



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MAX ALBERTO CANCIAN

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE, POROSIDADE
E DO TEMPO DE APLICAÇÃO NA MISTURA SOLO-
CIMENTO PARA PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE UM
SOLO DA BACIA DO PARANÁ**

MAX ALBERTO CANCIAN

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE, POROSIDADE E
DO TEMPO DE APLICAÇÃO NA MISTURA SOLO-
CIMENTO PARA PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE UM
SOLO DA BACIA DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Souza Teixeira

LONDRINA - PR
2013

Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C215i Cancian, Max Alberto.

Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná / Max Alberto Cancian. – Londrina, 2013. xix , 199 f. : il.

Orientador: Raquel Souza Teixeira.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2013.

Inclui bibliografia.

1. Solo-cimento – Pavimentos – Teses. 2. Pavimentos de asfalto – Teses. 3. Rodovias – Construção – Teses. 4. Engenharia civil – Teses. I. Teixeira, Raquel Souza. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

CDU 625.8

MAX ALBERTO CANCIAN

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE, POROSIDADE E DO TEMPO
DE APLICAÇÃO NA MISTURA SOLO-CIMENTO PARA PAVIMENTO
RODOVIÁRIO DE UM SOLO DA BACIA DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Raquel Souza Teixeira
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Berenice Martins Toralles Carbonari
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Carlos José Marques Costa Branco
Universidade Estadual de Londrina

Dr.^a Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva
Instituto de Pesquisas Rodoviárias - DNIT

Londrina, 03 de abril de 2013.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Solange e Maximiano Cancian, pelo
incentivo e, principalmente, pelas
oportunidades a mim proporcionadas.*

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Dra. Raquel Souza Teixeira, pela disposição e comprometimento, fatores determinantes para a realização deste trabalho.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, a Polícia Rodoviária Federal e às empresas que forneceram ou propiciaram os equipamentos, pessoal e insumos utilizados na pesquisa, sem os quais esse trabalho não se tornaria uma realidade.

A todos os professores que de alguma forma contribuíram para esse trabalho e para minha formação acadêmica.

A todos os familiares e amigos que sempre torceram por mim.

Muito Obrigado.

“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida, ou como um resultado que aponta uma nova direção”.

Steve Jobs

CANCIAN, Max Alberto. **Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

RESUMO

As obras de pavimentação, em geral, são de grande importância à engenharia civil, pois necessitam de grandes investimentos financeiros, em suas execuções. Cabe destacar, que a adoção de soluções equivocadas pode resultar em gastos desnecessários, obras inacabadas ou com problemas de compatibilidade entre o solo e o sistema de pavimentação adotado. Este trabalho de pesquisa apresenta um método para um estudo teórico-prático sobre a influência da umidade, da porosidade e do tempo de aplicação na mistura de base de pavimento rodoviário de solo estabilizado com cimento Portland, largamente utilizado na região oeste do estado do Paraná. A pesquisa tem como estratégia um estudo a partir de vários ensaios de laboratório e ensaios de carga em campo, em um pavimento de rodovia. O solo utilizado na pesquisa foi coletado de uma obra rodoviária, na cidade de Tuneiras do Oeste, sendo que os experimentos de laboratório e pavimento foram realizados no município de Marechal Cândido Rondon. O objetivo desse trabalho é avaliar a influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação no comportamento da mistura de solo estabilizado com cimento Portland, para que projetistas e executores de obras rodoviárias, que utilizam este material, tenham mais subsídios e, com isso, sejam evitados casos de diminuição na qualidade e conseqüentemente de durabilidade, nas obras com esta solução de engenharia. Os resultados apontaram a influência da dosagem de água na resistência à compressão simples da mistura, devido à modificação desta na estrutura do solo-cimento e na hidratação do cimento. Com relação à porosidade verificou-se que quanto menos poroso o solo-cimento melhor é o desempenho mecânico. Constatou-se que o tempo entre homogeneização e compactação do solo cimento é limitado, sendo que o mesmo varia conforme a dosagem da água, quantidade de cimento e de parâmetros da compactação.

Palavras-chave: Tempo de mistura. Umidade. Porosidade. Solo-Cimento. Estabilização de solo. Pavimento. Rodovia.

CANCIAN, Max Alberto. **Influence of moisture content, porosity and application time in solo-mix concrete floor for a solo road Paraná basin.** 2013. Dissertation (Master's Degree in Construction and Sanitation Engineering) - State University of Londrina, Londrina.

ABSTRACT

The paving in general are of great importance to civil engineering, since they require large financial investments in their executions. It is worth noting that the adoption of wrong solutions can result in unnecessary spending, unfinished or compatibility issues between the soil and paving system adopted. This research presents a method to study theoretical and practical knowledge about the influence of moisture, porosity and application time on the base mixture of road surface soil stabilized with Portland cement, widely used in the western region of the state of Paraná. The research is a study strategy from various laboratory tests and load tests in the field, on a highway pavement. The soil used in the study was collected from a road project in the city of Tuneiras West, and the floor and laboratory experiments were conducted in the municipality of Rondon. The aim of this study is to assess the influence of moisture content, porosity and application time on the behavior of soil mixture stabilized with Portland cement, so that designers and implementers of road works, using this material, and have more subsidies, with therefore, cases are avoided and hence reduction in the quality of durability, the works with this engineering solution. The results showed the influence of dosage of water in unconfined compressive strength of the mixture, due to this change in the structure of soil-cement and cement hydration. With respect to porosity was found that the less porous the soil cement is better mechanical performance. It was found that the time between homogenization and compacting of the ground cement is limited, and the same dosage varies according to the water content of cement of cement and compression parameters.

Key Words: Mixing time. Humidity. Porosity. Soil-Cement. Soil stabilization. Floor. Highway.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	– Porosidade	32
Equação 2	– Índice de vazios	32
Equação 3	– Grau de saturação	32
Equação 4	– Teor de umidade	32
Equação 5	– Peso específico natural.....	32
Equação 6	– Peso específico dos sólidos.....	32
Equação 7	– Peso específico seco	33
Equação 8	– Correlação peso específico natural.....	33
Equação 9	– Correlação peso específico dos sólidos/umidade	33
Equação 10	– Correlação peso específico dos sólidos/vazios.....	33
Equação 11	– Correlação peso específico saturado/vazios.....	33
Equação 12	– Correlação índice de vazios/peso específico dos sólidos	33
Equação 13	– Correlação índice de vazios/umidade	33
Equação 14	– Correlação porosidade/vazios.....	33
Equação 15	– Correlação grau de saturação/umidade/vazios.....	33
Equação 16	– Coeficiente angular da ordenada para classificação MCT	39
Equação 17	– Deflexão admissível DNER-PRO 11/1974	114
Equação 18	– Deflexão admissível DNER-PRO 269/1994	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos do solo, dispersão natural (a) e separação didática (b)	26
Figura 2 – Aparelho de Casagrande (a) e Sulco aberto com cinzel (b).....	31
Figura 3 – Ábaco para classificação MCT.....	34
Figura 4 – Curva de compactação obtida em ensaio de compactação.....	36
Figura 5 – Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland	39
Figura 6 – Execução de compactação no solo com finalidade de estabilização nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 321	44
Figura 7 – Execução de estabilização granulométrica do solo nas obras de implantação da LMG-650/MG no seguimento entre Medina e Comercinho no km 26.....	45
Figura 8 – Execução de estabilização de solo com cimento Portland nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 326.....	47
Figura 9 – Construção de habitação com blocos de solo-cimento	57
Figura 10 – Central de mistura de solo cimento em usina das obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 288.	64
Figura 11 – Mistura de solo-cimento em pista nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 306.	64
Figura 12 – Estabilização com uso de recicladora nas das obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 310.	65
Figura 13 – Rompimento da base de solo estabilizado com cimento na BR-376/PR.....	67
Figura 14 – Resistência média à compressão simples x tempo de cura de uma argila aluvionar com teor de 10 % de cimento Portland.....	71
Figura 15 – Mapa Geológico do Estado do Paraná	73
Figura 16 – Esquema de perfil geotécnico típico do local da coleta das amostras ...	74
Figura 17 – Escavação de solo para experimentação	77
Figura 18 – Ensaio de Limite de Plasticidade	80
Figura 19 – Preparação das amostras.....	84

Figura 20 – Verificação do teor de umidade do solo.....	84
Figura 21 – Adição e mistura de cimento Portland ao solo.....	85
Figura 22 – Compactação e pesagem dos corpos de prova.....	86
Figura 23 – Mistura dos materiais nas baterias de ensaios	90
Figura 24 – Adição do cimento e da água na mistura.....	91
Figura 25 – Molde, escarificador e aparelho para extrusão dos corpos de prova.....	93
Figura 26 – Acondicionamento dos corpos de prova em sacos plásticos.....	94
Figura 27 – Imersão e controle geométrico dos corpos de prova.	95
Figura 28 – Prensa de compressão simples (a) e um corpo de prova após ruptura (b)	96
Figura 29 – Demarcação dos locais onde foram realizados os ensaios de campo, BR-163/PR km 276.	98
Figura 30 – Demarcação dos locais a serem realizados os remendos experimentais em campo, com traço solo-cimento: (1) 6% de cimento e (2) e 7% de cimento	99
Figura 31 – Corte do revestimento betuminoso para realização do remendo experimental em campo.....	100
Figura 32 – Retirada do revestimento em camada concreto betuminoso para execução do ensaio de campo	101
Figura 33 – Retirada da base antiga em ensaio de campo.....	102
Figura 34 – Arremates nas cavas dos locais para os ensaios de campo.....	102
Figura 35 – Compactação das cavas em ensaio de campo.....	103
Figura 36 – Mistura manual dos materiais para o ensaio de campo.....	104
Figura 37 – Realização de ensaios complementares em campo.....	105
Figura 38 – Compactação realizada nos ensaios de campo.....	105
Figura 39 – Imprimação de base em ensaios de campo.....	106
Figura 40 – Capa de rolamento recomposta para o ensaio de campo.....	106
Figura 41 – Verificação de deflexão em um dos remendos experimentais, usando a Viga Benkelman	107
Figura 42 – Pontos de medidas de deflexão nos remendos experimentais e no pavimento natural	108

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Curva granulométrica do solo por peneiramento e sedimentação 111
- Gráfico 2** – Curva de compactação resultante do ensaio de compactação 113
- Gráfico 3** – Curvas de compactação do traço com teor de 6% de cimento 117
- Gráfico 4** – Curvas de compactação do traço com teor de 7% de cimento 117
- Gráfico 5** – Teor de umidade versus resistência à compressão simples –
Teor 6% de cimento 120
- Gráfico 6** – Teor de umidade versus resistência à compressão simples –
Teor 7% de cimento 120
- Gráfico 7** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6%,
umidade ótima e energia Normal de Proctor na compactação..... 125
- Gráfico 8** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7%,
umidade ótima e energia Normal de Proctor na compactação..... 126
- Gráfico 9** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6%,
umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na
compactação..... 133
- Gráfico 10** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7%,
umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na
compactação..... 134
- Gráfico 11** – Teor de umidade versus resistência à compressão simples dos
ensaos de laboratório com teor de cimento de 6% e 7%,
umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na
compactação..... 135
- Gráfico 12** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6%,
umidade ótima +1% e energia alterada na compactação 140
- Gráfico 13** – Tempo de aplicação versus resistência à compressão simples
média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7%,
umidade ótima +1% e energia alterada na compactação 141

Gráfico 14 – Teor de umidade versus resistência à compressão simples dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6% e 7%, umidade ótima +1% e energia alterada na compactação	142
Gráfico 15 – Absorção de água após imersão por 4 horas versus resistência à compressão simples - Teor de cimento de 6%	144
Gráfico 16 – Absorção de água após imersão por 4 horas versus resistência à compressão simples - Teor de cimento de 7%	145
Gráfico 17 – Resultados médios dos tempos máximos entre homogeneização e compactação.....	146
Gráfico 18 – Resultado do monitoramento da deflexão nos ensaios de campo em função do tempo	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	30
Quadro 2	–	Classificação da plasticidade dos solos	31
Quadro 3	–	Índices de Atterberg, de alguns solos brasileiros	32
Quadro 4	–	Classificação Transportation Research Board	33
Quadro 5	–	Tipos de cimento fabricados no Brasil.....	38
Quadro 6	–	Faixas de composição granulométricas para bases.....	46
Quadro 7	–	Tipo de estabilização mais efetiva.....	48
Quadro 8	–	Teor de cimento sugerido pela ABNT para do solo-cimento	56
Quadro 9	–	Características granulométrica do solo requeridas pelo DNIT	62
Quadro 10	–	Características técnicas do cimento utilizado.....	875

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio de caracterização e normativas aplicadas	78
Tabela 2 – Característica das baterias de ensaio	89
Tabela 3 – Resultado do ensaio de granulometria do solo por peneiramento	110
Tabela 4 – Resultado do ensaio de granulometria do solo por sedimentação.....	111
Tabela 5 – Limites de consistência do solo	112
Tabela 6 – Resultado do ensaio de compactação e I.S.C	113
Tabela 7 – Resumo dos resultados dos ensaios de caracterização do solo.....	115
Tabela 8 – Resultados obtidos nas curvas de compactação com energia Normal de Proctor.....	118
Tabela 9 – Resultados obtidos nas curvas de compactação	119
Tabela 10 –Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 1, 2, 9 e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.....	122
Tabela 11 –Resultados de massa específica seca obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.....	123
Tabela 12 –Resultados de absorção obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaio de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.....	124
Tabela 13 –Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação	125
Tabela 14 –Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.....	127
Tabela 15 –Resultados de massa específica seca obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo+ 1% e energia Normal de Proctor na compactação.....	129

Tabela 16 –Resultados de absorção obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.....	130
Tabela 17 –Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.....	132
Tabela 18 –Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.....	136
Tabela 19 –Resultados de massa especifica seca obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.....	138
Tabela 20 –Resultados de absorção obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.....	139
Tabela 21 –Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação	140
Tabela 22 –Resultado do monitoramento da deflexão nos ensaios de campo.....	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highways and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BC	Cimento de Baixo Calor de Hidratação
CBR	California Bearing Ratio
COBRAMSEG	Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
CP	Cimento Portland
CP	Cimento Comum
CP II-E	Cimento Composto com Escória
CP II-F	Cimento Composto com Fíler
CP III	Cimento De Alto-Forno
CP II-Z	Cimento Composto com Pozolana
CP I-S	Cimento Comum com Adição
CP IV	Cimento Pozolânico
CP V-ARI	Cimento de Alta Resistência Inicial
CPB	Cimento Branco
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES	Especificação de Serviço
HRB	Highway Research Board
IFG	International Focus Group on Rural Road Engineering
IP	Índice de Plasticidade
IS	Instrução de Serviço
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MCT	Miniatura Compactação Tropical

MCV	Moisture Condition Value
ME	Método de Ensaio
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira
NL	Não Líquido
NP	Não Plástico
PCA	Portland Cement Association
PNV	Plano Nacional de Viação
pH	Potencial Hidrogeniônico
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PRO	Procedimento
RS	Cimento Resistente a Sulfatos
RCS	Resistência à Compressão Simples
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SICRO	Sistema de Custos Rodoviários
SUC	Sistema Unificado de Classificação
TRB	Transportation Research Board
UEA	Estados Unidos da América
UEL	Universidade Estadual de Londrina

LISTA DE SÍMBOLOS

γ	Peso específico natural
γ_d	Peso específico seco
γ_s	Peso específico dos sólidos
γ_{sat}	Peso específico do solo saturado
γ_{sub}	Peso específico do solo submerso
c'	Inclinação da curva de deformabilidade para Mini-MCV=10
d'	Coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação Mini-MC
e	Índice de Vazios
kg/cm^2	Quilograma por centímetro quadrado
km	Quilômetro
kN/m^3	Quilo-Newton por metro cúbico
kPa	Quilo-Pascal
MPa	Mega Pascal
M_s	Massa de sólidos
M_T	Massa total
M_w	Massa de água
n	Porosidade
P_i	Perda de massa por imersão
S_r	Grau de saturação
V_s	Volume de sólidos
V_T	Volume total
V_v	Volume de vazios
V_w	Volume de água
w	Teor de umidade
w_{OT}	Teor de umidade Ótimo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS	23
1.1.1 Objetivo Geral	23
1.1.2 Objetivos Específicos	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 SOLO	24
2.1.1 Origem e Formação do Ponto de Vista Geotécnico	25
2.1.2 Propriedades	26
2.1.3 Índices Físicos.....	28
2.1.4 Análise Granulométrica	30
2.1.5 Limites de Consistência.....	30
2.1.6 Sistemas de Classificação para Uso em Pavimentos.....	32
2.1.7 Compactação	35
2.2 CIMENTO PORTLAND	37
2.3 Estabilização de solos	39
2.3.1 Tipos de Estabilização de Solos.....	41
2.3.2 Solo Estabilizado com Cimento	49
3 MATERIAIS E MÉTODOS	72
3.1 MATERIAIS.....	72
3.1.1 Características Regionais.....	72
3.1.2 A Jazida e a Retirada de Amostras de Solo	74
3.1.3 Solo	74
3.1.4 Cimento Portland	74
3.1.5 Água.....	75
3.2 MÉTODOS.....	75
3.2.1 Campanha Experimental	76
3.2.2 Corpos de Prova.....	82
3.2.3 Experimento de campo.....	96

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	110
4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	110
4.2 CURVAS DE COMPACTAÇÃO	116
4.3 Baterias de Ensaio Laboratoriais.....	121
4.3.1 Ensaio Utilizando Umidade Ótima e Energia Normal	121
4.3.2 Ensaio Utilizando Umidade Ótima +1% e Energia Normal	127
4.3.3 Ensaio Utilizando Umidade Ótima +1% e Energia Alterada	135
4.3.4 Influência da Umidade na Resistência à Compressão	142
4.3.5 Influência da Porosidade na Resistência à Compressão	143
4.3.6 Influência do Tempo de Aplicação na Resistência à Compressão.....	145
4.4 ENSAIOS DE CAMPO	147
4.5 PROPOSTA DE ROTEIRO PARA DIMENSIONAMENTO DE MISTURA DE SOLO- CIMENTO PARA PAVIMENTO.....	149
5 CONCLUSÃO	150
6 SUGESTÕES PARA OUTROS ESTUDOS	154
REFERÊNCIAS	155
APÊNDICES	165
APÊNDICE A – Ensaio de Caracterização do solo	166
APÊNDICE B – Curvas de Compactação	173
APÊNDICE C – Baterias de Ensaio Laboratoriais	179
APÊNDICE D – Ensaio de Campo	196

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, até a presente data, o país tem mais de 25 mil quilômetros com a execução de bases ou sub-bases com solo-cimento em suas estradas, sendo que a primeira rodovia federal a usar esta solução de engenharia foi a Caxambú-Areia.

Em rodovias, para a mistura solo-cimento, pode ser usado o solo do próprio subleito da via, a ser implantada, podendo ser misturado "in loco" com equipamentos específicos ou utilizar solos de jazidas próximas ao local da obra, que podem ser misturados em central ou no local de execução do pavimento.

Desde o início da utilização de solo estabilizado com cimento em pavimentos rodoviários, seja em base, sub-base ou reforço de subleito foram confirmadas, em campo e laboratório, diversas manifestações patológicas tais como: fissuras, ondulações, deflexões, entre outras.

No contexto econômico, o mau dimensionamento das bases das vias pode implicar em rápida deterioração do pavimento, gastos desnecessários, obras inacabadas, ou ainda, inviabilizar a execução das mesmas.

Tecnicamente, a falta de informações sobre os materiais geotécnicos e as modificações, causadas pela estabilização do solo com cimento Portland, no que diz respeito às características e comportamento, bem como o intervalo de tempo ideal para a aplicação, dessa mistura, pode levar a divergências entre o desempenho estabelecido em projeto e o real obtido em campo.

Sendo assim, a definição do traço e do tempo de aplicação se faz importante, proporcionando estruturas mais econômicas, com o uso de mão-de-obra e equipamentos disponíveis e que fiquem em harmonia com as diferentes condições de contorno das obras.

Percebe-se então que um estudo detalhado sobre a definição do traço e tempo de aplicação do solo estabilizado com cimento pode viabilizar obras de engenharia, considerando um limite financeiro disponível, no lugar de pavimento asfáltico ou em concreto após as bases. Existe, também, um fator de desenvolvimento social envolvido, visto que, todas as obras civis geram empregos diretos e indiretos, impostos, riquezas e conseqüentemente desenvolvimento nas regiões onde são executadas e até mesmo em regiões vizinhas.

A maioria dos estudos atuais focam seus esforços no teor de cimento, na energia de compactação e no desenvolvimento de métodos racionais de dosagem da mistura de solo-cimento. As recentes pesquisas sobre o comportamento das misturas de solo-cimento são, na maioria, focadas no desenvolvimento de uma metodologia racional para a dosagem da mistura, principalmente métodos que relacionam resistência com a porosidade e volume de cimento.

Contudo, é possível encontrar na comunidade acadêmica mundial e nacional algumas pesquisas acerca de outros parâmetros que influenciam no desempenho do solo-cimento, como, por exemplo, tipologia do solo, umidade, quantidade de cimento e aditivos especiais.

Nota-se, em muitos casos, que nos projetos de pavimento com uso de solo estabilizado com cimento para base ou sub-base rodoviária alguns ensaios de laboratório não são realizados para avaliar o desempenho da mistura. Alguns projetistas justificam a não realização de uma avaliação, mais criteriosa, das misturas ao tempo e ou aos gastos necessários para execução das mesmas. Por isso, frequentemente, são observados inconsistências em projetos de solo-cimento que acarretam sérios problemas no pavimento de importantes vias brasileiras.

O problema então se mostra explícito em relação ao comportamento da mistura solo-cimento, frente às solicitações de campo, levando em consideração a grande variabilidade dos materiais envolvidos e as situações de contorno sem que haja superdimensionamento e conseqüente gasto adicional nas obras ou problemas de durabilidade e segurança nas rodovias.

Sendo assim, a hipótese desse trabalho está baseada na verificação de uma relação direta entre o tempo da realização da homogeneização do solo-cimento e a sua aplicação em campo, no pavimento rodoviário, analisando o comprometimento mecânico ao longo de sua vida útil, frente à umidade e porosidade da mistura de solo-cimento com emprego de um solo arenoso, constante do mapa geológico do Estado do Paraná, conforme as Figuras 14 e 15.

Espera-se com esse trabalho auxiliar os projetistas da área de pavimentação que utilizam o solo-cimento como solução. Para tanto, este trabalho está estruturado em capítulos na seguinte ordem:

- Revisão bibliográfica: exposição de análise crítica das publicações disponíveis sobre solo-cimento;
- Materiais e métodos: demonstração minuciosa dos materiais e métodos utilizados na pesquisa;
- Resultados e discussões: apresentação e debate dos resultados obtidos;
- Conclusão: Síntese sobre os pontos de interesse do trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal da pesquisa é avaliar o intervalo de tempo ideal para a aplicação do solo estabilizado com cimento para base de um pavimento rodoviário, considerando os fatores de influência da umidade e da porosidade da mistura, relacionando-os com o parâmetro da resistência à compressão simples, de um solo da Bacia do Paraná.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar a interferência da umidade e da porosidade na resistência à compressão simples na mistura de solo-cimento para os traços estudados;
- b) Verificar os intervalos de tempo máximos para cada traço estudado, bem como as variáveis que interferem no tempo de aplicação, intervalo entre homogeneização e compactação final, considerando o desempenho solicitado e normas aplicáveis;
- c) Considerações para sistematização do dimensionamento de mistura de solo-cimento com a finalidade de uso em pavimentação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entende-se por solo estabilizado com cimento como sendo o material originado da mistura homogeneizada de solo, água e cimento Portland nas proporções corretas, compactada e curada. O material final deste procedimento de estabilização possui boa resistência à compressão, baixa permeabilidade e pouca variação de volume (CASTRO, 2008).

O material solo é o constituinte maior da mistura sendo que a quantidade de cimento Portland adicionada varia entre 5% a 10% em peso e a água é adicionada conforme as propriedades do solo e do cimento para conferir à mistura as propriedades necessárias de resistência mecânica e durabilidade (LOPES, 2002).

Qualquer tipo de solo pode ser estabilizado com cimento, contudo, os solos com teor de areia entre 40% e 50% são os mais apropriados para este fim por proporcionarem misturas de maior durabilidade. O solo mais indicado para um pavimento com base de solo-cimento é o do local da obra, pois assim são diminuídos os custos com transporte que viabiliza a execução. Os solos com alta carga orgânica não podem ser utilizados (LOPES, 2002).

O solo-cimento também é utilizado na construção de habitações, podendo ser executado por paredes monolíticas ou por blocos prensados dependendo das características de cada obra em particular. A execução normalmente se restringe às paredes, entretanto, solo-cimento pode ser utilizado nas fundações, calçadas e contrapisos (HABITAR, 2012).

A seguir apresentam-se uma exposição das publicações disponíveis sobre solo-cimento, bem como de ma revisão bibliográfica no que diz respeito aos parâmetros de interesse deste trabalho.

2.1 SOLO

Os solos são muito diferentes entre si e respondem diferentemente quando sujeitos as solicitações iguais. Sendo assim, todas as experiências acumuladas pelos construtores ao longo dos anos são de grande importância na geotecnia, pelo fato de incorporarem um grande número de informações sobre solos existentes (SOUSA PINTO, 2006).

Conforme Sousa Pinto (2006) é certo que apenas as experiências passadas não são suficientes para prever o comportamento de todo e qualquer solo, como mostra alguns insucessos em obras de engenharia civil, como a ruptura do Canal do Panamá e o rompimento de grandes taludes e canais em construção na Europa e nos Estados Unidos. Dentro desta observação, constata-se que no Brasil, também houve alguns insucessos de pavimentos de rodovias, com base de solo-cimento, conforme a Figura 13.

Como apontou Terzaghi (1936), o solo não é um material bem definido, como o concreto ou aço. Na verdade é um material heterogêneo e demasiadamente complexo para tratamentos teóricos rígidos.

Sendo assim, o conhecimento das características do solo não deve ficar somente dentro área da mecânica pura ou do empirismo. Deve-se buscar sempre o entendimento completo, ou seja, com estudos na área da química e da física coloidal, que são também, partes integrantes da Mecânica dos Solos (PESSOA, 2004).

2.1.1 Origem e Formação do Ponto de Vista Geotécnico

Solo é o material formado por partículas sólidas, originadas de uma rocha mãe, que contem vazios preenchidos por água ou ar. Portanto, o solo é o resultado do intemperismo, seja pela desintegração mecânica ou pela decomposição química de rochas (VARGAS, 1977).

A desintegração mecânica se dá pela ação da água, temperatura, vegetação e do vento se formando através deste processo os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias) e, em condições especiais, as argilas (CASTRO, 2008).

Por decomposição química entende-se o processo de modificação química ou mineralógica da rocha de origem, sendo a água o principal agente e os mecanismos de ataque são: a oxidação, a hidratação, a carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição (CASTRO, 2008).

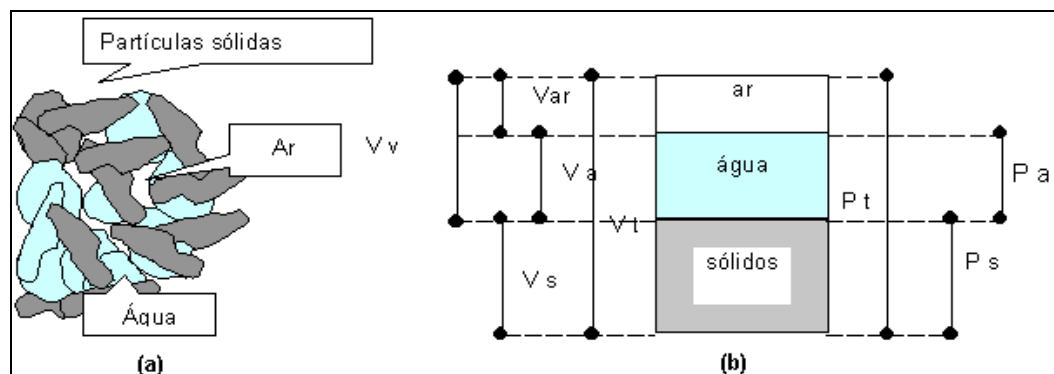
O solo é constituído por camadas, podendo ser residuais, sedimentares ou orgânicas dependendo do tipo de agente responsável pela decomposição, desmonte ou transporte das partículas (CAPUTO, 1980).

Segundo Caputo (1980) solos residuais são os que permanecem no local da rocha de origem, observando-se uma gradual transição do solo até a rocha. Os solos sedimentares são os que sofreram ação de agentes transportadores, podendo ser aluvionares (quando transportados pela água), eólicos (quando pelo vento), coluvionares (pela ação da gravidade) e glaciares (pelas geleiras) e os solos orgânicos que são os de origem essencialmente orgânica, seja de natureza animal (conchas), seja vegetal (plantas e raízes).

2.1.2 Propriedades

O conhecimento das propriedades do solo é imprescindível para qualquer projeto que envolva geotecnia, pois, são elas que indicam o mais provável comportamento do solo quando este for solicitado. É sabido que o solo é composto por três elementos: os sólidos, a água e o ar. A Figura 1(a) exemplifica uma porção de solo com seus elementos dispersos naturalmente e a Figura 1(b) mostra essa mesma porção de solo para melhor entendimento didático (CAPUTO 1987).

Figura 1 – Elementos do solo, dispersão natural (a) e separação didática (b)



Fonte: Caputo (1987).

De acordo com Caputo (1987) as propriedades do solo em sua fase sólida que mais interessam para a geotecnia destacam-se:

Peso específico: o peso da substância sólida por unidade de volume;

Forma das partículas sólidas: podendo ser classificadas como arredondadas, lamelares e fibrilares;

Atividade elétrica: presente na superfície dos finos indica carga elétrica importante para compreensão do solo;

Granulometria: define principalmente como se dá o comportamento quanto ao deslizamento entre as partículas e como se procede a percolação de águas no solo. Os solos podem ter granulometria contínua, uniforme e descontínua.

Além das propriedades das partículas sólidas é muito importante o conhecimento dos outros dois elementos constituintes do solo, ou seja, a água e o ar. É de grande interesse separar os diferentes estados em que a água se apresenta nos solos, entretanto, essa tarefa é extremamente difícil (SOUSA PINTO, 2006).

De acordo com Caputo (1987) a água pode estar presente no solo nos seguintes estados:

Água de constituição: é a que faz parte da estrutura molecular da partícula sólida, ou seja, é aquela que envolve e adere fortemente à partícula sólida;

Água livre: é a que se encontra preenchendo os vazios do solo, seu estudo é norteado pelas leis da hidráulica;

Água higroscópica: é a que se encontra presente em um solo seco ao ar livre;

Água capilar: é a que sobe pelos interstícios capilares deixados pelas partículas sólidas, além da superfície livre da água.

As águas livre, higroscópica e capilar são as que podem ser totalmente evaporadas pelo efeito do calor, a uma temperatura maior que 100°C. Quanto à fase gasosa, que preenche os vazios das demais fases, é constituída por ar, vapor d'água e carbono combinado (CAPUTO, 1987).

2.1.3 Índices Físicos

“O comportamento de um solo depende da quantidade relativa de cada um dos três elementos (sólido, água e ar). Diversas relações são empregadas para expressar as proporções entre elas” (MASSAD, 2003).

O peso específico dos sólidos, γ_s , fica em torno de 26 a 27 kN/m³ para os solos convencionais e pode chegar a 30 kN/m³ em alguns solos que possuem partículas de ferro. Já o peso específico da água γ_w , é sempre considerado igual a 10 kN/m³ em problemas de engenharia. O peso do ar é desprezado (MASSAD, 2003).

Na mecânica dos solos são empregados os seguintes índices:

Porosidade: (0 < n < 100 %)

$$n = V_V / V_T \quad (\text{Equação 1})$$

Índice de vazios: (0 < e < 20)

$$e = V_V / V_S \quad (\text{Equação 2})$$

Grau de saturação: (0 < Sr < 100 %)

$$Sr = V_W / V_V \quad (\text{Equação 3})$$

Teor de umidade: (0 < w < 1500 %)

$$W = M_W / M_S \quad (\text{Equação 4})$$

Peso específico natural: (10 < γ < 25 kN/m³)

$$\gamma = M_T / V_T \quad (\text{Equação 5})$$

Peso específico dos sólidos: (25 < γ_s < 30 kN/m³)

$$\gamma_s = M_S / V_S \quad (\text{Equação 6})$$

Peso específico seco: (20 < γ_d < 30 kN/m³)

$$\gamma_d = M_S / V_T \quad (\text{Equação 7})$$

Onde,

M_S = Massa de sólidos;

M_T = Massa total;

M_W = Massa de água;

V_S = Volume de sólidos;

V_T = Volume total;

V_V = Volume de vazios; e

V_W = Volume de água.

O peso específico γ_{sat} é o peso específico do solo se todos os vazios fossem ocupados pela água já, o peso específico submerso γ_{sub} é o peso efetivo do solo quando saturado e submerso, igual, portanto, ao peso específico saturado menos o peso específico da água. Visto isto e considerando as equações de 1 a 7, citadas anteriormente, podem-se notar correlações diretas e realizar deduções como as que se segue:

$$\gamma = [\gamma_s \cdot (1+w)] / (1+e) \quad \text{(Equação 8)}$$

$$\gamma_d = \gamma / (1+w) \quad \text{(Equação 9)}$$

$$\gamma_d = \gamma_s / (1+e) \quad \text{(Equação 10)}$$

$$\gamma_{Sat} = [\gamma_s + (e \cdot \gamma_w)] / (1+e) \quad \text{(Equação 11)}$$

$$e = (\gamma_s / \gamma_d) - 1 \quad \text{(Equação 12)}$$

$$e = w \cdot (\gamma_d / \gamma_w) \quad \text{(Equação 13)}$$

$$n = e / (1+e) \quad \text{(Equação 14)}$$

$$Sr = (\gamma_s \cdot w) / (e \cdot \gamma_w) \quad \text{(Equação 15)}$$

2.1.4 Análise Granulométrica

Os sistemas de classificação baseiam-se no tamanho dos grãos e nas características dos argilo-minerais. O tamanho dos grãos é determinado diretamente pela análise granulométrica, mas as características dos argilo-minerais são consideradas, indiretamente, pelo comportamento do solo na água, medido pelos limites de Atterberg (SOUSA PINTO, 1998). O Quadro 1 indica os limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Quadro 1 – Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Tamanho do grão (mm)
Matacão	de 200 a 1000
Pedra de mão	de 60 a 200
Pedregulho	de 2 a 60
Areia grossa	de 0,6 a 2
Areia média	de 0,2 a 0,6
Areia fina	de 0,06 a 0,2
Silte	de 0,002 a 0,06
Argila	Inferior a 0,002

Fonte: ABNT NBR 6502 (1995).

2.1.5 Limites de Consistência

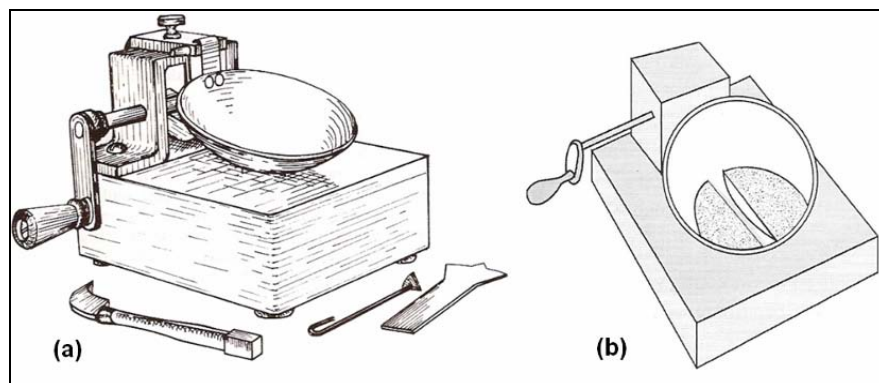
Os limites de consistência referem-se à passagem gradual de um estado de consistência para o outro, também conhecidos como limites de Atterberg. Casagrande em 1932 adaptou para a mecânica dos solos, um procedimento para definir teores de umidade característicos para mudança de estado do solo, de líquido, quando muito úmido, passando a plástico, semissólido e sólido na medida em que o teor de umidade diminui. Esses limites são estabelecidos através de ensaios padronizados e os parâmetros de umidade são definidos como:

Limite de liquidez (LL): Teor de umidade com o qual o sulco aberto com um cinzel, (Figura 2), se feche depois de aplicados 25 golpes com o aparelho de Casagrande (SOUSA PINTO, 2006).

Limite de plasticidade (LP): Menor teor de umidade com o qual é possível moldar um cilindro de 3 mm. O cilindro deve ser moldado rolando a porção do solo com o uso das mãos sobre uma placa de vidro fosco (VARGAS, 1977).

Índice de plasticidade (IP): é o valor encontrado pela diferença entre os limites acima e representa a faixa em que o solo se comporta como plástico (SOUSA PINTO, 2006). O Quadro 2 apresenta a classificação dos solos quanto à plasticidade.

Figura 2 – Aparelho de Casagrande (a) e Sulco aberto com cinzel (b).



Fonte: Vargas (1977) (a) e Sousa Pinto (2006) (b).

Quadro 2 – Classificação da plasticidade dos solos.

IP	Descrição
0	Não plástico
0 - 5	Ligeiramente plástico
5 - 10	Plasticidade baixa
10 - 20	Plasticidade média
20 - 40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Sousa Pinto (2006).

Uma grande característica dos solos finos é a presença da coesão, que segundo Vargas (1977) pode ser definida como resistência ao cisalhamento, resistência essa fornecida pela fração de argila. O Quadro 3 mostra os valores típicos de Limites de Atterberg de alguns solos brasileiros.

Quadro 3 – Índices de Atterberg, de alguns solos brasileiros.

Solos	LL (%)	IP (%)
Residuais de arenito (arenosos finos)	29 – 44	11 - 20
Residual de gnaiss	45 – 55	20 - 25
Residual de basalto	45 – 70	20 - 30
Residual de granito	45 – 55	14 - 18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argilas porosas vermelha de São Paulo	65 – 85	25 - 40
Argila variegada de São Paulo	40 – 80	15 - 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 – 40	5 - 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Sousa Pinto (2000).

O comportamento dos solos, principalmente dos coesivos, é determinado pela forma dos grãos, que depende da espécie de argilo-mineral a que pertencem (VARGAS, 1977).

Nota-se uma elevada superfície específica de contato nos solos finos, uma vez que apresentam grãos com formas lamelares. Isso favorece o aparecimento de ligações não apenas entre os grãos, mas também a água por forças capilares (VARGAS, 1977). No caso de mistura de solo-cimento, a elevada superfície específica dos solos finos, implica em maior teor de cimento para estabilizá-lo.

2.1.6 Sistemas de Classificação para Uso em Pavimentos

Segundo Sousa Pinto (2006) são vários os sistemas para a classificação do solo, contudo, destacam-se entre eles o Sistema Unificado de

Classificação - SUC que é mais utilizado pela Engenharia de barragens e o sistema rodoviário conhecido como Transportation Research Board - TRB.

Importante ressaltar a existência da classificação MCT usualmente realizada para solos tropicais, uma vez que para esse tipo de solo as classificações tradicionais apresentam várias deficiências e limitações para uso na pavimentação (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

Segundo DNIT (2006) o sistema rodoviário de classificação a ser utilizada para pavimentação é a Transportation Research Board - TRB que é um melhoramento da antiga Highway Research Board - HBR da American Association for State Highway Officials - AASHTO. Essa classificação tem como base a verificação da granulometria, dos limites de Atterberg e do índice de grupo, divide os tipos de solo em sete grandes grupos e não os classifica como argila, silte ou areia, porém, divide o material em granular e silto-argiloso conforme pode ser observado no Quadro 4. Entretanto, tem-se verificado, também em projetos rodoviários o emprego do método MCT, principalmente para solos arenosos finos lateríticos.

Quadro 4 – Classificação Transportation Research Board.

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 argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

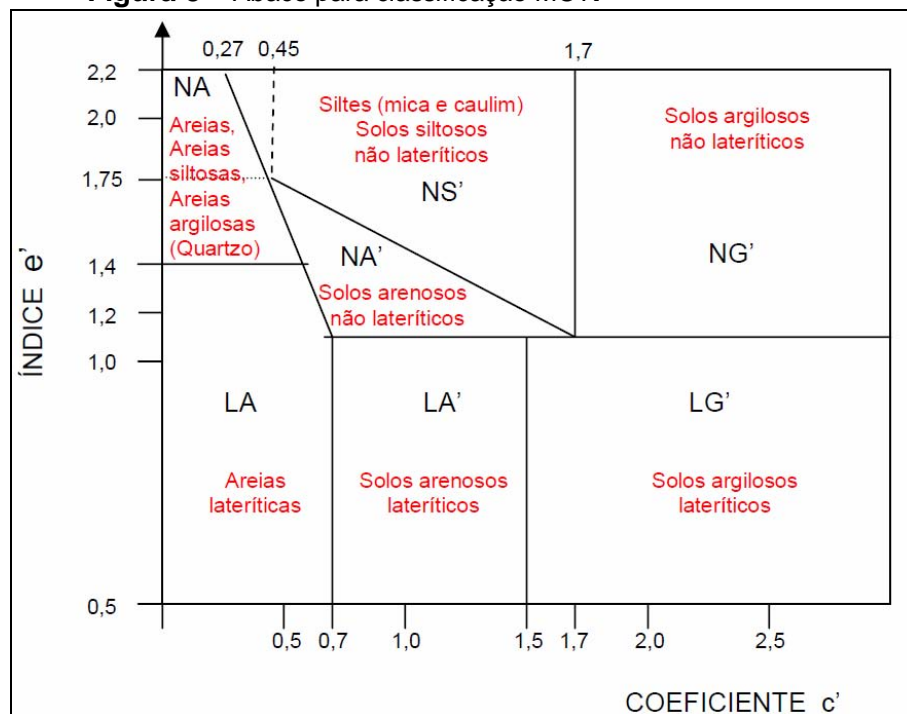
* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006).

A classificação MCT (Miniatura Compactação Tropical) é parte integrante da metodologia MCT que abrange a determinação das propriedades hidráulicas e mecânicas a partir de corpos de prova de 50 mm de diâmetro compactados. Nesse sistema o solo é classificado conforme seu desempenho nos ensaios de compactação Mini-MCV (Mini Moisture Condition Value) e de perda por imersão (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

Conforme pode ser observado na Figura 3 a classificação MCT divide os solos em duas grandes classes de comportamento: a dos solos lateríticos simbolizados com a inicial "L" e a dos solos não-lateríticos simbolizados com a inicial "N".

Figura 3 – Ábaco para classificação MCT.



Fonte: (Nogami & Villibor, 1981)

Nota-se que após a realização de ensaios padronizados é possível classificar e prever as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos em um dos sete tipos, segundo a classificação MCT:

- LA': areias argilosas lateríticas;
- LA: areias com pouca argila laterítica;
- LG': argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas;

- NA': areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos;
- NA': areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas;
- NG': argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas;
- NS': siltes caulíníticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos;

Com isso verifica-se que o sistema para classificação MCT utiliza-se de dois dados de entrada, a saber:

Abscissa (c'):

c': inclinação da curva de deformabilidade para Mini-MCV=10;

Ordenada (e'):

$$e' = [(Pi/100)+(20/d')]^{1/3} \quad \text{(Equação 16)}$$

Onde,

Pi = perda de massa por imersão (%);

d' = coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação referente a energia de 12 golpes no ensaio Mini-MCV.

2.1.7 Compactação

A compactação consiste na aplicação de uma energia mecânica no solo e com isso é obtida sua densificação, sendo resultado da diminuição dos vazios pela expulsão de ar. Busca-se com isso aumentar o contato entre os grãos do solo, dar homogeneidade ao aterro, aumento da resistência ao cisalhamento, diminuição da permeabilidade e da compressibilidade (MASSAD, 2003).

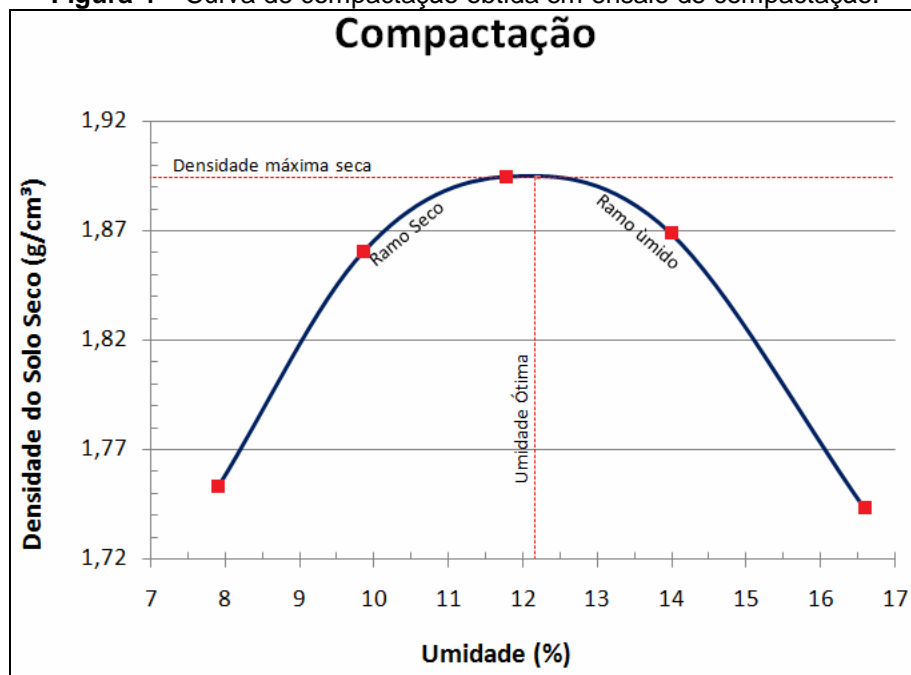
O teor de umidade é fator decisivo na compactação, pois pode existir um atrito maior entre as partículas de solo caso este seja compactado com umidade baixa, não se conseguindo uma redução ideal de vazios e, conseqüentemente,

efetivando-se uma má compactação. Já no caso de uma compactação com teor de umidade acima, devido a falhas no processo construtivo, pode ocorrer absorção de energia da compactação devido à pressão neutra, ocasionada pelo excesso de água nos poros (MASSAD, 2003).

