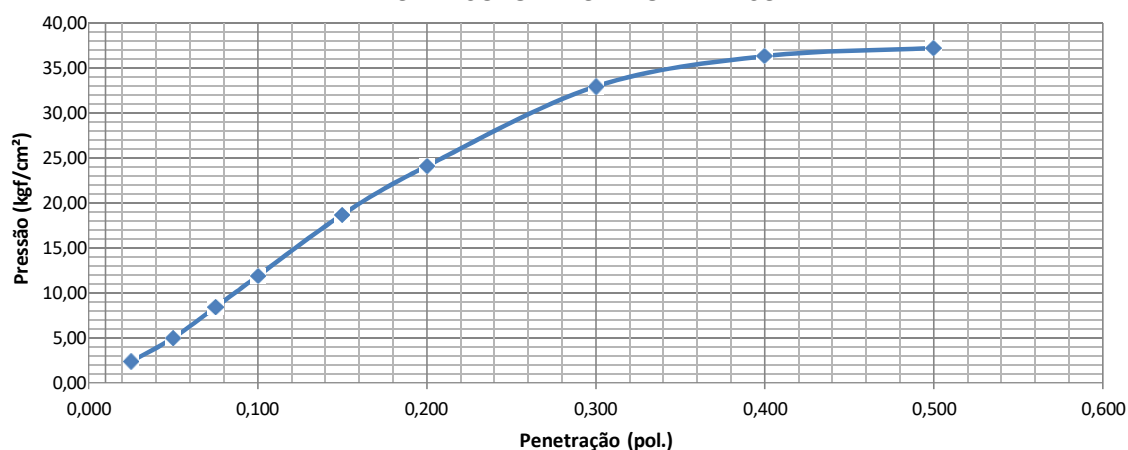
Amostra: AMO6

Operador: Pesquisador

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016

DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA							
Cilindro Nº	AMO3		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
Umidade Higroscópica (%)	0,32			Anel	Corrigida					
Peso do Cilindro + Solo Umido (g)	6.569,90			0,5	0,63	0,025	46	2,34		
Peso do Cilindro (g)	4.259,80			1	1,27	0,050	98	4,99		
Volume do Cilindro (cm ³)	2.087,46			1,5	1,90	0,075	165	8,40		
Peso Solo Umido (g)	4.330,10			2	2,54	0,100	233	11,87	70,32	16,88
Dens. Solo Umido (g/cm ³)	2,074			3	3,81	0,150	367	18,69		
Cápsula Nº	45	43		4	5,08	0,200	473	24,09	105,46	22,84
Cápsula + Solo Umido (g)	69,80	83,10		6	7,62	0,300	647	32,95	131,58	25,04
Cápsula + Solo Seco (g)	64,80	77,10		8	10,16	0,400	713	36,31	161,71	22,46
Peso da Cápsula (g)	18,20	17,30	10	12,70	0,500	731	37,23	182,80	20,37	
Peso da Água (g)	5,00	6,00	EXPANSÃO	Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel: 0,05092958	
Peso do Solo Seco (g)	46,60	59,80		13/07/2018	12:01	0,00	0,00	0,000		
Umidade (%)	10,73	10,03		14/07/2018	12:45	0,01	0,01	0,009		
Umidade média	10,38			15/07/2018	11:35	0,01	0,01	0,011	CBR: 22,84	
Dens. Solo seco (g/cm ³)	1,879			16/07/2018	12:22	0,02	0,02	0,020		
			17/07/2018	12:10	0,03	0,03	0,022			

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO - LSP

Jazida: Vale S.A.

Localização: Zona Industrial de São Luís, BR-135

Furo:

Data: 13/07/2018

Amostra: AMO7

Operador: Pesquisador

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC - DNIT 172/2016

DENSIDADE DO SOLOS SECO - γ_s (g/cm ³)			ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA								
Cilindro Nº	AMO7		PENETRAÇÃO	Tempo (min)	Pen. (mm)	Pen. (pol.)	Leitura (kgf/cm ²)		Pressão Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)	
Umidade Higroscópica (%)	0,48						Anel	Corrigida			
Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	9.119,80			0,5	0,63	0,025	76	3,87			
Peso do Cilindro (g)	4.278,10			1	1,27	0,050	139	7,08			
Volume do Cilindro (cm ³)	2.080,06			1,5	1,90	0,075	193	9,83			
Peso Solo Úmido (g)	4.841,70			2	2,54	0,100	241	12,27	70,32	17,45	
Dens. Solo Úmido (g/cm ³)	2,328			3	3,81	0,150	321	16,35			
Cápsula Nº	10	5		4	5,08	0,200	382	19,46	105,46	18,45	
Cápsula + Solo Úmido (g)	66,22	55,92		6	7,62	0,300	471	23,99	131,58	18,23	
Cápsula + Solo Seco (g)	61,87	52,61		8	10,16	0,400	532	27,09	161,71	16,76	
Peso da Cápsula (g)	15,21	15,30	10	12,70	0,500	585	29,79	182,80	16,30		
Peso da Água (g)	4,35	3,31	EXPANSÃO	Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Constante do Anel:		
Peso do Solo Seco (g)	46,66	37,31		13/01/2018	10:50	0,00	0,00			0,05092958	
Umidade (%)	9,32	8,87		14/01/2018	10:50	0,00	0,00			CBR:	
Umidade média	9,10			15/01/2018	10:50	0,00	0,00			18,45	
Dens. Solo seco (g/cm ³)	2,134			16/01/2018	10:50	0,00	0,00				
				17/01/2018	10:50	0,03	0,03	0,026			

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - ISC