Visto isso, nota-se claramente que existe uma umidade ótima para a compactação e que está ligada à quantidade de energia da compactação, ou seja, esta umidade ótima levará a máxima densidade após a compactação. Para a determinação da umidade ótima podem ser realizados ensaios, como o Ensaio Normal de Compactação (SOUSA PINTO, 2000).

Os dados obtidos no Ensaio de Compactação podem ser expressos em forma de uma curva, como pode ser verificado na Figura 4, que consiste na representação da densidade seca em função da umidade.

Figura 4 – Curva de compactação obtida em ensaio de compactação.



Sendo assim, pode-se verificar que dada uma energia constante, usualmente aplica-se a energia normal de compactação, existe um ponto que representa a máxima densidade seca na curva da Figura 4, ponto de inflexão, que é obtida somente através da compactação na umidade ótima, esse é o ponto chamado ponto de ótimo na compactação (CHAVES, 2000).

Segundo Sousa Pinto (2000) em campo a umidade da porção de solo compactado pode se apresentar ligeira diferença com relação à umidade ótima, com limites estabelecidos em projeto ou norma. Quando a compactação é realizada com teor de umidade acima do ótimo é convencionada como compactação no ramo úmido e quando a mesma se dá com teor abaixo como sendo compactação no ramo seco.

2.2 CIMENTO PORTLAND

A palavra cimento tem origem da palavra latina *caementum* que a civilização romana utilizava para denominar uma mistura de cal com terra pozolana (cinzas de vulcões da região de Pozzuoli e das ilhas de Santorim na Grécia). Essa mistura era utilizada na construção de obras de alvenaria, pontes e aquedutos.

Conforme BUGALHO (2000) em 1824 o inglês Josep Aspdin patenteou o cimento Portland. O nome do cimento se deve a sua coloração e aspecto serem parecidos com as rochas calcárias da ilha de Portland. Contudo, o cimento Portland utilizado nos dias atuais apresenta características muito distintas do patenteado pelo inglês, resultado de uma série de pesquisas e desenvolvimento tecnológico ocorrido até hoje.

O material cimento Portland é um composto inorgânico finamente moído que, ao contato com água, constitui uma pasta, que endurece por processos de hidratação e reações químicas. Após endurecer o cimento Portland continua resistente e estável até mesmo debaixo de água (Mehta, 1994).

Tecnicamente o cimento Portland pode ser definido como um aglomerante hidráulico resultado da moagem do clínquer, adição de gesso (regulador do início da hidratação) e de outros materiais conforme interesse que identificam a tipologia do cimento. A matéria-prima clínquer é um material sintetizado e peletizado, resultado da calcinação da mistura de calcário, argilas e minério de ferro, silício e alumínio em proporções adequadas (NEVILLE, 1997).

Segundo a ABCP (2012) existem no mercado brasileiro diversos tipos de cimento Portland, a saber: cimento para poços petrolíferos, cimento de baixo calor de hidratação, cimento branco, cimento resistente aos sulfatos, cimento de alta resistência inicial, cimento pozolânico, cimento de alto-forno, cimento comum

e cimento composto, sendo este último responsável por cerca de 75 % do consumo brasileiro.

Os vários tipos de cimento Portland são designados por sigla e classe de resistência, sendo o prefixo CP (cimento Portland) acrescido dos algarismos romanos I a V, conforme o tipo do cimento corresponde à sigla, podendo ainda ser adicionada uma letra S, E, Z, F e ARI conforme adição especial. Já a classe de resistência representa a resistência, em MPa, aos 28 dias de cura e é representada pelos números 25, 32 e 40 (ABCP, 2012). A seguir são apresentados no Quadro 5 os tipos de cimentos fabricados no Brasil:

Quadro 5 – Tipos de cimento fabricados no Brasil.

Tipo	Sigla
Comum	CP I
Comum com Adição	CP I-S
Composto com Escória	CP II-E
Composto com Pozolana	CP II-Z
Composto com Filler	CP II-F
De Alto-Forno	CP III
Pozolânico	CP IV
De Alta Resistência Inicial	CP V-ARI
Resistente a Sulfatos	RS
De Baixo Calor de Hidratação	BC
Branco	CPB

Fonte: ABCP (2012).

De acordo com ABCP (2012) os cimentos para uso em solo-cimento são os CP I, CP I-S, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP III e CP IV, com a possibilidade de se ajustar, por dosagem apropriada, com base em análises das características e propriedades de cada tipo de cimento para melhor desempenho.

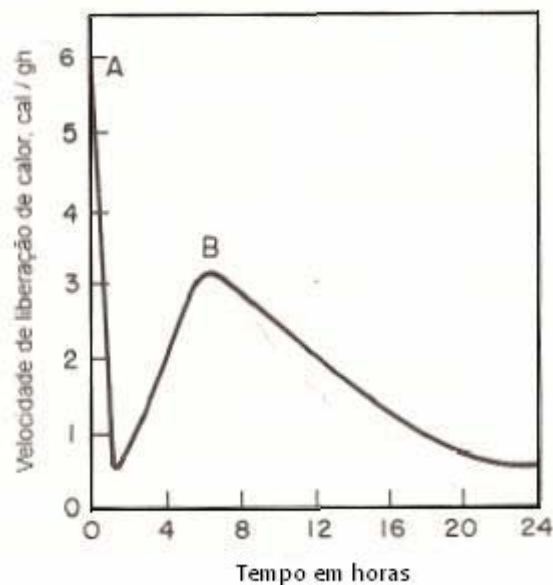
Sendo o cimento o responsável pela união das partículas de solo e de que o foco do tempo, entre mistura e compactação, do presente trabalho faz-se necessário conhecer o mecanismo do enrijecimento (pega) do cimento.

Segundo Neville (1997) os constituintes do cimento Portland são:

[...] produtos de reações a altas temperaturas que não estão em equilíbrio e por isso estão em um estado de energia elevada. Quando um cimento é hidratado, os compostos reagem com a água para atingir estados estáveis de baixa energia, e o processo é acompanhado pela liberação de energia na forma de calor.” (NEVILLE, 1997).

Na Figura 5 pode-se verificar a velocidade de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland em relação ao tempo.

Figura 5 – Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland.



Fonte: Neville (1997).

Analisando a Figura 5 nota-se que durante o início da hidratação, pico A, o cimento libera mais rapidamente o calor devido à dissolução de aluminatos e sulfatos, contudo, essa evolução de calor dura pouco tempo e a taxa diminui até novo ciclo que culmina em novo pico de velocidade de liberação, pico B, notadamente verifica-se que a pega do cimento inicia-se normalmente antes de atingir o ponto B da curva, que é o ponto de fim de pega (NEVILLE, 1997).

2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

De acordo com Abiko (1983) a humanidade já utilizou muitas técnicas para melhorar o comportamento do solo, tornando-o um material com maior resistência a intempéries. O autor cita o emprego de gordura de baleia, melão,

asfalto, palhas, fibras vegetais, urina e excremento de animais, cal e resinas diversas.

Segundo Ferraz (1994) a engenharia de pavimentação busca sempre adotar em seus projetos soluções que sigam os critérios da economicidade e racionalização dos materiais a serem empregados. Deste ponto de vista, o melhor material a ser empregado em um pavimento é aquele o mais próximo do trecho rodoviário em estudo, devido ao maior custo no transporte de materiais mais distantes.

Porém, não é sempre possível utilizar o solo do local onde se pretende realizar um pavimento, pois é comum o aparecimento de solos que não atendam as especificações vigentes ou com características indesejáveis. Deste modo, conforme Ferraz (1994), a solução para esses casos se enquadra conforme uma das seguintes hipóteses:

- Utilizar o material do local e modificar o projeto impondo-lhe as restrições necessárias;
- Rejeitar o material e substituí-lo por outro que atenda às especificações; e
- Utilizar o material e modificar suas propriedades, fazendo com que este novo material atenda às necessidades do projeto.

Nota-se que as duas primeiras soluções são mais radicais, sendo que a primeira é praticamente impossível de se adotar, pois uma rodovia deve ser um caminho para todos e, além disso, não é tarefa fácil controlar determinadas restrições. A segunda opção acarreta em um custo muito maior para a execução do pavimento, uma vez que além de se retirar e transportar o solo inservível é possível que apareçam problemas ambientais devido à "bota fora" e escavação de jazidas. A terceira opção, que engloba a estabilização do solo, é mais desejável, pois evita todos os possíveis problemas das duas primeiras, proporcionando menor custo com transportes, obras sem restrições e menor possibilidade de aparecimento de perturbações ambientais (NÚÑEZ, 2001).

De acordo com INGLES & METCALF (1972) a estabilização de solos tem como objetivo a obtenção de um produto final que tenha estabilidade dimensional, permeabilidade, fissuração por retração por secagem, resistência à erosão e abrasão superficial e resistência mecânica desejável.

Já para Baptista (1976) o processo de estabilização pode ser de natureza mecânica, física ou físico-química e proporciona um material estável dentro dos limites de aplicação, mantendo as características necessárias em situações de cargas e ações climáticas diversas. Esse autor continua sua definição de solo estabilizado comentando que o procedimento de estabilizar um solo envolve as propriedades de resistência do mesmo e da suplementação de resistência solicitada conforme a finalidade do material, em termos químicos, físicos e físico-químicos.

Sendo assim, o *termo estabilização* de solos refere-se aos processos naturais ou artificiais, nos quais o material solo, com cargas aplicadas, consegue maior resistência à deformação e ao deslocamento do que o material original (HOUBEN & GUILLAUD, 1994).

Qualquer processo de estabilização altera as propriedades do sistema solo-água-ar e essas modificações podem ser direcionadas para somente duas características do material: o grau de finura (textura) e a estrutura (SILVA, 1991).

Certamente, a estabilização de solos, de qualquer tipo acarreta:

- Maior aderência nos grãos do solo, aumentando a compacidade ou densidade do material, influenciando na capacidade resistente;
- Menor permeabilidade, pois o ato de estabilizar o solo promove o preenchimento de vazios que antes não poderiam ser eliminados; e
- Redução do volume de vazios, que influenciam as características de porosidade e resistência mecânica.

2.3.1 Tipos de Estabilização de Solos

HOUBEN & GUILLAND (1994) e INGLES & METCALF (1972) explicam que os tipos de estabilização de solos podem ser divididos em três grupos principais:

- Estabilização mecânica;
- Estabilização física; e
- Estabilização química.

Entretanto, para GUIMARÃES (2002) a estabilização de um solo pode ser realizada por diversas técnicas, mas podem ser resumidas em dois grupos principais:

- Estabilizações por meios de processos mecânicos: modificação na granulometria e na plasticidade por adição ou retirada de determinadas frações integrantes do solo ou de compactação do material para se conseguir os parâmetros necessários; e
- Estabilizações por meio de processos químicos: adição de aditivos orgânicos e inorgânicos, como o cimento Portland, a cal, silicatos de sódio, betuminosos, resinas e outros.

Segundo Houben & Guillaud (1994), a estabilização de solos pode ser resumida como um processo de natureza mecânica, química ou físico-química, sendo que a compactação, processo mecânico, se associa a todas as outras.

A decisão sobre qual o tipo adequado de estabilização a ser adotado em determinada obra de engenharia é influenciada por diversos fatores, tais como: viabilidade econômica, finalidade do empreendimento, características dos materiais e as propriedades do solo de interesse em modificar ou adequar.

A seguir são expostos os principais tipos de estabilização de solos:

a) Estabilização Mecânica de Solos

Little (1995) expõe que frequentemente os solos utilizados nas obras de pavimento necessitam de certa estabilidade mecânica adicional, devido ao estado natural que se encontram na natureza, para aumentar a durabilidade e resistência, bem como diminuir a permeabilidade.

A estabilização mecânica de solos consiste em aplicação de um processo puramente mecânico de aumentar a resistência e conservar esse incremento através da mistura e compactação de determinados solos, sem implicar na adição de outros materiais (KÉZDI e RÉTHÁDI, 1988). Este tipo de estabilização quase sempre esta presente na estabilização de solos ou misturas.

Esses procedimentos alteram apenas o arranjo dos grãos do solo ou da granulometria deste. Dentre os principais métodos existentes destacam-se a estabilização granulométrica e a compactação (GONDIM, 2008). Gregório (2010)

também afirma que no processo mecânico de estabilização dos solos podem ser realizadas a compactação e a estabilização granulométrica.

Conforme comentado por Little (1995), a compactação do solo é a forma mais utilizada de estabilização, sendo esta a principal responsável pela melhoria na estabilidade mecânica da maioria dos solos.

No entanto, em muitas ocasiões apenas com a compactação não é possível se alcançar o desempenho desejado para o material, principalmente quando o solo a ser trabalhado tem características coesivas ou apresenta elevada quantidade de finos na sua composição com características muito elásticas (alguns solos siltosos) e que quando o rolo passa o solo é compactado. Contudo, esse mesmo solo, tende, após a passagem do rolo, a reduzir seu grau de compactação.

O processo de compactar o solo é caracterizado por Faganello (2006) como não apenas o ato de proporcionar aumento na densidade e na resistência do solo, mas também ato de estabilizar.

Segundo Gregório (2010) na compactação deve-se estabelecer critérios de densidade máxima relacionada a uma energia de compactação e uma umidade ótima ou estabilização granulométrica. Antes da compactação, o material é espalhado e compactado até a densidade solicitada, por meio convencionais (AIR FORCE MANUAL, 1994). A Figura 6 ilustra uma compactação com o objetivo de estabilização do solo.

Figura 6 – Execução de compactação no solo com finalidade de estabilização nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 321.



Fonte: Do Autor (2012).

Para Macedo (2004) independente do tipo de material a ser utilizado em cada camada é de suma importância a definição do grau mínimo de compactação a ser atingido na estabilização por compactação. Vale ressaltar que quase todos os métodos para estabilizações de solos utilizam a compactação para ganho de resistência ou diminuição de permeabilidade.

Ceratti (1991) explica que os estudos mais aprofundados acerca da mistura do solo-cimento iniciaram-se por volta de 1935 e que naquela época já foi possível constatar a validade da relação entre o teor de umidade e densidade proposta por Proctor também para a estabilização de solo com cimento.

Já a estabilização granulometricamente de um material consiste em misturar dois ou mais materiais, naturais ou artificiais, para que o produto final se enquadre em uma determinada granulometria (MACEDO, 2004). A mistura final resulta em um material com maior capacidade de resistência devido ao maior contato entre as maiores partículas do solo. Os vazios deixados pelas maiores partículas são preenchimentos pelas menores partículas, de maneira a proporcionar maior densidade e menor permeabilidade (GONDIM, 2008).

Assim, segundo Macedo (2004) a estabilização granulométrica garante uma melhor graduação na mistura, satisfazendo as necessidades para uma base ou revestimento primário estabilizado. A Figura 7 apresenta a execução de uma base de solo estabilizado granulometricamente com adição de brita.

Figura 7 – Execução de estabilização granulométrica do solo nas obras de implantação da LMG-650/MG no seguimento entre Medina e Comercinho no km 26.



Fonte: Do Autor (2012).

Vale ressaltar que de acordo com o DNIT na estabilização granulométrica para bases é possível utilizar solos, mistura de solos e materiais britados, desde que submetidos aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, e ao ensaio DNER-ME 054/97. Quanto à definição da estabilização granulométrica o DNIT descreve como um processo de:

[...] melhoria da capacidade resistente de materiais “in natura” ou mistura de materiais, mediante emprego de energia de compactação adequada, de forma a se obter um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade (DNIT-ES 141, 2010).

O DNIT adota critérios diferentes para definição da faixa granulométrica do solo estabilizado, conforme a quantidade de tráfego que passará sobre a base (Quadro 6) baseando-se no Número “N” do pavimento, ou seja, número de repetições do eixo padrão de 8,2 toneladas que o pavimento suportará em toda sua vida útil. Para bases com Número “N” maior que 5×10^6 , o material deve se enquadrar em uma das quatro Faixas A, B, C e D e no caso de Número “N”

menor ou igual a 5×10^6 , o material poderá se enquadrar em qualquer uma das seis Faixas A, B, C, D, E e F.

Quadro 6 – Faixas de composição granulométricas para bases.

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

Fonte: DNIT-ES141 (2010).

b) Estabilização Físico-Química de Solos

Conforme descrito por Marques (2005) a estabilização físico-química pode ser conseguida através de processos elétricos ou térmicos. A estabilização elétrica consiste em passar pelo solo uma corrente elétrica e a térmica implica em aquecer, resfriar ou proporcionar termo-osmose. Contudo, a viabilidade destes processos é questionável em obras rodoviárias convencionais, pois, normalmente, o custo é consideravelmente mais elevado se comparado com as demais soluções possíveis.

Para McCarthy (1977) a estabilização química acontece quando é adicionada à mistura materiais cimentantes ou quando qualquer material químico é adicionado no solo visando a melhoria de qualquer propriedade do mesmo.

Já para França (2003) a estabilização química acontece quando são produzidas alterações na estrutura do solo devido à adição de materiais em quantidade suficiente para melhorar determinadas características de interesse, a fim de, conseguir um novo material que tenha as características para atendimento do projeto.

Ocorre a estabilização química quando outros materiais são adicionados ao solo, alterando suas propriedades ou por reação físico-química entre

as partículas e o material adicionado, ou ainda, quando se cria uma mistura que aglutina e cobre os grãos de solo (SILVA, 1991). Nesse contexto, vale ressaltar que os materiais mais utilizados para esta forma de estabilizar são: cal, cimento Portland, betume e fibras (GUIMARÃES, 1998).

A estabilização físico-química é realizada com o uso de aditivos que interagem com os grãos do solo, tendo como objetivo a melhora das características de estabilidade mecânica e hidráulica (França, 2003). O autor continua sua explanação identificando os principais aditivos: cal, cimento, asfaltos ou betumes, produtos químicos industrializados como cloretos, entre outros.

Na atualidade a adição de produtos industrializados ou naturais vem sendo muito estudada no Brasil e em muitas outras nações. Dentre as pesquisas mundiais destacam-se as realizadas pelo Focus Group on Rural Road Engineering – IFG (2005) que descreve o processo de estabilização físico-químico como o procedimento com a adição de pelo menos um agente estabilizador no solo, que em seguida é colocado na umidade adequada, compactado de forma eficiente e curado de forma a garantir as características necessárias. A Figura 8 demonstra a execução de estabilização do solo com cimento Portland.

Figura 8 – Execução de estabilização de solo com cimento Portland nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 326.



Fonte: Do Autor (2012).

Na área rodoviária o IFG (2005) destaca a utilização do cimento Portland e da cal na melhoria de solos naturalmente instáveis, para que estes solos sirvam como sub-base ou base em pavimentos de rodovias. Este grupo indica ainda um método para escolha entre esses dois tipos de estabilizantes para fins rodoviários. Tal método usa critérios fundamentados no tamanho dos grãos do solo e nas características de plasticidade do solo a ser modificado, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 – Tipo de estabilização mais efetiva.

AGENTE ESTABILIZADOR	PROPRIEDADES DO SOLO					
	Mais que 25 % passando na Peneira de 0,075 mm			Menos que 25 % passando na Peneira de 0,075 mm		
	IP ≤ 10	10 < IP < 20	IP ≥ 20	IP ≤ 6 LP ≤ 60	6 < IP < 10	IP > 10
Cimento	Sim	Sim		Sim	Sim	Sim
Cal		Sim	Sim	Não		Sim

Fonte: IFG (2005).

Em se tratando de estabilizantes para uso rodoviário é importante ressaltar o uso de materiais betuminosos, que de acordo com SENÇO (2001) é uma estabilização obtida pela mistura de material betuminoso ao solo a uma mistura de solos, a fim de modificar alguma propriedade instável do solo. Destacam-se vários trabalhos recentes, sobre esse assunto, como o de GONDIM (2008) e o de MICELI (2006).

Tanto Gondim (2008) quanto Miceli (2006) realizaram trabalhos de avaliações técnicas de solos estabilizados com materiais betuminosos para emprego como camada de pavimento rodoviário. Esses dois trabalhos consistiam em verificar a variação do teor dos materiais asfálticos e do tempo de cura com relação ao comportamento mecânico da mistura final frente ao solo inicialmente instável e concluíram que os dois fatores são relevantes na estabilização.

Vale lembrar que de acordo com IFG (2005) a escolha pelo cimento, cal ou qualquer outro agente para estabilizar um determinado solo não envolve somente os dados expostos no Quadro 7, anteriormente exposto, pois estes não são os únicos dados a serem relevados na escolha. As distâncias de transporte, disponibilidade de pessoal e equipamento além de outros fatores técnico-econômicos devem ser considerados.

Guimarães (2002) explica que a escolha por um ou outro modelo de estabilização de solos para uso rodoviário, seja por aditivos químicos ou estabilização mecânica, pode ser influenciada por vários fatores, destacando-se: as características dos possíveis estabilizantes, as propriedades do solo quando instável, finalidade da obra e condição econômica para a realização do empreendimento.

2.3.2 Solo Estabilizado com Cimento

O solo estabilizado com cimento Portland também denominado solo-cimento ou solo reforçado com cimento é uma solução adotada em vários países do mundo, especialmente como misturas de solo-cimento em camadas compactadas acima de solos de pouco suporte, sendo então essa técnica mundialmente difundida e estudada. Contudo, o solo-cimento apresenta um comportamento bastante complexo, que é afetado por diversos fatores como a quantidade do agente cimentante, porosidade e teor de umidade no ato da compactação (CONSOLI et. al. 2003).

Importante relatar a diferença entre solo-cimento e solo melhorado com cimento, sendo que o solo melhorado é obtido com a adição de pequenas quantidades de cimento, de 2% a 4%, almejando prioritariamente a alteração do solo nas suas características quanto à plasticidade e sensibilidade à água, não promovendo nesta modalidade uma cimentação acentuada.

A seguir serão expostos: um breve histórico, alguns conceitos, as reações químicas, os requisitos, os modelos de dosagem normatizadas no Brasil, as interferências na qualidade, os métodos de executivos e o comportamento do solo-cimento para fim rodoviário.

a) Histórico do Solo-Cimento

Segundo Pitta (1995) os primeiros relatos de tentativas de obtenção de um composto para construção que fosse resistente, durável e que tivesse propriedades estáveis e definidas, datam do ano de 1915. Neste ano um empreiteiro norte-americano utilizou uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento para a pavimentação de uma rua localizada na Florida, nos Estados Unidos da

America – EUA. Entretanto, devido à falta de tecnologia para mistura e controle de execução mais rigoroso a tentativa não teve êxito.

No ano de 1935 quando a Portland Cement Association -PCA e o Departamento de Estradas e Rodagens da Califórnia executaram uma pista experimental em solo-cimento de 2.500 metros na localidade de Johnsonville na Carolina do Sul - EUA. A partir dessa pista experimental foi possível à confirmação dos estudos laboratoriais realizados pela PCA e o solo-cimento começou a ser empregado em larga escala na construção de pavimentos rodoviários (LIMA, 2006).

A utilização do solo-cimento no Brasil teve início em 1940 quando a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP em acordo com a Diretoria da Aeronáutica executou uma pista de circulação no aeroporto Santos Dumont na cidade do Rio de Janeiro. Em 1941 foi construída a Estrada de Osasco no Estado de São Paulo com base de solo-cimento e no mesmo ano a rodovia federal que liga os municípios de Caxambu no estado de Minas Gerais ao município de Areias no Estado de São Paulo (PITTA, 1995).

De acordo com Macedo (2004) no período entre os anos de 1942 a 1954 a utilização da estabilização de solo com adição de cimento Portland não progrediu muito no Brasil e no mundo, pois apesar do sucesso desta solução nos anos iniciais da década de 1940 o período da Segunda Guerra Mundial causou problemas econômicos no mundo todo e houve diminuição da disponibilidade de cimento no mercado. Contudo, após este período houve significativo aumento das obras com pavimento em solo-cimento (MACEDO, 2004).

Desde então, a mistura de solo e cimento em proporções adequadas a cada uso teve grande aceitação na execução de obras rodoviárias, aeroportos, barragens, canais de irrigação, fabricação de blocos para habitação, pavimentação de pátios e estacionamentos dentre outras aplicações (SEGANTINI, 2000).

Segundo Barbosa & Ghavami (1995) do início da utilização do solo-cimento até aos dias atuais é possível encontrar pesquisas e publicações sobre o tema e até a década de 1970 já havia cerca de 7500 quilômetros de pavimentos com a solução de estabilização com cimento Portland.

De acordo com Grande (2003) cerca de 90 % das bases de pavimentos rodoviários foram executadas, até aquela data, com a utilização do solo-cimento compactado. Já os dados disponíveis no endereço digital da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP indicam que até a presente data são mais de

25.000 quilômetros com esta solução de engenharia que é considerado um marco mundial (ABCP, 2012).

O solo-cimento também é utilizado na construção de habitações, conforme pode ser verificado na Figura 9, podendo ser executado por paredes monolíticas ou por blocos prensados dependendo das características de cada obra em particular. A execução normalmente se restringe às paredes, entretanto, pode ser utilizado nas fundações, calçadas e contrapisos (HABITAR, 2012).

Figura 9 – Construção de habitação com blocos de solo-cimento.



Fonte: Revista IBMista (2012).

De acordo com França (2003) nas rodovias o composto do solo-cimento pode utilizar o material solo do próprio subleito da via a ser implantada, podendo ser misturados "in loco" com equipamentos específicos ou utilizar solos de jazidas próximas ao local da obra que podem ser misturados em central industrial ou no local de execução do pavimento.

b) Conceitos de Solo-Cimento

Reforçar solos instáveis com cimento Portland é uma prática conhecida em todo o mundo, em especial destacam-se as misturas de solo estabilizado com cimento para camadas compactadas sobre solos de pouca capacidade portante (STRACKE et. al., 2012).

Entende-se por solo estabilizado com cimento como sendo o material originado da mistura homogeneizada de solo, água e cimento Portland nas proporções corretas, compactada e curada. O material final deste procedimento de estabilização possui boa resistência à compressão, baixa permeabilidade e pouca variação de volume (CASTRO, 2008).

Segundo Mercado (1990) a mistura compacta de solo estabilizado com cimento, solo-cimento, é um material resultante da mistura íntima e compactação de solo, cimento Portland e água. Trata-se de um processo físico-químico de estabilização, que provoca na mistura uma reestruturação originada de nova orientação dos grãos do solo com a utilização de material cimentante nos contatos das partículas sólidas intergranulares, modificando a estrutura e, portanto, os componentes básicos do solo: ar, água e sólidos (IFG, 2005).

Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT o solo-cimento pode ser definido como:

Material proveniente de mistura de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade. (DNIT-ES143, 2010).

O material solo é o constituinte maior da mistura sendo que a quantidade de cimento Portland adicionada varia entre 5 % a 10 % em peso e a água é adicionada conforme as propriedades do solo e do cimento para conferir à mistura as propriedades necessárias de resistência mecânica e durabilidade (LOPES, 2002).

Qualquer tipo de solo pode ser estabilizado com cimento, contudo, os solos com teor de areia entre 40 % e 50 % são os mais apropriados para este fim por proporcionarem misturas de maior durabilidade. O solo mais indicado para um pavimento com base de solo-cimento é o do local da obra, pois assim são diminuídos os custos com transporte que viabiliza a execução. Os solos com alta carga orgânica não podem ser utilizados (LOPES, 2002).

c) Reações Químicas

A interação entre o solo e o cimento pode ser descrita em duas fases ou processos, primário e secundário. O processo primário é constituído por

reações de hidratação do cimento Portland, ou seja, silicatos e aluminatos hidratados. Já o processo secundário deve-se às reações entre os argilo-minerais previamente existentes no solo e o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento (ABIKO, 1987).

Segundo Parente (2002) nos solos grossos a cimentação é parecida com a do concreto Portland, contudo, o cimento atua apenas nos contatos das partículas do solo. O autor continua a explanação expondo que os solos finos são quimicamente menos estáveis devido a maior presença de argilo-minerais que reagem com o cimento.

Logo após a adição do cimento Portland em solos finos é possível verificar as alterações na mistura, com a ocorrência do fenômeno da floculação e de alterações nos limites de liquidez e de plasticidade do solo. Tais acontecimentos são devidos à atração das partículas de argilo-minerais pelos íons de cálcio mantendo-as juntas por fracas ligações químicas (BELL, 1996). Segundo Sabbag (1980) o fenômeno da floculação influencia na capacidade de aglomeração do cimento.

De acordo com Bell (1996) todos os tipos de argilo-minerais são reagentes com a cal livre, contudo, nas montmorilonitas os efeitos são muito mais significantes devido à alta reatividade das mesmas.

A cal hidratada proporciona aumentos na alcalinidade do solo, fazendo com que alguns de seus constituintes se tornem instáveis. Contudo, é possível a ocorrência de ataque parcial ao alumínio e ao silício dos minerais do solo e a combinação destes íons com o cálcio, possibilitando a formação de silicatos e aluminatos de cálcio estáveis em tais condicionantes (GUIMARÃES, 1998). Essas reações são consideradas pozolânicas, nas quais a cal, juntamente com água em contato com a alumina e a sílica, resulta em compostos estáveis e com propriedades ligantes.

Herzog & Mitchel (1963) utilizaram ensaios de difração de raios-x para analisar se o solo poderia ser considerado como um material inerte, contudo, no final de seus estudos verificaram que o solo não é material inerte, pois as análises apontavam um consumo gradual do hidróxido de cálcio na presença de argilo-minerais do solo.

O tempo transcorrido influencia nas reações pozolânicas e confere incremento na resistência mecânica do solo-cimento por longos períodos (BELL, 1996). Segundo Ingles (1987) os procedimentos para cura e altas temperaturas

umentam as reações pozolânicas e são significativos os ganhos de resistência mecânicas devido a esse fenômeno e para EADES & GRIM apud BELL (1996) verificaram que em temperaturas maiores que 21°C, a alcalinidade provoca reações com a sílica da fração grossa do solo o que acelera as reações pozolânicas.

A combinação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono da atmosfera produz o carbonato de cálcio, que é o processo conhecido na engenharia como carbonatação e está presente nas reações do solo-cimento. A carbonatação é outro fator responsável pela estabilização da mistura e, como a floculação e as reações pozolânicas, tem ação imediata, entretanto, normalmente fica restrita a superfície exposta da mistura (GUIMARÃES, 1998).

Vale ressaltar que Guimarães (1998) e Sabbag (1980) concordam que a carbonatação aumenta a estabilidade do solo-cimento, todavia, também concordam que tal fenômeno não desempenha grandes alterações nas características do solo-cimento.

O melhor entendimento sobre as reações e outros acontecimentos microscópicos nas misturas e nos componentes do solo-cimento são de grande importância, pois são balizadores para a condução de pesquisas envolvendo adições complementares ao solo-cimento como, por exemplo, materiais reciclados, tipos de cimentos, outros materiais pozolânicos, aditivos químicos entre outros (GRANDE, 2003).

d) Dosagem do Solo-Cimento

Sousa Pinto (2000) menciona que a quantidade de cimento na estilização do solo depende das características que se necessita no material resultante.

Conforme já comentado anteriormente os primeiros estudos consistentes sobre quantidade de cimento na mistura solo-cimento data de aproximadamente de 1935. Segundo Segantini (2000) nessa época a Portland Cement Association - PCA dispunha de uma norma geral que simplificava a quantidade a ser dosada na mistura, contudo, não foram muitos os sucessos dos empreendimentos utilizadores deste método de dosagem. Vale ressaltar que naquela época não havia uma metodologia alternativa para a dosagem de cimento na mistura solo-cimento.

Mesmo após tantos anos de utilização e pesquisas sobre a mistura de solo estabilizado com cimento Portland não existem metodologias de dosagem baseadas em critérios racionais, como no concreto convencional (DALLA ROSA, 2009).

A primeira metodologia brasileira para dosagem mais racional da estabilização de solo com adição de cimento foi estudada por Consoli et. al. (2007) e considerava a razão dos vazios pela quantidade de cimento. Esse método consiste em utilizar a porosidade da mistura compactada dividida pelo volume de cimento como um parâmetro de estimativa da resistência à compressão simples da mistura de solo-cimento.

Para a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP a definição do traço do solo-cimento deve ser feita com auxílio de ensaios de laboratório que devem ser interpretados com vistas a critérios preestabelecidos. O traço final da mistura deve considerar três variáveis principais: a massa específica seca máxima, a quantidade de água e quantidade de cimento, sendo que as duas primeiras variáveis estão sujeitas a variações de campo devido à heterogeneidade dos solos.

Método da ABNT

Inicialmente a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT registrou a primeira norma relativa à dosagem da mistura de solo-cimento a NB 01336 que na verdade era baseada no método da Portland Cement Association - PCA e na experiência de empreendimentos executados em vários solos brasileiros. Atualmente a norma da ABNT é a NBR 12253 de 1992.

Segundo a NBR 12253/1992 os passos para a dosagem de solo-cimento resume-se em:

- Caracterização do solo segundo a classificação HBR (ASTM D 3282) da American Association of State Highway Officials, somente os solo A1, A2, A3 e A4 podem ser utilizados para execução de solo-cimento;
- Escolha do teor de cimento a ser empregado na mistura, baseado no Quadro 8 abaixo,

Quadro 8 – Teor de cimento sugerido pela ABNT para do solo-cimento.

Classificação do solo, segundo a ASTM D 3282	Teor de cimento sugerido, em massa (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	9
A4	10

Fonte: NBR 12253 (1992).

- Obtenção da umidade ótima e massa específica máxima em ensaio de compactação;
- Preparação dos corpos de prova com o teor sugerido e com a umidade ótima encontrada no ensaio de compactação;
- Submissão dos corpos de prova a ensaio de resistência à compressão simples após sete dias de cura;
- Caso a resistência verificada seja a procurada o dimensionamento acaba, entretanto, caso a resistência seja muito maior ou menor do que a solicitada deve-se repetir os ensaios com teores menores e maiores respectivamente; e
- Pode ser realizado ensaio de determinação da durabilidade através da perda de massa por molhagem e secagem de acordo com o método NBR 13554/1996. Contudo, não existem valores fixados para aprovar, ou reprovar a amostra.

Vale salientar que o método preconizado pela ABNT ainda prevê, no caso de a resistência não for alcançado utilizando-se da compactação com a energia normal, que poderá ser aumentada a energia de compactação para conseguir a resistência almejada e de que não existem métodos e valores definidos para controle de perda de massa por molhagem e secagem.

Método do DNIT

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT é, na verdade, o sucessor do extinto Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER e o mesmo adota em seus pavimentos toda a gama de procedimento e métodos de ensaio para solo-cimento desse extinto órgão, bem como realiza atualizações destes instrumentos normativos.

O modelo adotado pelo DNIT segue os seguintes passos:

- Inicialmente, é realizada a análise granulométrica do solo ou da mistura de solo que se deseja estabilizar com cimento de acordo com o método DNER-ME 80 - Análise Granulométrica por Peneiramento. A amostra deve apresentar-se dentro dos limites estabelecidos na DNIT-ES143 de 2010 que já foram apresentados anteriormente;
- Execução de ensaios de limites de plasticidade e de liquidez conforme preconizado pelos métodos DNER-ME 82/1994 e DNER-ME 122/1994 respectivamente. A amostra deve apresentar-se dentro dos limites estabelecidos na DNIT-ES143 de 2010 que é de 40 % para Limite de Liquidez e 18 % no Índice de Plasticidade.
- Escolha do tipo de cimento para a estabilização, os cimentos devem obedecer às exigências da Norma DNER-EM 036/1995 juntamente com as normas NBR 5732/1991 e NBR 5735/1991;
- Adoção de teor inicial de cimento;
- Realização de ensaios de determinação de teor de umidade e massa específica da mistura, conforme DNER-ME 216/1994, que pode ser realizado de duas formas de acordo com a quantidade de solo retida na peneira com 4,8 mm de abertura;
Método A - Quando toda a amostra passa pela peneira com 4,8 mm de abertura;
Método B - Quando parte da amostra não passa pela peneira com 4,8 mm de abertura;

- Moldagem segundo método DNER-ME 202/1994 e rompimento dos corpos de prova conforme preconizado pelo método DNER-ME 201/1994, antes do rompimento os corpos de prova são submetidos à imersão em água por 4 horas;
- Verificação se a resistência de projeto foi obtida, bem como o valor mínimo conforme a Especificação de Serviço do DNIT-ES143 de 2010 que é de 21 kg/cm². Caso a amostra não apresentarem a resistência requerida é necessário aumentar o teor de cimento e refazer os ensaios; e
- Apesar de não ser exigido por norma em alguns casos o DNIT realiza ensaios de determinação da durabilidade através da perda de massa por molhagem e secagem de acordo com o método DNER-ME 203/1994. Contudo, não existem valores fixados para aprovar, ou reprovar a amostra.

Após a análise dos dois principais métodos de dosagem de solo-cimento para uso rodoviário na Brasil, o da ABNT e o do DNIT, é possível afirmar que os dois métodos são empíricos e realizam por tentativa e erro o dimensionamento da estabilização do solo. Ressalta-se que o método da ABNT é mais conservador e simplificado, pois descarta a possibilidade de uso de alguns solos siltes e argilas, contudo, o método do DNIT é mais detalhado e trata os solos finos diferentemente dos solos grossos. Apesar das duas entidades possuírem ensaios normatizados para a realização de ensaios de durabilidade por molhagem e secagem seus métodos de dimensionamento de base rodoviária de solo-cimento não especificam valores para aceitação quanto à perda de massa por molhagem e secagem ou parâmetros de absorção de água.

e) Interferências na Qualidade do Solo-Cimento

Segundo Blucher (1951) o solo é o componente que mais influencia na qualidade do solo-cimento, pois se o solo for inadequado para o uso pouca melhora será obtida na adição de cimento. O autor continua pontuando os principais fatores que modificam a durabilidade do solo estabilizado com cimento, que em sua visão são:

- Configuração do solo;
- Quantidade de cimento;
- Metodologia da mistura dos componentes; e
- Compactação.

O solo é o constituinte que determina se a estabilização é economicamente viável e pode indicar facilidade ou dificuldade de manuseio e de procedimentos de peneiramento, homogeneização, moldagem e desmoldagem, ou seja, procedimentos de mistura para fins de construções em alvenarias de solo-cimento (MERCADO, 1990).

Para a obtenção de um produto final de qualidade a Highway Research Board of America - HBR (1961) estabelece limites para a distribuição granulométrica dos solos, dentre os fatores mais importantes pode ser destacada a porcentagem máxima de finos como que é estabelecida como 50 %.

De acordo com Blucher (1951) o teor de matéria orgânica do solo deve ser bem baixo nunca maior do que 2 %, apesar de existirem obras bem sucedidas com estabilização de solo com cimento na ordem de 5 % de matéria orgânica e de também de obras com insucessos com teor orgânico de 0,5 %. Essas divergências levaram Rocha (1996) a afirmar que não existia relação entre teor de cimento e teor de matéria orgânica do solo.

Posteriormente, Clare (1954), Clare & Farrar (1956) e Ingles & Metcalf (1972) confirmaram que a quantidade de matéria orgânica presente no solo altera significativamente a qualidade do solo-cimento pela presença de ácido húmico e açúcares, bem como que os íons de cálcio provenientes dos tipos de cimento podem melhorar a interação dos componentes da mistura proporcionando um equilíbrio no pH do solo-cimento.

Os componentes químicos do solo também são relevantes quanto à qualidade, pois como apresentado anteriormente o solo é um material originado pelo intemperismo, nesse processo a água pode dissolver algumas substâncias inorgânicas e orgânicas. Sendo assim, é possível que alguns sais solúveis oriundos da hidrólise, devido à decomposição da rocha mãe, causem reações de expansão na mistura de solo-cimento (SHERWOOD, 1962).

Alguns autores como Moura (1987), Ceratti & Medina (1983), Silva (1991), Rocha (1996) e Parente (2002) realizaram, para variados tipos de solos,

ensaios acerca do teor de cimento e sua relação com a qualidade na estabilização do solo com cimento, concluindo que, quanto maior for o teor de cimento, maior é a resistência compressão da mistura, portanto, maior é a durabilidade do solo-cimento, independente da tipologia do solo natural.

Tal informação sobre o aumento da resistência à compressão com o aumento da quantidade de cimento parece muito óbvia devido nítido aumento da cimentação na mistura, contudo, muito cimento na estabilização pode ocasionar fissuras por retração na base do pavimento, acarretando-se em possível ruína do pavimento rodoviário.

Com isso, Ingles & Metcalf (1972), Sabbag (1980) e Pitta (1982) expuseram que no caso de a quantidade de cimento for elevada ou se o processo de cura for insuficiente é provável que ocorram fissuras no solo-cimento devido à retração por secagem. Tendo em vista as constatações em obras e fazendo-se uma analogia com os conhecimentos sobre o concreto de cimento Portland, a cura do solo-cimento é fator fundamental na qualidade deste produto (POÇO, 1991). Um concreto mal curado, ou não curado, apresenta menor resistência torna-se mais vulnerável a intempéries devido à maior quantidade de fissuras que se desenvolvem, muitas vezes essas fissuras são imperceptíveis a olho nú.

Com relação à mistura são muitos os fatores que afetam a qualidade do solo-cimento. Blucher (1951) verificou que as misturas realizadas em laboratório são mais resistentes à compressão e possuem durabilidade maior do que as mistura realizadas em campo nas obras de pavimentação rodoviária. O autor complementa explicando que essa diminuição deve-se a pouca eficiência dos equipamentos de campo e das condições ambientais do local, podendo alcançar valores na ordem de 50 % de perda. Vale ressaltar que os equipamentos que Blucher (1951) relata são de sua época e que hoje, sem dúvida, os equipamentos são melhores e mais eficientes.

Baker (1954) e Grimer (1957) já afirmavam que existe uma relação entre a homogeneização da mistura e a resistência mecânica do solo-cimento. Rocha (1996) por meio de seus estudos verificou que a resistência à compressão diminui conforme é aumentado o tempo de mistura dos materiais que compõe o solo-cimento.

A correta compactação é elemento essencial na qualidade do solo-cimento, bem como para qualquer obra de terra, isso pode ser verificado pela

exigência normativa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT:

O grau de compactação deve ser, no mínimo, 100 % em relação à massa específica aparente seca, máxima, obtida no ensaio DNER-ME 216/94. DNIT-ES143 (2010).

Sabe-se que a melhor compactação é aquela que ocorre com as devidas proporções de solo, água e cimento. Sendo assim, dada uma energia normal de compactação o teor de umidade é elemento essencial para a garantia de uma boa compactação, fazendo com que o material alcance determinado peso específico ou densidade, com a finalidade de conferir-lhe as propriedades mecânicas necessárias.

Blucher (1951) afirma que o conceito água/cimento, muito difundido na tecnologia dos concretos, tem baixa relevância na estabilização de solo com cimento. Poço & Bonassi (1988) e Minke (1998) concluíram que quanto maior o grau de compactação da mistura maior é a resistência à compressão do solo-cimento, independente do teor de cimento utilizado.

A redução de 5 % na massa específica da mistura de solo-cimento é responsável por aproximadamente 15 % de diminuição na resistência à compressão para um mesmo teor de cimento, contudo em solos com maior presença de fração granulométrica de areia é verificado que a resistência é maior quando a mistura é compactada com uma umidade menor do que a ótima, entretanto, nestes casos a durabilidade é menor (SILVEIRA, 1966).

A água necessária à hidratação do cimento deve ser oriunda da umidade ótima, obtida nos ensaios de compactação, porém, para tal efeito o processo de mistura deve garantir a homogeneização do material a fim de que todos os grãos do cimento entrem em contato com água proporcionando melhor desempenho no solo-cimento.

f) Requisitos para Bases de Solo-Cimento

Com a finalidade de expor os requisitos para uma base de pavimento rodoviário em solo-cimento e utilizando a Especificação de Serviço nº 143/2010 - Pavimentação - Base de Solo-Cimento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT pode-se classificar dois tipos de condições

necessárias: a dos materiais e a de execução ou desempenho da mistura. Sendo assim, todos os requisitos a serem aqui expostos são indicados pelo DNIT.

Materiais

Com relação ao material a norma do DNIT relata que o cimento Portland deve obedecer às exigências da norma DNER-EM 036/1995 juntamente com as normas NBR 5732/1991 e NBR 5735/1991. Nessa especificação é descrito que a água a ser utilizada na composição do solo-cimento deve ser potável e isenta de produtos nocivos, como sais, ácidos, matéria orgânica, assim como outros produtos prejudiciais.

Já o solo, ou mistura de solos, deve ser submetidos ao ensaio de caracterização DNER-ME 80/1994, devendo se enquadrar conforme as características granulométricas apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Característica granulométrica do solo requerida pelo DNIT.

Solos		FAIXA DE USO (%)	TOLERÂNCIA (%)
Peneira	Diâmetro (mm)		
2 ½"	76,2	100	7
n° 4	4,8	50 – 100	5
n° 40	0,42	15 – 100	2
n° 200	0,075	5 – 35	2

Fonte: DNIT-ES141 (2010).

A "FAIXA DE USO" de fração granulométrica que se refere o Quadro 9 são quantidades relativas ao total de amostra que passam nas respectivas peneiras, ou seja, para a peneira n° 200 (0,075 mm de abertura) são admitidos apenas solos, ou mistura de solos, que apresentem de 5 % a 35 % de material passando nesta peneira.

Outro ponto importante a ser comentado refere-se à coluna "TOLERÂNCIA" do Quadro 9 que expõe os valores de tolerância para base em relação ao projeto estabelecido por ensaios de laboratório, para mais ou para menos. Se, por exemplo, uma base possui o parâmetro de projeto de que 70 % de solo passa na peneira n° 4 (4,8 mm de abertura) é admitida apenas uma variação em campo de 65 % a 75 % de material passando nessa peneira.

Além das frações granulométricas para bases de solo-cimento o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT impõe restrições ao uso de solos muito plásticos. Sendo assim, o solo deve ser submetido aos ensaios: DNER-ME 82/1994 e DNER-ME 122/1994 sendo que é admitido limite de liquidez de no máximo 40 % e o índice de plasticidade, que é igual ao valor de limite de liquidez subtraído do valor de limite de plasticidade, menor do que 18 % (DNIT-ES143, 2010).

g) Métodos Construtivos de Bases em Pavimentos

Antes de discutir sobre os métodos construtivos de base de solo-cimento em pavimentos é importante pontuar que uma base é uma:

Camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado. (DNIT-ES143. 2010).

Sendo assim, uma camada de base de solo-cimento é uma camada de material originado da mistura de solo, cimento e água em proporções adequadas, determinadas em laboratório, que são submetidas a processos adequados de mistura e cura, visando um produto final resistente e durável (DNIT-ES143, 2010).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT em sua Especificação de Serviço nº 141 de 2010 para execução de bases em rodovias existem basicamente dois métodos construtivos, que se diferenciam pelo modo de execução da mistura, existe o método de mistura em central industrial (usina de solos) conforme apresentado na Figura 10 e o de mistura em pista conforme Figura 11. Essa especificação apresenta que preferencialmente deve-se utilizar a mistura em usinas e a mistura em pista deve ser adotada apenas quando o material a ser misturado é o da pista ou quando a quantidade a ser executada não justifique a instalação de usinas.

Figura 10 – Central de mistura de solo cimento em usina das obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 288.



Fonte: Do Autor (2012).

Figura 11 – Mistura de solo-cimento em pista nas obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 306.



Fonte: Do Autor (2012).

Desta forma as especificações do DNIT visam evitar a execução da mistura em pista devido à possibilidade de variações nesse procedimento, contudo, existem métodos de mistura em pista que se assemelham ao das usinas de solos, são as chamadas recicladoras de solo. Uma recicladora de solo é um equipamento que escava, mistura o solo com aditivos, brita ou qualquer outro solo que se deseja realizar a homogeneização e espalha em pista. A Figura 12 ilustra uma recicladora

em atividade na pista, executando uma base de solo estabilizado com cimento, brita e resíduos de fresagem de capa asfáltica.

Figura 12 – Estabilização com uso de recicladora nas das obras para adequação da BR-163/PR no seguimento entre Guaíra e Mercedes no km 310.



Fonte: Do Autor (2012).

Execução

Primeiramente é importante ressaltar que para qualidade de qualquer pavimento esta intimamente ligada aos equipamentos e mão-de-obra utilizada em sua execução (PITTA, 1995). Por isso, a normativa do DNIT indica preferencialmente os seguintes equipamentos para realização do serviço de base em solo-cimento:

- Motoniveladora com escarificador;
- Pulvimisturador;
- Trator de esteiras ou pneumático;
- Carro-tanque distribuidor de água;
- Rolos compactadores tipo pé-de-carneiro, liso, liso vibratório e pneumático;
- Sapo mecânico;
- Rolo vibratório portátil; e
- Central de mistura de capacidade adequada à obra;

A usina de solos ou central de mistura deve proporcionar uma mistura homogênea e dispor de mecanismos para que garantam a rapidez e qualidade no carregamento do material até o local de execução.

O transporte da usina até o ponto de execução do serviço deve ser realizado em veículo basculante ou em outro apropriado tomando-se as devidas providências para que não haja perda ou ganho excessivo de umidade durante a carga, transporte e descarga da mistura. Além disso, o tempo entre a mistura pronta na central até o início da compactação deve ser menor do que 1 hora, a menos que, a critério de projeto, comprovado por ensaios laboratoriais, seja verificado a inexistência de inconveniente na adoção de tempo maior.

A execução de base em solo-cimento deve respeitar minimamente o grau de compactação de 100 %, ou seja, a massa específica aparentes seca da amostra coletada em campo deve ser igual ou superior a de projeto. Quando submetidas ao ensaio de resistência, DNER-ME 201/1994, as amostras de solo-cimento deve apresentar resistência mínima de 21 kg/cm².

Logo após a execução a base deve ser protegida o mais rápido possível contra a perda de umidade, essa proteção poderá ser feita com uma camada de solo, capim ou de outro material conforme projeto devendo ser mantida por no mínimo 7 dias em processo de cura.

Quando a mistura for realizada na pista a execução deve respeitar os seguintes parâmetros:

- Antes de iniciar o preparo da faixa, a drenagem deve estar concluída. A faixa deve estar nivelada e preparada, de modo a atender ao projeto;
- Todo material impróprio deve ser removido ou substituído, de acordo com o projeto;
- A pulverização e homogeneização do solo devem apresentar 80 % das partículas de diâmetro menor do que 4,8 mm;
- O cimento deve ser distribuído ao longo da faixa uniformemente respeitando as quantidades de projeto, em seguida deve ser acionada água; e
- A adição de água deve ser progressiva, não aconselhável aumento de mais de 2 % por passada do carro-tanque. O

processo de umedecimento deve ser ininterrupto e é aceitável uma variação de 10 % em relação à umidade ótima de projeto;

h) Comportamento do Solo-Cimento em Pavimentos

Frequentemente são observadas várias patologias nas obras de pavimentos com a estabilização do solo com cimento, sendo a mais comum o aparecimento de fissuras devido à variação volumétrica da mistura acabada (FRANÇA, 2003). A Figura 13 ilustra um exemplo de grave ruptura no pavimento na BR-376/PR que se deu devido a fissuras de retração, que possibilitaram o acúmulo de água na base fazendo com que a mesma rompesse.

Figura 13 – Rompimento da base de solo estabilizado com cimento na BR-376/PR.



Fonte: Do Autor (2012).

Segundo Dalla Rosa (2009) os trabalhos recentes sobre solo-cimento focam a relação cimento/solo e realizaram inúmeros ensaios de laboratório e campo acerca do teor mínimo de cimento para atendimento as necessidades de durabilidade e resistência. Este fato deve-se provavelmente razão de que o solo-cimento é um material complexo, que tem suas propriedades modificadas por vários fatores, dentre eles destacam-se: teor de umidade, porosidade, quantidade de

cimento, compactação da mistura, dentre outros possíveis desconhecidos (CONSOLI et. al., 2003).

Em 2012 Stracke apresentou no XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG estudo a respeito da resistência à compressão simples com relação à variação do teor de umidade de moldagem e à influência na resistência de uma areia artificialmente cimentada e concluiu que:

[...] o teor de umidade de moldagem da mistura solo-cimento apresenta grande influência sobre a resistência final do solo melhorado. O aumento do teor de umidade provocou uma queda na resistência à compressão simples da mistura. Em média, uma queda de 2 % no teor de umidade provocou um aumento de 10% na resistência à compressão. Este comportamento foi observado para os diferentes teores de cimento (3%, 5%, 7% e 9%), e os diferentes índices de vazios utilizados (0,65; 0,73 e 0,81). (STRACKE et. al., 2012)

O trabalho de Tarqui et. al. (2012) procurou estudar resistência à compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em blocos para pavimentos de tráfego leve e concluiu que quanto maior é a adição de cimento maior é a resistência mecânica, menor é a permeabilidade e maior é a durabilidade dos blocos. Os autores enfatizam que seu estudo foi elaborado para aplicação em blocos.

Certamente, o comportamento de uma base de solo cimento é diferente, pois a retração volumétrica da mistura e, conseqüentemente, fissuração da base aumentam conforme é aumentada a quantidade de cimento, ou seja, existe limite de quantidade de cimento a ser empregada em bases de pavimento (GUIMARÃES, 2002). Tal fenômeno se explica pela continuidade da base de pavimento rodoviário frente à individualidade dos blocos que possuem pequenas dimensões que contribui para o alívio do trincamento.

Já Vitali et. al. (2012) realizaram estudos para um solo residual de granito que objetivava analisar a relação entre resistência à compressão uniaxial com a razão porosidade, teor de umidade e teor de cimento de várias misturas de solo-cimento, como parte de uma pesquisa maior, ainda em andamento. A partir desse estudo os autores concluíram que o parâmetro da porosidade influencia grandemente na resistência à compressão da mistura, o que não acontece para o teor de umidade. Estes resultados não corroboram o estudo apresentado por

Stracke et al. (2012), que não mostrou muita interferência na resistência que, segundo os autores, deve-se a pouca sensibilidade do tipo de solo estudado.

Semelhante ao solo natural, a mistura de solo-cimento também possui um teor ótimo de umidade, como afirmado por Vitali:

Destaca-se a evolução exponencial da resistência à compressão com a diminuição da porosidade e que ela atinge o valor máximo para um teor de umidade próximo do ótimo da mistura. (VITALI et. al., 2012).

Como relatado anteriormente, as misturas de solo estabilizado com cimento possuem muitos fatores condicionantes à sua qualidade e durabilidade. É notável que pequenos aumentos na quantidade de cimento no solo-cimento proporcionam ganhos muito significativos na resistência e rigidez das misturas (VITALI, 2008).

O teor de umidade e a porosidade da mistura compactada influenciam muito na efetividade da cimentação entre as partículas do solo e que quanto menor a porosidade melhor é o desempenho da mistura quanto à resistência, quanto ao teor de umidade o melhor desempenho foi alcançado para teores iguais ou maiores que a umidade ótima (VITALI et. al., 2012)

Verifica-se, como era de se esperar, que nos estudos recentes sobre a sensibilidade dos constituintes da mistura de solo-cimento, como teor de umidade, porosidade e quantidade de cimento, demonstram resultados diferentes devido à tipologia de cada solo estudado. Entretanto, a maioria desses estudos evidencia a porosidade, o teor de cimento e o teor de umidade como os fatores mais importantes em uma mistura de solo-cimento.

De acordo com Foppa (2005) a resistência mecânica do solo-cimento cresce linearmente ao teor de cimento e exponencialmente com relação à porosidade da mistura compactada e à relação vazios/cimento definida pela razão entre porosidade da mistura compactada. Segundo o autor, o teor volumétrico de cimento é um bom parâmetro para estimativas de resistência do solo estabilizado com cimento, contudo, o mesmo alerta que a relação água/cimento não é bom critério para estimativa da resistência.

A utilização e estudo da razão entre porosidade da mistura compactada e o teor volumétrico de cimento (vazios/cimento) para análises de resistência pode ser verificada nos trabalhos de Foppa (2005), Cruz (2008), Dalla Rosa et. al. (2008), Dalla Rosa (2009), Vitali (2008), Vitali et. al. (2012), Pereira

(2009), Johann et. al. (2012) e Stracke et. al. (2012) que concordam sobre a validade deste parâmetro como balizador dos parâmetros de resistência do solo-cimento.

Os estudos sobre resistência considerando a relação vazios/cimento apontam para a necessidade de adaptação da curva por um fator exponencial, ou seja, um ajuste exponencial, entretanto, este ajuste exponencial é divergente em alguns trabalhos. Foppa (2005) afirmou que este seria na ordem de 0,28, já Vitali (2008) apontou este como sendo de 0,21 e Cruz (2008) chegou ao resultado de 1,00. Importante salientar que estes estudiosos explicam que o fator de ajuste da relação vazios/cimento é relativo às características de cada solo e os valores divergentes devem-se aos tipos diferentes dos solos ensaiados.

Alguns estudos buscaram entender a influência do tempo entre a mistura e a compactação final da mistura de solo com adição de estabilizantes, a seguir são comentados alguns desses estudos.

Ferguson (1993) analisou a influência do tempo entre a homogeneização e a compactação de uma mistura de solo e cinza volante e concluiu que a diminuição na resistência à compressão é muito significativa, quando a mistura é deixada em repouso 2 horas antes da compactação, sendo que a resistência à compressão máxima foi de 720 kPa após tal repouso e, para a amostra compactada imediatamente após a adição de água, a resistência à compressão máxima foi 2.410 kPa.

Já Viczarra (2010), que também analisou a influência do tempo entre a homogeneização até a compactação de uma mistura de solo e cinza volante, verificou que este intervalo de tempo não produziu quedas consideráveis na resistência a compressão.

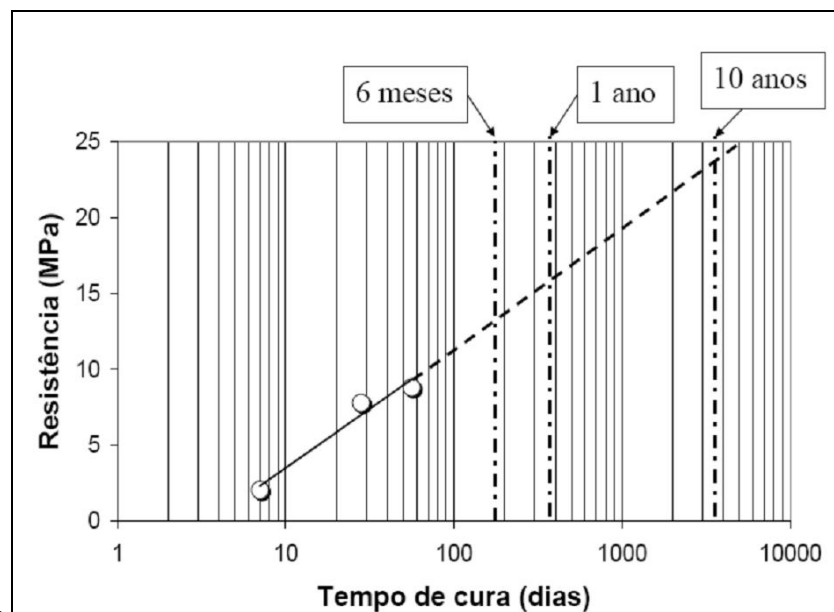
Contudo, Viczarra (2010) analisou um solo argiloso com limite de liquidez de 60 % e índice de plasticidade de 36 % e Ferguson (1993) desenvolveu seus estudos com solo mais granular. Sendo assim, verificamos, mais uma vez, que existe diferença no comportamento misturas estabilizadas com mesmos aglomerantes/estabilizantes mas com solos de características diferentes.

Para misturas de solo-cal o teor de aditivo e o intervalo entre a homogeneização influenciam nas propriedades físicas, de resistência mecânica e de expansão da mistura, bem como é notável a capacidade de melhoria das

características com esse aditivo e possibilidade de estabelecimento de condição de ótimo para o tempo máximo para a compactação (DIAS et. al., 2012).

Moretti et. al. (2012) estudou o ganho de resistência à compressão simples com o tempo de uma argila aluvionar, típica do litoral do Nordeste do Brasil, ao ser misturada com cimento Portland e chegou aos resultados conforme a Figura 14, vale salientar que o tempo apresentado na figura esta em escala logarítmica.

Figura 14 – Resistência média à compressão simples x tempo de cura de uma argila aluvionar com teor de 10 % de cimento Portland.



Fonte: (Moretti et. al. 2012).

Apesar do estudo de Moretti et. al. (2012) referir-se ao tempo de cura e para um solo argiloso de formação aluvionar e, não, ao tempo entre mistura e compactação para qualquer tipo de solo algumas informações podem ser retiradas deste trabalho:

- A resistência à compressão simples pode ser obtida em curva onde o tempo é representado em escala logarítmica.
- É possível estimar que em um período de 10 anos a resistência pode triplicar em relação à observada aos 56 dias; e
- O incremento na resistência à compressão simples é mais acelerado nos primeiros 28 dias.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As situações reais de engenharia implicam em muita experiência e responsabilidade por parte do projetista e executor. A verificação dos dados e dos resultados fornecidos pelos cálculos é fundamental para um bom projeto geotécnico e execução da obra, uma vez que dados incorretos irão sempre produzir resultados insatisfatórios quanto à estabilidade e durabilidade de qualquer obra.

Neste capítulo serão descritos todos os materiais e métodos utilizados na pesquisa, bem como a escolha dos traços analisados, os métodos de ensaios, os equipamentos e a programação realizada.

3.1 MATERIAIS

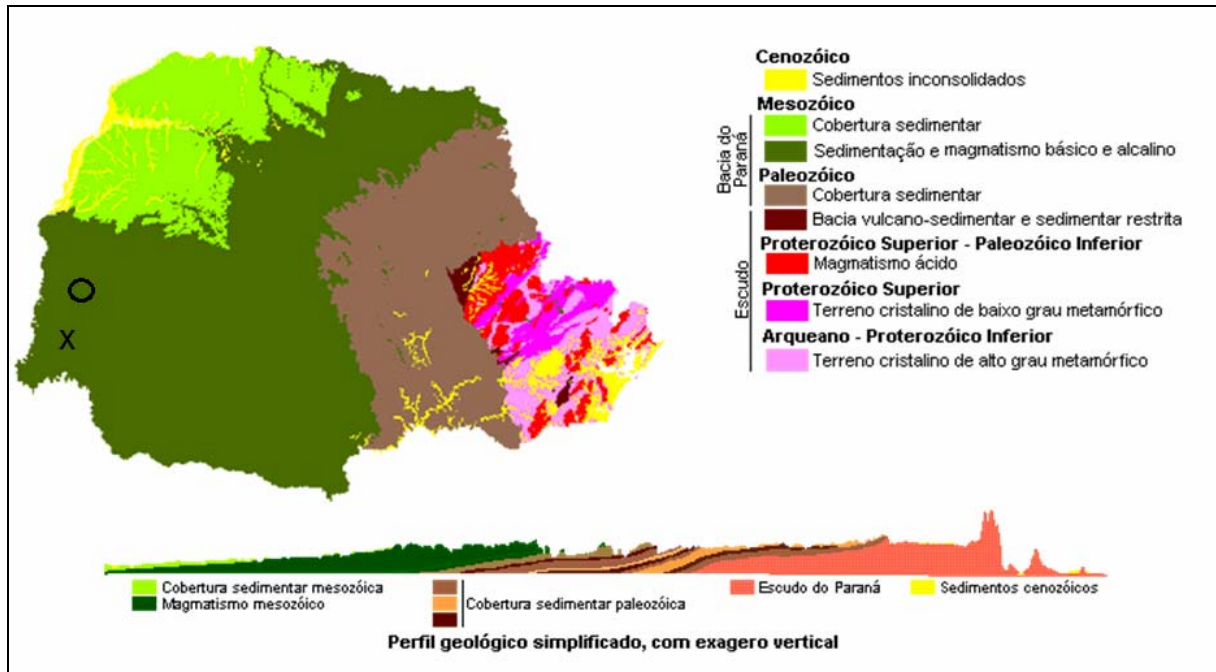
Os materiais aplicados nas misturas de solo-cimento, além dos equipamentos e técnicas empregadas, são os responsáveis pelo desempenho e qualidade das bases de pavimentos que utilizam tal solução de engenharia. A seguir serão descritos os materiais e informações das amostras utilizadas na presente pesquisa.

3.1.1 Características Regionais

O local da coleta de solo e execução dos experimentos está situado na região oeste do Estado do Paraná. Esta região está inserida no Terceiro Planalto, onde o substrato geológico é constituído por rochas vulcânicas da formação Serra Geral e posicionada na área central da Bacia Sedimentar do Paraná.

A Figura 15 (adaptada de MINEROPAR 2009) ilustra o mapa geológico do Paraná e o símbolo "O" mostra a localização da coleta de amostras de solo, situado no município de Tuneiras do Oeste, e o símbolo "X", ilustrado na Figura 15, representa o local onde foram procedidos os experimentos de campo desta pesquisa.

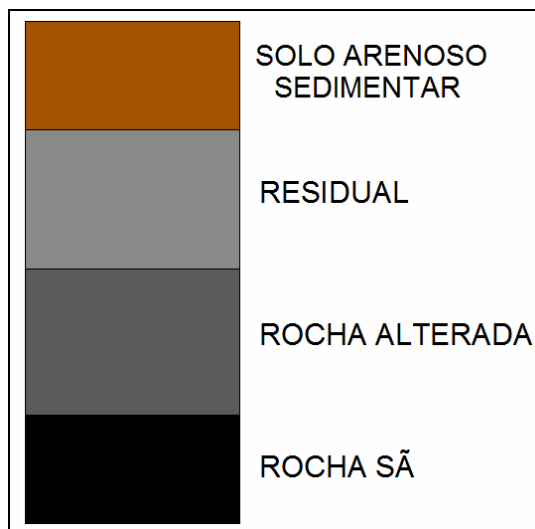
Figura 15 – Mapa Geológico do Estado do Paraná.



Fonte: Adaptada de MINEROPAR (2009).

O perfil geotécnico típico do local de coleta, conforme Figura 16, mostra uma camada superficial de aproximadamente 10 metros de solo arenoso sedimentar, com porosidade de aproximadamente 60% e características de laterização, seguido de um horizonte composto por solo residual, com estrutura típica em basalto, e por fim está presente um horizonte de rocha alterada, com graus de alteração decrescente, sobrejacente à rocha basáltica sã.

Figura 16 – Esquema de perfil geotécnico típico do local da coleta das amostras.



Fonte: Do Autor (2012)

O clima predominante na região é o chamado tropical de altitude e a pluviosidade é típica de regimes tropicais, apresentando em média 1300 milímetros de chuvas distribuídas ao longo do ano. Os invernos são secos e os verões são chuvosos, apresentando temperatura média de aproximadamente 20°C e em média 5 dias com geadas todos os anos (www.climatempo.com.br).

3.1.2 A Jazida e a Retirada de Amostras de Solo

A jazida de solo foco deste estudo, está localizada no km 123 das obras para implantação da Rodovia Federal BR-487/PR no segmento entre o km 117 e o km 145 (PNV2012), situada no município de Tuneiras do Oeste de responsabilidade do DNIT (Figura 15).

3.1.3 Solo

Tendo em vista a necessidade de atendimento aos requisitos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes explicitados Especificação de Serviço ES 143/2010-DNIT que define critérios de aceitação de solos, com a finalidade de construção de base rodoviária em solo-cimento, foram realizados todos os ensaios de caracterização do solo necessários para o estudo.

As planilhas com dados dos ensaios de caracterização estão presentes no Apêndice A.

3.1.4 Cimento Portland

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland do tipo II, com adições especial de composto com pozolana e resistência de 32 MPa aos 28 dias - CP II Z32, sendo que o mesmo foi escolhido pela grande disponibilidade na região do estudo.

No Quadro 10 são apresentadas as características técnicas do cimento adotado na pesquisa. Ressalta-se que o cimento adotado é material largamente empregado nas obras rodoviárias de solo-cimento. Destaca-se que houve armazenagem correta, conforme recomendação do fabricante, e que segundo o fabricante, o mesmo atende às exigências da Norma DNER-EM 036/1995,

juntamente com as normas NBR 5732/1991, NBR 5735/1991 e demais normas aplicáveis.

Quadro 10 – Características técnicas do cimento utilizado.

TIPO DE ENSAIO	QUÍMICO				FÍSICO				
	TEORES (%)				R.C.S. (MPa)	FINURA (%)	TEMPO DE PEGA (min)		BLAINE
LIMITES NBR11578/1991 NBR 5737/1992	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 16,0	≤ 32,0	≤ 12,0	≥ 60	≤ 600	≥ 2600
	PF	MgO	SO ₃	RI	28 dias	#200	INÍCIO	FIM	cm ² /g
VALOR	5,2	5,7	2,4	11,3	35,8	2,2	322	401	3470

Fonte: www.vcimentos.com.br (2012).

3.1.5 Água

A água utilizada nos experimentos foi água potável, fornecida pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE do município de Marechal Cândido Rondon. O SAAE realiza frequentemente análises físico-químicas completas, bem como análises dos principais agrotóxicos usados na região e análises de metais pesados de todos os seus mananciais de captação.

Sendo assim, a água utilizada na mistura de solo-cimento atende os requisitos da Especificação de Serviço ES 143/2010 do DNIT.

3.2 MÉTODOS

É sabido que a descrição clara dos métodos utilizados nos trabalhos científicos e/ou acadêmicos é importante na validação dos resultados obtidos, a fim de que seja possível à reprodução ou até mesmo a continuidade dos estudos. Sendo assim, a seguir são apresentados com detalhes os métodos utilizados na pesquisa, bem como, a escolha dos traços analisados, os equipamentos e a programação realizada.

3.2.1 Campanha Experimental

Anteriormente ao desenvolvimento dos experimentos foram conferidos todos os equipamentos de laboratório e de campo como, por exemplo, balanças, vidraria, ferramentas manuais, extensômetro, anéis e outros, bem como foi realizada a manutenção, aferição, calibragem, lubrificação e verificação de regularidade geométrica destes equipamentos para evitar possíveis problemas que invalidassem os resultados.

Almejando a otimização da pesquisa foi elaborado um plano dos experimentos a fim de que fossem atingidos os objetivos desse trabalho. Para isso, o planejamento dos experimentos foi dividido em:

- Retirada de amostras de solo;
- Ensaio de caracterização física do solo;
- Definição dos teores de cimento para as análises;
- Curvas de compactação dos traços definidos;
- Definição dos tempos entre a mistura e compactação dos corpos de prova;
- Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova de solo-cimento utilizando os teores de cimento em estudo;
- Ensaio de campo, usando os traços e tempos de mistura e compactação que mostraram maior eficiência a partir dos ensaios de laboratório.

a) Retirada de Amostras de Solo

Para esta etapa foi procedida à retirada das amostras de solo, do tipo deformada e indeformada, com escavação manual de um poço, auxílio de ferramentas (pás e enxadas), e profundidade média de 1 m. Primeiramente, foi retirado um bloco de amostra indeformada de dimensões aproximadas de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m com ferramentas adequadas, bandagens e parafina, para preservar a estrutura da amostra.

Após a retirada da amostra indeformada foi dada continuidade a escavação e ensacamento das amostras deformadas, conforme pode ser verificado na Figura 17. Todo o material coletado, indeformado e deformado, foi transportado até o laboratório de Solos das Obras para Restauração da Rodovia Federal BR-163/PR onde foram estocados para a posterior realização dos ensaios da pesquisa.

Ao final da coleta das amostras foram retirados cerca de 40 quilos da amostra indeformada transportada em bloco parafinado. As amostras deformadas foram transportadas em 34 sacos, com cerca de 50 quilos cada, totalizando 1700 quilos de amostras.

Figura 17 – Escavação de solo para experimentação.



Fonte: Do Autor (2012)

b) Ensaios para Caracterização do Solo

A primeira etapa foi destinada à preparação e ensaio de pequenas amostras deformadas e indeformadas de solo.

Para esta etapa, foram utilizados cerca de 20 quilos de amostras nos ensaios de caracterização, para verificação de atendimento dos parâmetros definidos nas normativas do DNIT, para uso em base de pavimento em solo-cimento e para descrição do solo envolvido na pesquisa. As amostras de solo foram submetidas aos ensaios, normas e métodos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio de caracterização e normativas aplicadas.

Ensaio e Classificação	Normativa ou Método aplicado
Massa específica aparente do solo	NBR 10838
Massa específica dos sólidos	NBR 6508
Análise granulométrica por peneiramento	DNER-ME 80
Análise granulométrica por sedimentação	NBR 7181
Limite de plasticidade	DNER-ME 82
Limite de liquidez	DNER-ME 122
Índice de Suporte Califórnia	DNER-ME 49
Classificação TRB	Manual Pavimentação DNIT 2006
Classificação MCT	DNER-ME 256
	DNER-ME 258
Preparação de amostra	NBR 6457
Preparação de amostra	DNER-ME 41

Fonte: Do Autor (2012).

Apresenta-se, a seguir, um resumo dos ensaios realizados para caracterização do solo e apresentação detalhada da metodologia utilizada para análise granulométrica, limites de Atterberg, índice de suporte, massa específica aparente dos sólidos e classificação do solo utilizado na pesquisa.

Granulometria

Inicialmente foi realizada análise de granulometria do solo de acordo com o método DNER-ME 80 - Análise Granulométrica por Peneiramento seguindo os seguintes passos:

- Secagem da amostra ao ar;
- Desagregação dos torrões com dispositivo mecânico;
- Quarteamento da amostra, até obtenção de amostra representativa de aproximadamente 1,5 quilos. O restante do material é separado para determinação da umidade higroscópica;
- Anotação do peso total da amostra seca ao ar, com aproximação de 5 gramas de precisão;

- Realização de ensaio de umidade higroscópica com cerca de 50 gramas de material seco ao ar que passa na peneira 2,0 mm;
- Realização do ensaio e obtenção dos resultados.

Com a finalidade de obtenção integral da curva granulométrica do solo utilizado, mesmo não sendo requisito da ES 143/DNIT de 2010, após a verificação da granulometria por peneiramento deu-se a continuidade à análise de granulometria com realização de ensaio de sedimentação, conforme a NBR 7181/1988. Seguindo os seguintes passos:

- Preparação de amostra segundo a NBR 6457/1986;
- Do material passante na peneira de 2,0mm tomou-se uma amostra com cerca de 120 gramas pesando-a com resolução de 0,01 gramas. Tomou-se ainda cerca de 100 gramas para 3 determinações de teor de umidade;
- Colocou-se a amostra em béquer de 250 cm³ juntamente com 125 ml de hexametáfosfato de sódio e agitou-se o recipiente até que todo material da amostra ficasse imerso.
- Repouso da amostra por 12 horas e posterior agitação em dispersor durante 15 minutos;
- Início da sedimentação e anotação dos tempos e densidade da solução e posterior cálculo dos diâmetros e percentuais equivalentes.

Limites de Atterberg

Para completar os requisitos sobre o solo, previstos na Especificação de Serviço ES 143/2010-DNIT, foram realizados os ensaios de limites de plasticidade e de liquidez, conforme preconizado pelos métodos DNER-ME 82/1994 e DNER-ME 122/1994 respectivamente, resumidamente:

Limite de Plasticidade (LP)

- Preparação de amostra segundo a NBR 6457/1986.
- Separação de amostra de cerca de 50 gramas segundo o método DNER 41/1994;
- Homogeneização da amostra com água destilada, até obtenção de uma massa plástica;
- Com 20 gramas da amostra modelou-se um cilindro uniforme de 3 milímetros de diâmetro, conforme pode ser verificado na Figura 18;

Figura 18 – Ensaio de Limite de Plasticidade.



Fonte: Do Autor (2012)

- Determinação do teor de umidade das amostras de solo moldadas em forma de cilindro e obtenção do limite de plasticidade por meio da média dos teores de umidade;

Limite de Liquidez (LL)

- Preparação de amostra de cerca de 70 gramas segundo o método DNER 41/1994;
- Utilizando-se do aparelho de Casagrande verificou-se a quantidade de golpes necessários para o fechamento da ranhura especificada no método;
- Determinação do teor de umidade das amostras de solo no momento do fechamento da ranhura e obtenção do limite de liquidez do solo;
- O LL foi obtido através da reta com os resultados, plotada em gráfico com escala semilogaritma, para 25 golpes.

Índice de plasticidade (IP)

- Resultado obtido com o cálculo da diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP).

Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia (I.S.C) ou Califórnia Bearing Ratio (C.B.R) é muito difundido no meio da pavimentação, pois este índice é utilizado para estimativa do comportamento dos solos no que se refere a características de resistência e de permeabilidade.

O ensaio foi realizado conforme o método ME 49 de 1974 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER utilizado pelo seu sucessor o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

Vale ressaltar que foram realizadas medidas do I.S.C e de expansão para os cinco pontos da curva de compactação do solo, usando a energia de normal de compactação.

Massa Específica Aparente

Dando prosseguimento a caracterização do solo utilizado, foi realizado ensaio de massa específica aparente. Para este ensaio, foi necessária a retirada de amostra indeformada da jazida e o emprego de balança hidrostática, conforme preconizado na NBR 10838/1988 Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego de balança hidrostática.

Massa Específica dos Sólidos

A massa específica dos sólidos foi determinada com uso de picnômetro usando amostra deformada de solo, conforme preconizado na NBR 6508/1984 Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica.

Compactação Mini-MCV

A compactação foi realizada conforme o método de ensaio DNER-ME 258 (1994) – Solos Compactados por Equipamento Miniatura – Mini-MCV com utilização de moldes com diâmetro e altura iguais a 50 mm, bem como com a aplicação de energia crescente até ser atingida a massa específica seca aparente máxima.

Perda de Massa por Imersão

Ensaio realizado com os corpos de prova da compactação Mini-MCV e executado conforme o método de ensaio DNER-ME 256 (1994) – Solos Compactados por Equipamento Miniatura – Perda de Massa por imersão.

c) Definição dos Teores de Cimento

Etapa destinada à fixação dos dois teores de cimento a serem usados no trabalho.

A partir da Norma Brasileira NBR 12253 (1992) é possível estimar os teores de cimento a serem utilizados na estabilização de solos conforme resultado da classificação TBR do solo.

Adotou-se o primeiro teor de cimento como sendo de 7%, uma vez que o solo foi classificado como pertencente ao grupo A-2-4 (TRB). Já o segundo teor de cimento escolhido foi de 6% devido às composições de custo do DNIT que, em seu Sistema de Custo Rodoviário - SICRO, prevê a utilização deste teor.

d) Curvas de Compactação

As curvas de compactação foram obtidas a partir da preparação de uma amostra deformada de solo, contendo cerca de 60 quilos no total. A metodologia usada foi a descrita no método ME216/1994 do DNER recomendada pelo DNIT.

Na compactação energia usada foi a de Proctor Normal com execução de 3 camadas, com aplicação de 25 golpes em cada camada. O molde cilíndrico utilizado para compactação dos corpos de prova tinha dimensões de 100 mm de diâmetro por 127 mm de altura. Foram realizadas as curvas de compactação: do solo e com os dois teores de cimento como segue:

- Preparação das amostras: secagem ao ar, destorroamento no almofariz e obtenção das porções com auxílio de repartidor, em quantidade aproximada de 2,5 kg de solo. A Figura 19 ilustra a secagem na preparação do solo para ensaio;

Figura 19 – Preparação das amostras.



Fonte: Do Autor (2012)

- Verificação do teor de umidade, conforme método ME 213/1994 do DNER. A Figura 20 apresenta as cápsulas para obtenção do teor de umidade do solo;

Figura 20 – Verificação do teor de umidade do solo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Verificação da quantidade de sólidos da amostra, que deve ser de, no mínimo 2,5 kg, de massa de solo seco, ou seja, a quantidade de solo subtraída da quantidade de água verificada com o ensaio de teor de umidade, para evitar falta de material no ensaio, conforme prevê o método de ensaio.
- Adição e mistura de cimento Portland: em quantidade especificada pelos cálculos, conforme ilustrado na Figura 21;

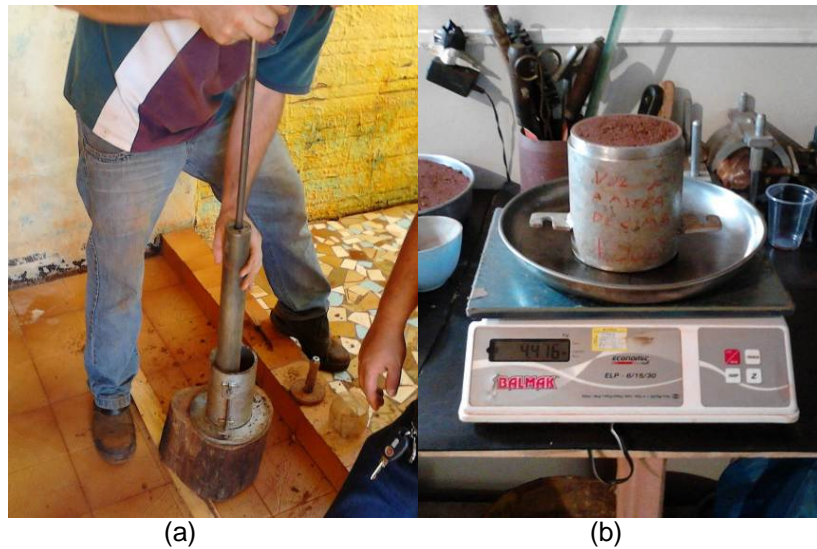
Figura 21 – Adição e mistura de cimento Portland ao solo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Moldagem e compactação dos corpos de prova, conforme método ME 202/1994 do DNER, utilizando-se o cilindro grande. A Figura 22 (a) apresenta a compactação e a Figura 22 (b) ilustra a pesagem dos corpos de prova cilíndricos;

Figura 22 – Compactação e pesagem dos corpos de prova.



Fonte: Do Autor (2012)

Os dados e resultados dos ensaios das curvas de compactação estão apresentados no Apêndice B.

e) Definição dos Tempos entre Mistura e Compactação

O DNIT, em sua Especificação de Serviço ES 143/2010, não limita o tempo entre a mistura do solo-cimento e a compactação final. Para mistura em central (usina) o início da compactação é limitado em 1 hora após o fim da homogeneização. Já para misturas realizadas em pista essa especificação limita o tempo máximo, entre o início e o fim, para adição de água em 3 horas.

Considerando o exposto na norma do DNIT e após uma consulta a vários técnicos, especialistas em pavimentação, foi identificada a necessidade de análise entre a mistura dos traços e os intervalos de tempo decorridos até sua compactação. Foram estimados intervalos razoáveis de tempos para compactação até o máximo de 3 horas após a mistura.

Tendo em vista a quantidade de 10 ensaios por baterias os tempos foram imediatamente definidos em 3 tempos: mistura e imediata compactação, compactação após 3 horas e compactação após 6 horas após mistura, sendo este ultimo para verificação da tendência de longo intervalo entre mistura e compactação.

Estes intervalos foram escolhidos por serem de referência das normas e por representarem as condições extremas de interesse da pesquisa.

Os outros 7 tempos foram escolhidos dividindo-se os tempos entre compactação imediata e 3 horas, com ênfase na primeira hora, que foi dividida em 4 partes, ou seja, em 4 intervalos de 15 minutos. Por fim, como restariam 3 tempos foram divididos entre a primeira e a terceira hora em 3 intervalos de 30 minutos.

Sendo assim, os tempos entre a mistura e a compactação foram definidos em:

- Compactação imediata;
- 15 minutos;
- 30 minutos;
- 45 minutos;
- 60 minutos;
- 90 minutos;
- 120 minutos;
- 150 minutos;
- 180 minutos; e
- 360 minutos.

f) Baterias de Ensaios Laboratoriais

Nesta etapa foram realizadas a coleta e preparação de grandes porções deformadas de solo, cerca de 480 quilos, bem como os ensaios laboratoriais para analisar: teor de vazios, teor de umidade, massa específica seca, absorção de água, resistência à compressão aos sete dias para os dois teores de cimento estudados, em função do tempo entre a mistura e a compactação desta.

As baterias de ensaios foram realizadas a partir da compactação dos traços (solo-cimento) nos tempos, após mistura, descritos no item anterior.

Foram realizadas baterias de ensaios, para cada teor de cimento (6 % e 7%), com as seguintes características:

- Duas baterias de ensaios utilizando umidade igual à ótima encontrada nas curvas de compactação e aplicando energia Normal de Proctor;
- Quatro baterias de ensaios utilizando umidade com 1% acima da ótima, encontrada nas curvas de compactação do solo, e aplicando a energia Normal de Proctor;
- Duas baterias de ensaios utilizando umidade com 1% acima da ótima encontrada nas curvas de compactação do solo e compactação dos corpos de prova em 3 camadas com aplicação de energia suficiente para obter a massa específica seca máxima encontrada nas curvas de compactação.

No total, foram realizadas 16 baterias, sendo que realizou-se 10 ensaios para cada uma das baterias somando, portanto, 160 ensaios. A Tabela 2 apresenta um resumo dos ensaios realizados nesta etapa.

A metodologia da dosagem, moldagem, compactação, cura, absorção de água e rompimento dos corpos de prova utilizados serão detalhados nos próximos itens. Os dados e resultados dos ensaios de cada bateria estão apresentados no Apêndice C.

Tabela 2 – Característica das baterias de ensaio.

Bat.	Teor de cimento	Umidade	Energia de Compactação	Tempo Mistura/Compactação (minutos)	Quantidade de Ensaio
1	6%	Ótima	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
2	6%	Ótima	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
3	6%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
4	6%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
5	6%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
6	6%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
7	6%	Ótima+1%	Alterada*	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
8	6%	Ótima+1%	Alterada*	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
9	7%	Ótima	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
10	7%	Ótima	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
11	7%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
12	7%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
13	7%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
14	7%	Ótima+1%	Normal	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
15	7%	Ótima+1%	Alterada*	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
16	7%	Ótima+1%	Alterada*	0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 e 360	10
Total					160

Ensaio realizado com temperatura média no laboratório igual a 25,6°C.

* Energia alterada com aplicação de número de golpes até obter-se a massa específica seca máxima, conforme pode ser verificado nos apêndices.

Fonte: Do Autor (2012).

g) Baterias – Dosagem e Mistura

A adequada dosagem e a mistura dos elementos que compõe o solo-cimento são imprescindíveis para a confiabilidade dos resultados laboratoriais e de campo. Sendo assim, no planejamento dos experimentos levou-se em consideração a necessidade de se compactar 10 corpos de prova, por bateria, totalizando 160 corpos de prova, com tempos diferentes entre a mistura e a compactação conforme comentados no item 4.2.1 alínea “b”.

Cada bateria de ensaios necessitava de aproximadamente 25 quilos de solo, já preparado e com umidade higroscópica conhecida. Por isso, inicialmente foi realizada a mistura e dosagem dos elementos manualmente, com auxílio de ferramentas, contudo, no decorrer da primeira tentativa verificou-se que a mistura não ficava homogênea devido à quantidade de solo e do tempo do próprio processo de mistura manual, que tinha duração em torno de 10 minutos e poderia influenciar nos resultados.

Assim, modificou-se o procedimento de mistura e, por isso, foi utilizada uma betoneira, de capacidade de 150 litros, conforme pode ser visto na Figura 23. Este tipo de betoneira é normalmente destinada à produção de concreto em pequenas obras. Contudo, após a limpeza e lubrificação das partes mecânicas e de contato com a mistura, proporcionou ótima homogeneização nas amostras de solo-cimento usadas nos ensaios.

Figura 23 – Mistura dos materiais nas baterias de ensaios.



Fonte: Do Autor (2012)

Para a mistura dos materiais na betoneira seguiram-se os seguintes passos:

- No dia anterior foram separados 25 quilos de solo e retiradas amostras para verificação do teor de umidade;

- No dia do ensaio foi novamente pesada a quantidade de solo separada (de aproximadamente 25 quilos) com precisão de 1 grama e, com o valor de umidade, efetuados os cálculos de massa de água e cimento a serem adicionados ao solo;
- Conhecidas as quantidades de cada material: solo úmido (sólidos do solo + água higroscópica), cimento Portland e água a serem adicionados foram realizadas a pesagem (em balança com precisão de uma grama) e posterior adição do cimento. Após isto, foi adicionada a água dosada em recipiente volumétrico com precisão de 1 ml;
- Com a quantidade correta dos materiais deu-se início à mistura na betoneira seguindo a ordem de adição: primeiro o solo, depois o cimento e por último a água; e
- O cimento e a água foram adicionados aos poucos para que fossem evitadas as formações de grumos ou perdas por agitação e suspensão de finos no ar. A Figura 24 (a) apresenta a adição do cimento e a Figura 24 (b) a da água.

Figura 24 – Adição do cimento e da água na mistura.



Fonte: Do Autor (2012)

3.2.2 Corpos de Prova

Os ensaios de laboratório foram realizados mediante a execução de corpos de prova cilíndricos com altura de 127 mm e diâmetro de 100 mm. A seguir, são apresentados os métodos utilizados na moldagem, extrusão, cura, absorção de água e rompimento dos corpos de prova.

a) Moldagem e Extrusão

A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme método ME 202/1994: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos do DNER e utilizado pelo DNIT. Os corpos de prova foram moldados em corpos de prova de aço com dimensões aproximadas de 100 milímetros de diâmetro, 125 milímetros de altura e de volume de 1000 cm³.

A compactação de cada corpo de prova foi realizada em 3 camadas iguais e sucessivas, com aplicação de golpes de um soquete metálico de 5 centímetros de diâmetro e de peso igual a 2,5 quilos e a uma altura de queda igual 30,5 centímetros em cada camada, para os casos de compactação usando energia Normal de Proctor.

Nas baterias dos ensaios 1 a 6 e 9 a 14 foram aplicados 25 golpes, ou seja, energia normal de compactação. Já nas baterias 7, 8, 15 e 16 foi aplicado um maior número de golpes (entre 25 a 52) até alcançar a densidade máxima seca. Contudo, foi mantido o mesmo número de golpes nas 3 camadas dos corpos de prova. Os dados dos ensaios de compactação de cada bateria podem ser verificados no Apêndice C.

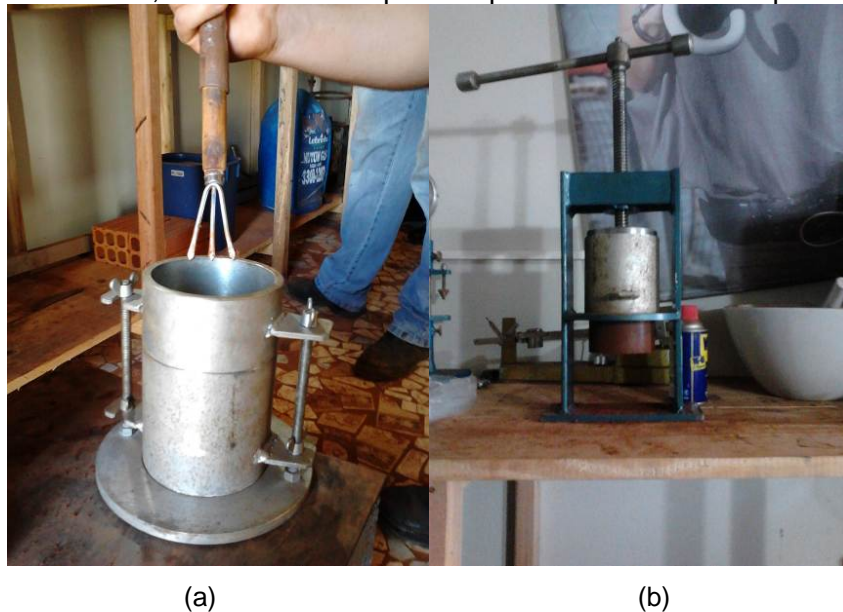
Destaca-se, que pela grande quantidade de ensaios a serem realizados, cerca de 160, e apenas 2 moldes disponíveis, tornou-se necessária a realização de procedimento de extrusão logo após a compactação.

De início, para escarificação entre as camadas compactadas, foi utilizada uma espátula simples. No entanto, quando foi realizada a extrusão de teste de um corpo de prova “piloto” verificou-se que a escarificação não tinha sido suficiente para propiciar aderência entre as camadas. Esta verificação se deu pelo fato do corpo de prova ter se partido em 3, exatamente entre as camadas, indicando

problemas de aderência. Então foi desenvolvido um escarificador com geometria que facilitava e melhorava a operação de escarificação.

A Figura 25 (a) apresenta o molde e o escarificador e a Figura 25 (b) mostra o aparelho utilizado na extrusão dos corpos de prova.

Figura 25 – Molde, escarificador e aparelho para extrusão dos corpos de prova.



Fonte: Do Autor (2012)

b) Cura dos corpos de prova

A cura dos corpos de prova foi realizada conforme método ME 202/1994: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos do DNER e utilizado pelo DNIT. Após a extrusão os corpos de prova foram acondicionados em sacos plásticos (limpos e sem qualquer outro material) etiquetados com número de controle, teor, tempo entre mistura e compactação, data e hora. Estes corpos de prova foram transportados até uma câmara úmida de temperatura de 23°C e umidade relativa de 97%.

A cura dos corpos de prova se deu por 7 dias completos. A Figura 26 apresenta corpos de prova após a compactação, etiquetados e prontos para serem levados à câmara úmida.

Figura 26 – Acondicionamento dos corpos de prova em sacos plásticos.



Fonte: Do Autor (2012)

c) Ensaio de Absorção de Água e Rompimento dos Corpos de Prova em Prensa de Compressão Simples

Depois da cura os corpos de prova foram pesados e levados para a imersão em água em um tanque, onde permaneceram por 4 horas. Logo após o período de imersão cada o corpo de prova foi retirado do tanque e procedeu-se os passos a seguir:

- Leve enxugamento de faces externas do corpo de prova com auxílio de pano seco e limpo;
- Verificação e a notação das medidas de altura e diâmetro do corpo de prova, com precisão de 0,1 milímetros, com auxílio de paquímetro; e
- Pesagem do corpo de prova com precisão de 1 grama.

Neste momento, conhecida a massa do corpo de prova antes e depois, da imersão em água por 4 horas, foi possível calcular o percentual de absorção de água. O cálculo foi realizado pela quantidade de água absorvida (subtração do peso após a imersão pelo peso anterior à imersão) dividida pelo peso

do corpo de prova antes da imersão, resultando em unidade percentual de absorção de água.

A Figura 27 mostra alguns corpos de prova durante a imersão e o controle das medidas dos corpos de prova após a imersão.

Figura 27 – Imersão e controle geométrico dos corpos de prova.



(a)

(b)

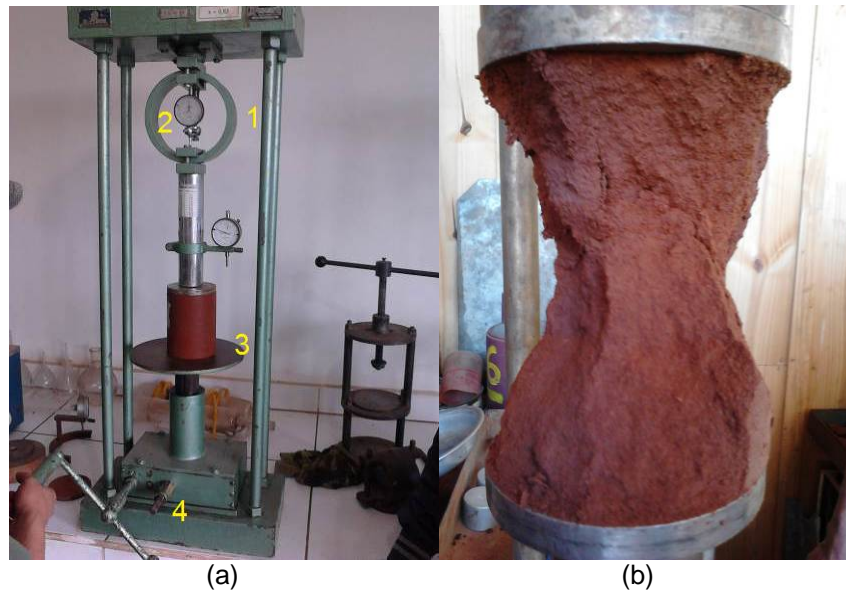
Fonte: Do Autor (2012)

Após a imersão em água e verificação das medidas e peso dos corpos de prova, os mesmos foram levados para uma prensa de compressão simples, de capacidade de até 4000 quilos de força. Esta prensa é composta por conjunto de anel dinamométrico, extensômetros, aparatos para fixação dos corpos de prova e manivela de controle de avanço.

O rompimento dos corpos de prova foi realizado conforme método ME 201/1994: Solo-cimento – Compressão axial de corpos de prova cilíndricos do DNER e utilizado pelo DNIT.

A Figura 28 apresenta o conjunto da prensa utilizada para o rompimento dos corpos de prova onde: (1) é o anel dinamométrico, (2) extensômetros de leitura de força, (3) a base de fixação do corpo de prova e (4) a manivela de controle de avanço do ensaio.

Figura 28 – Prensa de compressão simples (a) e um corpo de prova após ruptura (b).



Fonte: Do Autor (2012)

O anel dinamométrico e o extensômetro foram aferidos e calibrados antes dos ensaios, sendo constatado que a constante do anel é de 3,2745 para cada $1\mu\text{m}$ de leitura no extensômetro acoplado no anel. O carregamento foi aplicado com carga constante em velocidade de 1,27 mm/min.

3.2.3 Experimento de Campo

A realização dos ensaios de campo se iniciou com a coleta e preparação da amostra deformada de solo, que contava com cerca de 1100 quilos. Foram preparados os dois traços (6% e 7%) para serem compactados em campo como base do pavimento.

Como nas baterias de ensaios laboratoriais observou-se, que para cada teor, existe o tempo máximo entre homogeneização e compactação, com condicionantes de teor de umidade e energia de compactação.

Sendo assim, os melhores resultados de laboratório foram simulados no ensaio de campo, com a finalidade de verificação do desempenho do solo-cimento com tempos máximos encontrados para cada teor, mas mantidas todas as condicionantes verificadas em laboratório.

O pavimento experimental, realizado em campo, foi executado em local com fluxo elevado e contínuo de veículos, para representar uma condição de uso intenso.

A execução do pavimento experimental consistiu em realizar e monitorar dois “remendos profundos”, ou seja, troca de base de brita graduada simples por solo-cimento, com teores de 6% e 7% com tempos entre mistura e compactação igual ao máximo observado em laboratório.

Os ensaios consistiram em retirar a camada de base de brita graduada e, conseqüentemente, de revestimento betuminoso, e trocar por camadas de base de solo-cimento, adotando teor de umidade específico, tempos máximos entre mistura e compactação, massa específica seca máxima e recomposição da camada de rolamento. Porém, os traços compactados também atenderam os requisitos mínimos previstos nas normas do DNIT de resistência à compressão mínima de 21 kg/cm².

A realização dos ensaios foi em plataforma pavimentada mais larga e em frente do posto da Polícia Rodoviária Federal - PRF, localizado aproximadamente no km 276 da rodovia federal BR-163/PR, próximo ao município de Marechal Cândido Rondon na região oeste do Estado do Paraná. Este local possibilitou a realização relativamente tranquila dos ensaios. O número médio de veículos que passam pelo ponto escolhido é da ordem de 8500 por dia.

Além da facilidade geométrica da plataforma no ponto escolhido, destaca-se que a presença dos agentes da PRF no pátio do posto ajudou na segurança do pessoal e dos usuários da via, bem como o ponto de água encanada e a energia elétrica do posto da PRF ajudaram nos trabalhos de campo.

A seguir, serão apresentados todos os métodos utilizados nos estudos preliminares, na execução e no monitoramento dos ensaios de campo realizados.

a) Estudos preliminares

O sucesso dos ensaios de campo estava condicionado à efetiva utilização do pavimento rodoviário a ser modificado pelos veículos, ou seja, efetivamente as rodas dos veículos deveriam passar pelos remendos executados.

Tal fato era preocupante, pois notoriamente os motoristas tentam desviar dos remendos recém-realizados, seja por motivos de desconfiança de

soltarem algo em seus veículos ou outros quaisquer. Por isso, foram realizados testes com barreiras de cones e observando visualmente se a manobra possibilitaria apenas a passagem dos veículos no local ensaio.

A Figura 29 apresenta a marcação prévia dos pontos de passagem escolhidos para realização de ensaios em campo.

Figura 29 – Demarcação dos locais onde foram realizados os ensaios de campo, BR-163/PR km 276.



Fonte: Do Autor (2012)

Também foi necessário o conhecimento prévio dos materiais e espessuras das camadas do pavimento existente para calcular as quantidades de materiais e o tempo para execução dos ensaios.

Oportunamente, o ponto escolhido também facilitava a obtenção das informações sobre o atual pavimento, pois em trabalho rotineiro de conservação do trecho o DNIT realizou um remendo profundo próximo ao local “1” (Figura 30) e, naquela época, foi possível verificar que o pavimento era composto por: 25 centímetros de brita graduada simples e 8 centímetros de camada de revestimento em concreto betuminoso, usinado a quente, o que facilitou a previsão da quantidade de materiais, equipamentos e pessoal para a realização dos ensaios.

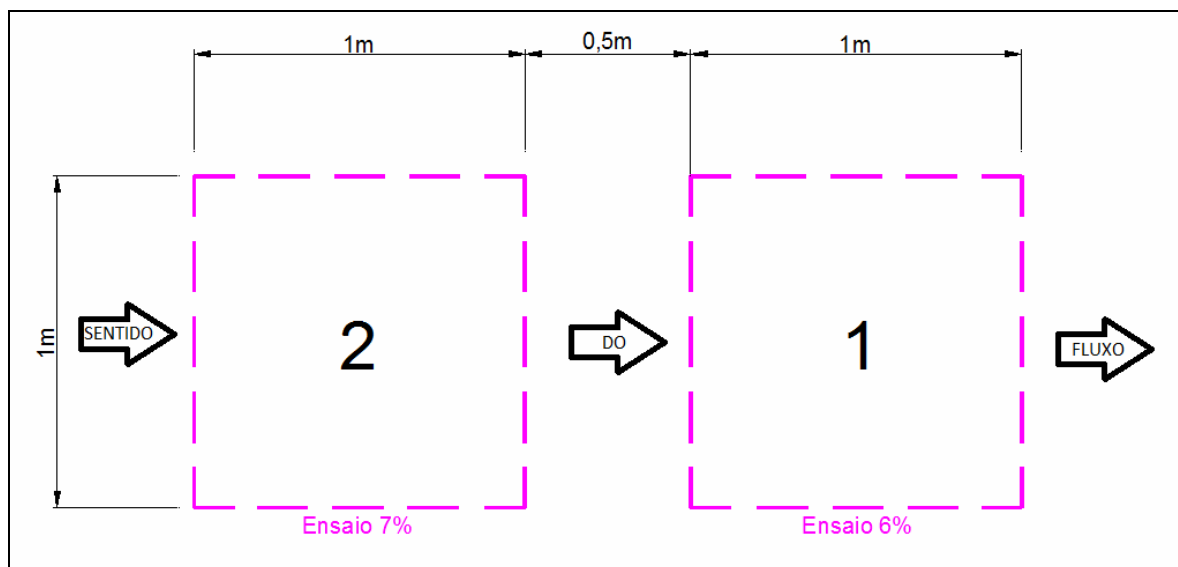
Em rápida verificação do pavimento existente pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, do DNER, verificou-se que o solo-cimento com 21 kg/cm² de resistência à compressão aos sete dias e a brita graduada possuem coeficientes de equivalência estrutural iguais a 1,2 e 1,0,

respectivamente, e que a simples troca na proporção de 1:1 de brita graduada por solo-cimento não acarretaria em maiores danos ao pavimento, no caso de um possível insucesso.

Com a altura do pavimento definida, as outras dimensões como, largura e comprimento deveriam ser maiores possíveis. Contudo, se de um lado há a necessidade de realização de um maior remendo possível para melhor representar o pavimento, do outro se tem as limitações orçamentárias com aquisição e transporte de materiais (principalmente na recomposição do pavimento asfáltico), equipamentos e pessoal.

Sendo assim, foram adotados remendos de largura e comprimento iguais a 1 metro e 25 cm de altura, conforme mostra Figura 30. O volume de solo-cimento empregado em cada remendo foi de $0,25 \text{ m}^3$ ($0,25 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$). O solo-cimento da região possui, quando compactado, densidade úmida de aproximadamente 2,2 toneladas por metro cúbico e a quantidade de solo-cimento estimada para realização dos ensaios em campo foi de 550 quilos por remendo, totalizando aproximadamente 1100 quilos.

Figura 30 – Demarcação dos locais a serem realizados os remendos experimentais em campo, com traço solo-cimento: (1) 6% de cimento e (2) e 7% de cimento.



Fonte: Do Autor (2012)

b) Execução dos Remendos Profundos Experimentais

No dia 8 de agosto de 2012, após definidos os locais e a geometria deu-se início a execução dos remendos, sendo que a sequência das etapas foram conforme a ordem:

- No dia anterior ao ensaio foram separadas duas amostras de solo, com cerca de 1100 quilos de solo puro e foi realizado o ensaio para determinar o teor de umidade de cada amostra. Além disso, foi verificada a possibilidade de ocorrer chuvas no dia da execução do ensaio em campo;
- No dia do ensaio, no período da manhã, foram realizados os desvios com sinalização adequada para as obras na pista e foram promovidos todos os deslocamentos dos materiais, equipamentos e pessoal necessários para realização do pavimento experimental;
- Foram feitos os cortes nos locais delimitados da camada de revestimento existente (Figura 31);

Figura 31 – Corte do revestimento betuminoso para realização do remendo experimental em campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Então foi feita retirada manual da camada de revestimento existente para não danificar as bordas do local. Para isso, foi necessário fragmentar cada remendo em 4 partes (Figura 32);

Figura 32 – Retirada do revestimento em camada concreto betuminoso para execução do ensaio de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- A retirada da camada de brita graduada existente foi feita com auxílio de rompedor (Figura 33);

Figura 33 – Retirada da base antiga em ensaio de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Arremates manuais foram realizados nas cavas para os remendos (Figura 34);

Figura 34 – Arremates nas cavas dos locais para os ensaios de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Compactação do fundo das cavas com utilização de compactador mecânico para evitar que qualquer material de brita ficasse remanescente (Figura 35);

Figura 35 – Compactação das cavas em ensaio de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- A dosagem do cimento e da água foi realizada a partir da umidade higroscópica das amostras de solo separadas para esta finalidade. Os pesos dos materiais da mistura foram aferidos em balança com precisão de 100,0 gramas para o solo e de 1,0 grama para o cimento e a água. O teor de umidade da dosagem foi 1% maior em relação ao indicado nas curvas de compactação (umidade ótima);
- A mistura dos materiais foi realizada em local pavimentado, com pouca ventilação, à sombra, limpo previamente e com auxílio de ferramentas manuais (Figura 36).

Figura 36 – Mistura manual dos materiais para o ensaio de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Após a mistura o solo-cimento foi ensacado e armazenado em local com pouca incidência de calor, para evitar a evaporação da água da mistura, onde permaneceu o tempo máximo estipulado para cada traço escolhido;
- Instantes antes do início da compactação foram coletadas amostras para realização de ensaios complementares de umidade e de compactação para posterior verificação da validade do ensaio (Figura 37); e

Figura 37 – Realização de ensaios complementares em campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Depois de transcorrido o tempo especificado, o solo-cimento foi levado até as cavas, onde foram compactados em duas camadas de 12,5 centímetros cada, com auxílio de compactador mecânico, (Figura 38);

Figura 38 – Compactação realizada nos ensaios de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Logo após a execução da compactação a nova base foi imprimada, com asfalto diluído aplicado por equipamento aspersor manual, para proporcionar coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre a base e o revestimento a ser executado (Figura 39);

Figura 39 – Imprimação de base em ensaios de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

- Por último, foi executada a recomposição da capa de rolamento com concreto betuminoso usinado a quente (Figura 40).

Figura 40 – Capa de rolamento recomposta para o ensaio de campo.



Fonte: Do Autor (2012)

c) Monitoramento dos Remendos Experimentais

O desempenho dos remendos experimentais, com relação aos traços e tempo de mistura/aplicação, foi analisado a partir de um monitoramento em

campo. Foram definidos períodos de monitoramento semanais, durante os primeiros 3 meses e mais 3 meses com um monitoramento mensal, totalizando 6 meses de verificações.

O monitoramento foi realizado com o uso de Viga Benkelman, equipamento conhecido e largamente utilizado no meio da pavimentação para monitorar o comportamento de pavimentos quanto a deflexões ou problemas pontuais como, por exemplo, perda de capacidade da base. A Figura 41 apresenta uma medida de deflexão realizada em um dos remendos experimentais, com o uso de Viga Benkelman.

Figura 41 – Verificação de deflexão em um dos remendos experimentais, usando a Viga Benkelman.



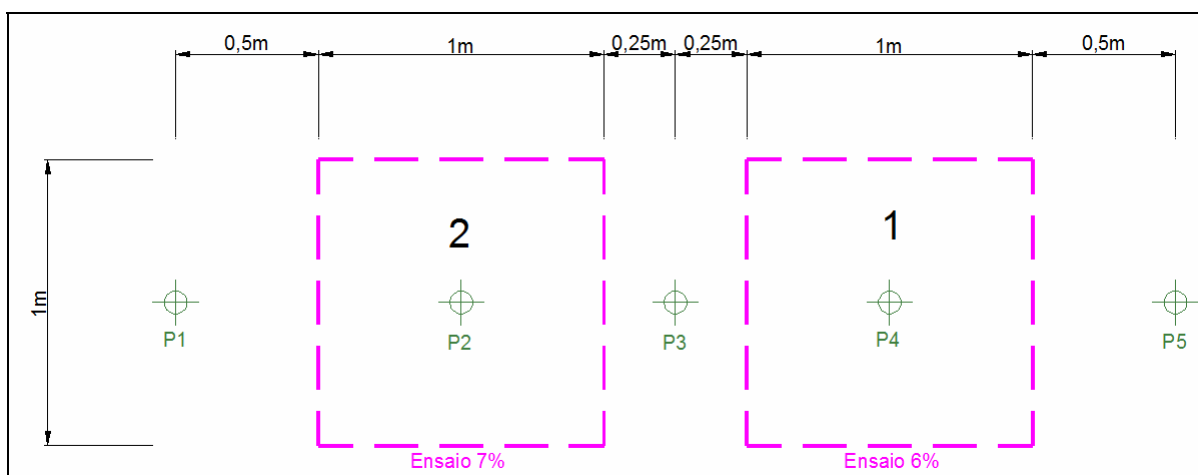
Fonte: Do Autor (2012)

Cada verificação foi efetuada em 5 pontos, “P1”, “P2”, “P3”, “P4” e “P5”, mostrados na Figura 42. As deflexões foram registradas para as análises de comportamento do pavimento, em funções das deflexões medidas. Devido ao baixo movimento de veículos na rodovia, as medições de deflexão foram realizadas inicialmente semanalmente, às 07h30min das quintas-feiras, entre o período de 09 de agosto de 2012 a 8 de novembro de 2012 (três meses). Portanto, foram 14 semanas de acompanhamento, somando 70 medições de deflexão para este período.

Depois deste período as medições passaram a ser realizadas a cada 4 semanas e ocorreram no período entre 6 de dezembro de 2012 a 31 de janeiro de 2013, somando 15 medições de deflexão.

No total foram 85 tomadas de deflexão no acompanhamento do desempenho dos remendos experimentais.

Figura 42 – Pontos de medidas de deflexão nos remendos experimentais e no pavimento natural.



Fonte: Do Autor (2012)

A análise do desempenho do pavimento ensaiado em campo requer uma comparação com a deflexão admissível. Para isso, os resultados de deflexão encontrados no monitoramento dos remendos foram submetidos ao procedimento da DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis e o procedimento DNER-PRO 269/94 – Projeto de restauração de pavimentos – TECNOPAV.

Vale ressaltar que os dois procedimentos para cálculo de deflexão admissível são baseados no Número “N” do pavimento, ou seja, número de repetições do eixo padrão de 8,2 toneladas que o pavimento suportará em toda sua vida útil. A seguir são apresentadas as Equações 16 e 17 que são utilizadas para cálculo da deflexão admissível nos procedimentos DNER PRO11/79 e DNER PRO269/94-TECNOPAV respectivamente.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (\text{Equação 17})$$

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,158 \log N \quad (\text{Equação 18})$$

Onde,

D_{adm} = Deflexão Admissível;

N = Número "N" – Número de repetições do eixo padrão de 8,2t.

Tendo como base a contagem de tráfego realizada e publicada pelo DNIT, referente ao projeto de restauração da BR-163/PR entre os municípios paranaenses de Marechal Candido Rondon e Toledo que identificou, para agosto de 2012, o número "N", ou seja, o número de repetições do eixo padrão de 8,2 toneladas, calculados com os fatores de equivalência do corpo de engenheiros dos Estados Unidos, de $9,65 \times 10^6$ e utilizando-se das equações 16 e 17 foi possível calcular as deflexões admissíveis de 0,61 mm e 1,10 mm pela PRO 11/79 e TECNOPAV-PRO 269/94 respectivamente.

A determinação da deflexão admissível torna possível a realização do desempenho dos remendos profundos experimentais.

Os ensaios de campo e monitoramento de deflexões estão apresentados no Apêndice D.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como finalidade a apresentação, a análise e discussões dos resultados encontrados em todas as fases da pesquisa, bem como, confrontá-los com os encontrados em trabalhos similares. A apresentação deste item está organizada da seguinte forma: ensaios de caracterização, curvas de compactação, nas baterias de ensaios laboratoriais e nos ensaios de campo.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

A caracterização prévia do solo pode evitar problemas na execução e desempenho do solo-cimento. Os resultados dos ensaios realizados para caracterização do solo foram: análise granulométrica, limites de Atterberg, Índice de Suporte Califórnia (I.S.C), massa específica aparente do solo e dos sólidos e classificação do solo segundo a Transportation Research Board – TRB e a MCT.

a) Granulometria

Os resultados do ensaio de granulometria por peneiramento estão ilustrados na Tabela 3, que apresenta a composição granulométrica, realizada por peneiramento, do solo utilizado e os critérios de aceitação granulométrica do DNIT, para uso em bases de pavimentos em solo-cimento.

Tabela 3 – Resultado do ensaio de granulometria do solo por peneiramento.

Solos		Passando (%)	ES DNIT 143/2010 (%)
Peneira	Diâmetro (mm)		
2 ½"	76,2	100	100
n° 4	4,8	100	50 – 100
n° 10	2,0	100	Não contempla
n° 40	0,42	97,2	15 – 100
n° 200	0,075	27,8	5 – 35

Fonte: Do Autor (2012).

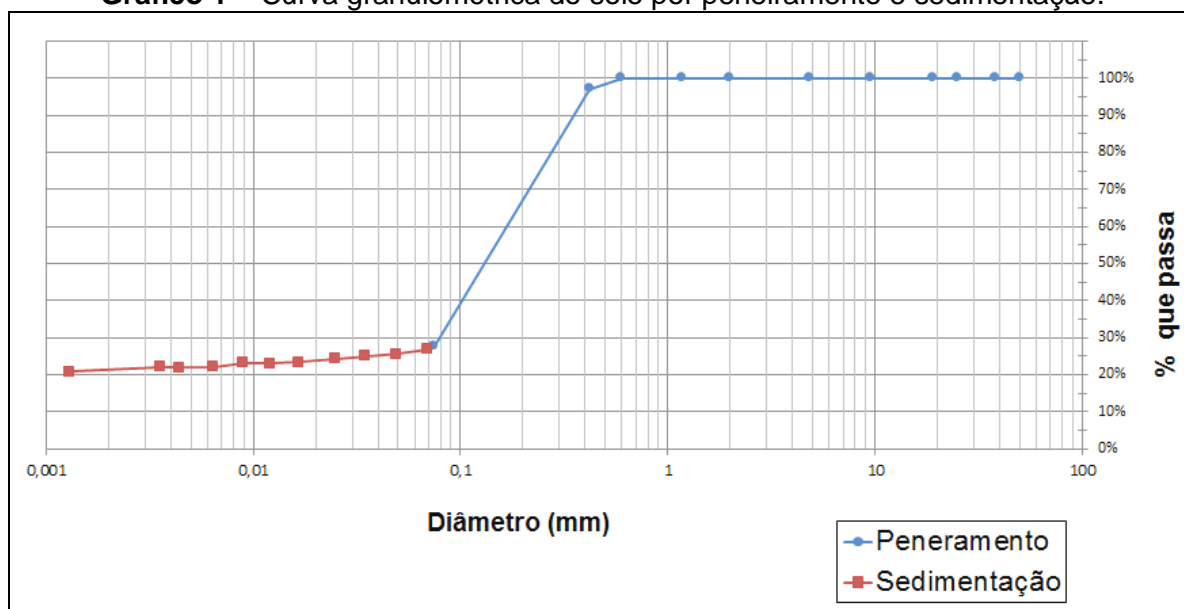
O resultado do ensaio de granulometria conjunta, peneiramento para a fração grossa e sedimentação para a fração fina, é apresentado na Tabela 4 e a curva de granulometria do solo resultante é ilustrada no Gráfico 1.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de granulometria do solo por sedimentação.

Diâmetro (mm)	Passando (%)
0,0689	26,9
0,0490	25,6
0,0347	25,0
0,0246	24,4
0,0165	23,4
0,0120	23,1
0,0089	23,2
0,0063	22,1
0,0043	22,0
0,0035	22,1
0,0013	21,0

Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 1 – Curva granulométrica do solo por peneiramento e sedimentação.



Fonte: Do Autor (2012)

De posse da curva granulométrica completa do solo foi possível identificar a ocorrência de cada fração granulométrica, usando a escala da ABNT-NBR 6502 (1995), como sendo um material composto por areia fina (39,1%), areia

média (33,9%), argila (22,3%) e silte (4,7%) quanto à cor foi feita a caracterização visual através de uma porção do solo. Este solo foi então classificado como uma areia fina á média de cor avermelhada.

b) Limites de Atterberg

Para completar os requisitos físicos do solo, indicados na Especificação de Serviço ES 143/2010-DNIT, foram realizados os ensaios de limites de plasticidade e de liquidez conforme preconizado pelos métodos DNER-ME 82/1994 e DNER-ME 122/1994, respectivamente. A Tabela 5 apresenta os resultados dos limites de consistência do solo e os valores limites de referência do DNIT para bases de pavimentos em solo-cimento.

Tabela 5 – Limites de consistência do solo.

Descrição	Solo Utilizado	ES DNIT 143/2010
Limite de Plasticidade (%)	13,2	Máximo 18%
Limite de Liquidez (%)	20,2	Máximo 40%

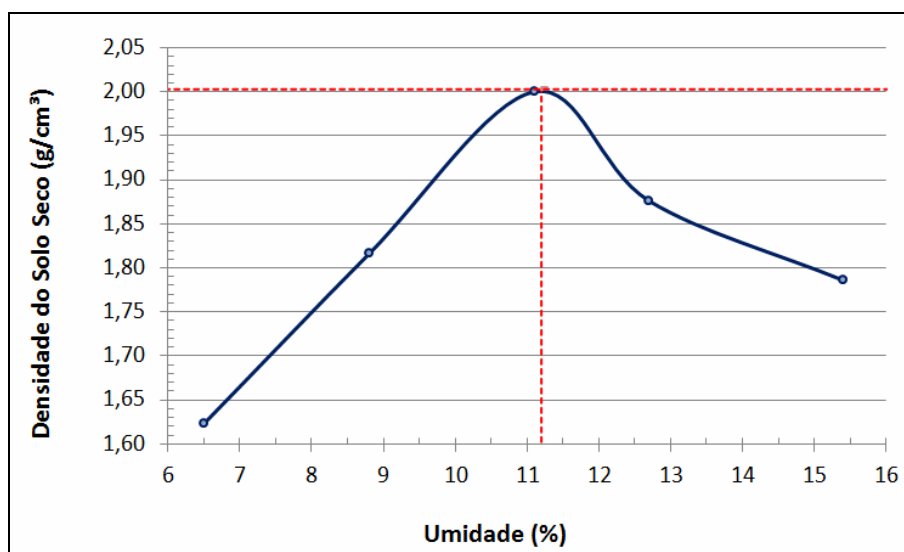
Fonte: Do Autor (2012).

Com os valores do limite de plasticidade, 13,2 %, e do limite de liquidez, 20,2 %, foi possível calcular o índice de plasticidade ($IP = LL - LP$) de 7,0 %, sendo possível afirmar que o solo utilizado tem baixa plasticidade.

c) Índice Suporte Califórnia (ISC)

Para a realização do ensaio de índice de suporte, conforme o método ME 49 de 1974 do DNER, foi realizada a compactação de 5 corpos de prova, com umidades diferentes, e os resultados mostram uma curva característica de compactação conforme apresentado no Gráfico 2.

Os resultados dos ensaios de ISC são apresentados na Tabela 6, onde estão os valores do ponto de máxima eficiência da compactação (usando energia normal de Proctor) com a umidade ótima, a massa específica seca máxima, o Índice de Suporte Califórnia e a expansão máxima do solo.

Gráfico 2 – Curva de compactação resultante do ensaio de compactação.

Fonte: Do Autor (2012)

Tabela 6 – Resultado do ensaio de compactação e I.S.C.

Ensaio	Descrição	Resultado
Compactação	Densidade Máxima Seca (g/cm³)	2,00
	Densidade Máxima Úmida (g/cm³)	2,23
	Umidade Ótima (%)	11,2
I.S.C	Suporte (%)	14,0
	Expansão (%)	0,2

Fonte: Do Autor (2012).

d) Massa Específica Aparente

Em continuidade à caracterização do solo foi realizado ensaio de massa específica aparente, conforme a NBR 10838/1988, e verificou-se que a massa específica aparente do solo estudado é de 1,41 g/cm³ e massa específica seca de 1,21 g/cm³.

e) Massa Específica dos Sólidos

Ensaio realizado conforme o NBR 6508/1984, indicando uma massa específica dos sólidos de 2,89 g/cm³ para as amostras ensaiadas.

f) Classificação TRB

Usando os dados da granulometria e dos limites de consistência foi possível classificar o solo segundo o sistema Transportation Research Board – TRB, como segue:

- O percentual passando na peneira nº 200 (27,8 %) indicou que o material é granular;
- O percentual passando na peneira nº 10 e nº 40 (100,0 %) e na peneira nº 200 (27,8 %) indicou que o material pertence à família A-2.
- O limite de liquidez (20,2 %) e o índice de plasticidade (7,0 %) indicam que o solo pode ser classificado como sendo um material granular do grupo A-2-4.

g) Classificação MCT

De posse dos resultados dos ensaios de compactação Mini-MCV e de perda de massa por imersão tornou-se possível a classificação do solo pelo sistema MCT. Ressaltam-se os seguintes resultados:

- Inclinação da curva de deformabilidade para Mini-MCV=10: $c'=0,86$;
- Coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação referente a energia de 12 golpes no ensaio Mini-MCV: $d'=116,7$;
- Coeficiente angular da ordenada para classificação MCT $e'=0,56$;
- Classificação MCT: LA': areia argilosa laterítica;

h) Discussão dos Resultados dos Ensaio de Caracterização do Solo

Neste item serão apresentados alguns pontos relevantes dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização do solo. Tal discussão motiva-se devido à importância da tipologia do solo nos estudos sobre solo-cimento.

Da análise granulométrica e visual foi possível identificar o solo como sendo uma areia média siltosa de cor avermelhada pertencente ao grupo A-2-4, conforme classificação TBR. Já a classificação MCT do solo foi obtida através de cálculos matemáticos envolvendo os resultados dos ensaios de compactação Mini-MCV e de perda de massa por imersão classificando o solo como LA' - areia argilosa laterítica, conforme ensaios no Apêndice A.

A Tabela 7 apresenta o resumo dos resultados de caracterização do solo.

Tabela 7 – Resumo dos resultados dos ensaios de caracterização do solo.

Ensaio		Valor	Unid.
Massa específica aparente		1,41	(g/cm ³)
Massa específica seca		1,21	(g/cm ³)
Massa específica dos sólidos		2,89	(g/cm ³)
Umidade média natural		16,3	(%)
Limite de liquidez		20,2	(%)
Limite de plasticidade		13,2	(%)
Índice de plasticidade		7,0	(%)
% passando #4,8mm		100	(%)
% passando #2,0mm		100	(%)
% passando #0,42mm		97,2	(%)
% passando #0,075mm		27,8	(%)
Classificação TRB		A2-4	-
Classificação MCT		LA'	-
C.B.R	Massa específica seca	2,00	(g/cm ³)
	Umidade ótima	11,2	(%)
	I.S.C	14,0	(%)
	Expansão	0,2	(%)

Fonte: Do Autor (2012).

Na Tabela 7 pode ser verificado que a umidade média do solo encontrava-se na ordem de 16,3 %, e a umidade ótima do ensaio de compactação foi de 11,2 %, o que preliminarmente, apontava a necessidade de diminuição de umidade do solo para execução da compactação do solo-cimento.

Outro indicador importante que pode ser retirado dos ensaios de caracterização do solo é a verificação do potencial da jazida, ou seja, se a fonte de solo consegue atender toda a demanda para de execução de base de solo-cimento.

Caso contrário, é necessário o estudo de outra jazida para complementar ou substituir a jazida em análise ou ainda adotar outra solução para pavimentação.

Para a verificação do potencial da jazida é necessário o conhecimento da relação de compactação que é a relação entre material compactado e material natural da jazida.

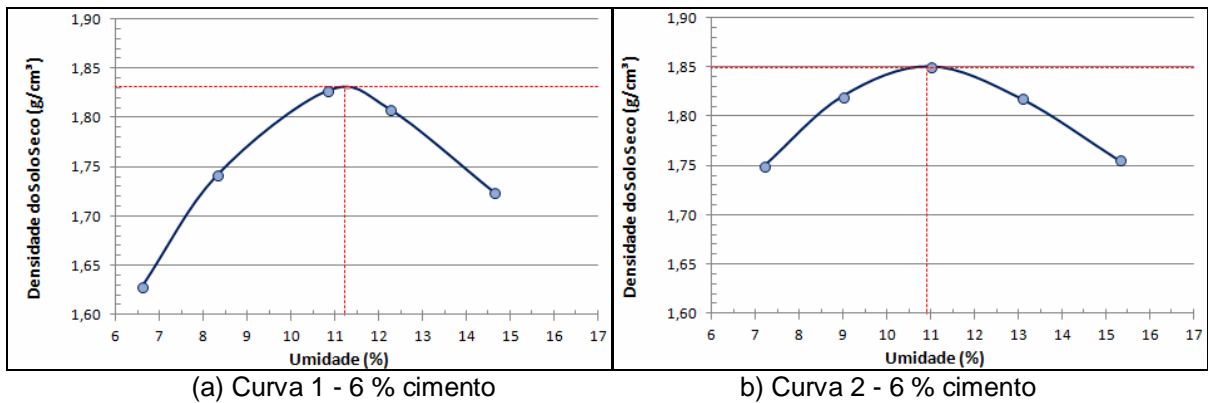
Como o solo apresentou massa específica aparente de $1,41 \text{ g/cm}^3$ e massa específica máxima úmida de $2,23 \text{ g/cm}^3$ a relação de compactação do solo em estudo foi de aproximadamente 158 %, ou seja, é necessário escavar aproximadamente 1,58 vezes do volume material que se deseja compactar na pista.

Por fim, após a realização dos ensaios de caracterização do solo verificou-se que o mesmo atende aos requisitos do DNIT e que possui razoável índice de suporte (I.S.C=14,0 %), baixa plasticidade (IP=7,0 %) e pouca expansão (0,20 %).

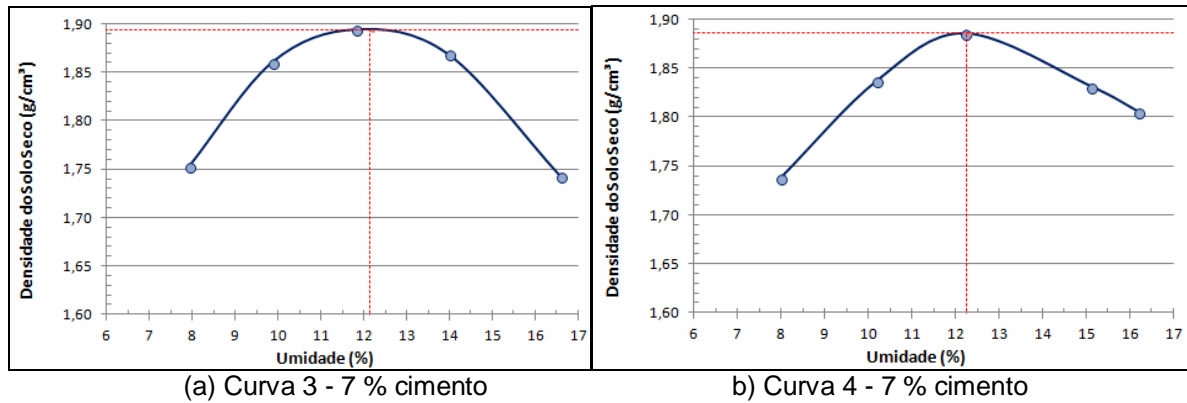
4.2 CURVAS DE COMPACTAÇÃO

As curvas de compactação dos traços de solo-cimento (teores 6 e 7 %) forneceram os principais resultados, para o prosseguimento dos experimentos desta pesquisa, que foram: teor de umidade ótimo e massa específica seca máxima. Além disso, foram obtidos com os corpos de prova na umidade ótima o valor aproximado da resistência à compressão antes da sequência das baterias de ensaios para análise do tempo de mistura e aplicação dos traços solo-cimento (6 e 7 %).

A seguir, são apresentadas nos Gráficos 3(a), 3(b), 4(a) e 4(b) as curvas de compactação dos traços solo-cimento, com teores de 6 % e 7 % de cimento.

Gráfico 3 – Curvas de compactação do traço com teor de 6 % de cimento.

Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 4 – Curvas de compactação do traço com teor de 7 % de cimento.

Fonte: Do Autor (2012).

De posse dos dados que originaram as quatro curvas de compactação e realizado tratamento estatístico nos dados, com utilização de planilha eletrônica, foram obtidos os valores médios para umidade ótima e massa específica seca máxima, para cada um dos dois teores de cimento estudados, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados obtidos nas curvas de compactação com energia Normal de Proctor.

Curva	Teor de cimento (%)	Umidade (%)	Massa Específica Seca máxima (g/cm ³)	Energia de Compactação	Resistência à compressão aos 7 dias (kg/cm ²)
1	6	11,2	1,83	Normal	21,33
2	6	10,9	1,85	Normal	21,54
Média		11,1*	1,84*	-	21,43
Desvio padrão		0,16	0,01	-	0,11
Coeficiente de Variabilidade (%)		1,45	0,54	-	0,51
3	7	12,2	1,89	Normal	26,29
4	7	12,3	1,89	Normal	26,82
Média		12,3*	1,89*	-	25,55
Desvio padrão		0,05	0,00	-	0,26
Coeficiente de Variabilidade (%)		0,40	0,00	-	1,02

* Valores adotados como base para os ensaios de laboratório

Fonte: Do Autor (2012).

Como podem ser observados na Tabela 8 os valores de resistência à compressão aos 7 dias, tanto do traço com 6 % como do traço com 7 % de cimento, estão dentro do exigido pelo DNT, que na Especificação de Serviço ES 143/2010-DNIT, determina o valor mínimo de 21 kg/cm².

Como visto no capítulo de revisão bibliográfica, vários autores ressaltam o teor de umidade, a porosidade e a relação de vazios/cimento como os principais fatores que interferem na resistência à compressão do solo-cimento. Sendo assim, a partir dos dados obtidos nas curvas de compactação (Tabela 9) foram elaboradas, para cada teor de cimento, as curvas de resistência à compressão simples *versus* o teor de umidade, a porosidade e a relação vazios/cimento.

Tabela 9 – Resultados obtidos nas curvas de compactação.

Teor de cimento (%)	Teor de umidade (%)	Porosidade "n" (%)	Vv/Vc*	Resistência aos 7 dias (kg/cm ²)
6,0	6,6	0,44	6,78	7,76
6,0	14,6	0,40	5,93	10,78
6,0	8,3	0,40	5,78	12,52
6,0	7,2	0,39	5,71	12,97
6,0	15,3	0,39	5,66	13,45
6,0	9,0	0,37	5,15	18,05
6,0	13,1	0,37	5,17	18,92
6,0	12,2	0,37	5,24	19,80
6,0	10,8	0,37	5,10	21,32
6,0	11,0	0,36	4,92	21,53
7,0	16,6	0,40	5,77	9,47
7,0	8,0	0,40	5,81	9,77
7,0	7,9	0,39	5,68	9,18
7,0	16,2	0,38	5,26	12,90
7,0	15,1	0,37	5,07	18,80
7,0	9,9	0,36	4,85	20,80
7,0	10,2	0,36	5,03	20,26
7,0	14,0	0,35	4,79	20,47
7,0	12,2	0,35	4,67	26,80
7,0	11,8	0,34	4,61	26,29

* Vv/Vc = Volume de Vazios (Vv) dividido pelo Volume de Cimento (Vc).

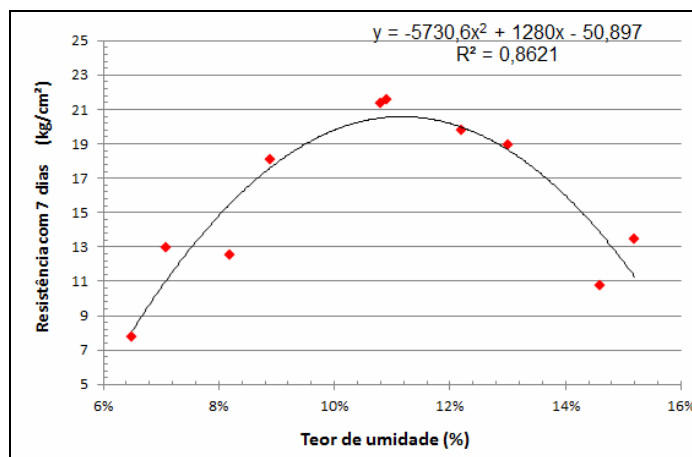
* n = Vv/V_T = Volume de Vazios (Vv) dividido pelo Volume Total (V_T).

Fonte: Do Autor (2012).

Como podem ser verificados os dados da Tabela 9 foram dispostos na ordem decrescente da porosidade, ou seja, da maior para a menor. Nos resultados dos corpos de prova com menor porosidade verificou-se maior resistência à compressão simples.

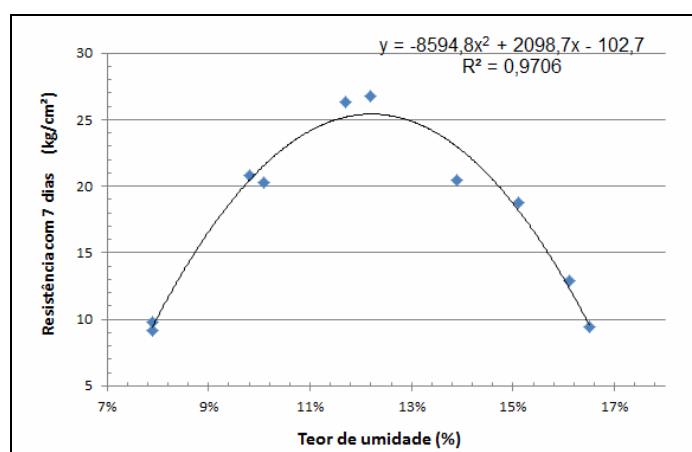
Os Gráficos 5 e 6 mostram os resultados de resistência à compressão com relação aos teores de umidade obtidos nas curvas de compactação.

Gráfico 5 – Teor de umidade *versus* resistência à compressão simples – Teor 6 % de cimento.



Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 6 – Teor de umidade *versus* resistência à compressão simples – Teor 7 % de cimento.



Fonte: Do Autor (2012).

Da análise dos Gráficos 5 e 6 verifica-se que o teor de umidade tem relevância na resistência na compressão simples (RCS) do solo-cimento, pois para o teor de 6 % de cimento houve variação em até 13,8 kg/cm² na RSC quando induzida a variação na umidade do ensaio de curva de compactação. Já para o teor de 7 % de cimento houve variação em até 17,6 kg/cm² na RSC entre os teores de umidade analisados.

Nos Gráficos 5 e 6 foram inseridas as equações, através das quais é possível estimar a resistência à compressão simples em função do teor de umidade, desde que mantida a compactação com energia normal, para os teores de cimento 6 % e 7 %.

4.3 BATERIAS DE ENSAIOS LABORATORIAIS

Conforme já relatado no capítulo anterior as baterias contemplam dez tempos cada e foram divididas em três tipos. No primeiro tipo a quantidade de água adicionada à mistura foi a necessária para a mesma obter umidade igual à ótima, definida nas curvas de compactação e aplicou-se a energia de Proctor Normal na compactação.

No segundo tipo a quantidade de água adicionada na mistura foi a necessária para a mesma obter umidade igual 1 % a mais do que a umidade ótima e aplicou-se a energia de Proctor Normal na compactação.

Já no terceiro tipo a quantidade de água adicionada na mistura foi a necessária para a mesma obter umidade igual 1 % a mais do que a umidade ótima, contudo, aplicou-se a energia alterada em relação na compactação. Tal energia foi a necessária para que a mistura apresentasse massa específica seca igual a máxima, definida no ensaio de curva de compactação, os valores de energia para cada compactação estão apresentados no Apêndice C.

A seguir, são apresentados e discutidos os ensaios de cada bateria para os dois teores estudados nesta pesquisa.

4.3.1 Ensaio Utilizando Umidade Ótima e Energia Normal

Após a realização das baterias de ensaios 1, 2, 9 e 10 foram obtidos os resultados de teor de umidade conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 1, 2, 9 e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Teor de umidade (%)									
Bateria 1 - 6 %	11,3	11,0	10,8	10,7	10,4	10,0	9,9	9,8	9,6	9,4
Bateria 2 - 6 %	11,3	11,1	10,8	10,6	10,4	10,0	9,9	9,7	9,6	9,4
Média (%)	11,3	11,1	10,8	10,7	10,4	10,0	9,9	9,8	9,6	9,4
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
Bateria 9 - 7 %	12,1	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2	11,0	10,5	10,4	9,9
Bateria 10 - 7 %	12,1	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,1	10,6	10,2	10,0
Média (%)	12,1	11,4	11,4	11,4	11,3	11,2	11,1	10,6	10,3	10,0
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,0	0,9	0,4	0,4	0,0	0,5	0,5	1,0	0,5

Fonte: Do Autor (2012).

Dos valores da Tabela 10 é possível notar que, mesmo em ambiente de laboratório onde se evitou perdas por evaporação, após 60 minutos para o teor de 6 % de cimento e 90 minutos para o teor de 7 % de cimento, a mistura de solo-cimento não se enquadrou quanto à umidade, considerando um desvio máximo de 1 % no teor de umidade.

Depois da execução das baterias de ensaios 1, 2, 9 e 10 foram obtidos os resultados de Massa Específica Seca de acordo com os dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados de massa específica seca obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Massa Específica Seca (g/cm ³)									
Bateria 1 - 6 %	1,84	1,84	1,83	1,82	1,81	1,80	1,77	1,75	1,70	1,60
Bateria 2 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,83	1,81	1,80	1,78	1,75	1,69	1,59
Média (γ_d)	1,84	1,84	1,84	1,83	1,81	1,80	1,78	1,75	1,70	1,60
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Coef. de Variabilidade (%)	0,00	0,00	0,27	0,27	0,00	0,00	0,28	0,00	0,29	0,31
Bateria 9 - 7 %	1,90	1,89	1,87	1,85	1,81	1,77	1,73	1,73	1,72	1,63
Bateria 10 - 7 %	1,90	1,89	1,88	1,85	1,81	1,78	1,75	1,74	1,73	1,60
Média (γ_d)	1,90	1,89	1,88	1,85	1,81	1,78	1,74	1,74	1,73	1,62
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Coef. de Variabilidade (%)	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,28	0,57	0,29	0,29	0,93

Fonte: Do Autor (2012).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 11 é possível afirmar que a partir de 30 minutos ocorre considerável queda do valor da massa específica seca. Isto se deve ao fato de que a partir deste tempo, com a umidade diferente da dosada para a umidade ótima, a energia de Normal de Proctor utilizada na compactação não é suficiente para conferir a compactação necessária.

Mediante o término dos ensaios das baterias 1, 2, 9 e 10 foram obtidos os valores de absorção de água, segundo exibido na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados de absorção obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Absorção após imersão em água por 4 horas (%)									
Bateria 1 - 6 %	0,6	1,0	1,4	2,3	3,2	4,2	5,1	6,0	7,2	8,9
Bateria 2 - 6 %	0,6	1,0	1,5	2,4	3,2	4,1	4,9	6,1	7,1	8,8
Média	0,6	1,0	1,5	2,4	3,2	4,2	5,0	6,1	7,2	8,9
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,0	3,4	2,1	0,0	1,2	2,0	0,8	0,7	0,6
Bateria 9 - 7 %	0,6	0,9	1,3	2,0	2,9	3,6	4,4	5,6	6,9	8,5
Bateria 10 - 7 %	0,5	1,0	1,3	2,2	2,9	3,7	4,6	5,7	7,3	8,7
Média	0,6	1,0	1,3	2,1	2,9	3,7	4,5	5,7	7,1	8,6
Desvio Padrão	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Coef. de Variabilidade (%)	9,1	5,3	0,0	4,8	0,0	1,4	2,2	0,9	2,8	1,2

Fonte: Do Autor (2012).

Observando os dados contidos na Tabela 11 e 12, referente aos resultados de massa específica seca e absorção respectivamente, verifica-se que a absorção aumenta conforme se diminui a massa específica seca. Isto se dá pelo fato de que o volume de vazios aumenta quando se decresce a massa específica seca do solo-cimento.

Posteriormente a verificação dos resultados das baterias de ensaios 1, 2, 9 e 10 foram obtidos os valores de resistência à compressão simples segundo exibido na Tabela 13.

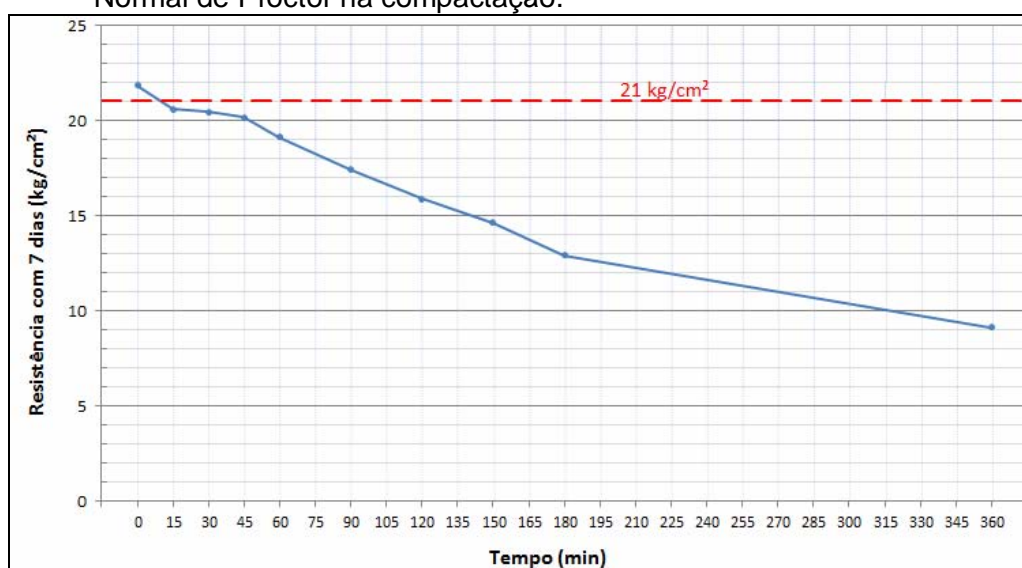
Tabela 13 – Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 1, 2, 9, e 10 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Resistência a Compressão Simples - RSC (kg/cm ²)									
Bateria 1 - 6 %	21,72	20,76	20,34	19,90	18,92	17,11	16,14	14,81	13,03	9,01
Bateria 2 - 6 %	21,93	20,38	20,55	20,38	19,34	17,68	15,59	14,42	12,79	9,25
Média	21,83	20,57	20,45	20,14	19,13	17,40	15,87	14,62	12,91	9,13
Desvio Padrão	0,11	0,19	0,11	0,24	0,21	0,29	0,28	0,20	0,12	0,12
Coef. de Variabilidade (%)	0,48	0,92	0,51	1,19	1,10	1,64	1,73	1,33	0,93	1,31
Bateria 9 - 7 %	21,72	21,36	20,80	19,22	16,33	13,04	12,78	9,01	8,57	8,10
Bateria 10 - 7 %	21,51	21,15	20,36	19,61	16,88	12,74	12,54	8,68	8,08	7,76
Média	21,62	21,26	20,58	19,42	16,61	12,89	12,66	8,85	8,33	7,93
Desvio Padrão	0,10	0,11	0,22	0,20	0,28	0,15	0,12	0,17	0,25	0,17
Coef. de Variabilidade (%)	0,49	0,49	1,07	1,00	1,66	1,16	0,95	1,87	2,94	2,14

Fonte: Do Autor (2012).

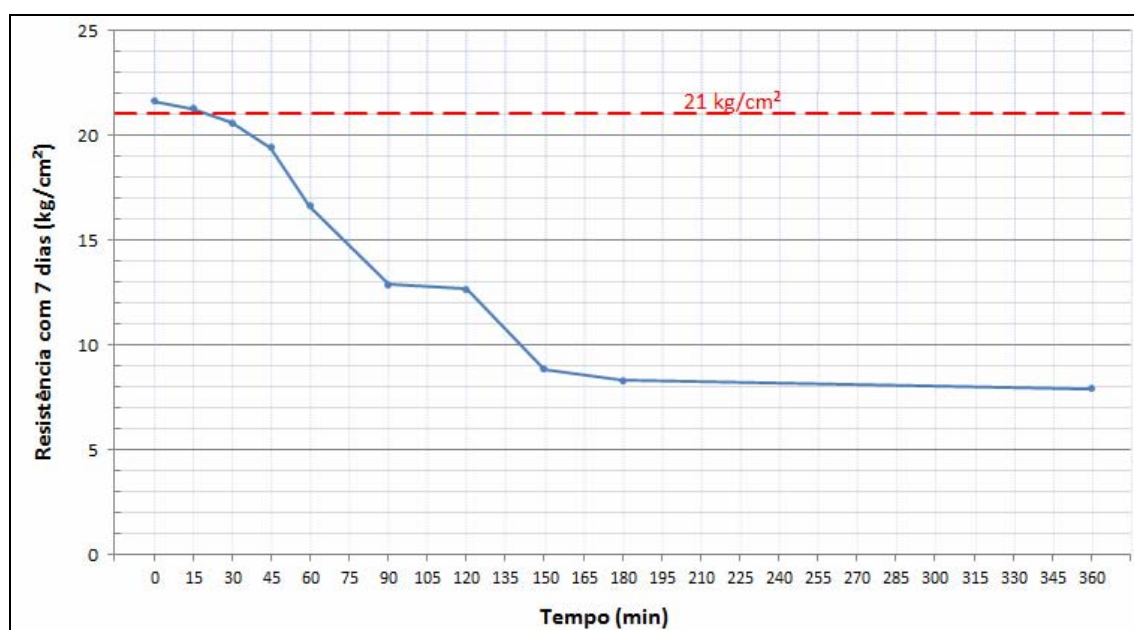
Com os dados da Tabela 13 foi possível uma análise dos resultados de resistência à compressão simples média frente ao tempo decorrido entre homogeneização e compactação, para os dois teores estudados conforme apresenta o Gráfico 7 e 8.

Gráfico 7 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6 %, umidade ótima e energia Normal de Proctor na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 8 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7 %, umidade ótima e energia Normal de Proctor na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Através da Tabela 13 e da análise dos gráficos 7 e 8 é possível afirmar que, para o solo estudado, quando a mistura de solo-cimento for dosada com umidade igual à ótima e aplicada energia Normal de Proctor na compactação o tempo máximo, entre homogeneização e compactação, é de 10 e 21 minutos para o teor de 6 % e 7 % de cimento respectivamente. Esses tempos máximos foram obtidos por interpolação linear dos resultados da Tabela 13 condicionalmente a resistência mínima à compressão simples de 21 kg/cm².

Após as análises dos resultados, de resistência à compressão simples das baterias 1, 2, 9 e 10, observou-se que o tempo máximo entre homogeneização e compactação é curto para chegar a resistência à compressão mínima de 21 kg/cm². Uma vez que, para homogeneização do composto de solo-cimento em usina apenas as atividades de: carga, descarga e espalhamento do material, ultrapassa o tempo máximo de 10 e 21 minutos.

Sendo assim, pode-se concluir que problemas poderão ocorrer na base do pavimento, realizado em campo, se o tempo entre a mistura e sua aplicação não for suficiente para atingir a resistência requerida no projeto ou nas exigências do DNIT.

Por isso é notória a necessidade de alteração dos parâmetros de umidade e/ou de compactação do solo-cimento, pois com essas situações de contorno não seria atendida a resistência mínima prevista na especificação de serviço ES 143/2012 do DNIT, dado um tempo mínimo necessário para execução de aproximadamente 30 minutos.

4.3.2 Ensaio Utilizando Umidade Ótima +1% e Energia Normal

Uma vez que os primeiros ensaios (baterias 1, 2, 9 e 10) apontaram para uma necessidade de modificação nos parâmetros de dosagem de água e de compactação do solo-cimento, foi dado prosseguimento na pesquisa com realização de quatro baterias (3, 4, 5 e 6) para o teor de cimento de 6 % e quatro baterias (11, 12, 13 e 14) para o teor de 7 %. Após a realização destas baterias de ensaios foram obtidos os resultados conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (minutos)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Teor de umidade (%)									
Bateria 3 - 6 %	12,0	11,7	11,4	11,3	11,2	10,9	10,7	10,5	10,3	9,5
Bateria 4 - 6 %	11,9	11,7	11,5	11,4	11,1	11,0	10,7	10,6	10,4	9,7
Bateria 5 - 6 %	12,0	11,7	11,6	11,3	11,2	10,9	10,7	10,5	10,3	9,7
Bateria 6 - 6 %	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	9,6
Média (%)	12,0	11,7	11,5	11,3	11,2	10,9	10,7	10,5	10,3	9,6
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Coef. de Variabilidade (%)	0,4	0,0	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0	0,4	0,4	0,9
Bateria 11 - 7 %	13,1	12,9	12,8	12,6	12,3	12,1	11,8	11,7	11,4	10,1
Bateria 12 - 7 %	13,1	12,8	12,7	12,4	12,2	12,1	12,0	11,6	11,6	10,3
Bateria 13 - 7 %	13,1	12,9	12,7	12,4	12,3	12,0	11,8	11,7	11,6	9,9
Bateria 14 - 7 %	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	10,1
Média (%)	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	10,1
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,3	0,3	0,7	0,4	0,4	0,7	0,4	0,7	1,4

Fonte: Do Autor (2012).

Considerando a aceitação dos corpos de prova com teores médios de umidade com desvio máximo de 1 % acima da umidade ótima, definida nos ensaios das curvas de compactação, ou seja, de 10,06 % a 12,06 % para o traço com 6 % de cimento e de 11,20 % a 13,20 % para o traço de 7 % de cimento verificou-se que de acordo com os resultados, destas baterias, apenas o tempo de 360 minutos (6 horas) não atendeu tal exigência.

Dos valores mostrados na Tabela 14 é possível verificar que a dosagem de água para obtenção de teor de umidade do solo cimento de 1 % acima da umidade ótima, para compensar as perdas por evaporação, e a execução de compactação com energia Normal de Proctor resultou em melhores resultados que as baterias nas quais se utilizou apenas a dosagem de umidade para obtenção do teor ótimo e energia Normal de Proctor na compactação.

Novamente pode-se verificar que, mesmo em condições mais controladas, como a de laboratório, verifica-se grande perda de umidade na mistura de solo-cimento ao transcorrer do tempo.

Depois da execução das baterias de ensaios de 3 a 6 e de 11 a 14 foram obtidos os resultados de Massa Específica Seca de acordo com os dados apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados de massa específica seca obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo+ 1% e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Massa Específica Seca (g/cm ³)									
Bateria 3 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,82	1,81	1,79	1,78	1,75	1,67
Bateria 4 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,82	1,80	1,77	1,75	1,71	1,65
Bateria 5 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,82	1,79	1,77	1,74	1,72	1,65
Bateria 6 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,80	1,78	1,75	1,66
Média (γ_d)	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,81	1,78	1,76	1,73	1,66
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Coef. de Variabilidade (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,82	0,73	1,01	1,03	0,50
Bateria 11 - 7 %	1,89	1,89	1,89	1,89	1,87	1,86	1,83	1,81	1,80	1,78
Bateria 12 - 7 %	1,90	1,89	1,89	1,89	1,88	1,85	1,84	1,82	1,81	1,80
Bateria 13 - 7 %	1,89	1,89	1,88	1,88	1,84	1,83	1,78	1,76	1,75	1,69
Bateria 14 - 7 %	1,90	1,90	1,89	1,89	1,84	1,84	1,79	1,76	1,76	1,73
Média (γ_d)	1,90	1,89	1,89	1,89	1,86	1,85	1,81	1,79	1,78	1,75
Desvio Padrão	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04
Coef. de Variabilidade (%)	0,26	0,23	0,23	0,23	0,96	0,61	1,41	1,55	1,43	2,46

Fonte: Do Autor (2012).

Dos resultados apresentados na Tabela 15 é possível afirmar que apesar de ocorrer certa melhora na umidade das amostras, ou seja, a umidade ficar próxima da ótima, com a utilização de dosagem de água para obtenção de mistura com 1 % de umidade acima da umidade ótima, a massa específica seca apresentou-se adequada até o intervalo máximo de 45 minutos entre homogeneização e compactação, da mistura.

Do intervalo de 45 a 180 minutos, apesar de os teores de umidade apresentarem-se dentro do intervalo de desvio máximo de 1 %, os resultados de massa específica seca dos corpos de prova mostraram-se inadequados, conforme prevê a especificação ES 143/20120 do DNIT, pois apresentaram valores abaixo do definido nas curvas de compactação.

Fato interessante verificado nos resultados de massa específica seca dessas baterias foi de que, mesmo sem intenção, os resultados apontaram os valores de massa específica seca de 1,84 g/cm³ e 1,89 g/cm³ para os teores de 6 %

e 7 % respectivamente, nos tempos de compactação imediata a homogeneização e para os intervalos de 15 minutos, 30 minutos e 45 minutos. Esses resultados acompanhados dos seus respectivos pares de valores de resistência à compressão simples e umidade possibilitam a verificação da interferência da umidade na resistência, já que fica isolada a variável da massa específica seca.

Se comparados os resultados de absorção dos corpos de prova dosados com teor de umidade igual ao ótimo da Tabela 12, com os valores apresentados na Tabela 16, ilustrada a seguir, os resultados de absorção dos corpos de prova dosados com teor de umidade igual ao ótimo acrescido em 1 %, nota-se que não houve diferença significativa da diminuição na absorção de água.

Mediante o término dos ensaios das baterias de 3 a 6 e de 11 a 14 foram obtidos os valores de absorção de água, segundo exibido na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados de absorção obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Absorção após imersão em água por 4 horas (%)									
Bateria 3 - 6 %	0,5	1,0	1,3	2,0	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	8,6
Bateria 4 - 6 %	0,5	0,9	1,2	1,9	2,8	3,5	4,4	5,6	7,0	8,5
Bateria 5 - 6 %	0,5	0,9	1,2	1,9	2,8	3,5	4,4	5,6	7,0	8,5
Bateria 6 - 6 %	0,5	0,9	1,2	1,8	2,8	3,4	4,4	5,6	7,0	8,5
Média (%)	0,5	0,9	1,2	1,9	2,8	3,5	4,4	5,6	7,0	8,5
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	4,7	3,5	3,7	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Bateria 11 - 7 %	0,3	0,7	1,2	1,9	2,7	3,3	4,2	5,2	6,7	8,2
Bateria 12 - 7 %	0,2	0,7	1,1	1,8	2,6	3,1	4,0	5,4	6,7	8,1
Bateria 13 - 7 %	0,2	0,7	1,1	1,8	2,6	3,1	4,0	5,4	6,7	8,1
Bateria 14 - 7 %	0,3	0,8	1,1	1,9	2,8	3,1	4,0	5,4	6,9	8,2
Média (%)	0,3	0,7	1,1	1,9	2,7	3,2	4,1	5,4	6,8	8,2
Desvio Padrão	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	20,0	6,0	3,8	2,7	3,1	2,7	2,1	1,6	1,3	0,6

Fonte: Do Autor (2012).

Essa observação confirma o fato de que o volume de vazios ou porosidade diminui quando é aumentada a massa específica seca do solo-cimento, devido a menor eficiência da compactação. Como nessas baterias a energia aplicada em cada camada foi igual às baterias anteriores, ou seja, energia Normal de Proctor, não se verificou redução considerável do volume de vazios do solo-cimento.

Posteriormente a verificação dos resultados das baterias de ensaios de 3 a 6 e de 11 a 14 foram obtidos os valores de resistência à compressão simples segundo exibido na Tabela 17.

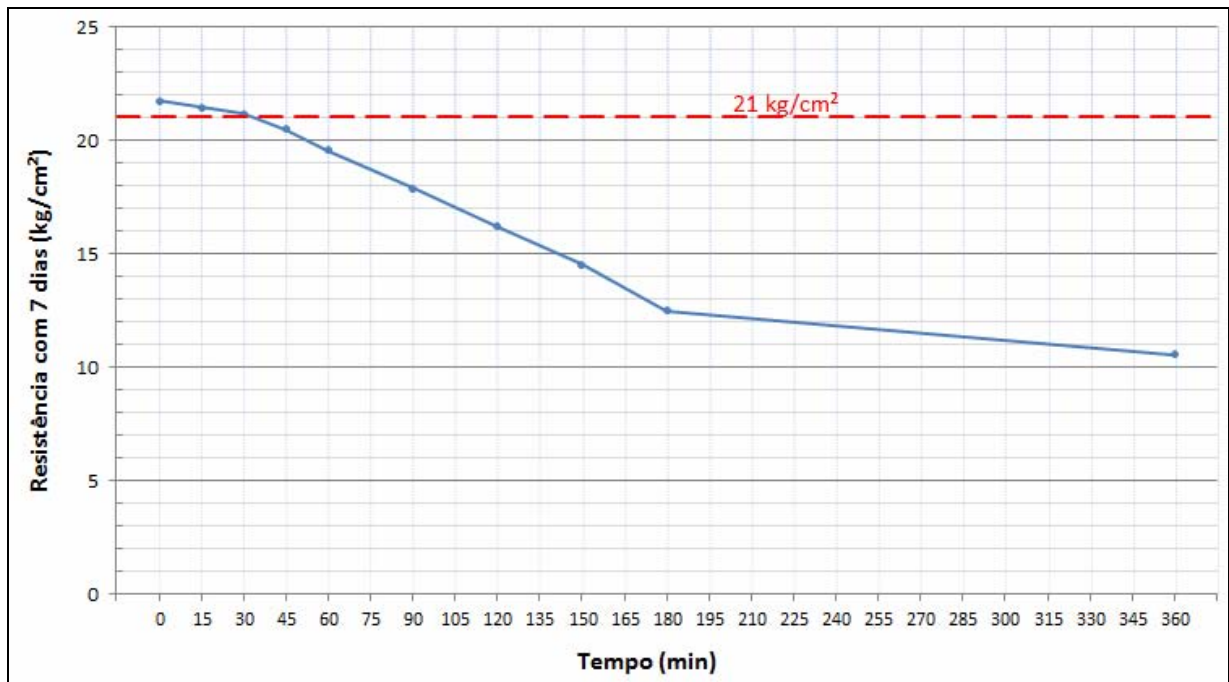
Tabela 17 – Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia Normal de Proctor na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Resistência a Compressão Simples - RSC (kg/cm ²)									
Bateria 3 - 6 %	21,59	21,38	21,09	20,19	19,23	17,42	15,95	14,13	12,34	9,65
Bateria 4 - 6 %	21,72	21,30	21,11	20,30	19,13	17,27	15,56	13,99	11,85	10,07
Bateria 5 - 6 %	21,65	21,42	21,03	20,24	19,47	17,58	16,12	14,28	11,82	10,11
Bateria 6 - 6 %	21,97	21,59	21,38	21,13	20,38	19,25	17,17	15,66	13,89	12,46
Média (kg/cm ²)	21,73	21,42	21,15	20,47	19,55	17,88	16,20	14,52	12,48	10,57
Desvio Padrão	0,14	0,11	0,13	0,39	0,49	0,80	0,60	0,67	0,84	1,10
Coef. de Variabilidade (%)	0,67	0,49	0,64	1,89	2,52	4,47	3,68	4,61	6,75	10,45
Bateria 11 - 7 %	26,83	26,09	21,63	21,41	20,32	19,80	16,73	12,75	12,42	9,02
Bateria 12 - 7 %	26,29	25,58	21,63	21,01	20,22	20,05	16,55	12,19	11,50	8,42
Bateria 13 - 7 %	25,90	24,18	23,06	22,72	20,63	19,57	16,67	12,62	12,15	9,03
Bateria 14 - 7 %	26,83	25,88	21,44	21,07	19,74	19,65	16,24	12,37	11,74	8,83
Média (kg/cm ²)	26,46	25,43	21,94	21,55	20,23	19,77	16,55	12,48	11,95	8,83
Desvio Padrão	0,39	0,75	0,65	0,69	0,32	0,18	0,19	0,22	0,36	0,25
Coef. de Variabilidade (%)	1,48	2,93	2,97	3,21	1,58	0,92	1,14	1,74	2,98	2,80

Fonte: Do Autor (2012).

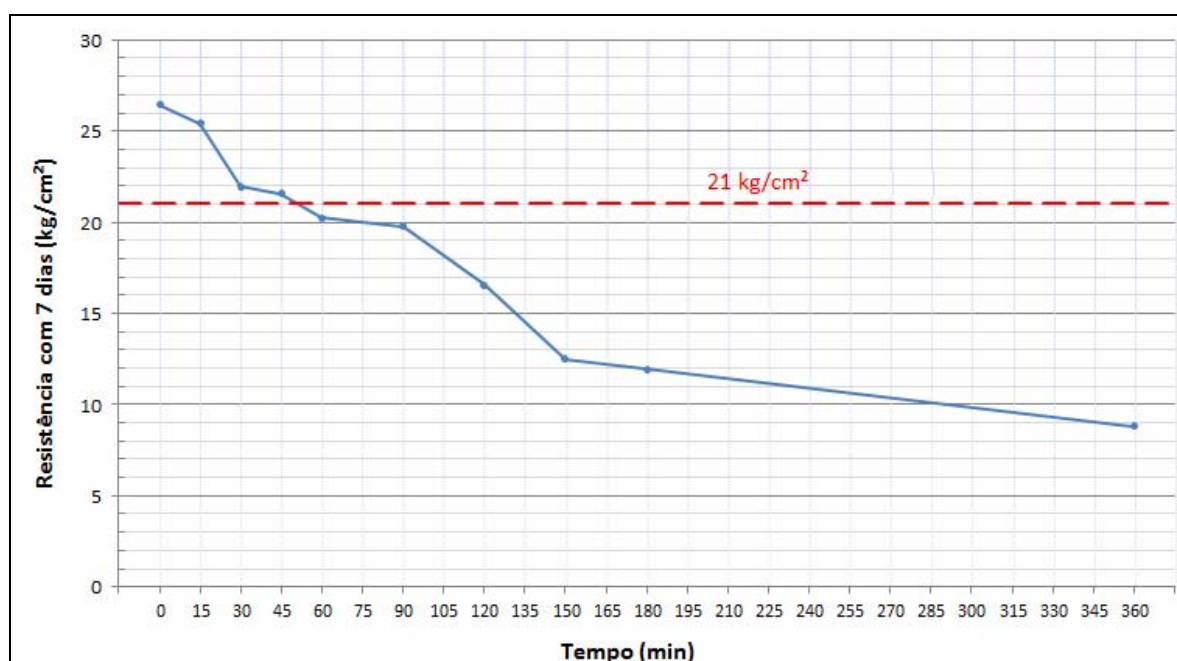
Com os resultados de resistência à compressão simples os dados da Tabela 17 foi possível uma análise dos resultados de resistência à compressão simples média frente ao tempo decorrido entre homogeneização e compactação, para os dois teores estudados conforme apresenta os Gráficos 9 e 10, também ilustrados na sequência.

Gráfico 9 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6 %, umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 10 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7 %, umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

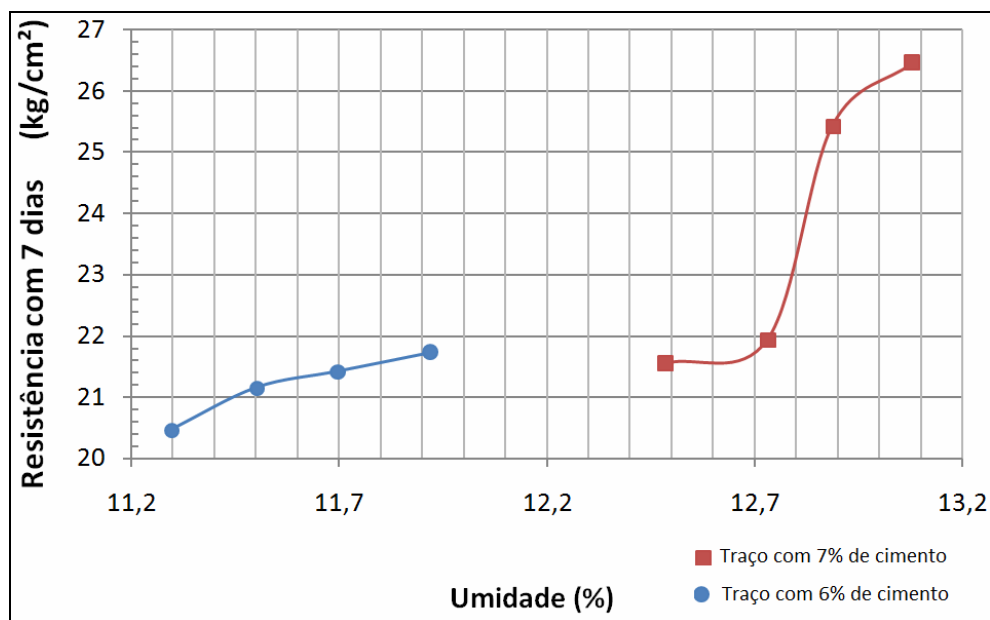
Dos resultados mostrados na Tabela 17 e da análise dos gráficos 9 e 10 é possível afirmar que, para o solo estudado, quando a mistura de solo-cimento for dosada com umidade igual à ótima mais 1 % e aplicada energia Normal de Proctor na compactação o tempo máximo, entre homogeneização e compactação, é de 33 minutos e 51 minutos para o teor de 6 % e 7 % de cimento respectivamente. Esses tempos máximos foram obtidos por interpolação linear dos resultados da Tabela 17 condicionalmente a resistência mínima a compressão simples de 21 kg/cm².

Após as análises dos resultados das baterias de ensaio 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14 verificou-se, relativo a resistência mínima necessária de 21 kg/cm², que o tempo máximo entre homogeneização e compactação é maior do que os tempos máximos verificados para dosagem de umidade igual à ótima e aplicação de energia Normal de Proctor na compactação.

Conforme relatado, anteriormente, os resultados de massa específica seca nessas baterias mostraram-se iguais a 1,84 g/cm³ e 1,89 g/cm³ para os teores de 6 % e 7 % respectivamente nos tempos de compactação imediata a homogeneização e para os intervalos de 15 minutos, 30 minutos e 45 minutos.

Sendo assim, apresenta no Gráfico 11 as curvas umidade *versus* resistência à compressão simples para os teores de 6 % e 7 % de cimento.

Gráfico 11 – Teor de umidade *versus* resistência à compressão simples dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6 % e 7%, umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Da análise do Gráfico 11 é possível verificar que o teor de umidade influencia na resistência à compressão simples do solo-cimento.

Para o teor de 6 % de cimento um aumento de 0,6 % no teor de umidade provocou aumento de 1,26 kg/cm² na resistência à compressão simples. Já para o teor de 7 % de cimento a mesma variação de 0,6 % no teor de umidade provocou aumento de 4,91 kg/cm² na resistência à compressão simples.

Visto isso, verificou-se preliminarmente que o traço de 7 % é mais sensível a alterações de umidade do que o traço com 6 % de cimento, indicando uma possível tendência de aumento da sensibilidade ao teor de umidade conforme maior for o teor de cimento, contudo, esses valores foram obtidos de apenas 4 tempos e não podem ser entendidos como conclusivos.

4.3.3 Ensaios Utilizando Umidade Ótima +1% e Energia Alterada

Visto que os ensaios das baterias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 apontaram para uma necessidade de modificação nos parâmetros de dosagem,

de água e de compactação do solo-cimento, para aumentar o tempo entre homogeneização e compactação, foram realizadas mais 2 baterias para cada teor de cimento, baterias 7 e 8 para o teor de 6 % e baterias 15 e 16 para o teor de 7 %.

Estes ensaios objetivaram a verificação do tempo máximo, entre homogeneização e compactação, que poderia ser imposto à mistura de solo-cimento, com a condição de atender a resistência mínima solicitada de 21 kg/cm². Para isso, foi necessário manter constante outras duas variáveis do solo-cimento, que seriam a umidade e a massa específica seca.

A forma encontrada para manter constante umidade de compactação foi se acrescentado 1% a mais de água, visando obtenção de teores de umidade em torno de 1% acima da umidade ótima. Já para a massa específica seca, buscou garantir o valor obtido nos ensaios das curvas de compactação, aplicando a energia necessária para tal.

Após a realização das baterias de ensaios 7, 8, 15 e 16 foram obtidos os resultados de teor de umidade conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados dos teores de umidade obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Teor de umidade (%)									
Bateria 7 - 6 %	11,9	11,8	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,1
Bateria 8 - 6 %	11,9	11,8	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,1
Média (%)	11,9	11,8	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,1
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bateria 15 - 7 %	13,1	12,8	12,7	12,5	12,4	12,2	11,8	11,7	11,5	10,1
Bateria 16 - 7 %	13,1	12,8	12,7	12,5	12,4	12,2	11,8	11,6	11,5	10,0
Média (%)	13,1	12,8	12,7	12,5	12,4	12,2	11,8	11,7	11,5	10,1
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,5

Fonte: Do Autor (2012).

Tendo como critério de aceitação dos corpos de prova com teores médios de umidade com desvio máximo de 1% da umidade ótima, definida nos ensaios das curvas de compactação, ou seja, de 10,06 % a 12,06 % para o traço com 6 % de cimento e de 11,20% a 13,20% para o traço de 7 % de cimento nota-se que de acordo com os resultados, destas baterias, apenas no tempo de 360 minutos (6 horas) para o teor de 7 % não atendeu tal exigência.

Dos resultados mostrados na Tabela 18 é possível constatar que a dosagem de água para obtenção de teor de umidade do solo cimento, em 1% acima da umidade ótima, conforme previsto no método de ensaio ME 202/1994 do DNER adotado pelo DNIT, para compensar as perdas por evaporação, e a execução de compactação com energia alterada, não mostrou resultados melhores que os apresentados nas baterias anteriores, onde foram utilizados os mesmos procedimentos na dosagem de água.

Observando a perda de água na mistura no decorrer dos ensaios pode-se concluir que, mesmo em condições mais controladas, como em laboratório, verifica-se perda significativa de umidade na mistura de solo-cimento, no transcorrer do tempo. Essa perda, para os traços com teores de 6 % e 7 % de cimento, ocorreu a uma taxa de aproximadamente 0,52%/hora nas 3 primeiras horas.

Depois da execução das baterias de ensaios 7, 8, 15 e 16 foram obtidos os resultados de Massa Específica Seca de acordo com os dados apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados de massa específica seca obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Massa Específica Seca (g/cm ³)									
Bateria 7 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,83	1,83	1,83
Bateria 8 - 6 %	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,84	1,84	1,84	1,84
Média (γ_d)	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Coef. de Variabilidade (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Bateria 15 - 7 %	1,89	1,89	1,89	1,91	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
Bateria 16 - 7 %	1,90	1,89	1,89	1,89	1,90	1,89	1,90	1,89	1,89	1,89
Média (γ_d)	1,90	1,89	1,89	1,90	1,90	1,89	1,90	1,89	1,89	1,89
Desvio Padrão	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Coef. de Variabilidade (%)	0,26	0,00	0,00	0,53	0,26	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00

Fonte: Do Autor (2012).

Os resultados da Tabela 19 mostram que o objetivo de compactar os corpos de prova até a densidade máxima seca de 1,84 g/cm³ e 1,89 g/cm³ para os teores de 6 % e 7 % de cimento respectivamente foi alcançado, demonstrando eficiência na compactação.

Conforme programado, na campanha de ensaios, a massa específica seca máxima, dos corpos de prova usados no ensaio de compressão simples, foi mantida próxima ao valor obtido das curvas de compactação, porém, a umidade desses corpos de prova variou. Sendo assim, foi possível verificar a interferência da umidade na resistência à compressão simples dos corpos de prova ensaiados, já que massa específica seca foi constante.

Ressalta-se que essa análise da influência da umidade no comportamento mecânico do solo-cimento será realizada com aproximadamente 20 pontos para cada teor de cimento estudado (2 baterias cada). Assim, será possível uma análise dos resultados dos corpos de prova compactados com umidade ótima +1% usando a energia Norma de Proctor. Entretanto, vale ressaltar que esses dados serão apresentados e discutidos nos resultados de resistência à compressão simples dessas baterias, inseridos mais adiante.

Mediante o término dos ensaios das baterias 7, 8, 15 e 16 foram obtidos os valores de absorção de água, segundo exibido na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados de absorção obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Absorção após imersão em água por 4 horas (%)									
Bateria 7 - 6 %	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
Bateria 8 - 6 %	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Média (%)	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	7,7
Bateria 15 - 7 %	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
Bateria 16 - 7 %	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
Média (%)	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Desvio Padrão	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
Coef. de Variabilidade (%)	0,0	14,3	0,0	11,1	0,0	0,0	9,1	9,1	0,0	9,1

Fonte: Do Autor (2012).

Da análise dos valores contidos na Tabela 12, 16 e 20 nota-se claramente uma diminuição na absorção de água nos ensaios com aplicação de energia alterada, isso demonstra que o aumento na energia de compactação produz diminuição nos vazios do solo-cimento, resultando em um material menos permeável.

Posteriormente a verificação dos resultados das baterias de ensaios 7, 8, 15 e 16 foram obtidos os valores de resistência à compressão simples segundo exibido na Tabela 21.

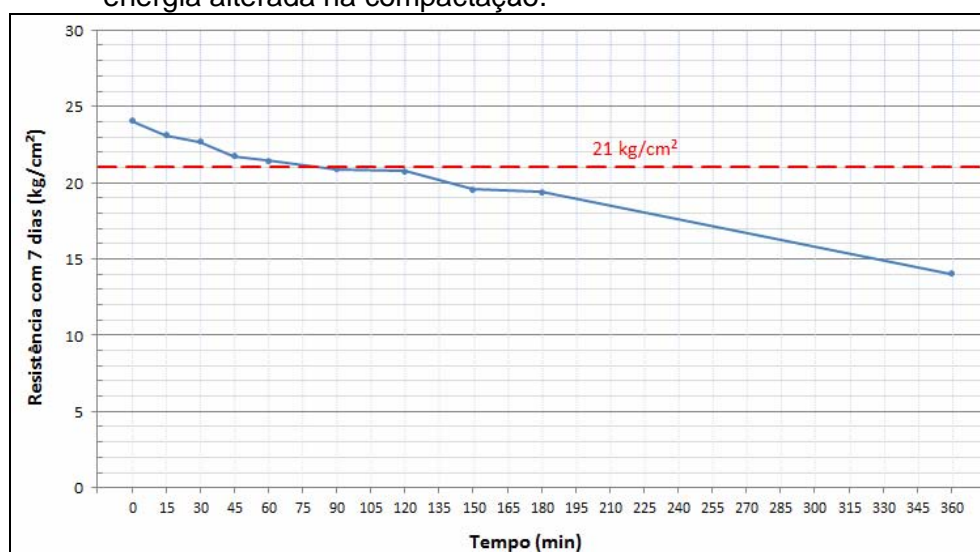
Tabela 21 – Resultados de resistência à compressão simples obtidos nas baterias 7, 8, 15 e 16 dos ensaios de laboratório com teor de umidade ótimo +1% e energia alterada na compactação.

Bateria – Teor de cimento	Tempo entre homogeneização e compactação (min)									
	0	15	30	45	60	90	120	150	180	360
	Resistência a Compressão Simples - RSC (kg/cm ²)									
Bateria 7 - 6 %	24,19	23,21	22,55	21,61	21,24	20,90	20,65	19,75	19,59	14,89
Bateria 8 - 6 %	23,90	22,99	22,78	21,90	21,67	20,86	20,86	19,38	19,15	13,20
Média (kg/cm ²)	24,05	23,10	22,67	21,76	21,46	20,88	20,76	19,57	19,37	14,05
Desvio Padrão	0,15	0,11	0,12	0,15	0,22	0,02	0,11	0,19	0,22	0,85
Coef. de Variabilidade (%)	0,60	0,48	0,51	0,67	1,00	0,10	0,51	0,95	1,14	6,02
Bateria 15 - 7 %	26,08	25,54	24,34	23,73	23,19	22,70	20,80	20,53	20,15	14,30
Bateria 16 - 7 %	25,95	25,17	24,52	23,66	23,40	22,40	20,67	20,28	19,61	14,81
Média (kg/cm ²)	26,02	25,36	24,43	23,70	23,30	22,55	20,74	20,41	19,88	14,56
Desvio Padrão	0,06	0,18	0,09	0,04	0,10	0,15	0,06	0,13	0,27	0,26
Coef. de Variabilidade (%)	0,25	0,73	0,37	0,15	0,45	0,67	0,31	0,61	1,36	1,75

Fonte: Do Autor (2012).

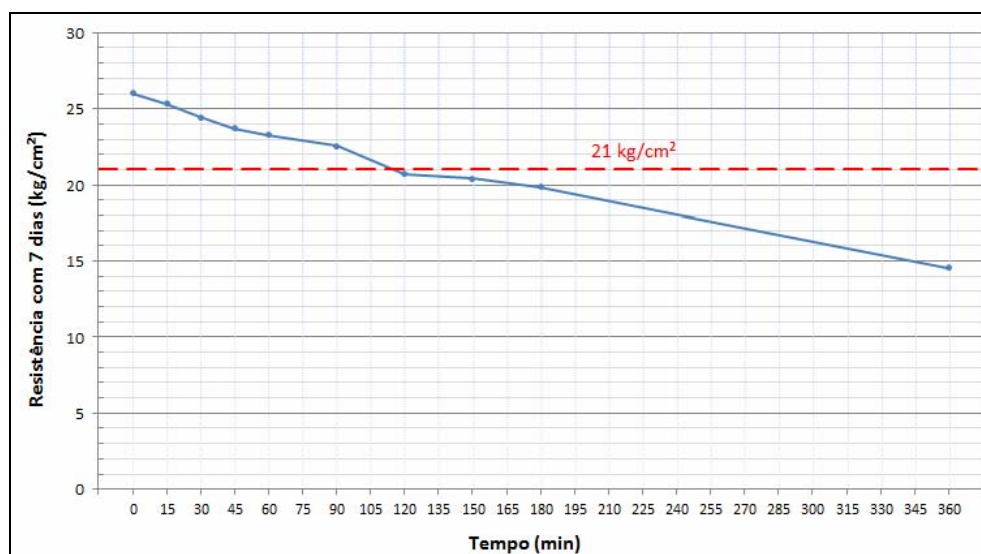
Analisando os dados da Tabela 21 foi possível uma análise dos resultados de resistência à compressão simples média frente ao tempo decorrido entre homogeneização e compactação, para os dois teores estudados conforme apresentam os Gráficos 12 e 13.

Gráfico 12 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6 %, umidade ótima +1% e energia alterada na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 13 – Tempo de aplicação *versus* resistência à compressão simples média dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 7 %, umidade ótima +1% e energia alterada na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Dos resultados mostrados na Tabela 21 e da análise dos gráficos 12 e 13 é possível afirmar que, para o solo estudado, quando a mistura de solo-cimento for dosada com umidade igual à ótima mais 1% e aplicada energia alterada na compactação, o tempo máximo entre homogeneização e compactação, é de 1 hora e 24 minutos para o teor de 6 % de cimento e 1 hora e 56 minutos para o teor de 7 % de cimento. Esses tempos máximos foram obtidos por interpolação linear dos resultados da Tabela 21 relativos a resistência mínima à compressão simples de 21 kg/cm².

Após as análises dos resultados, das baterias 7 e 8 com teor de 6 % de cimento e as baterias 15 e 16 com teores de 7 % de cimento, verificou-se que o tempo máximo entre homogeneização e compactação é maior do que os tempos máximos verificados em todas as baterias anteriores realizadas.

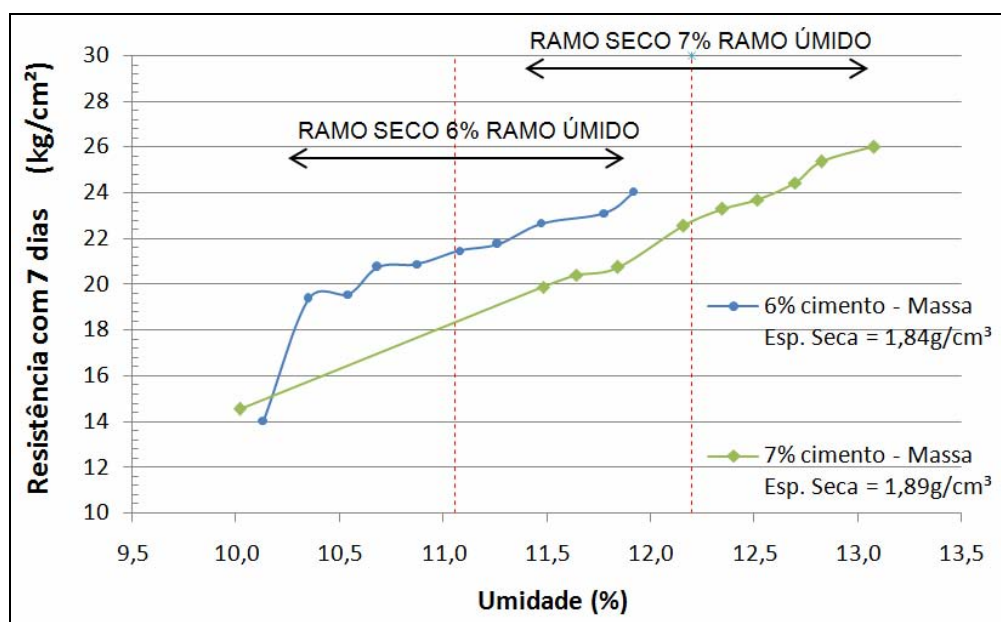
Esse fato confirma que o desempenho, quanto a resistência à compressão simples, do solo-cimento em estudo é melhor quando se alcança a máxima massa específica seca na compactação, pois nessa condição o solo-cimento apresenta menor volume de vazios, portanto, existe maior número de contato entre os grãos do solo, fazendo-se que seja aumentada a resistência mecânica do material.

4.3.4 Influência da Umidade na Resistência à Compressão

As baterias 7 e 8 com teor de cimento de 6 % e as baterias 15 e 16 com teores de 7 % foram realizadas com energia de compactação alterada, visando obtenção de massa específica seca de $1,84 \text{ g/cm}^3$ e $1,89 \text{ g/cm}^3$ respectivamente. Por isso, nessas baterias foi mantida constante a massa específica seca, possibilitando uma análise da resistência à compressão simples frente à umidade da mistura.

Os Gráficos 14 e 15 apresentam as curvas de umidade versus resistência à compressão simples, para os teores de 6 % e 7 % de cimento, respectivamente, mantidas a massa específica seca máxima definida nas curvas de compactação.

Gráfico 14 – Teor de umidade *versus* resistência à compressão simples dos ensaios de laboratório com teor de cimento de 6 % e 7%, umidade ótima +1% e energia alterada na compactação.



Fonte: Do Autor (2012).

Observando o Gráfico 14 é possível verificar que para os dois teores de cimento estudados foram constatados melhores desempenhos de resistência à compressão simples quando a compactação foi realizada no ramo úmido, ou seja, com umidade ligeiramente maior do que a estabelecida como ótima nas curvas de compactação. Tal fato deve-se a maior hidratação do cimento e conseqüentemente maior cimentação da mistura de solo-cimento.

Excluindo-se os pares de valores extremos (pares do tempo de intervalo de 6 horas entre homogeneização e compactação) da análise do Gráfico 14 verifica-se que o traço com teor de 6 % de cimento apresentou uma variação no de 1,57 % no teor de umidade que provocou variação de 4,68 kg/cm² na resistência à compressão simples, indicando uma taxa de perda de 1,56 kg/cm² por hora de demora na aplicação (Gráfico 14).

Já para o traço com teor de 7 % de cimento a variação de 1,60% no teor de umidade provocou variação de 6,14 kg/cm² na resistência à compressão simples, demonstrando uma taxa de perda de 2,04 kg/cm² por hora de atraso na aplicação do solo-cimento (Gráfico 14).

Da análise das taxas de perda de resistência dos teores de 6 % e 7 % de cimento é possível perceber que aparentemente quanto maior o teor de cimento maior é a taxa de perda de resistência por atraso na aplicação. Ressalta-se que esses resultados de perda são preliminares e obtidos mediante ensaios de apenas dois teores. Para a confirmação desta hipótese seriam necessários mais ensaios com teores diferentes dos adotados.

4.3.5 Influência da Porosidade na Resistência à Compressão

Conforme relatado no capítulo de revisão bibliográfica, vários pesquisadores se preocuparam em entender o funcionamento das misturas de solo-cimento por meio da porosidade. A maioria dos estudos relataram sobre a tentativa de utilizar a porosidade, quantidade de vazios ou relação de volume de vazios por volume de cimento, como tentativa de proporcionar uma metodologia racional na dosagem da estabilização de solos com cimento Portland.

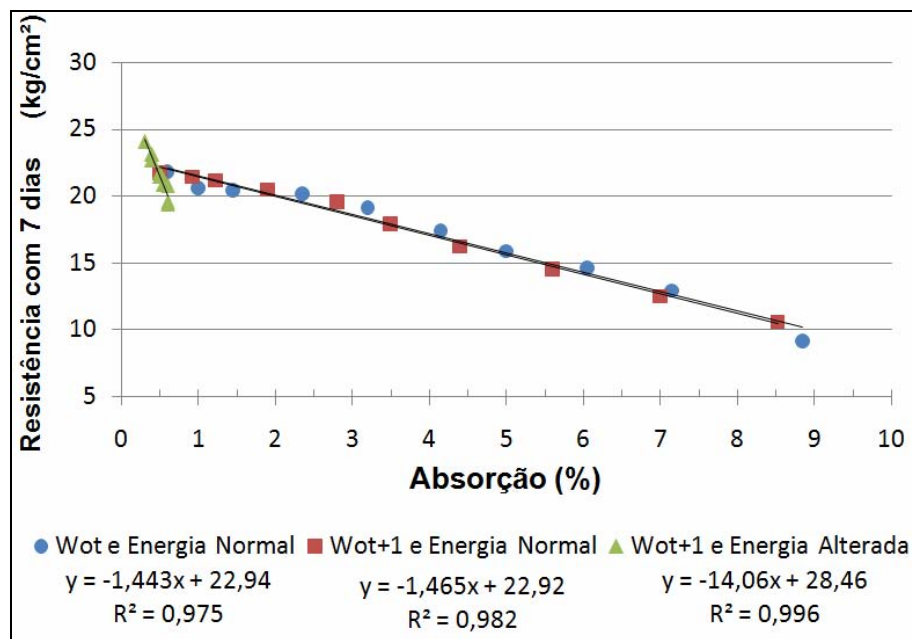
As matérias-primas principais do solo-cimento são caracterizadas por diferentes composições mineralógicas e granulométricas, destacadamente, o solo pela sua composição variada. Por isso, a elaboração de uma metodologia racional é extremamente complexa, ainda mais, se forem consideradas as variedades e especificidades dos tipos de solo e de aglomerante que poderiam ser empregados.

Sendo assim, nesta pesquisa foi verificada a absorção de água das amostras, após a imersão em tanque d'água por 4 horas, com a finalidade de correlacionar absorção de água com porosidade, visto que quanto mais porosa a

mistura maior será a absorção de água. Vale ressaltar que não se objetivou nesta parte da pesquisa encontrar uma metodologia racional para dosagem de solo-cimento, e sim, verificar qual a interferência da absorção no solo-cimento em estudo.

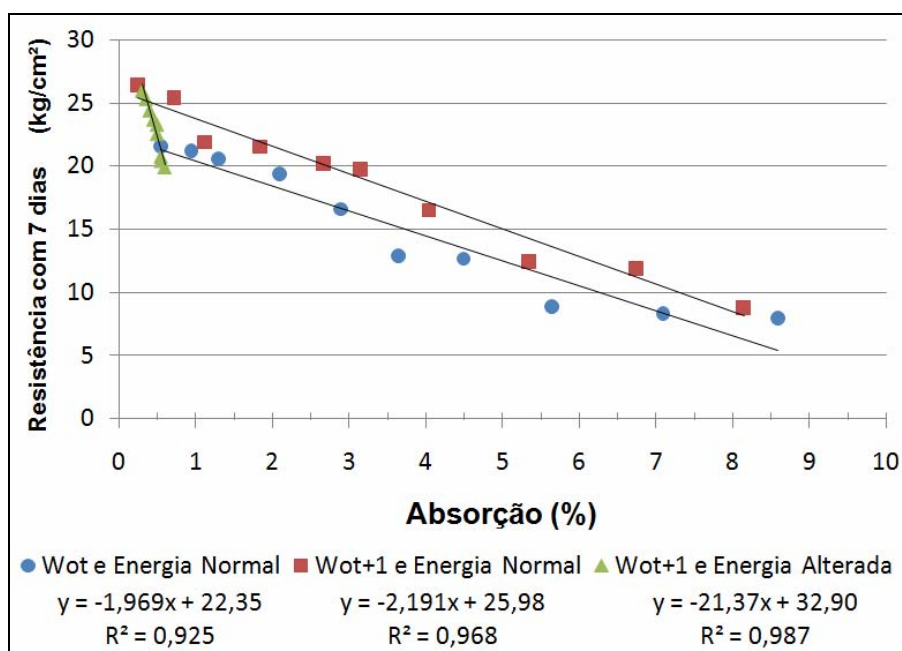
A seguir são apresentados os Gráficos 15 e 16 que ilustram os pares de valores médios, de todas as 16 baterias de ensaios laboratoriais, de resistência à compressão simples e absorção após imersão em tanque com água por 4 horas.

Gráfico 15 – Absorção de água após imersão por 4 horas *versus* resistência à compressão simples - Teor de cimento de 6 %.



Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 16 – Absorção de água após imersão por 4 horas *versus* resistência à compressão simples - Teor de cimento de 7 %.



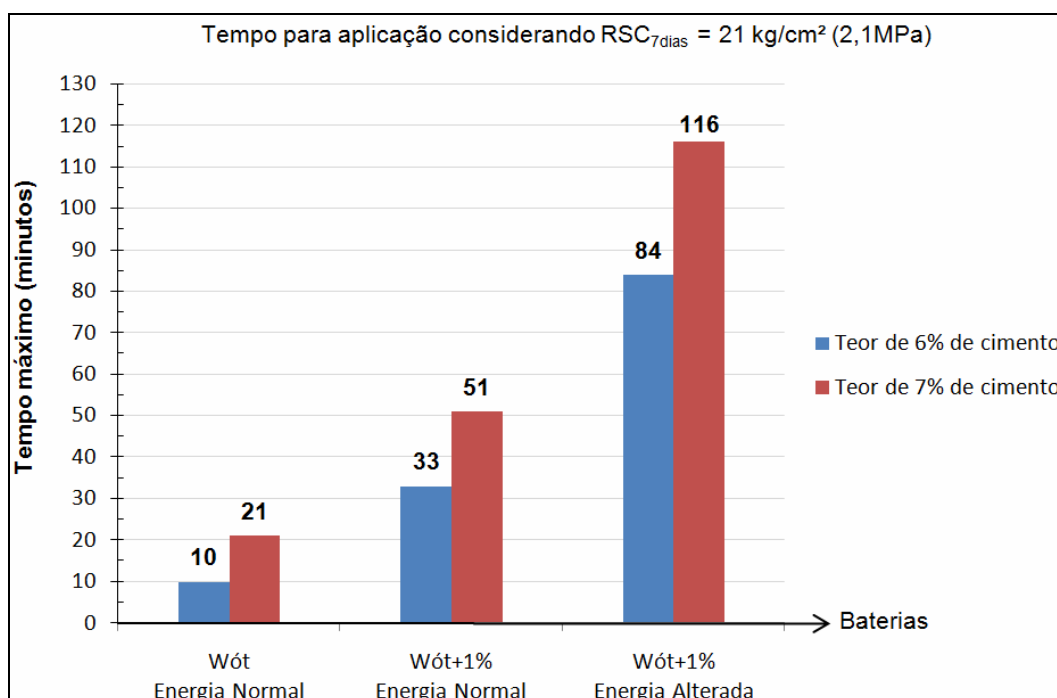
Fonte: Do Autor (2012).

Dos Gráficos 15 e 16 verifica-se que, para os dois teores da mistura (6 % e 7 % de cimento) de solo estabilizado com cimento, quanto menor a absorção de água (menor é o índice de vazios e a porosidade), maior é a resistência à compressão simples. Portanto, verifica-se que a massa específica seca do solo-cimento compactado deve seguir um controle rigoroso, nas obras de pavimento que utilizam desta solução de engenharia.

4.3.6 Influência do Tempo de Aplicação na Resistência à Compressão

Dos resultados obtidos nas baterias 1 a 16 referentes aos ensaios laboratoriais, com variação do tempo (de 0 a 360 minutos) entre homogeneização e compactação da mistura de solo-cimento dos dois traços estudados e diferentes dosagens de água e de energia de compactação, foi possível a elaboração do Gráfico 17. Este gráfico mostra a relação entre o tempo máximo médio e o teor de umidade, para cada tipo de bateria de ensaio, tendo em vista a resistência mínima à compressão simples de 21 kg/cm².

Gráfico 17 – Resultados médios dos tempos máximos entre homogeneização e compactação.



Analisando o Gráfico 17 é possível verificar que as baterias de ensaios com umidade ótima +1% e energia Normal de Proctor na compactação apresentaram melhores resultados quando comparadas com as baterias sem o adicional de 1% na umidade e energia Normal de Proctor. Os tempos máximos, entre a mistura e compactação dos traços, aumentaram de 10 minutos para 33 minutos no teor de 6 % de cimento e de 21 minutos para 51 minutos para o teor de 7 %, com a dosagem de água subindo em 1% a mais o teor de umidade do solo-cimento.

Com o acréscimo de água em 1% e mantida a compactação usando energia Normal de Proctor observa-se que para o teor de 6 % de cimento houve aumento de 3,3 vezes no tempo máximo e para o teor de 7 % de cimento houve aumento de 2,4 vezes no tempo máximo para a aplicação da mistura de solo-cimento.

Quando comparados os resultados médios obtidos nas baterias, com compactação no teor umidade ótima +1% e usando energia Normal de Proctor, e os resultados das baterias com mesma dosagem de água, mas, com energia alterada, também lustrados no Gráfico 17, é possível afirmar que as baterias de ensaios com umidade ótima +1% e energia alterada apresentou melhores

resultados de resistência à compressão simples, para tempos maiores entre homogeneização e compactação, se comparado com as baterias compactadas com energia Normal de Proctor.

A alteração da energia de compactação, mantida a massa específica seca máxima dos corpos de prova foi responsável pelo aumento do tempo máximo, que para o teor de 6 % de cimento alterou de 33 para 84 minutos e para o teor de 7 % de cimento alterou de 51 para 116 minutos.

Com relação ao acréscimo de energia na compactação dos corpos de prova foi possível constatar que para o teor de 6 % de cimento houve aumento de 2,5 vezes no tempo máximo, entre homogeneização e compactação, e para o teor de 7 % de cimento houve aumento de 2,3 vezes no tempo máximo para a aplicação da mistura de solo-cimento. Portanto, pode-se verificar que a variação energia de compactação, para que a mistura alcançasse a massa específica seca máxima, proporcionou aumento de 2,4 vezes no tempo de aplicação da mistura de solo-cimento para o caso estudado.

4.4 ENSAIOS DE CAMPO

Os ensaios de campo tinham como finalidade comprovar, por monitoramento de deflexão, a validade dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório. Por isso as condições de laboratório foram impostas na execução da base dos dois pavimentos realizados.

Nestes ensaios foram utilizados os parâmetros de dosagem e compactação obtidos para o maior tempo entre a homogeneização e a compactação do solo-cimento, para os dois teores estudados, e que atendeu a exigência da RCS mínima de 21 kgf/cm².

Para os traços com teores de 6 % e 7 % de cimento foi utilizada a dosagem de água para atingir o teor de umidade ótima +1% . Com relação ao tempo para aplicação, para o traço de 6 % de cimento foi adotado o tempo de 1 hora e 24 minutos (84 minutos) e para o traço com teor de 7 % de cimento foi adotado tempo de 1 hora e 56 minutos (116 minutos), pois nesses tempos os traços mostraram melhor desempenho, ou seja, maior resistência à compressão simples.

Os resultados do monitoramento de deflexão em função do tempo, para os dois traços estudados, são apresentados na Tabela 22 e ilustrados no

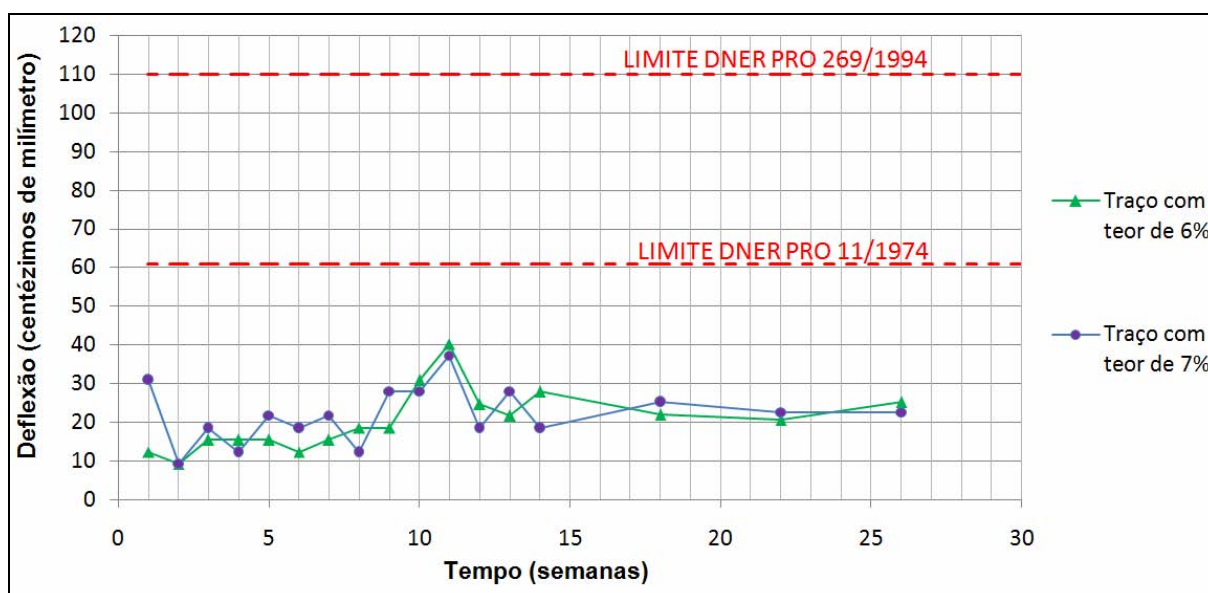
Gráfico 18. Ressalta-se que, conforme já relatado no capítulo materiais e métodos, o ponto “P2” foi localizado no meio do ensaio (remendo) com traço de 7 % de cimento e o ponto “P4” foi o local central do ensaio com traço de 6 % de cimento.

Tabela 22 – Resultado do monitoramento da deflexão nos ensaios de campo.

DEFLEXÃO (centésimos de milímetro)					
Data	P1 Pavimento existente	P2 Ensaio com 7 % de cimento	P3 Pavimento existente entre remendos	P4 Ensaio com 6 % de cimento	P5 Pavimento existente
09/08/2012	27,9	31,0	15,5	12,4	18,6
16/08/2012	21,7	9,3	9,3	9,3	12,4
23/08/2012	24,8	18,6	18,6	15,5	27,9
30/08/2012	31,0	12,4	18,6	15,5	24,8
06/09/2012	24,8	21,7	24,8	15,5	27,9
13/09/2012	27,9	18,6	34,1	12,4	21,7
20/09/2012	31,0	21,7	37,2	15,5	21,7
27/09/2012	43,4	12,4	37,2	18,6	40,3
04/10/2012	31,0	27,9	40,3	18,6	18,6
11/10/2012	37,2	27,9	43,4	31,0	24,8
18/10/2012	34,1	37,2	55,8	40,3	52,7
25/10/2012	27,9	18,6	40,3	24,8	40,3
01/11/2012	37,2	27,9	34,1	21,7	37,2
08/11/2012	31,0	18,6	34,1	27,9	40,3
06/12/2012	32,6	25,4	32,4	27,9	40,3
03/01/2013	28,4	22,6	29,6	20,6	31,2
31/01/2013	27,3	22,5	28,1	25,3	29,5
Máxima	43,4	37,2	55,8	40,3	52,7
Média	30,5	22,0	31,4	20,4	29,6
Desvio padrão	5,2	6,9	11,2	7,5	9,9
Coef. de Variabilidade (%)	16,9	31,6	35,5	36,9	33,4

Fonte: Do Autor (2012).

Gráfico 18 – Resultado do monitoramento da deflexão nos ensaios de campo em função do tempo.



Fonte: Do Autor (2012).

Da análise dos dados da Tabela 22 e do Gráfico 18 nota-se que, mesmo comparando-se as deflexões máximas obtidas no monitoramento dos pavimentos, $P2=0,372$ mm para traço com teor de 7 % e $P4=0,403$ mm para o traço com teor de 6 %, com a deflexão admissível calculada pelo procedimento DNER-PRO 11/1974 (0,61 mm) que é mais conservadora do que a tensão calculada pelo procedimento DNER-PRO 11/1974 (1,10 mm), os dois ensaios de campo foram considerados satisfatórios quanto ao desempenho de deflexão.

4.5 PROPOSTA DE ROTEIRO PARA DIMENSIONAMENTO DE MISTURA DE SOLO-CIMENTO PARA PAVIMENTO

Depois da verificação dos diversos resultados apresentados até aqui, bem como a análise dos passos para obtenção dos mesmos, nota-se que a presente pesquisa conseguiu expor um modelo sistemático para dimensionamento de misturas de solo-cimento. Tal modelo pode ser resumido conforme se segue:

- a) Caracterização dos materiais envolvidos;
- b) Ensaios de curva de compactação;
- c) Ensaios laboratoriais com variações dos parâmetros de interesse;
- d) Verificação do desempenho da mistura de solo-cimento.

5 CONCLUSÃO

Após a análise e discussões dos resultados dos ensaios de laboratório e campo, bem como a verificação da influência dos parâmetros investigados (teor de umidade, porosidade e tempo de aplicação) em relação à resistência à compressão simples, de um solo composto de uma areia siltosa avermelhada e cimentado com 6 % e com 7 % de cimento Portland, podem ser feitas, dentro das condições de contorno e limites desta pesquisa, as seguintes conclusões:

a) Quanto à influência da umidade

Com a variação do teor de umidade do solo-cimento, quando mantida a massa específica seca máxima, foram verificadas significativas alterações na resistência à compressão simples. Também foi observada uma maior resistência à compressão simples com o teor de umidade no ramo úmido da curva de compactação, ou seja, com umidade ligeiramente maior que a ótima nos dois traços estudados (6 % e 7 % de cimento), mantida a massa específica seca máxima.

A possível explicação para essa interferência da umidade na mistura de solo-cimento é dada pela distribuição granulométrica do solo (quantidade relativa de partículas finas, médias e grossas) e de que a quantidade de água tem ação direta no arranjo estrutural na compactação do solo-cimento e da maior hidratação do cimento e, conseqüentemente, maior cimentação da mistura.

Infelizmente não foi possível a execução de ensaios de microscopia nas estruturas do solo-cimento deste estudo. Contudo, outros estudos realizados com solos similares identificaram estruturas diferentes para teores de umidade abaixo, acima e na umidade ótima, inclusive verificando que a configuração estrutural tem relevância na resistência à compressão simples.

Quanto a variação no teor de umidade verificou-se, que para os traços compactados, a resistência à compressão simples é mais sensível com teor de 7 % de cimento, aproximadamente 31 % que o traço de 6 % cimento. Tal fato decorre possivelmente da quantidade de cimento utilizado, pois ao adicionar cimento na mistura é aumentada significativamente a quantidade de finos que demanda mais água para hidratação.

Visto isso, pode-se concluir que na execução de bases de pavimentos em solo-cimento o teor de umidade a ser dosado na mistura deve levar em consideração, além dos resultados obtidos na curva de compactação, as perdas por evaporação e hidratação no período entre a homogeneização, carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação final, a fim de compensação das perdas de umidade.

b) Quanto à porosidade

Na análise que correlaciona a porosidade e o teor de absorção de água, após imersão por 4 horas, constatou-se que a redução da porosidade das misturas compactadas de solo-cimento com 6 % e com 7 % de cimento, com conseqüente redução na absorção de água, provocou considerável ganho na resistência à compressão simples.

Foram verificadas melhorias de até 55 % na resistência à compressão simples para o traço com teor de 6 % de cimento e de 63 % na resistência à compressão simples para a mistura com 7 % de cimento, quando alterada a energia de compactação de modo que a moldagem fosse realizada com massa específica seca máxima e com isso menor porosidade.

Notadamente é possível explicar essa interferência da porosidade da mistura de solo-cimento pelas características do solo como, por exemplo, forma e granulometria das partículas componentes e pela quantidade de energia na compactação que influencia no arranjo estrutural do solo-cimento.

Então, é possível concluir que o parâmetro massa específica seca máxima do solo-cimento compactado deve ter um controle rigoroso nas obras de pavimentos que utilizam desta solução de engenharia.

c) Quanto ao tempo de aplicação da mistura

A dosagem da água e a compactação da mistura, além de influenciarem diretamente na resistência mecânica devido à alteração no arranjo estrutural do solo-cimento, influencia no tempo máximo para aplicação.

Com o incremento de 1 % no teor de umidade na dosagem, com finalidade de compensação de perdas de umidade por evaporação, e utilização de energia Normal de Proctor na compactação verificou-se aumento no tempo máximo

entre homogeneização até a compactação do solo-cimento de 10 minutos para 33 minutos, no traço com teor de 6 % de cimento, e de 21 minutos para 51 minutos, no traço com teor de 7 % cimento.

Para os corpos de prova compactados com umidade 1 % acima da umidade ótima, para compensar perdas por evaporação e energia de compactação alterada, visando manter a massa específica seca, verificou-se que para o traço com teor de 6 % de cimento o tempo máximo, entre homogeneização e compactação, foi de 1 hora e 24 minutos e de 1 hora e 56 minutos para o traço com teor de 7 % de cimento.

Visto isso, nota-se que a energia na compactação da mistura mostrou-se como importante parâmetro para obtenção de maior tempo para aplicação do solo-cimento. Nos corpos de prova onde foi alterada a energia de compactação, fazendo com que fosse mantida a massa específica seca máxima dos corpos de prova, verificou-se aumento considerável na resistência à compressão da mistura.

Considerando a execução de uma base de pavimento em solo-cimento, com teor de umidade 1 % acima da umidade ótima, em que o tempo para: homogeneização, carga, transporte, espalhamento e compactação final em pista; fosse de 1 hora e 40 minutos seria necessário adotar a mistura com teor de 7 % de cimento. Neste caso a mistura com teor de 6 % cimento não apresentaria resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão simples.

Contudo, para o mesmo caso hipotético se a execução da base em solo-cimento fosse realizada com mistura e compactação diretamente em pista, com uso de recicladora de solos, seria possível a execução com o teor de 6 % visto que o tempo total entre homogeneização e compactação seria inferior a 1 hora e 24 minutos.

Sendo assim, pode-se concluir que o tempo máximo para a compactação do solo-cimento é dado em função da dosagem de umidade e da energia de compactação utilizada.

d) Quanto à sistematização de dimensionamento

Após as análises dos resultados é possível afirmar que a presente pesquisa conseguiu expor um modelo sistemático para dimensionamento de misturas de solo-cimento que resumidamente contempla os seguintes passos:

- Caracterização dos materiais envolvidos, bem como verificação dos requisitos exigidos em normativas pertinentes;
- Ensaio de curva de compactação com diferentes teores de cimento;
- Ensaio laboratorial com variações dos parâmetros de teor de cimento, energia de compactação, umidade e/ou tempo entre homogeneização e compactação em campo;
- Verificação do atendimento quanto ao desempenho do solo-cimento controlando-se variáveis de interesse, segundo as normas aplicáveis e especificidades do projeto a ser realizado.

Por fim, pode-se concluir que, sendo previamente comprovado por ensaios, o projetista do pavimento de solo estabilizado com cimento pode alterar os parâmetros como teor de cimento, dosagem de água (desde que dentro dos preceitos normativos) e energia de compactação, para atender às características da obra como: distância de jazida, tempo necessário para homogeneização, carga, descarga espalhamento e equipamentos utilizados na compactação do solo-cimento.

6 SUGESTÕES PARA OUTROS ESTUDOS

Visando melhor conhecimento sobre o comportamento do material solo-cimento e dando continuidade ao estudo realizado nesta dissertação sugere-se para trabalhos futuros:

- Verificação da influência da umidade, porosidade e tempo de aplicação para os teores de 4 %, 5 %, 8 % e 9 % de cimento para melhor refinamento dos apontamentos e conclusões deste trabalho;
- Execução de ensaios triaxiais, permeabilidade e análise microscópica para análise de misturas compactadas com diferentes umidades, energia e teor de cimento;
- Realização de estudo similar com outros tipos de cimento, inclusive com adição de retardadores de pega para verificação do efeito no tempo máximo para utilização da mistura de solo-cimento;
- Execução de estudo similar com adição de fibras, para melhoramento do desempenho mecânico e de durabilidade.
- Realização de estudo similar com outros tipos de solos, visando estudo comparativo do comportamento em bases de solo-cimento para pavimentos rodoviários.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **O Solo-Cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteúdo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento>>. Acesso em 05 Out. 2012.

ABIKO, A. K. **Estabilização de solos com cimentos pozolânicos de cinza da casca de arroz e de resíduos cerâmicos**. Tese de Doutorado. EPUSP. São Paulo, SP, Brasil. 1987.

ABIKO, A. K. **Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas**. In: Construção São Paulo n. 1863. Pini. São Paulo, SP, Brasil. 1973.

AIR FORCE MANUAL N° 32-1019. **Soil Stabilization for Pavements**. Unified Facilities Criteria (UFC). Departments of the Army, and the Air Force, Washington, DC, USA. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10838**: Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego de balança hidrostática: Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento: Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554**: Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem: Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum: Especificação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno: Especificação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos: Terminologia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solos – Análise Granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1988.

BAKER, C. N. **Strength of soil-cement as a function of degree of mixing.** Highway Research Board, Washington, Bulletin 98, USA. 1954. p 33-52.

BAPTISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis.** Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo. Porto Alegre, RS, Brasil. 1976.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Desenvolvimentos estruturais usando blocos de barro reforçados com fibras vegetais.** DTCC-UFPB / DEC-PUC-Rio. Relatório de Cooperação Internacional CNPq-CNRS. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1995.

BELL, F. G. **Lime stabilization of clay minerals and soils.** In: Engineering Geology 42. Elsevier Science, 1996.

BLUCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários – volume I.** São Paulo, SP. Brasil. 1951.

BUGALHO, A. **Competitividade das indústrias de cimento do Brasil e da América do Norte.** In: Estudos Econômicos da Construção. Vol. 4. Nº 1 (7). São Paulo: SindusCon-SP. São Paulo, SP, Brasil. 2000.

CAPUTO, P. H. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 2 ed. LTC. v.2. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1987.

CAPUTO, P. H. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** LTC. v.1. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1980.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduo de caulim para uso em solo-cimento em construções civis.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, Brasil. 2008.

CERATTI, J. A. P. **Estudo do comportamento a fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimentos.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1991.

CERATTI, J. A. P.; MEDINA, J. **Estudo de solos estabilizados com cimento sob a ação de cargas repetidas e estáticas.** In: 18ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Anais. v.1. Porto Alegre, RS, Brasil. 1983.

CHAVES, F.J. **Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias.** Tese de mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

CLARE, K. E. **The effect of organic matter on the setting of the soil cement mixtures.** Journal of Applied Chemistry. London, v. 4, n25.1954. p. 625-630.

CLARE, K. E.; FARRAR, D. M. **The use of cement of different fineness on soil-cement mixtures.** Concrete Magazine Research. London. 1956. P. 137-144.

CONSOLI, N. C., LEHANE, B. M.; L'AMANTE, D.; HELINSKI, M. RICHARDS, D. J.; RATTLE, M. J. **On the pullout of footings backfilled with cemented sand.** Applications of Computation Mechanics in Geotechnical Engineering. Souza Fernandes, Vargas Jr. e Azevedo (eds). P. 331-337. 2007.

CONSOLI, N. C., VENDRUSCOLO, M. A., PRIETTO, P. D. M. **Behavior of plate load tests on soil layers improved with cement and fiber.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 129(1). 2003. p. 96-101.

CONSOLI, N. C.; FOPPA, D.; FESTUGATO, L.; HEINECK, K. S. **Key parameters for strength control of artificially cemented soils.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. New York: ASCE, v.133, n.2, 2007. p. 197-205.

CRUZ, R. C. **Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, Resistência e dilatação de uma areia artificialmente cimentada.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 2008.

DALLA ROSA, F. **Efeito do estado de tensões de cura no comportamento de uma areia artificialmente cimentada.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 2009.

DALLA ROSA, F., CONSOLI, N. C., BAUDET, B. A. **An experimental investigation of the behaviour of artificially cemented soil cured under stress.** Geotechnique, 58(8), 675-679, 2008.

DIAS, L. S.; FIGUEIREDO S. F. S.; CASTRO, T. H.; SILVA, T. O.; PITANGA, H. N. **Influência do tempo decorrido entre a mistura e a compactação na resistência mecânica de solo-cal visando à pavimentação de baixo custo.** Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG, Brasil. 2012.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solo - análise granulométrica por peneiramento. **Norma DNER-ME 080/1994.** Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. **Norma DNER-PRO 011/1974.** Rio de Janeiro, 1974.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNOPAV. **Norma DNER-PRO 269/1994.** Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solo – preparação de amostras para ensaios de caracterização. **Norma DNER-ME 041/1994.** Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solos - determinação do limite de plasticidade. **Norma DNER-ME 082/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência. **Norma DNER-ME 122/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solocimento - compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. **Norma DNER-ME 201/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solocimento - moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. **Norma DNER-ME 202/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solocimento - determinação da durabilidade através da perda de massa por molhagem e secagem. **Norma DNER-ME 203/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solos – determinação do teor de umidade: método de ensaio. **Norma DNER-ME 213/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solos – compactados por equipamento miniatura Mini-MCV. **Norma DNER-ME 258/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solos – compactados por equipamento miniatura – perda de massa por imersão. **Norma DNER-ME 256/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Solocimento - determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente. **Norma DNER-ME 216/1994**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Cimento Portland - recebimento e aceitação. **Norma DNER-EM 036/1995**. Rio de Janeiro, 1995.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Divisão de Capacitação Tecnológica. Equivalente de areia. **Norma DNER-ME 054/1997**. Rio de Janeiro, 1997.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. p. 56. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Norma DNIT 141/2010 - ES**. Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, Nov. 2010.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Norma DNIT 143/2010 - ES**. Pavimentação - Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, Nov. 2010.

Faganello, A. M. P. **Rejeitos de britagem de origem basáltica**: caracterização e utilização em solo-cimento na região de Londrina (PR). Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Londrina, PR, Brasil. 2006.

FERGUSON, G. **Use of self-cementing fly ashes as a soil stabilization agent**. Fly Ash for soil improvement. Geotechnical Special Publication N° 36, p. 1-14. 1993.

FERRAZ, R.L. **Contribuição ao estudo da estabilização de solos para fins rodoviários e habitacionais**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. 1994. 174p.

FOPPA, D. **Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 2005.

FRANÇA, F. Carlos. **Estabilização química de solos para fins rodoviários**: Estudo de caso com o produto "RBI Grade 81"104f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. 2003.

GONDIM, L. M. **Estudo Experimental de Misturas Solo-Emulsão Aplicado às Rodovias do Agropólo do Baixo Jaguaribe/Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil. 2008.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem a adição de sílica ativa**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 2003.

GREGÓRIO, J. **Estabilização de um solo da formação palermo com aditivo PZ solution**. Universidade do extremo Sul Catarinense. Criciúma, SC, Brasil. 2010.

GRIMER, F. J. **The effect of pulverization on the ornality of clay cement.** Proc. Of the Fourth International Conference on Soil Mechanics on Foundation Engineering, London. 1957.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 1ª ed. São Paulo: PINI. 1998.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2ª ed. São Paulo: PINI. 2002.

HABITAR - Tecnologia das Habitações - **Sistemas Construtivos - Cimento Portland/Solo-Cimento.** Disponível em:< <http://www.arq.ufmg.br/habitar/sis4.html>>. Acesso em 06 Set. 2012.

HBR - HIGHWAY RESEARCH BOARD. **Soil stabilization with Portland cement.** Bulletin 292. Washington, DC, USA. 1961.

HERZORG, A.; MITCHELL, J. K. **Reactions accompanying stabilization of clay with cement.** In: HIGHWAY RESEARCH BOARD Bulletin 36. Washington, DC, USA. 1963.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth construction.** Kansas. Haskel Institute. Lawrence, USA. 1994.

IFG - INTERNATIONAL FOCUS GROUP ON RURAL ROAD ENGINEERING (2005). **Cement and Lime Stabilization.** Net, fev. Disponível em: <http://www.ifgworld.org/browse/all_pdf_files.asp>. Acesso em: 3 out. 2012.

INGLES, O. G. **Soil stabilization: principles and practice.** Butterworth's, Sydney, Melbourne, Brisbane. 1987.

INGLES, O. G.; METCALF, J. B. **Soil Stabilization: Principles and Practice.** Sidney. Butterworth's. 1972.

JOHANN, A. D. R.; BRAVO, M. D.; CONSOLI, N. C. **Avaliação da resistência mecânica de um solo siltoso estabilizado com cal submetido à ensaios de compressão simples.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 2012.

KÉZDI, Á.; RÉTHÁDI, L. **Handbook of soil mechanics: soil mechanics of earthworks, foundations and highway engineering.** Amsterdam: Elsevier. 1988.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com solo do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. 2006.

LITTLE, D. N. **Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime,** Published by Kendall/Hunt Publishing Company. 1995.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu características físico mecânicas**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, Brasil. 2002.

MACEDO, M. M. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG - Engenharia Civil. Recife, PE, Brasil. 2004.

MARQUES, G. L. O. **Estabilização de solos para fins de pavimentação**. Juiz de Fora, 2006: UFJF. Disponível em: <<http://www.pavimentacao.ufjf.br/Cap4.pdf>>. Acesso em 25 Out. 2012. Minas Gerais, Brasil. 2005.

MASSAD, Façal. **Obras de terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

MCCARTHY, D. F. P. E. **Essential of soil mechanics and foundation**. Virginia, Reston Publishing Company. 1977.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estruturas, propriedades e materiais**. Editora Pini. 3ª Edição. São Paulo, SP, Brasil. 1994.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP, Brasil. 1990.

MICELI JR, G. **Comportamento de Solos do Estado do Rio de Janeiro Estabilizados com Emulsão Asfáltica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.

MINKE, G. **Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture Southampton**. I11. Graph. 210p. 1998.

MORETTI, G. V.; FONSECA, A. J. P. V.; CARVALHO, D.; FILHO, J. A. P.; OLIVEIRA, F. J. **Avaliação do incremento de resistência à compressão simples com o tempo de uma argila aluvionar marinha, típica do litoral Brasileiro, misturada com cimento Portland**. Moretti Engenharia Consultiva, São Paulo, SP, Brasil. Universidade do Porto, Porto, Portugal. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP, Brasil. Contemat Engenharia e Geotecnia Ltda., São Paulo, SP, Brasil. 2012.

MOURA, P. R. M. **Estudo comparativo do comportamento do solo-cimento feito com um solo laterítico e um solo saprolítico**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. 1987.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Pini. São Paulo, SP, Brasil. 1997.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias**. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais, 1., 1981, Rio de Janeiro/RJ. Anais..., Rio de Janeiro/RJ: COPPE/ABMS, 1981.

NÚÑEZ, W. P. **Estabilização Físico-Química de um Solo Residual de Arenito Botucatu, Visando Seu Emprego na Pavimentação**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 2001.

PARENTE, E. B. **Avaliação do comportamento mecânico das misturas de solo-cimento e fosfogesso e cimento para uso na construção rodoviária**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 2002.

PEREIRA, A. C. M. R. **Índice volumétrico “vazios-cimento” para avaliação de resistência e rigidez em areia grossa uniforme – generalização a outros solos**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

PESSOA, F. H. C. **Análise dos solos urucus para fins de uso rodoviário**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB. Brasília, DF, Brasil. 2004.

PITTA, M. R. **Estabilização com solo-cimento**. Revista Techne. N° 17. Ed. Pini. São Paulo, SP, Brasil. 1995.

PITTA, M. R. **Retração do solo-cimento**. In: 17ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais. p.i1-i67. Brasília, DF, Brasil. 1982.

POÇO, R. C. E. **Cura acelerada do solo-cimento pelos métodos da água em ebulição e da estufa a 100°C**. In: 25ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais. p.813-836. São Paulo, SP, Brasil. 1991.

POÇO, R. C. E.; BONASSI, R. **A importância de parâmetros de compactação em obras de solo-cimento**. In: 23ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais. p.145-170. Florianópolis, SC, Brasil. 1988.

Revista IBMista. **Praticando dentro de casa**. Disponível em: <<http://revistaibmista.wordpress.com/2010/06/22/praticando-dentro-de-casa/>> Acesso em 07 out. 2012.

ROCHA, A. F. **Estudo experimental sobre misturas de solo-cimento para a região de Campo Novo dos Parecis, MT**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 1996.

SABBAG, P. Y. **Solo cimento: o estudo da retração e suas implicações**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. 1980.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 176 f. Campinas, SP, Brasil. 2000.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. v.2. Ed. Pini. p. 70-131. São Paulo, SP, Brasil. 2001.

SHERWOOD, P. T. **Effect of sulfates con cement and lime-stabilized soils**. In: HIGHWAY RESEARCH BOARD. Bulletin 353. Washington, DC, USA. 1962.

SILVA, P. D. E. A. **Estudo do reforço de controle de cimento Portland (White topping) na pista circular experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias**. Tese de doutorado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2001.

SILVA, S. A. M. **Estudo da compressão simples em corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 1991.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento**. Síntese de notas de aula. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. 1966.

SOUSA PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SOUSA PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, SP, Brasil. 2000.

SOUSA PINTO, C. Propriedades dos Solos. In: **Fundações: Teoria e prática**. 2.ed. São Paulo. Pini, 1998. cap. 2. p.51-118.

STRACKE, F., JUNG, J. G., KORF, E. P., CONSOLI, N. C. **A Variação do Teor de Umidade de Moldagem e a Influência na Resistência de uma Areia Artificialmente Cimentada**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TARQUI, J. L. Z., BRANDÃO, C. P., CARVALHO, M. F. **Avaliação da resistência a compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em pavimentos de tráfego leve**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

TERZAGHI, K. **Mecanismo de escorregamento de terra**. São Paulo: DLP, 1936.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

VITALI, O. P. M. **Efeito da Composição de Misturas de Solo-Cimento nos Parâmetros de Rigidez e de Resistência**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. 2008.


VITALI, O. P. M., RIOS, S., FONSECA, A. V. **Efeito da composição nos parâmetros de resistência e de rigidez de misturas de solo-cimento**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2012.

VIZCARRA, G. O. C. **Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano para Base de Pavimentos**, Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC- Rio), 120p. 2010.

VOTORANTIM CIMENTOS. Boletim de Análises de cimento. **Características técnicas de cimento Portland**. Disponível em: <[http:// www.vcimentos.com.br](http://www.vcimentos.com.br)>. Acesso em 10 Nov. 2012.


APÊNDICES

APÊNDICE A
Ensaio de Caracterização do solo

	UNIVERSIDADE	Ensaio de Massa Específica do Solo	
	ESTADUAL DE LONDRINA	NBR: 10838	
Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste		Prof: 1,0m	Local: Jazida
Local: BR-487 km 128+800m		Data: 04/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian
Material: Areia Vermelha Argilosa		$\gamma_{\text{parafina}} = 0,932 \text{ g/cm}^3$	Operador: Fernando Troni
Registro: 01			

TEOR DE UMIDADE:									
Determinação		1	2	3	4	5	6	7	
Cápsula n.o		60	61	62					
$M_s + M_w + M_c$	(g)	107,26	103,65	98,05					
$M_s + M_c$	(g)	96,02	92,61	88,20					
M_c	(g)	26,92	25,09	27,15					
M_w	(g)	11,24	11,04	9,85					
M_s	(g)	69,10	67,52	61,05					
ω	(%)	16,27	16,35	16,13					
ω média	(%)	16,25							

MÉTODO DA BALANÇA HIDROSTÁTICA								
Determinação		1	2	3	4	5	6	7
$M_s + M_w$	(g)	26,48	24,26	20,41				
$M_{\text{solo+parafina}}$	(g)	30,05	27,01	22,32				
M_{parafina}	(g)	3,57	2,75	1,91				
$M_{\text{solo+paraf}} \text{ (imerso)}$	(g)	7,25	6,86	5,89				
$V_{\text{solo+parafina}}$	(cm ³)	22,80	20,15	16,43				
V_{parafina}	(cm ³)	3,83	2,95	2,05				
V_{solo}	(cm ³)	18,97	17,20	14,38				
γ	(g/cm ³)	1,396	1,411	1,419				
$\gamma_{\text{médio}}$	(g/cm ³)	1,409						
γ_d	(g/cm ³)	1,212						


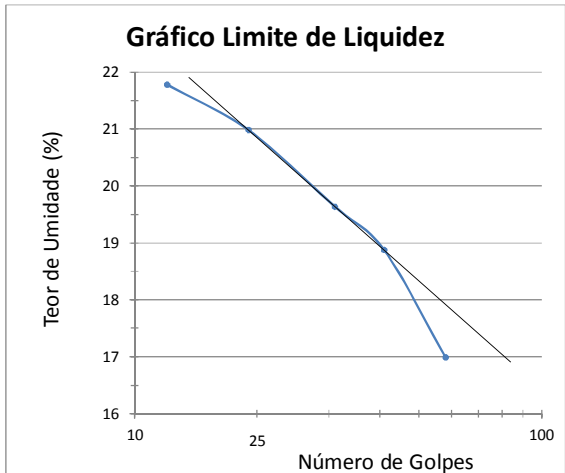
	UNIVERSIDADE	Ensaio de Massa Específica dos Sólidos	
	ESTADUAL DE LONDRINA	MB: 28	
Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 01	Registro: 02
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 05/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni	

TEOR DE UMIDADE:				DADOS SOBRE A AMOSTRA			
Determinação	1	2	3	Antes do Ensaio		Depois do Ensaio	
Cápsula n.o	28	87	1				
M _s +M _w +M _c (g)	89,56	94,25	101,54	M (g)	60,00	Recipiente:	
M _s +M _c (g)	84,52	89,45	95,65	ω (%)	7,07	M _s +M _c (g)	
M _c (g)	11,15	20,69	15,56	M _s (g)	56,04	M _c (g)	
M _w (g)	5,04	4,80	5,89			M _s (g)	
M _s (g)	73,37	68,76	80,09				
Manômetro (kgf/cm ²)	1,00	2,00	3,00	$\gamma_{\omega(20)} = 0,9982 \text{ g/cm}^3$			
ω (%)	6,87	6,98	7,35				
ω média (%)	7,07						

DADOS SOBRE O ENSAIO								
Determinação		1	2	3	4	5	6	7
Picnômetro n.o		1	2	3				
T _i	(°C)	16,00	16,00	16,00				
M ₁	(g)	1205,65	1211,28	1208,74				
M ₂	(g)	1169,05	1174,58	1171,97				
M _S	(g)	56,04	56,04	56,04				
γ _{w(Ti)}	(g/cm ³)	0,9990	0,9990	0,9990				
γ _{s(Ti)}	(g/cm ³)	2,880	2,895	2,905				
K		1,00080	1,00080	1,00080				
γ _{s(20)}	(g/cm ³)	2,882	2,897	2,908				

CRITÉRIO DE REJEIÇÃO DE VALORES					
Determinações	γ _s		Δγ _s	Intervalo de Variação	Desprezar
Ensaio 1 e 2	2,882	2,897	± 0,020	0,015	
Ensaio 2 e 3	2,897	2,908		0,011	
γ _{s(20)} (g/cm ³)	2,895				

Observações:	T _i : Temperatura do ensaio
	M ₁ : Picnômetro+Sólidos+Água
	M ₂ : Picnômetro+Água
	M _S : Massa de sólidos
	K : γ _{w(T)} / γ _{w(20)}
	γ _{w(20)} : 0,9982 g/cm ³

 UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA		Ensaio de Caracterização de Solos (H.R.B.)									
Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste		Prof: 1,0m		Saco : 01		Registro: 03					
Local: BR-487 km 128+800m		Data: 07/06/2012				Responsável: Max Alberto Cancian					
Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni									
LIMITE DE LIQUIDEZ (DNER-ME122/94)						LIMITE DE PLASTICIDADE (DNER-ME 82/94)					
Determinação	1	2	3	4	5	Determinação	1	2	3	4	5
Cápsula n.o	33	18	27	11	45	Cápsula n.o	59	58	32	56	17
M _s +M _w +M _c (g)	26,74	32,24	23,12	21,00	22,26	M _s +M _w +M _c (g)	7,68	6,99	8,67	8,95	8,20
M _s +M _c (g)	23,63	28,01	20,26	18,32	19,30	M _s +M _c (g)	7,47	6,78	8,39	8,60	7,88
M _c (g)	5,33	5,60	5,70	5,55	5,71	M _c (g)	5,94	5,19	6,20	5,96	5,55
M _w (g)	3,11	4,23	2,86	2,68	2,96	M _w (g)	0,21	0,21	0,28	0,35	0,32
M _s (g)	18,30	22,41	14,56	12,77	13,59	M _s (g)	1,53	1,59	2,19	2,64	2,33
ω (%)	16,99	18,88	19,64	20,99	21,78	ω (%)	13,73	13,21	12,79	13,26	13,73
Número de Golpes	58	41	31	19	12	ω média (%)	13,24				
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO (DNER-ME 80/94)											
UMIDADE HIGROSCÓPICA			PENEIRAMENTO DA AMOSTRA								
Determinação	1	2	PENEIRAS		Peso Retido (g)	Peso Retido Acum. (g)	% Retida Acumulada	% Passando Amostra Parcial	% Passando Acumulada (Am. Total)		
Cápsula n.o	28	87	mm	Pol.							
M _s +M _w +M _c (g)	106,77	107,37									
M _s +M _c (g)	101,55	102,18									
M _c (g)	28,15	28,15									
M _w (g)	5,22	5,19									
M _s (g)	73,40	74,03	50,00	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
ω (%)	7,11	7,01	38,00	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
ω média (%)	7,06		25,00	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS			19,00	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso da Amostra Total Úmida (g)		1500,00	9,50	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso Seco Retido na #2,00mm (g)		0,00	4,80	nº 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso Úmido Pass. #2,00mm (g)		1500,00	2,00	nº 10	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso Seco Pass. #2,00mm (g)		1401,07	1,20	nº 16	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso da Amostra Total Seca (g)		1401,07	0,60	nº 30	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00		
Peso da Amostra Parcial Úmida(g)		100,00	0,42	nº 40	2,64	2,64	2,82	97,18	97,18		
Peso da Amostra Parcial Seca (g)		93,40	0,075	nº 200	64,82	67,46	72,22	27,78	27,78		
Observações:									RESUMO DOS RESULTADOS		
									Umidade	ω =	16,25
									Limite de Liquidez	LL =	20,20
									Limite de Plasticidade	LP =	13,24
									Índice de Plasticidade	IP =	6,96
									Índice de Liquidez	IL =	0,43
									Índice de Contração	IC =	0,57
									% Passando #4,8mm		100,00
									% Passando #2,0mm		100,00
									% Passando #0,42mm		97,18
% Passando #0,075mm		27,78									
Classificação HRB		A2-4									
Índice de Grupo											

ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 49-74)											
Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste			Prof: 1,0m			Saco : 01			Registro: 04		
Local: BR-487 km 128+800m			Data: 08/06/2012			Responsável: Max Alberto Cancian					
Curva sem adição de Cimento Portland			Material: Areia Vermelha Argilosa			Operador: Fernando Troni					
COMPACTAÇÃO											
Cilindro nº	17		5		2		3		4		
Água Adicionada(ml)	160		260		360		460		560		
Cilindro+Solo Úmido(g)	7.480		9.145		8.620		8.255		8.235		
Peso do Cilindro(g)	3.968		5.058		4.144		3.920		4.048		
Peso do Solo Úmido(g)	3.512		4.087		4.476		4.335		4.187		
Volume do Cilindro(cm³)	2.032		2.069		2.014		2.050		2.032		
Dens. Apar. Úmida(g/cm³)	1,728		1,975		2,222		2,115		2,061		
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	10		4		2		3		5		
Cápsula+Solo Úmido(g)	103,48		94,66		119,23		78,58		114,99		
Cápsula+Solo Seco(g)	97,90		88,14		108,54		71,04		101,32		
Peso da Água(g)	5,58		6,52		10,69		7,54		13,67		
Peso da Cápsula(g)	12,57		14,34		12,23		11,90		12,78		
Peso do Solo Seco(g)	85,33		73,80		96,31		59,14		88,54		
Teor de Umidade(%)	6,5		8,8		11,1		12,7		15,4		
Umidade Adotada(%)	6,5		8,8		11,1		12,7		15,4		
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,623		1,816		2,000		1,876		1,786		
EXPANSÃO											
Data	Hora	Alt. CP (mm)	112,00	Alt. CP (mm)	114,00	Alt. CP (mm)	111,00	Alt. CP (mm)	113,00	Alt. CP (mm)	112,00
		Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
08/06/2012	11:30	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
09/06/2012	12:30	1,04	0,04	1,01	0,01	1,01	0,01	1,14	0,12	1,08	0,07
10/06/2012	13:30	1,06	0,05	1,02	0,02	1,02	0,02	1,26	0,23	1,20	0,18
11/06/2012	14:30	1,08	0,07	1,04	0,04	1,02	0,02	1,38	0,34	1,27	0,24
12/06/2012	15:30	1,10	0,09	1,05	0,04	1,03	0,03	1,46	0,41	1,37	0,33
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:		1292		Constantes do Anel		0,160524		a: 0,160524		b: 0,160524	
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	2	0,3	12	1,9	9	1,4	3	0,5	2	0,3
1	1,27	3	0,5	16	2,6	22	3,5	5	0,8	2	0,3
1,5	1,91	4	0,6	19	3,0	35	5,6	6	1,0	3	0,5
2	2,54	4	0,6	21	3,4	46	7,4	8	1,3	3	0,5
3	3,81	4	0,6	25	4,0	67	10,8	13	2,1	4	0,6
4	5,08	5	0,8	29	4,7	90	14,4	16	2,6	5	0,8
6	7,62	5	0,8	35	5,6	120	19,3	23	3,7	8	1,3
8	10,16										
10	12,70										
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		4,7	6,6	3,4	4,8	7,9	11,2	1,6	2,3		
I.S.C. 0,2"		5,6	5,3	4,7	4,4	14,8	14,1	2,8	2,7		
DENS. SECA MÁX.(g/cm³)= 2,001			UMIDADE ÓTIMA(%)= 10,9			I.S.C.(%)= 14,0			EXPANSÃO(%)= 0,20%		

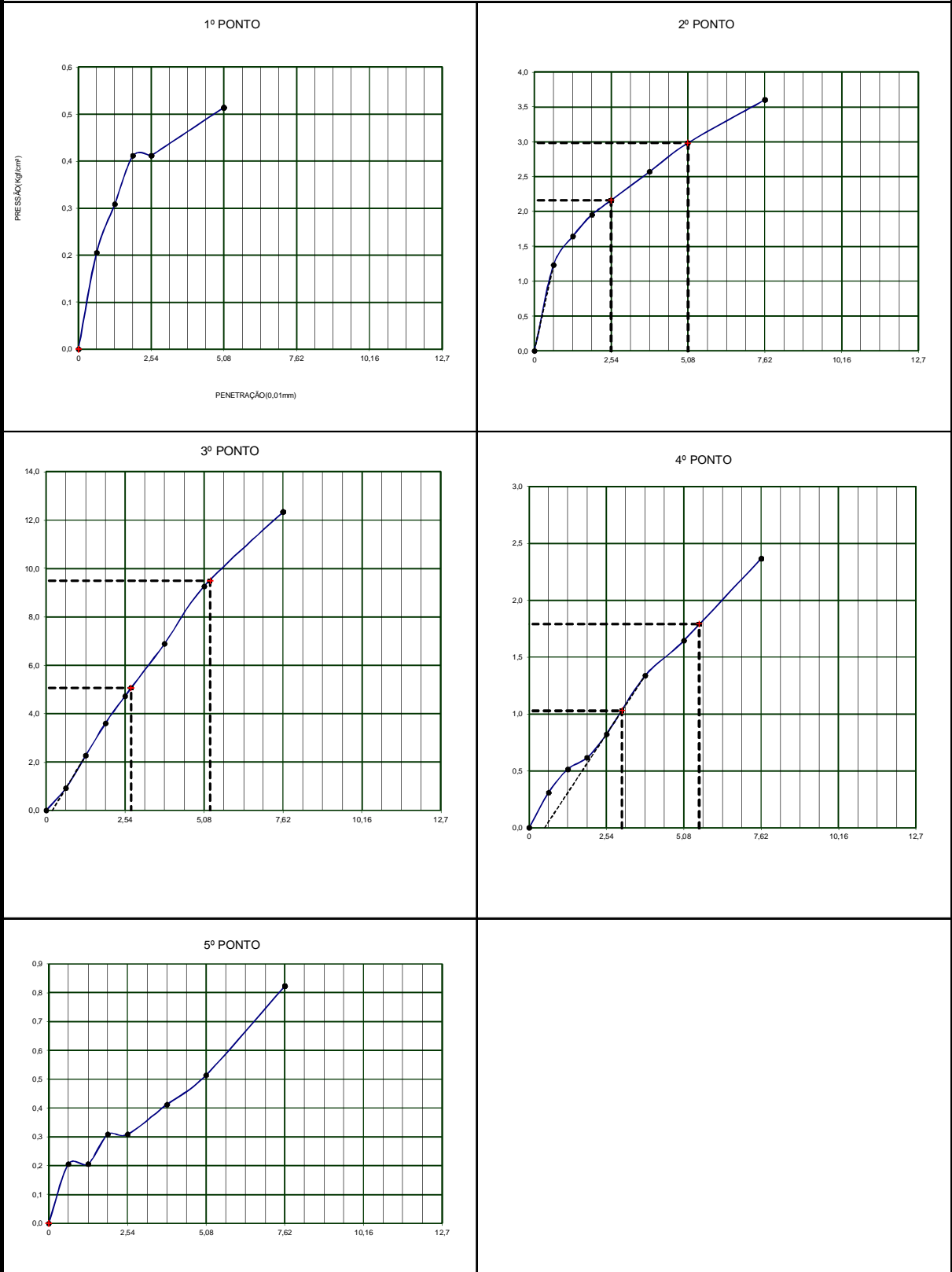
GRÁFICOS DE CORREÇÃO DO I.S.C.

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste Prof: 1,0m Saco : 01 Registro: 04

Local: BR-487 km 128+800m Data: 08/06/2012 Responsável: Max Alberto Cancian

Curva sem adição de Cimento Portland Material: Areia Vermelha Argilosa Operador: Fernando Troni

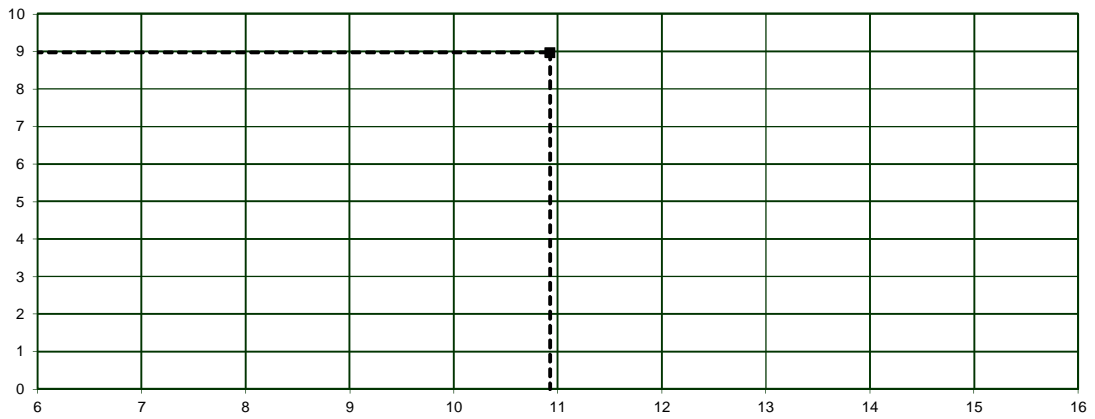
GRÁFICOS DE CORREÇÃO I.S.C.



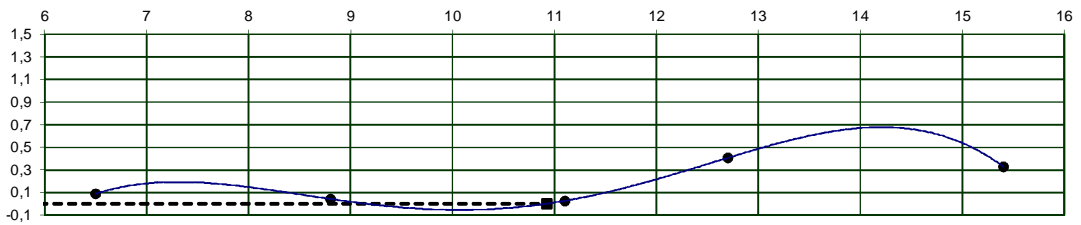
GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste Prof: 1,0m Saco : 01 Registro: 04
 Local: BR-487 km 128+800m Data: 08/06/2012 Responsável: Max Alberto Cancian
 Curva sem adição de Cimento Portland Material: Areia Vermelha Argilosa Operador: Fernando Troni

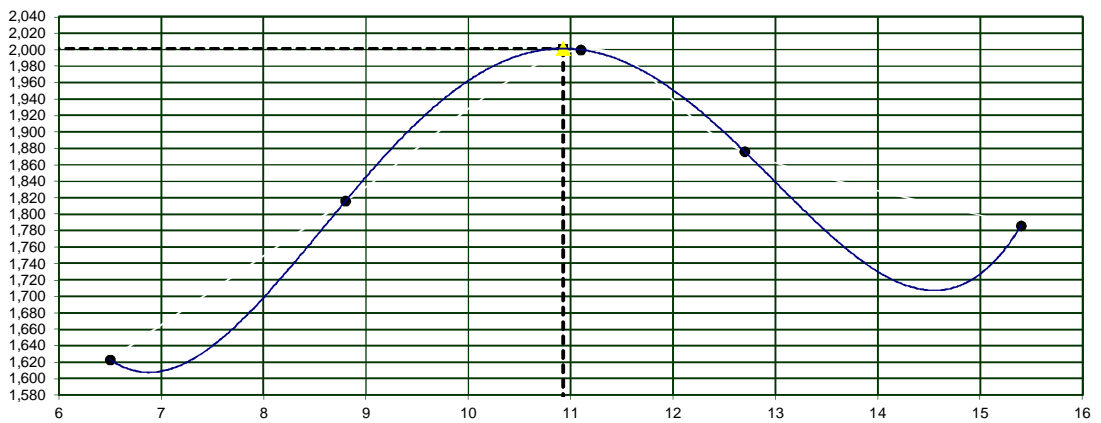
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



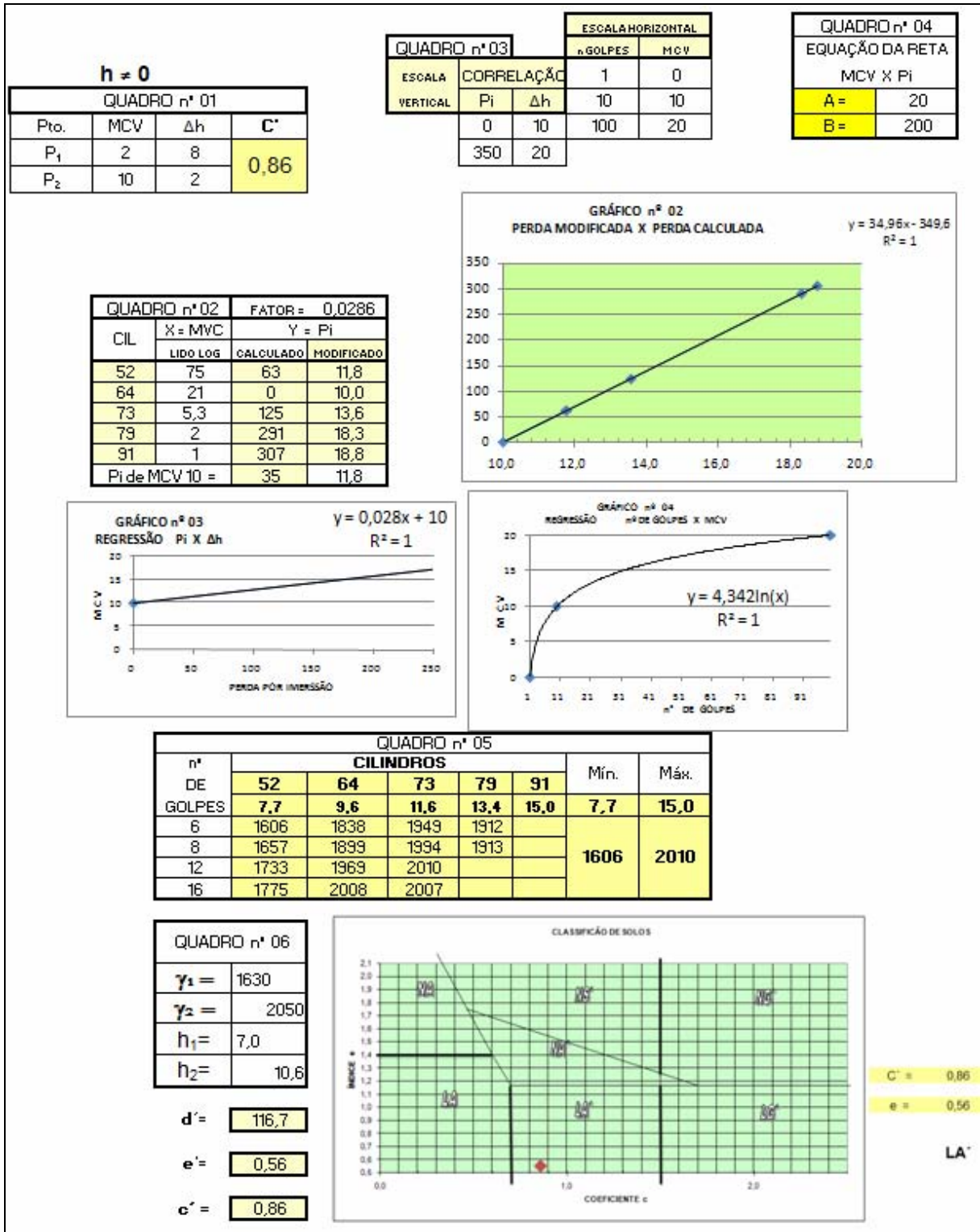
EXPANSÃO



DENSIDADE APARENTE



Ensaio classificação MCT (Miniatura Compactação Tropical)



Ensaio realizado no Laboratório do IPR/DNIT/RJ

APÊNDICE B

Curvas de Compactação

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste		Prof: 1,0m		Saco : 01		Registro: 05				
Local: BR-487 km 128+800m		Data: 11/06/2012		Responsável: Max Alberto Cancian						
Curva com adição de 6% de Cimento Portland		Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni						
TEOR DE UMIDADE E MASSA ESPECIFICA APARENTE- DNER 216/94										
Determinação	1		2		3		4		5	
Cilindro Nº	1		1		2		2		1	
Água Acrescentada (g)	120		180		240		300		360	
Peso do Cilindro (g)	2418		2418		2414		2414		2418	
Volume do Cilindro (cm³)	1000		1000		1000		1000		1000	
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4154		4304		4439		4444		4394	
Peso do Solo úmido (g)	1736		1886		2025		2030		1976	
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	1,736		1,886		2,025		2,030		1,976	
Cápsula n.o	10A	30	18	1	4	32	11	28	33	87
Ms+Mw+Mc + (g)	114,46	110,16	93,37	101,53	107,11	96,35	112,27	94,01	105,14	111,54
Ms+Mc (g)	108,20	104,82	87,20	94,76	98,00	88,14	101,40	84,75	93,60	99,92
Mc (g)	11,54	25,22	14,60	11,19	14,32	11,81	10,03	11,21	14,70	20,63
Mw (g)	6,26	5,34	6,17	6,77	9,11	8,21	10,87	9,26	11,54	11,62
Ms (g)	96,66	79,60	72,60	83,57	83,68	76,33	91,37	73,54	78,90	79,29
w (%)	6,48	6,71	8,50	8,10	10,89	10,76	11,90	12,59	14,63	14,66
w adotada (%)	6,59		8,30		10,82		12,24		14,64	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,629		1,741		1,827		1,809		1,724	
ROMPIMENTO DNER 201/94					K anel = 3,2745					
Altura (mm)	128		127		127		127		128	
Diâmetro 1	100,0		99,9		100,1		99,8		100,0	
Diâmetro 2	99,9		100,0		100,0		100,0		100,1	
Área (cm²)	78,46		78,46		78,62		78,38		78,62	
Leitura Anel (µm)	186		395		512		450		196	
Leitura Corrigida (kg)	609,06		1293,43		1676,54		1473,53		641,80	
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	7,76		16,48		21,33		18,80		8,16	
Cápsula n.o	72	50	88	8	34					
Ms+Mw+Mc + (g)	127,50	99,30	115,40	87,11	84,95					
Ms+Mc (g)	112,75	92,32	105,65	78,73	75,20					
Mc (g)	25,03	23,32	19,16	13,00	11,50					
Mw (g)	14,75	6,98	9,75	8,38	9,75					
Ms (g)	87,72	69,00	86,49	65,73	63,70					
w (%)	16,81	10,12	11,27	12,75	15,31					
Densidade Máxima Seca (g/cm³)		Umidade Ótima (%)		Resistência Máxima com 7 dias (kg/cm²)		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO				
1,831		11,22%		21,33		NORMAL				

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste		Prof: 1,0m		Saco : 01		Registro: 06				
Local: BR-487 km 128+800m		Data: 12/06/2012		Responsável: Max Alberto Cancian						
Curva com adição de 6% de Cimento Portland		Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni						
TEOR DE UMIDADE E MASSA ESPECIFICA APARENTE- DNER 216/94										
Determinação	1		2		3		4		5	
Cilindro Nº	1		2		1		2		1	
Água Acrescentada (g)	120		180		240		300		360	
Peso do Cilindro (g)	2418		2414		2418		2414		2418	
Volume do Cilindro (cm³)	1000		1000		1000		1000		1000	
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4293		4397		4471		4469		4442	
Peso do Solo úmido (g)	1875		1983		2053		2055		2024	
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	1,875		1,983		2,053		2,055		2,024	
Cápsula n.o	21	17	22	70	14A	88	24A	10	23	50
Ms+Mw+Mc + (g)	62,00	120,85	60,50	108,16	64,80	101,45	59,10	75,73	68,60	107,35
Ms+Mc (g)	58,50	113,95	56,40	100,61	59,35	93,46	53,42	68,57	61,00	96,22
Mc (g)	10,60	15,98	11,10	15,65	10,60	19,16	10,80	12,57	11,40	23,32
Mw (g)	3,50	6,90	4,10	7,55	5,45	7,99	5,68	7,16	7,60	11,13
Ms (g)	47,90	97,97	45,30	84,96	48,75	74,30	42,62	56,00	49,60	72,90
w (%)	7,31	7,04	9,05	8,89	11,18	10,75	13,33	12,79	15,32	15,27
w adotada (%)	7,17		8,97		10,97		13,06		15,30	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,749		1,820		1,850		1,818		1,755	
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745										
Altura (mm)	127		127		128		128		127	
Diâmetro 1	99,8		99,9		99,9		100,1		99,8	
Diâmetro 2	99,8		100,1		99,8		99,9		100,0	
Área (cm²)	78,23		78,54		78,30		78,54		78,38	
Leitura Anel (µm)	174		384		515		400		201	
Leitura Corrigida (kg)	569,76		1257,41		1686,37		1309,80		658,17	
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	7,28		16,01		21,54		16,68		8,40	
Cápsula n.o	72		50		88		8		34	
Ms+Mw+Mc + (g)	127,50		99,30		115,40		87,11		84,95	
Ms+Mc (g)	112,75		92,32		105,65		78,73		75,20	
Mc (g)	25,03		23,32		19,16		13,00		11,50	
Mw (g)	14,75		6,98		9,75		8,38		9,75	
Ms (g)	87,72		69,00		86,49		65,73		63,70	
w (%)	16,81		10,12		11,27		12,75		15,31	
Densidade Máxima Seca (g/cm³)		Umidade Ótima (%)		Resistência Máxima com 7 dias (kg/cm²)		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO				
1,849		10,90%		21,54		NORMAL				

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 02	Registro: 07							
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 13/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian								
Curva com adição de 7% de Cimento Portland	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni								
TEOR DE UMIDADE E MASSA ESPECIFICA APARENTE- DNER 216/94										
Determinação	1		2		3		4		5	
Cilindro Nº	2		2		1		1		2	
Água Acrescentada (g)	120		180		240		300		360	
Peso do Cilindro (g)	2414		2414		2418		2418		2414	
Volume do Cilindro (cm³)	1000		1000		1000		1000		1000	
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4306		4458		4536		4548		4446	
Peso do Solo úmido (g)	1892		2044		2118		2130		2032	
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	1,892		2,044		2,118		2,130		2,032	
Cápsula n.o	28	32	87	30	1	34	24	38	72	11A
Ms+Mw+Mc + (g)	87,37	85,23	133,28	125,71	100,77	77,21	64,53	70,39	112,94	106,14
Ms+Mc (g)	81,74	79,89	123,35	116,54	91,42	70,20	58,10	62,98	100,77	93,00
Mc (g)	11,21	11,81	20,63	25,22	11,19	11,50	10,41	11,69	25,03	16,18
Mw (g)	5,63	5,34	9,93	9,17	9,35	7,01	6,43	7,41	12,17	13,14
Ms (g)	70,53	68,08	102,72	91,32	80,23	58,70	47,69	51,29	75,74	76,82
w (%)	7,98	7,84	9,67	10,04	11,65	11,94	13,48	14,45	16,07	17,10
w adotada (%)	7,91		9,85		11,80		13,97		16,59	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,753		1,861		1,894		1,869		1,743	
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745										
Altura (mm)	127		126		128		127		127	
Diâmetro 1	100,0		100,0		100,0		100,0		101,0	
Diâmetro 2	99,9		100,0		99,9		100,2		100,2	
Área (cm²)	78,46		78,54		78,46		78,70		79,49	
Leitura Anel (µm)	220		499		630		452		230	
Leitura Corrigida (kg)	720,39		1633,98		2062,94		1480,07		753,14	
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	9,18		20,80		26,29		18,81		9,48	
Cápsula n.o	72	50	88	8	34					
Ms+Mw+Mc + (g)	127,50	99,30	115,40	87,11	84,95					
Ms+Mc (g)	112,75	92,32	105,65	78,73	75,20					
Mc (g)	25,03	23,32	19,16	13,00	11,50					
Mw (g)	14,75	6,98	9,75	8,38	9,75					
Ms (g)	87,72	69,00	86,49	65,73	63,70					
w (%)	16,81	10,12	11,27	12,75	15,31					
Densidade Máxima Seca (g/cm³)		Umidade Ótima (%)			Resistência Máxima com 7 dias (kg/cm²)		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO			
1,894		12,15%			26,29		NORMAL			

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 02	Registro: 08							
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 14/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian								
Curva com adição de 7% de Cimento Portland	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni								
TEOR DE UMIDADE E MASSA ESPECIFICA APARENTE- DNER 216/94										
Determinação	1		2		3		4		5	
Cilindro Nº	1		2		1		1		2	
Água Acrescentada (g)	120		180		240		300		360	
Peso do Cilindro (g)	2418		2414		2418		2418		2414	
Volume do Cilindro (cm³)	1000		1000		1000		1000		1000	
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4294		4438		4534		4526		4512	
Peso do Solo úmido (g)	1876		2024		2116		2108		2098	
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	1,876		2,024		2,116		2,108		2,098	
Cápsula n.o	53	17	70	88	50	82	10	13	14	34
Ms+Mw+Mc + (g)	119,00	121,00	108,16	101,45	107,35	120,09	75,73	71,97	88,80	91,96
Ms+Mc (g)	111,28	113,68	99,62	93,83	97,74	110,03	67,83	64,25	77,75	80,82
Mc (g)	20,13	15,98	15,65	19,16	23,32	22,78	12,57	15,81	9,91	11,50
Mw (g)	7,72	7,32	8,54	7,62	9,61	10,06	7,90	7,72	11,05	11,14
Ms (g)	91,15	97,70	83,97	74,67	74,42	87,25	55,26	48,44	67,84	69,32
w (%)	8,47	7,49	10,17	10,20	12,91	11,53	14,30	15,94	16,29	16,07
w adotada (%)	7,98		10,19		12,22		15,12		16,18	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,737		1,837		1,886		1,831		1,806	
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745										
Altura (mm)	127		128		128		128		127	
Diâmetro 1	99,8		100,1		99,9		100,1		99,8	
Diâmetro 2	100,0		100,1		99,8		99,9		100,0	
Área (cm²)	78,38		78,70		78,30		78,54		78,38	
Leitura Anel (µm)	234		599		641		451		209	
Leitura Corrigida (kg)	766,23		1961,43		2098,95		1476,80		684,37	
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	9,78		24,92		26,81		18,80		8,73	
Cápsula n.o	10	24	1	32	14					
Ms+Mw+Mc + (g)	88,30	75,40	90,10	94,40	91,30					
Ms+Mc (g)	78,73	69,19	82,24	84,73	80,48					
Mc (g)	12,57	10,41	11,19	11,81	9,91					
Mw (g)	9,57	6,21	7,86	9,67	10,82					
Ms (g)	66,16	58,78	71,05	72,92	70,57					
w (%)	14,46	10,56	11,06	13,26	15,33					

Compactação

Densidade Máxima Seca (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
1,886	12,25%

Resistência

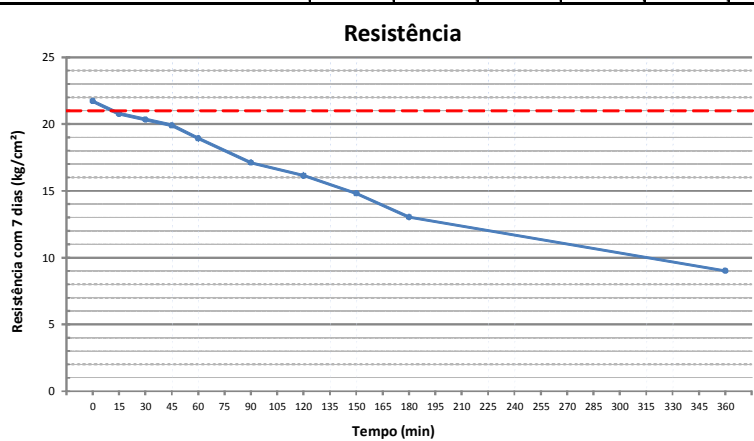
$y = 128,95x - 216,8$

Resistência Máxima com 7 dias (kg/cm²)	ENERGIA DE COMPACTAÇÃO
26,81	NORMAL

APÊNDICE C
Baterias de Ensaio Laboratoriais

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 03	Registro: 09
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 15/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
1ª Bateria de Cimento Portland: 6%	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4472	4464	4453	4439	4422	4399	4373	4349	4286	4172
Peso do Solo úmido (g)	2054	2046	2035	2021	2004	1981	1955	1931	1868	1754
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,054	2,046	2,035	2,021	2,004	1,981	1,955	1,931	1,868	1,754
Cápsula n.o	4	17	7	2	11	34	34	72	5	8
Ms+Mw+Mc + (g)	102,19	125,50	116,26	106,72	122,90	122,85	92,35	135,90	101,76	98,42
Ms+Mc (g)	93,25	114,64	106,49	97,59	112,26	112,75	85,07	125,99	93,98	91,05
Mc (g)	14,32	15,98	16,23	12,21	10,03	11,50	11,50	25,03	12,76	13,00
Mw (g)	8,94	10,86	9,77	9,13	10,64	10,10	7,28	9,91	7,78	7,37
Ms (g)	78,93	98,66	90,26	85,38	102,23	101,25	73,57	100,96	81,22	78,05
w (%)	11,33	11,01	10,82	10,69	10,41	9,98	9,90	9,82	9,58	9,44
w adotada (%)	11,33	11,01	10,82	10,69	10,41	9,98	9,90	9,82	9,58	9,44
Densidade Seca (g/cm³)	1,845	1,843	1,836	1,826	1,815	1,801	1,779	1,758	1,705	1,603



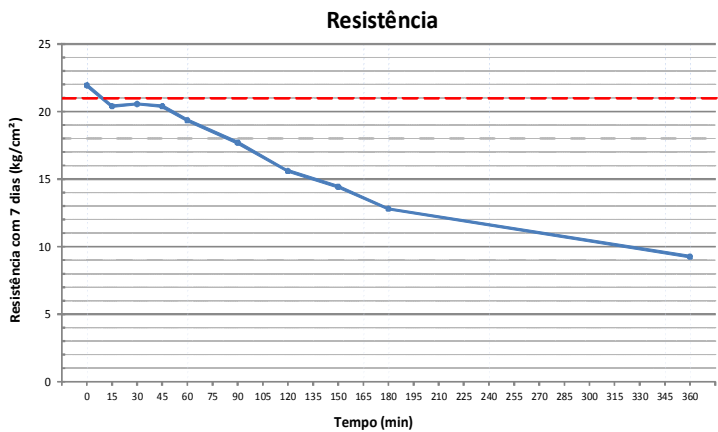
UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	87	90
M _s +M _w +M _c (g)	100,00	101,17
M _s +M _c (g)	96,93	98,14
M _c (g)	20,63	25,18
M _w (g)	3,07	3,03
M _s (g)	76,30	72,96
ω (%)	4,02	4,15
ω média (%)	4,09	
Solo (kg)	25,000	
ω Ótima (%)	11,06	
Água Adicionada:	1,674 kg	
Cimento Adicionado:	1,441 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94										
K anel = 3,2745										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2049	2042	2029	2023	2005	1981	1951	1929	1870	1757
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2062	2062	2057	2070	2069	2064	2050	2044	2005	1913
Absorção de Água em 4horas (%)	0,63%	0,98%	1,38%	2,32%	3,19%	4,19%	5,07%	5,96%	7,22%	8,88%
Altura (mm)	127	128	127	127	128	128	127	127	128	128
Diâmetro 1	100,0	100,0	99,9	99,8	100,0	99,9	99,9	99,8	100,0	100,0
Diâmetro 2	100,0	100,0	99,9	99,7	100,0	100,0	99,8	99,8	99,8	99,9
Área (cm²)	78,54	78,54	78,38	78,15	78,54	78,46	78,30	78,23	78,38	78,46
Leitura Anel (µm)	521	498	487	475	454	410	386	354	312	216
Leitura Corrigida (kg)	1706,01	1630,70	1594,68	1555,39	1486,62	1342,55	1263,96	1159,17	1021,64	707,29
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,72	20,76	20,34	19,90	18,93	17,11	16,14	14,82	13,03	9,01
Cápsula n.o	65	64	1A	48	17	14	99	32	34A	98
Ms+Mw+Mc + (g)	101,23	98,78	72,83	85,26	118,95	61,95	116,34	98,45	100,96	125,22
Ms+Mc (g)	93,60	91,30	66,60	78,18	106,78	55,66	104,01	85,26	87,92	108,40
Mc (g)	23,78	23,45	13,54	24,00	15,98	9,91	25,80	11,81	15,79	25,55
Mw (g)	7,63	7,48	6,23	7,08	12,17	6,29	12,33	13,19	13,04	16,82
Ms (g)	69,82	67,85	53,06	54,18	90,80	45,75	78,21	73,45	72,13	82,85
w (%)	10,93	11,02	11,74	13,07	13,40	13,75	15,77	17,96	18,08	20,30

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 03	Registro:10
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 15/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
2ª Bateria de Cimento Portland: 6%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4465	4459	4454	4445	4420	4396	4378	4342	4275	4156
Peso do Solo úmido (g)	2051	2045	2040	2031	2006	1982	1964	1928	1861	1742
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,051	2,045	2,040	2,031	2,006	1,982	1,964	1,928	1,861	1,742
Cápsula n.o	38	82	30	70	60	28	5	17	11	2
Ms+Mw+Mc + (g)	112,56	97,65	108,78	88,97	110,76	94,32	121,43	96,52	103,45	100,75
Ms+Mc (g)	102,33	90,20	100,64	81,93	101,80	86,78	111,65	89,39	95,25	93,12
Mc (g)	11,69	22,78	25,22	15,65	16,05	11,21	12,76	15,98	10,03	12,21
Mw (g)	10,23	7,45	8,14	7,04	8,96	7,54	9,78	7,13	8,20	7,63
Ms (g)	90,64	67,42	75,42	66,28	85,75	75,57	98,89	73,41	85,22	80,91
w (%)	11,29	11,05	10,79	10,62	10,45	9,98	9,89	9,71	9,62	9,43
w adotada (%)	11,29	11,05	10,79	10,62	10,45	9,98	9,89	9,71	9,62	9,43
Densidade Seca (g/cm³)	1,843	1,842	1,841	1,836	1,816	1,802	1,787	1,757	1,698	1,592



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	64	65
M _s +M _w +M _c (g)	118,99	102,54
M _s +M _c (g)	115,53	99,65
M _c (g)	23,45	23,78
M _w (g)	3,46	2,89
M _s (g)	92,08	75,87
ω (%)	3,76	3,81
ω média (%)	3,78	
Solo (kg)	25,000	
ω Ótima (%)	11,06	
Água Adicionada:	1,753 kg	
Cimento Adicionado:	1,445 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2047	2048	2042	2036	2007	1983	1963	1928	1861	1735
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2059	2069	2072	2084	2072	2065	2059	2045	1994	1888
Absorção de Água em 4horas (%)	0,59%	1,03%	1,47%	2,36%	3,24%	4,14%	4,89%	6,07%	7,15%	8,82%
Altura (mm)	127	128	128	128	127	127	128	128	128	128
Diâmetro 1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0
Diâmetro 2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0
Área (cm²)	78,54	78,54	78,54	78,54	78,54	78,30	78,54	78,54	78,54	78,54
Leitura Anel (µm)	526	489	493	489	464	423	374	346	307	222
Leitura Corrigida (kg)	1722,39	1601,23	1614,33	1601,23	1519,37	1385,11	1224,66	1132,98	1005,27	726,94
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,93	20,39	20,55	20,39	19,35	17,69	15,59	14,43	12,80	9,26
Cápsula n.o	10	2	10A	13A	46	24	61	28	34	38
Ms+Mw+Mc + (g)	101,23	104,36	83,01	62,27	115,14	87,14	115,71	93,37	85,47	101,53
Ms+Mc (g)	92,00	93,62	75,98	56,18	102,09	76,31	100,89	82,48	75,48	85,61
Mc (g)	12,57	12,21	11,54	10,82	22,26	10,41	17,20	11,21	11,50	11,69
Mw (g)	9,23	10,74	7,03	6,09	13,05	10,83	14,82	10,89	9,99	15,92
Ms (g)	79,43	81,41	64,44	45,36	79,83	65,90	83,69	71,27	63,98	73,92
w (%)	11,62	13,19	10,91	13,43	16,35	16,43	17,71	15,28	15,61	21,54

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste			Prof: 1,0m			Saco : 05			Registro: 13	
Local: BR-487 km 128+800m			Data: 19/06/2012			Responsável: Max Alberto Cancian				
3ª Bateria de Cimento Portland: 6%			Material: Areia Vermelha Argilosa			Operador: Fernando Troni				
COMPACTAÇÃO DNER 202/94										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4482	4480	4472	4475	4446	4428	4405	4395	4356	4261
Peso do Solo úmido (g)	2064	2062	2054	2057	2028	2010	1987	1977	1938	1843
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,064	2,062	2,054	2,057	2,028	2,010	1,987	1,977	1,938	1,843
Cápsula n.o	34	13	90	70	13A	6	7	3	11	10
Ms+Mw+Mc + (g)	85,42	58,08	87,80	116,80	94,60	107,70	105,50	86,70	100,20	117,00
Ms+Mc (g)	77,58	53,66	81,36	106,54	86,25	98,68	96,84	79,54	91,72	107,74
Mc (g)	11,50	15,81	25,18	15,65	10,82	16,04	16,23	11,88	10,03	12,57
Mw (g)	7,84	4,42	6,44	10,26	8,35	9,02	8,66	7,16	8,48	9,26
Ms (g)	66,08	37,85	56,18	90,89	75,43	82,64	80,61	67,66	81,69	95,17
w (%)	11,86	11,68	11,46	11,29	11,07	10,91	10,74	10,58	10,38	9,73
w adotada (%)	11,86	11,68	11,46	11,29	11,07	10,91	10,74	10,58	10,38	9,73
Densidade Seca (g/cm³)	1,845	1,846	1,843	1,848	1,826	1,812	1,794	1,788	1,756	1,680

Resistência

Resistência com 7 dias (kg/cm²)

Tempo (min)

O gráfico mostra a resistência com 7 dias em kg/cm² em função do tempo de compactação em minutos. A resistência começa em aproximadamente 21 kg/cm² a 0 minutos e diminui gradualmente, atingindo cerca de 10 kg/cm² após 360 minutos. Uma linha tracejada vermelha indica um valor de referência constante em 21 kg/cm².

UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	38	13
Ms+Mw+Mc (g)	99,25	106,60
Ms+Mc (g)	96,02	103,24
Mc (g)	11,69	15,81
Mw (g)	3,23	3,36
Ms (g)	84,33	87,43
w (%)	3,83	3,84
w média (%)	3,84	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	12,06	
Água Adicionada:	1,980 kg	
Cimento Adicionado:	1,445 kg	

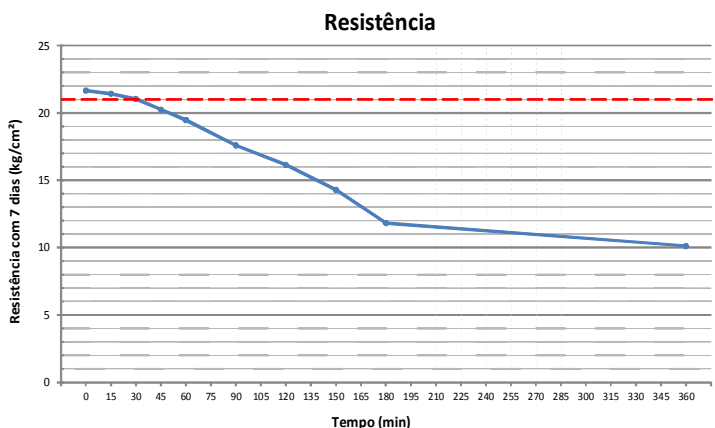
ROMPIMENTO DNER 201/94										
K anel = 3,2745										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2066	2066	2060	2055	2025	2005	1986	1977	1938	1843
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2077	2084	2084	2095	2080	2075	2071	2086	2074	2001
Absorção de Água em 4horas (%)	0,51%	0,87%	1,17%	1,95%	2,72%	3,49%	4,28%	5,51%	7,02%	8,57%
Altura (mm)	127	127	127	128	127	127	127	127	126	127
Diâmetro 1	99,9	99,9	99,9	99,8	100,0	99,9	99,9	99,9	99,8	99,8
Diâmetro 2	100,1	100,1	99,9	99,9	99,9	100,1	99,9	99,8	99,8	99,9
Área (cm²)	78,54	78,54	78,38	78,30	78,46	78,54	78,38	78,30	78,23	78,30
Leitura Anel (µm)	518	513	505	483	461	418	382	338	295	231
Leitura Corrigida (kg)	1696,19	1679,82	1653,62	1581,58	1509,54	1368,74	1250,86	1106,78	965,98	756,41
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,60	21,39	21,10	20,20	19,24	17,43	15,96	14,13	12,35	9,66
Cápsula n.o	88	70	90	1A	32	46	61	27	13A	82
Ms+Mw+Mc + (g)	97,20	97,00	125,70	96,10	83,70	114,40	105,10	91,90	59,77	133,35
Ms+Mc (g)	89,57	89,01	115,88	87,01	74,57	102,93	94,19	80,73	51,94	115,10
Mc (g)	19,16	15,65	25,18	13,54	11,81	22,26	17,20	12,56	10,82	22,78
Mw (g)	7,63	7,99	9,82	9,09	9,13	11,47	10,91	11,17	7,83	18,25
Ms (g)	70,41	73,36	90,70	73,47	62,76	80,67	76,99	68,17	41,12	92,32
w (%)	10,84	10,89	10,83	12,37	14,55	14,22	14,17	16,39	19,04	19,77

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste			Prof: 1,0m			Saco : 05			Registro: 14																																								
Local: BR-487 km 128+800m			Data: 19/06/2012			Responsável: Max Alberto Cancian																																											
4ª Bateria de Cimento Portland: 6%			Material: Areia Vermelha Argilosa			Operador: Fernando Troni																																											
COMPACTAÇÃO DNER 202/94																																																	
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																							
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																							
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min																																							
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs																																							
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414																																							
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000																																							
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4478	4469	4469	4471	4445	4415	4384	4355	4303	4229																																							
Peso do Solo úmido (g)	2064	2055	2055	2057	2031	2001	1970	1941	1889	1815																																							
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,064	2,055	2,055	2,057	2,031	2,001	1,970	1,941	1,889	1,815																																							
Cápsula n.o	82	38	2	5	17	11	12	4	87	1																																							
Ms+Mw+Mc + (g)	116,31	71,30	73,50	97,10	104,86	91,60	91,70	113,20	99,30	113,90																																							
Ms+Mc (g)	106,30	65,08	67,21	88,56	95,93	83,57	84,30	103,78	91,94	105,01																																							
Mc (g)	22,78	11,69	12,21	12,76	15,98	10,03	15,23	14,32	20,63	11,19																																							
Mw (g)	10,01	6,22	6,29	8,54	8,93	8,03	7,40	9,42	7,36	8,89																																							
Ms (g)	83,52	53,39	55,00	75,80	79,95	73,54	69,07	89,46	71,31	93,82																																							
w (%)	11,99	11,65	11,44	11,27	11,17	10,92	10,71	10,53	10,32	9,48																																							
w adotada (%)	11,99	11,65	11,44	11,27	11,17	10,92	10,71	10,53	10,32	9,48																																							
Densidade Seca (g/cm³)	1,843	1,841	1,844	1,849	1,827	1,804	1,779	1,756	1,712	1,658																																							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p style="text-align: center;">Resistência</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p style="text-align: center;">UMIDADE HIGROSCÓPICA:</p> <table border="1"> <tr> <th>Determinação</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <td>Cápsula n.o</td> <td>34</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>M_s+M_w+M_c (g)</td> <td>87,67</td> <td>91,76</td> </tr> <tr> <td>M_s+M_c (g)</td> <td>84,84</td> <td>88,73</td> </tr> <tr> <td>M_c (g)</td> <td>11,50</td> <td>12,57</td> </tr> <tr> <td>M_w (g)</td> <td>2,83</td> <td>3,03</td> </tr> <tr> <td>M_s (g)</td> <td>73,34</td> <td>76,16</td> </tr> <tr> <td>w (%)</td> <td>3,86</td> <td>3,98</td> </tr> <tr> <td>w média (%)</td> <td colspan="2">3,92</td> </tr> <tr> <td>Solo (kg)</td> <td colspan="2">25,000</td> </tr> <tr> <td>w Ótima (%)</td> <td colspan="2">12,06</td> </tr> <tr> <td>Água Adicionada:</td> <td colspan="2">1,959 kg</td> </tr> <tr> <td>Cimento Adicionado:</td> <td colspan="2">1,443 kg</td> </tr> </table> </div> </div>											Determinação	1	2	Cápsula n.o	34	10	M _s +M _w +M _c (g)	87,67	91,76	M _s +M _c (g)	84,84	88,73	M _c (g)	11,50	12,57	M _w (g)	2,83	3,03	M _s (g)	73,34	76,16	w (%)	3,86	3,98	w média (%)	3,92		Solo (kg)	25,000		w Ótima (%)	12,06		Água Adicionada:	1,959 kg		Cimento Adicionado:	1,443 kg	
Determinação	1	2																																															
Cápsula n.o	34	10																																															
M _s +M _w +M _c (g)	87,67	91,76																																															
M _s +M _c (g)	84,84	88,73																																															
M _c (g)	11,50	12,57																																															
M _w (g)	2,83	3,03																																															
M _s (g)	73,34	76,16																																															
w (%)	3,86	3,98																																															
w média (%)	3,92																																																
Solo (kg)	25,000																																																
w Ótima (%)	12,06																																																
Água Adicionada:	1,959 kg																																																
Cimento Adicionado:	1,443 kg																																																
ROMPIMENTO DNER 201/94																																																	
K anel = 3,2745																																																	
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																							
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																							
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min																																							
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs																																							
Corpo de Prova Seco (g)	2064	2057	2058	2061	2030	1993	1963	1945	1889	1816																																							
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2075	2077	2084	2102	2087	2064	2050	2053	2021	1972																																							
Absorção de Água em 4horas (%)	0,53%	0,97%	1,26%	1,99%	2,81%	3,56%	4,43%	5,55%	6,99%	8,59%																																							
Altura (mm)	127	127	127	127	128	127	127	128	127	127																																							
Diâmetro 1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	99,9	99,9	99,8																																							
Diâmetro 2	100,0	100,0	100,1	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9	100,0	99,9																																							
Área (cm²)	78,54	78,54	78,62	78,54	78,54	78,46	78,46	78,38	78,46	78,30																																							
Leitura Anel (µm)	521	511	507	487	459	414	373	335	284	241																																							
Leitura Corrigida (kg)	1706,01	1673,27	1660,17	1594,68	1503,00	1355,64	1221,39	1096,96	929,96	789,15																																							
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,72	21,30	21,12	20,30	19,14	17,28	15,57	13,99	11,85	10,08																																							
Cápsula n.o	28	38	98	34	10A	14	48	24	381	P1																																							
Ms+Mw+Mc + (g)	98,60	97,80	114,90	72,20	64,90	84,00	107,10	73,70	84,90	307,10																																							
Ms+Mc (g)	90,09	87,40	106,08	66,21	59,48	76,55	98,06	66,25	76,49	284,04																																							
Mc (g)	11,21	11,69	25,55	11,50	11,54	9,91	24,00	10,41	22,23	168,60																																							
Mw (g)	8,51	10,40	8,82	5,99	5,42	7,45	9,04	7,45	8,41	23,06																																							
Ms (g)	78,88	75,71	80,53	54,71	47,94	66,64	74,06	55,84	54,26	115,44																																							
w (%)	10,79	13,74	10,95	10,95	11,31	11,18	12,21	13,34	15,50	19,98																																							

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 07	Registro: 17
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 21/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
5ª Bateria de Cimento Portland: 6%	MATERIAL: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4487	4479	4471	4469	4443	4405	4382	4353	4324	4238
Peso do Solo úmido (g)	2069	2061	2053	2051	2025	1987	1964	1935	1906	1820
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,069	2,061	2,053	2,051	2,025	1,987	1,964	1,935	1,906	1,820
Cápsula n.o	1	4	5	11	13	7	72	50	17	82
Ms+Mw+Mc + (g)	114,75	112,30	113,40	101,20	109,80	109,70	125,40	126,30	124,20	125,06
Ms+Mc (g)	103,75	102,01	103,01	91,89	100,42	100,46	115,68	116,44	114,04	116,02
Mc (g)	11,19	14,32	12,76	10,03	15,81	16,23	25,03	23,32	15,98	22,78
Mw (g)	11,00	10,29	10,39	9,31	9,38	9,24	9,72	9,86	10,16	9,04
Ms (g)	92,56	87,69	90,25	81,86	84,61	84,23	90,65	93,12	98,06	93,24
w (%)	11,88	11,73	11,51	11,37	11,09	10,97	10,72	10,59	10,36	9,70
w adotada (%)	11,88	11,73	11,51	11,37	11,09	10,97	10,72	10,59	10,36	9,70
Densidade Seca (g/cm³)	1,849	1,845	1,841	1,842	1,823	1,791	1,774	1,750	1,727	1,659



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

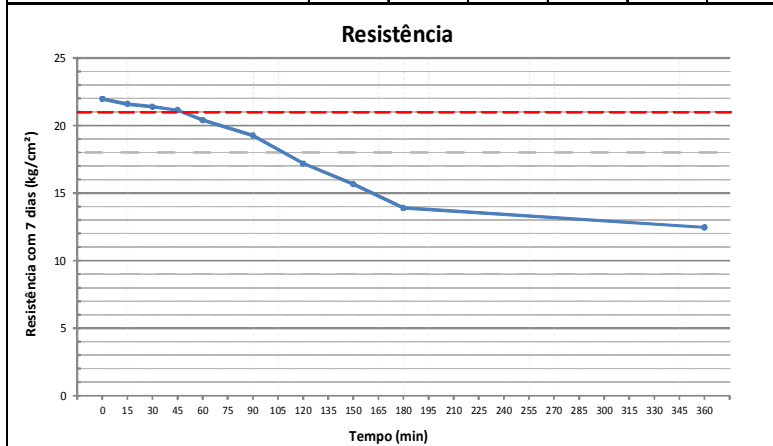
Determinação	1	2
Cápsula n.o	10A	1A
Ms+Mw+Mc (g)	106,70	107,10
Ms+Mc (g)	103,22	103,91
Mc (g)	11,54	13,54
Mw (g)	3,48	3,19
Ms (g)	91,68	90,37
w (%)	3,80	3,53
w média (%)	3,66	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	12,06	
Água Adicionada:	2,025 kg	
Cimento Adicionado:	1,447 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2069	2062	2055	2048	2021	1986	1962	1935	1906	1816
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2079	2081	2079	2087	2078	2056	2048	2044	2040	1971
Absorção de Água em 4horas (%)	0,48%	0,90%	1,17%	1,90%	2,82%	3,52%	4,38%	5,63%	7,03%	8,54%
Altura (mm)	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	99,9	100,0	99,8	99,9	100,0	99,9	99,8	99,9	99,9	99,9
Diâmetro 2	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	99,9	99,9	99,8
Área (cm²)	78,46	78,54	78,30	78,46	78,54	78,38	78,38	78,38	78,38	78,30
Leitura Anel (µm)	519	514	503	485	467	421	386	342	283	242
Leitura Corrigida (kg)	1699,47	1683,09	1647,07	1588,13	1529,19	1378,56	1263,96	1119,88	926,68	792,43
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,66	21,43	21,03	20,24	19,47	17,59	16,13	14,29	11,82	10,12
Cápsula n.o	1	1A	2	3	4	5	6	7	8	9
Ms+Mw+Mc + (g)	56,80	67,10	70,80	91,80	105,20	101,70	99,10	122,70	105,20	95,20
Ms+Mc (g)	51,90	61,80	65,10	84,00	96,40	93,10	91,00	111,60	96,00	83,50
Mc (g)	11,19	13,54	12,21	11,88	14,32	12,76	16,04	16,23	13,00	13,95
Mw (g)	4,90	5,30	5,70	7,80	8,80	8,60	8,10	11,10	9,20	11,70
Ms (g)	40,71	48,26	52,89	72,12	82,08	80,34	74,96	95,37	83,00	69,55
w (%)	12,04	10,98	10,78	10,82	10,72	10,70	10,81	11,64	11,08	16,82

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 07	Registro: 18
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 21/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
6ª Bateria de Cimento Portland: 6%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4483	4477	4470	4466	4465	4454	4415	4385	4354	4236
Peso do Solo úmido (g)	2069	2063	2056	2052	2051	2040	2001	1971	1940	1822
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,069	2,063	2,056	2,052	2,051	2,040	2,001	1,971	1,940	1,822
Cápsula n.o	3	6	8	12	9	10	87	88	90	34A
Ms+Mw+Mc + (g)	108,84	115,10	106,10	107,20	86,00	114,10	129,30	112,80	133,50	120,12
Ms+Mc (g)	98,48	104,69	96,42	97,88	78,77	104,09	118,77	103,92	123,39	110,88
Mc (g)	11,88	16,04	13,00	15,23	13,95	12,57	20,63	19,16	25,18	15,79
Mw (g)	10,36	10,41	9,68	9,32	7,23	10,01	10,53	8,88	10,11	9,24
Ms (g)	86,60	88,65	83,42	82,65	64,82	91,52	98,14	84,76	98,21	95,09
w (%)	11,96	11,74	11,60	11,28	11,15	10,94	10,73	10,48	10,29	9,72
w adotada (%)	11,96	11,74	11,60	11,28	11,15	10,94	10,73	10,48	10,29	9,72
Densidade Seca (g/cm³)	1,848	1,846	1,842	1,844	1,845	1,839	1,807	1,784	1,759	1,661



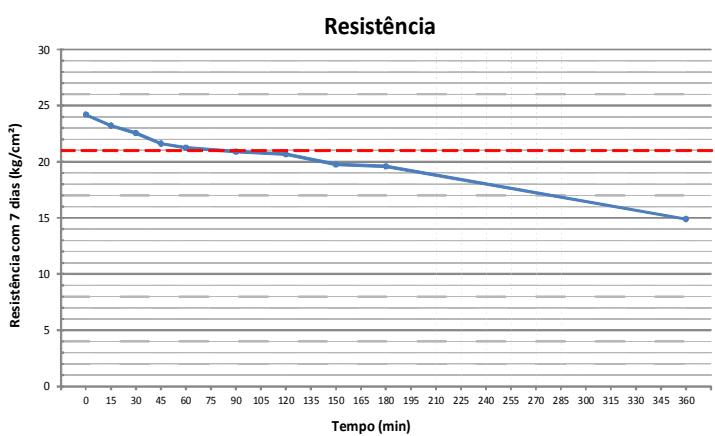
UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	14	38
M _s +M _w +M _c (g)	90,10	99,40
M _s +M _c (g)	87,41	96,15
M _c (g)	9,91	11,69
M _w (g)	2,69	3,25
M _s (g)	77,50	84,46
ω (%)	3,47	3,85
ω média (%)	3,66	
Solo (kg)	25,000	
ω Ótima (%)	12,06	
Água Adicionada:	2,026 kg	
Cimento Adicionado:	1,447 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94										
K anel = 3,2745										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2069	2064	2058	2056	2058	2038	1995	1970	1936	1820
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2079	2083	2083	2094	2115	2108	2082	2080	2071	1975
Absorção de Água em 4horas (%)	0,50%	0,92%	1,21%	1,85%	2,77%	3,43%	4,36%	5,58%	6,97%	8,52%
Altura (mm)	128	127	128	127	128	127	127	128	127	128
Diâmetro 1	99,8	100,0	100,0	100,0	99,8	99,9	100,0	99,9	99,9	99,9
Diâmetro 2	99,8	100,0	100,0	99,8	100,0	99,9	100,0	99,9	100,0	99,8
Área (cm²)	78,23	78,54	78,54	78,38	78,38	78,38	78,54	78,38	78,46	78,30
Leitura Anel (µm)	525	518	513	506	488	461	412	375	333	298
Leitura Corrigida (kg)	1719,11	1696,19	1679,82	1656,90	1597,96	1509,54	1349,09	1227,94	1090,41	975,80
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,98	21,60	21,39	21,14	20,39	19,26	17,18	15,67	13,90	12,46
Cápsula n.o	10	10A	11	11A	12	13	13A	14	17	24
Ms+Mw+Mc + (g)	99,90	96,70	124,70	86,60	115,30	99,10	73,80	74,40	113,00	78,60
Ms+Mc (g)	91,30	88,00	113,40	78,20	105,60	90,80	67,60	66,90	101,74	67,90
Mc (g)	12,57	11,54	10,03	16,18	15,23	15,81	10,82	9,91	15,98	10,41
Mw (g)	8,60	8,70	11,30	8,40	9,70	8,30	6,20	7,50	11,26	10,70
Ms (g)	78,73	76,46	103,37	62,02	90,37	74,99	56,78	56,99	85,76	57,49
w (%)	10,92	11,38	10,93	13,54	10,73	11,07	10,92	13,16	13,13	18,61

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 08	Registro: 21
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 25/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
7ª Bateria de Cimento Portland: 6%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº 1 - Número de Golpes	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52min
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4479	4479	4473	4471	4465	4462	4445	4451	4441	4437
Peso do Solo úmido (g)	2061	2061	2055	2053	2047	2044	2027	2033	2023	2019
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,061	2,061	2,055	2,053	2,047	2,044	2,027	2,033	2,023	2,019
Cápsula n.o	1	7	4	3	11A	12	11	87	88	17
Ms+Mw+Mc + (g)	115,60	110,00	133,50	86,70	106,00	104,70	98,50	123,30	113,70	117,10
Ms+Mc (g)	104,46	100,11	121,22	79,12	97,02	95,91	89,98	113,47	104,86	107,79
Mc (g)	11,19	16,23	14,32	11,88	16,18	15,23	10,03	20,63	19,16	15,98
Mw (g)	11,14	9,89	12,28	7,58	8,98	8,79	8,52	9,83	8,84	9,31
Ms (g)	93,27	83,88	106,90	67,24	80,84	80,68	79,95	92,84	85,70	91,81
w (%)	11,94	11,79	11,49	11,27	11,11	10,89	10,66	10,59	10,32	10,14
w adotada (%)	11,94	11,79	11,49	11,27	11,11	10,89	10,66	10,59	10,32	10,14
Densidade Seca (g/cm³)	1,841	1,844	1,843	1,845	1,842	1,843	1,832	1,838	1,834	1,833



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	53	1
Ms+Mw+Mc (g)	133,35	129,15
Ms+Mc (g)	130,32	126,05
Mc (g)	20,13	11,19
Mw (g)	3,03	3,10
Ms (g)	110,19	114,86
w (%)	2,75	2,70
w média (%)	2,72	
Solo (kg)	22,500	
w Ótima (%)	12,06	
Água Adicionada:	2,045 kg	
Cimento Adicionado:	1,314 kg	

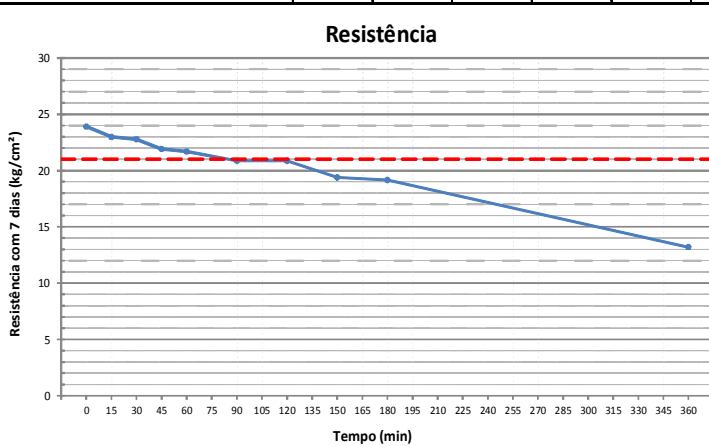
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2061	2061	2055	2053	2047	2043	2026	2034	2024	2020
Corpo de Prova Após Imersão de 4 horas (g)	2068	2069	2064	2063	2058	2055	2038	2046	2037	2034
Absorção de Água em 4 horas (%)	0,34%	0,36%	0,44%	0,49%	0,54%	0,56%	0,59%	0,61%	0,64%	0,69%
Altura (mm)	127	128	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,0	100,1	100,0	99,9	100,0	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Diâmetro 2	100,1	100,1	100,2	100,0	99,9	100,0	99,8	99,9	100,1	100,0
Área (cm²)	78,62	78,70	78,70	78,46	78,46	78,46	78,30	78,38	78,54	78,46
Leitura Anel (µm)	581	558	542	518	509	501	494	473	470	357
Leitura Corrigida (kg)	1902,48	1827,17	1774,78	1696,19	1666,72	1640,52	1617,60	1548,84	1539,02	1169,00
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	24,20	23,22	22,55	21,62	21,24	20,91	20,66	19,76	19,60	14,90
Cápsula n.o	1A	1	2	3	4	5	28	7	8	9
Ms+Mw+Mc + (g)	92,50	104,90	111,80	118,10	119,40	114,10	81,00	120,90	108,60	132,60
Ms+Mc (g)	84,70	95,51	107,60	102,40	108,40	103,60	72,80	110,40	99,20	121,10
Mc (g)	13,54	11,19	12,21	11,88	14,32	12,76	11,21	16,23	13,00	13,95
Mw (g)	7,80	9,39	4,20	15,70	11,00	10,50	8,20	10,50	9,40	11,50
Ms (g)	71,16	84,32	95,39	90,52	94,08	90,84	61,59	94,17	86,20	107,15
w (%)	10,96	11,14	4,40	17,34	11,69	11,56	13,31	11,15	10,90	10,73

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 08	Registro: 22
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 25/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
8ª Bateria de Cimento Portland: 6%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº2 - Número de Golpes	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52min
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4482	4477	4468	4462	4468	4454	4452	4453	4448	4448
Peso do Solo úmido (g)	2068	2063	2054	2048	2054	2040	2038	2039	2034	2034
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,068	2,063	2,054	2,048	2,054	2,040	2,038	2,039	2,034	2,034
Cápsula n.o	8	82	10	5	72	90	6	9	50	98
Ms+Mw+Mc + (g)	122,50	130,80	100,60	115,60	127,20	137,60	101,70	113,90	123,90	152,50
Ms+Mc (g)	110,85	119,42	91,54	105,19	117,02	126,57	93,40	104,39	114,43	140,82
Mc (g)	13,00	22,78	12,57	12,76	25,03	25,18	16,04	13,95	23,32	25,55
Mw (g)	11,65	11,38	9,06	10,41	10,18	11,03	8,30	9,51	9,47	11,68
Ms (g)	97,85	96,64	78,97	92,43	91,99	101,39	77,36	90,44	91,11	115,27
w (%)	11,91	11,78	11,47	11,26	11,07	10,88	10,73	10,52	10,39	10,13
w adotada (%)	11,91	11,78	11,47	11,26	11,07	10,88	10,73	10,52	10,39	10,13
Densidade Seca (g/cm³)	1,848	1,846	1,843	1,841	1,849	1,840	1,841	1,845	1,842	1,847



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

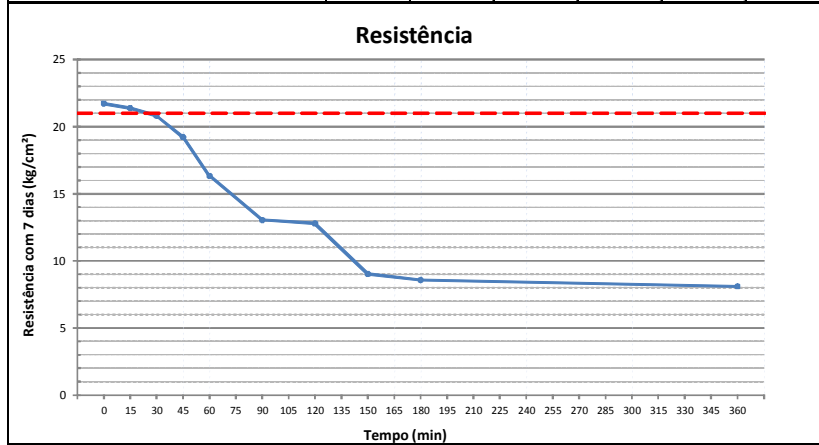
Determinação	1	2
Cápsula n.o	381	2
M _s +M _w +M _c (g)	123,62	269,09
M _s +M _c (g)	120,80	266,24
M _c (g)	22,23	12,21
M _w (g)	2,82	2,85
M _s (g)	98,57	254,03
w (%)	2,86	1,12
w média (%)	1,99	
Solo (kg)	22,500	
w Ótima (%)	12,06	
Água Adicionada:	2,221 kg	
Cimento Adicionado:	1,324 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2069	2065	2055	2049	2054	2027	2014	2017	2015	2016
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2076	2073	2064	2059	2064	2038	2026	2029	2027	2029
Absorção de Água em 4horas (%)	0,31%	0,39%	0,41%	0,46%	0,49%	0,54%	0,57%	0,59%	0,60%	0,64%
Altura (mm)	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,1	100,0	100,0	100,2	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0
Diâmetro 2	100,2	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,2	100,1	100,1	100,1
Área (cm²)	78,78	78,62	78,62	78,78	78,70	78,62	78,78	78,70	78,62	78,62
Leitura Anel (µm)	575	552	547	527	521	501	502	466	460	317
Leitura Corrigida (kg)	1882,84	1807,52	1791,15	1725,66	1706,01	1640,52	1643,80	1525,92	1506,27	1038,02
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	23,90	22,99	22,78	21,91	21,68	20,87	20,87	19,39	19,16	13,20
Cápsula n.o	10A	10	11A	11	12	13A	13	14	17	24
Ms+Mw+Mc + (g)	94,40	112,40	149,10	107,80	130,30	101,40	139,00	95,40	127,30	126,30
Ms+Mc (g)	85,60	102,60	136,30	98,20	118,80	91,10	126,60	86,80	116,20	112,60
Mc (g)	11,54	12,57	16,18	10,03	15,23	10,82	15,81	9,91	15,98	10,41
Mw (g)	8,80	9,80	12,80	9,60	11,50	10,30	12,40	8,60	11,10	13,70
Ms (g)	74,06	90,03	120,12	88,17	103,57	80,28	110,79	76,89	100,22	102,19
w (%)	11,88	10,89	10,66	10,89	11,10	12,83	11,19	11,18	11,08	13,41

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 04	Registro: 11
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 18/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
9ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4548	4527	4505	4482	4438	4390	4349	4330	4326	4214
Peso do Solo úmido (g)	2130	2109	2087	2064	2020	1972	1931	1912	1908	1796
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,130	2,109	2,087	2,064	2,020	1,972	1,931	1,912	1,908	1,796
Cápsula n.o	7	87	82	17	12	13	8	90	34	11
Ms+Mw+Mc + (g)	115,00	102,94	111,30	87,11	93,90	100,23	78,15	116,90	96,80	116,17
Ms+Mc (g)	104,36	94,50	102,20	79,85	85,92	91,71	71,70	108,22	88,78	106,57
Mc (g)	16,23	20,63	22,78	15,98	15,23	15,81	13,00	25,18	11,50	10,03
Mw (g)	10,64	8,44	9,10	7,26	7,98	8,52	6,45	8,68	8,02	9,60
Ms (g)	88,13	73,87	79,42	63,87	70,69	75,90	58,70	83,04	77,28	96,54
w (%)	12,07	11,43	11,46	11,37	11,29	11,23	10,99	10,45	10,38	9,94
w adotada (%)	12,07	11,43	11,46	11,37	11,29	11,23	10,99	10,45	10,38	9,94
Densidade Seca (g/cm³)	1,901	1,893	1,872	1,853	1,815	1,773	1,740	1,731	1,729	1,634



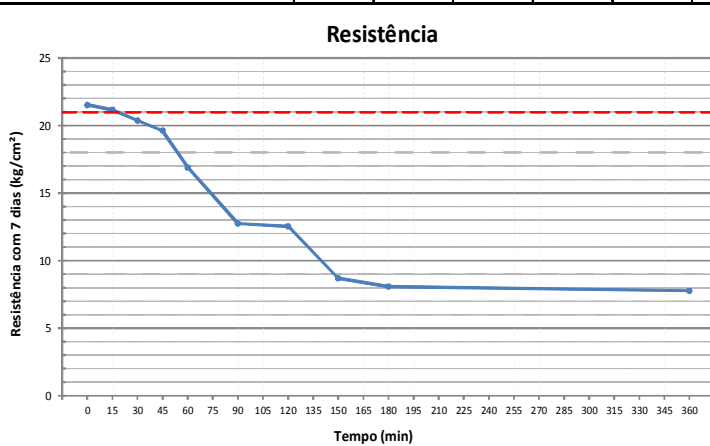
UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	3	82
M _s +M _w +M _c (g)	124,26	138,06
M _s +M _c (g)	120,40	134,08
M _c (g)	11,88	22,78
M _w (g)	3,86	3,98
M _s (g)	108,52	111,30
ω (%)	3,56	3,58
ω média (%)	3,57	
Solo (kg)	25,000	
ω ótima (%)	12,20	
Água Adicionada:	2,084 kg	
Cimento Adicionado:	1,690 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94										
K anel = 3,2745										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2135	2107	2090	2068	2021	1981	1927	1909	1915	1802
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2147	2126	2118	2110	2080	2052	2012	2015	2047	1955
Absorção de Água em 4horas (%)	0,56%	0,90%	1,34%	2,03%	2,92%	3,58%	4,41%	5,55%	6,89%	8,49%
Altura (mm)	128	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,0	99,9	99,9	100,0	99,9	99,9	100,0	100,0	99,8	100,0
Diâmetro 2	100,0	99,8	99,9	100,0	99,9	99,8	100,1	99,9	99,9	99,8
Área (cm²)	78,54	78,30	78,38	78,54	78,38	78,30	78,62	78,46	78,30	78,38
Leitura Anel (µm)	521	511	498	461	391	312	307	216	205	194
Leitura Corrigida (kg)	1706,01	1673,27	1630,70	1509,54	1280,33	1021,64	1005,27	707,29	671,27	635,25
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,72	21,37	20,80	19,22	16,33	13,05	12,79	9,01	8,57	8,10
Cápsula n.o	28	34	14	13A	34A	99	4	13	61	24
Ms+Mw+Mc + (g)	73,46	69,80	78,50	82,60	100,90	113,40	95,50	93,60	101,30	76,90
Ms+Mc (g)	67,45	62,60	71,78	75,19	97,36	104,55	86,98	85,22	91,09	65,71
Mc (g)	11,21	11,50	9,91	10,82	15,79	25,80	14,32	15,81	17,20	10,41
Mw (g)	6,01	7,20	6,72	7,41	3,54	8,85	8,52	8,38	10,21	11,19
Ms (g)	56,24	51,10	61,87	64,37	81,57	78,75	72,66	69,41	73,89	55,30
w (%)	10,69	14,09	10,86	11,51	4,34	11,24	11,73	12,07	13,82	20,24

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 04	Registro: 12
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 18/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
10ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4548	4525	4512	4476	4434	4398	4367	4339	4326	4181
Peso do Solo úmido (g)	2134	2111	2098	2062	2020	1984	1953	1925	1912	1767
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,134	2,111	2,098	2,062	2,020	1,984	1,953	1,925	1,912	1,767
Cápsula n.o	2	72	88	5	4	11	50	3	6	7
Ms+Mw+Mc + (g)	109,10	117,05	110,27	91,90	96,20	117,80	107,70	101,10	109,50	112,14
Ms+Mc (g)	98,62	107,62	101,01	83,89	87,93	106,94	99,28	92,56	100,85	103,41
Mc (g)	12,21	25,03	19,16	12,76	14,32	10,03	23,32	11,88	16,04	16,23
Mw (g)	10,48	9,43	9,26	8,01	8,27	10,86	8,42	8,54	8,65	8,73
Ms (g)	86,41	82,59	81,85	71,13	73,61	96,91	75,96	80,68	84,81	87,18
w (%)	12,13	11,42	11,31	11,26	11,23	11,21	11,08	10,59	10,20	10,01
w adotada (%)	12,13	11,42	11,31	11,26	11,23	11,21	11,08	10,59	10,20	10,01
Densidade Seca (g/cm³)	1,903	1,895	1,885	1,853	1,816	1,784	1,758	1,741	1,735	1,606



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	50	88
M _s +M _w +M _c (g)	112,79	127,11
M _s +M _c (g)	109,68	123,45
M _c (g)	23,32	19,16
M _w (g)	3,11	3,66
M _s (g)	86,36	104,29
w (%)	3,60	3,51
w média (%)	3,56	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	12,20	
Água Adicionada:	2,087 kg	
Cimento Adicionado:	1,690 kg	

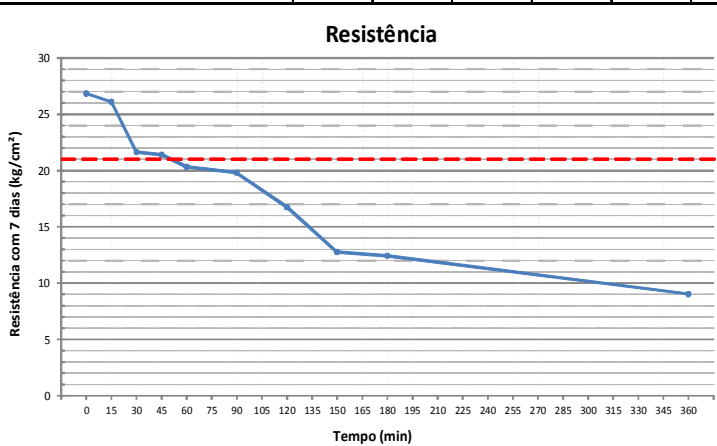
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2133	2108	2093	2064	2023	1990	1961	1929	1915	1762
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2144	2129	2120	2109	2082	2063	2051	2039	2054	1916
Absorção de Água em 4horas (%)	0,52%	1,00%	1,29%	2,18%	2,92%	3,67%	4,59%	5,70%	7,26%	8,74%
Altura (mm)	127	127	127	127	127	127	126	127	127	127
Diâmetro 1	100,1	100,0	100,1	100,0	100,0	100,1	99,8	100,0	100,0	100,0
Diâmetro 2	100,1	100,1	100,0	100,1	100,0	100,0	99,9	99,8	100,0	99,9
Área (cm²)	78,70	78,62	78,62	78,62	78,54	78,62	78,30	78,38	78,54	78,46
Leitura Anel (µm)	517	508	489	471	405	306	300	208	194	186
Leitura Corrigida (kg)	1692,92	1663,45	1601,23	1542,29	1326,17	1002,00	982,35	681,10	635,25	609,06
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	21,51	21,16	20,37	19,62	16,89	12,75	12,55	8,69	8,09	7,76
Cápsula n.o	2	46	48	1A	17	32	38	70	381	P1
Ms+Mw+Mc + (g)	75,80	93,90	111,90	88,40	82,20	88,97	88,18	89,20	111,50	336,90
Ms+Mc (g)	69,24	86,18	102,71	81,04	107,29	79,39	86,58	85,35	98,69	310,13
Mc (g)	12,21	22,26	24,00	13,54	15,98	11,81	11,69	15,65	22,23	168,60
Mw (g)	6,56	7,72	9,19	7,36	-25,09	9,58	1,60	3,85	12,81	26,77
Ms (g)	57,03	63,92	78,71	67,50	91,31	67,58	74,89	69,70	76,46	141,53
w (%)	11,50	12,08	11,68	10,90	-27,48	14,18	2,14	5,52	16,75	18,91

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 06	Registro: 15
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 20/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
11ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4566	4556	4551	4549	4519	4512	4475	4447	4430	4382
Peso do Solo úmido (g)	2148	2138	2133	2131	2101	2094	2057	2029	2012	1964
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,148	2,138	2,133	2,131	2,101	2,094	2,057	2,029	2,012	1,964
Cápsula n.o	1	3	5	7	9	11	13	50	70	11A
Ms+Mw+Mc + (g)	86,20	81,77	92,40	100,43	100,60	92,80	102,31	114,40	88,20	109,18
Ms+Mc (g)	77,52	73,77	83,39	91,05	91,10	83,81	93,05	104,82	80,70	100,58
Mc (g)	11,19	11,88	12,76	16,23	13,95	10,03	15,81	23,32	15,65	16,18
Mw (g)	8,68	8,00	9,01	9,38	9,50	8,99	9,26	9,58	7,50	8,60
Ms (g)	66,33	61,89	70,63	74,82	77,15	73,78	77,24	81,50	65,05	84,40
w (%)	13,09	12,93	12,76	12,54	12,31	12,18	11,99	11,75	11,53	10,19
w adotada (%)	13,09	12,93	12,76	12,54	12,31	12,18	11,99	11,75	11,53	10,19
Densidade Seca (g/cm³)	1,899	1,893	1,892	1,894	1,871	1,867	1,837	1,816	1,804	1,782



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

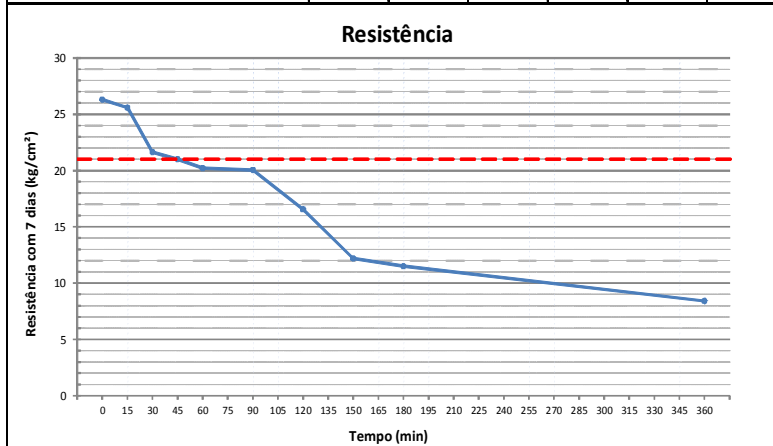
Determinação	1	2
Cápsula n.o	381	9
M _s +M _w +M _c (g)	114,28	110,95
M _s +M _c (g)	110,78	107,16
M _c (g)	22,23	13,95
M _w (g)	3,50	3,79
M _s (g)	88,55	93,21
w (%)	3,95	4,07
w média (%)	4,01	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,209 kg	
Cimento Adicionado:	1,683 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2138	2133	2136	2137	2102	2090	2055	2031	2020	1969
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2146	2150	2158	2176	2159	2160	2142	2144	2157	2131
Absorção de Água em 4horas (%)	0,37%	0,80%	1,03%	1,82%	2,71%	3,35%	4,23%	5,56%	6,78%	8,23%
Altura (mm)	128	127	127	128	128	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	99,9	100,0	100,0	99,8	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	99,9
Diâmetro 2	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	99,8	100,0	99,9
Área (cm²)	78,46	78,54	78,54	78,30	78,46	78,54	78,46	78,30	78,54	78,38
Leitura Anel (µm)	643	626	519	512	487	475	401	305	298	216
Leitura Corrigida (kg)	2105,50	2049,84	1699,47	1676,54	1594,68	1555,39	1313,07	998,72	975,80	707,29
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	26,83	26,10	21,64	21,41	20,32	19,80	16,74	12,75	12,42	9,02
Cápsula n.o	1A	10A	13A	14	17	24	28	32	34	38
Ms+Mw+Mc + (g)	77,90	84,90	97,00	77,90	98,50	78,00	100,40	71,40	88,40	88,50
Ms+Mc (g)	70,70	76,60	86,90	69,50	88,70	69,90	89,80	64,30	79,40	79,70
Mc (g)	13,54	11,54	10,82	9,91	15,98	10,41	11,21	11,81	11,50	11,69
Mw (g)	7,20	8,30	10,10	8,40	9,80	8,10	10,60	7,10	9,00	8,80
Ms (g)	57,16	65,06	76,08	59,59	72,72	59,49	78,59	52,49	67,90	68,01
w (%)	12,60	12,76	13,28	14,10	13,48	13,62	13,49	13,53	13,25	12,94

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 06	Registro: 16
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 20/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
12ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4562	4554	4548	4544	4526	4497	4473	4453	4435	4400
Peso do Solo úmido (g)	2148	2140	2134	2130	2112	2083	2059	2039	2021	1986
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,148	2,140	2,134	2,130	2,112	2,083	2,059	2,039	2,021	1,986
Cápsula n.o	2	4	6	8	10	12	90	82	88	87
Ms+Mw+Mc + (g)	86,01	80,52	86,20	78,85	94,50	92,50	117,13	114,10	102,90	127,15
Ms+Mc (g)	77,49	72,98	78,25	71,49	85,55	84,15	107,39	104,55	94,30	117,35
Mc (g)	12,21	14,32	16,04	13,00	12,57	15,23	25,18	22,78	19,16	20,63
Mw (g)	8,52	7,54	7,95	7,36	8,95	8,35	9,74	9,55	8,60	9,80
Ms (g)	65,28	58,66	62,21	58,49	72,98	68,92	82,21	81,77	75,14	96,72
w (%)	13,05	12,85	12,78	12,58	12,26	12,12	11,85	11,68	11,45	10,13
w adotada (%)	13,05	12,85	12,78	12,58	12,26	12,12	11,85	11,68	11,45	10,13
Densidade Seca (g/cm³)	1,900	1,896	1,892	1,892	1,881	1,858	1,841	1,826	1,813	1,803



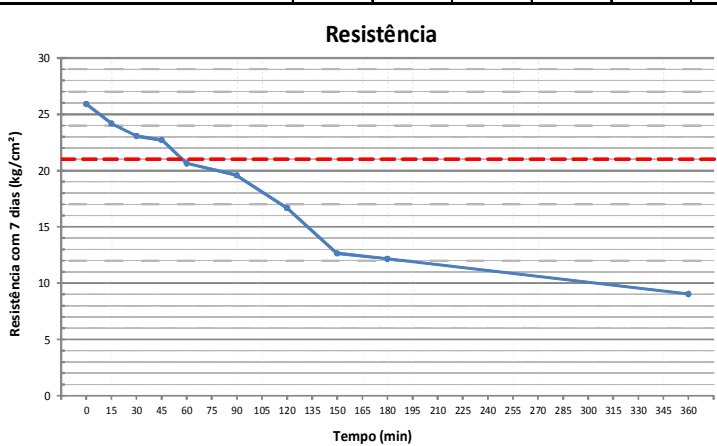
UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	53	28
M _s +M _w +M _c (g)	128,70	98,10
M _s +M _c (g)	124,53	94,82
M _c (g)	20,13	11,21
M _w (g)	4,17	3,28
M _s (g)	104,40	83,61
ω (%)	3,99	3,92
ω média (%)	3,96	
Solo (kg)	25,000	
ω Ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,222 kg	
Cimento Adicionado:	1,683 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94										
K anel = 3,2745										
Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2153	2143	2135	2126	2110	2076	2064	2040	2023	1989
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2161	2159	2160	2167	2168	2145	2150	2147	2159	2153
Absorção de Água em 4horas (%)	0,37%	0,75%	1,17%	1,93%	2,75%	3,32%	4,17%	5,25%	6,72%	8,25%
Altura (mm)	129	127	129	128	129	128	128	127	127	128
Diâmetro 1	100,1	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0
Diâmetro 2	100,1	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0
Área (cm²)	78,70	78,70	78,54	78,54	78,54	78,54	78,54	78,38	78,54	78,54
Leitura Anel (µm)	632	615	519	504	485	481	397	292	276	202
Leitura Corrigida (kg)	2069,48	2013,82	1699,47	1650,35	1588,13	1575,03	1299,98	956,15	903,76	661,45
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	26,30	25,59	21,64	21,01	20,22	20,05	16,55	12,20	11,51	8,42
Cápsula n.o	46	48	61	70	82	88	90	98	381	34A
Ms+Mw+Mc + (g)	112,50	91,00	107,50	93,50	108,80	121,70	103,40	127,00	118,01	117,00
Ms+Mc (g)	102,10	83,30	96,90	84,40	98,30	109,40	94,38	114,70	107,10	105,60
Mc (g)	22,26	24,00	17,20	15,65	22,78	19,16	25,18	25,55	22,23	15,79
Mw (g)	10,40	7,70	10,60	9,10	10,50	12,30	9,02	12,30	10,91	11,40
Ms (g)	79,84	59,30	79,70	68,75	75,52	90,24	69,20	89,15	84,87	89,81
w (%)	13,03	12,98	13,30	13,24	13,90	13,63	13,03	13,80	12,85	12,69

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 07	Registro: 19
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 22/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
13ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4563	4554	4545	4532	4493	4480	4421	4386	4378	4285
Peso do Solo úmido (g)	2145	2136	2127	2114	2075	2062	2003	1968	1960	1867
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,145	2,136	2,127	2,114	2,075	2,062	2,003	1,968	1,960	1,867
Cápsula n.o	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ms+Mw+Mc + (g)	105,25	105,90	104,10	115,20	120,30	121,60	111,90	107,10	117,08	105,32
Ms+Mc (g)	94,37	95,20	93,97	103,87	108,94	110,19	101,29	97,43	106,24	96,44
Mc (g)	11,19	11,88	14,32	12,76	16,04	16,23	13,00	13,95	12,57	10,03
Mw (g)	10,88	10,70	10,13	11,33	11,36	11,41	10,61	9,67	10,84	8,88
Ms (g)	83,18	83,32	79,65	91,11	92,90	93,96	88,29	83,48	93,67	86,41
w (%)	13,08	12,84	12,72	12,44	12,23	12,14	12,02	11,58	11,57	10,28
w adotada (%)	13,08	12,84	12,72	12,44	12,23	12,14	12,02	11,58	11,57	10,28
Densidade Seca (g/cm³)	1,897	1,893	1,887	1,880	1,849	1,839	1,788	1,764	1,757	1,693



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	1A	13A
M _s +M _w +M _c (g)	95,16	89,43
M _s +M _c (g)	91,80	86,31
M _c (g)	13,54	10,82
M _w (g)	3,36	3,12
M _s (g)	78,26	75,49
w (%)	4,29	4,13
w média (%)	4,21	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,156 kg	
Cimento Adicionado:	1,679 kg	

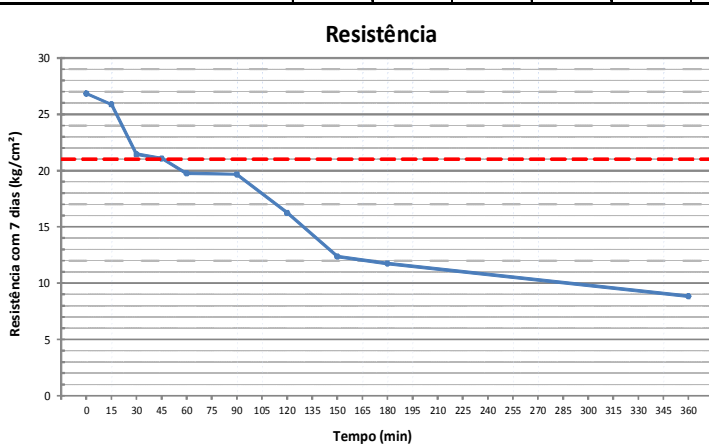
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2147	2138	2125	2113	2071	2055	2011	1974	1962	1870
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2152	2154	2148	2152	2125	2118	2092	2080	2093	2022
Absorção de Água em 4horas (%)	0,23%	0,75%	1,08%	1,85%	2,61%	3,07%	4,03%	5,37%	6,68%	8,13%
Altura (mm)	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	99,9	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0	100,1	99,9	99,8	99,9
Diâmetro 2	99,9	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	99,9	99,8	100,0	99,8
Área (cm²)	78,38	78,54	78,38	78,54	78,54	78,46	78,54	78,30	78,38	78,30
Leitura Anel (µm)	620	580	552	545	495	469	400	302	291	216
Leitura Corrigida (kg)	2030,19	1899,21	1807,52	1784,60	1620,88	1535,74	1309,80	988,90	952,88	707,29
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	25,90	24,18	23,06	22,72	20,64	19,57	16,68	12,63	12,16	9,03
Cápsula n.o	1A	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ms+Mw+Mc + (g)	79,20	93,10	74,30	96,20	111,70	96,08	108,10	104,00	111,80	122,20
Ms+Mc (g)	71,10	82,90	67,70	87,60	101,80	86,70	96,30	91,70	97,60	104,70
Mc (g)	13,54	11,19	12,21	11,88	14,32	12,76	16,04	16,23	13,00	13,95
Mw (g)	8,10	10,20	6,60	8,60	9,90	9,38	11,80	12,30	14,20	17,50
Ms (g)	57,56	71,71	55,49	75,72	87,48	73,94	80,26	75,47	84,60	90,75
w (%)	14,07	14,22	11,89	11,36	11,32	12,69	14,70	16,30	16,78	19,28

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 07	Registro: 20
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 22/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
14ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4565	4560	4548	4544	4492	4477	4425	4383	4381	4319
Peso do Solo úmido (g)	2151	2146	2134	2130	2078	2063	2011	1969	1967	1905
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,151	2,146	2,134	2,130	2,078	2,063	2,011	1,969	1,967	1,905
Cápsula n.o	12	13	88	50	87	70	72	82	11A	90
Ms+Mw+Mc + (g)	128,01	111,20	100,60	102,60	108,61	97,60	134,70	124,00	116,60	125,18
Ms+Mc (g)	114,93	100,27	91,42	93,85	98,95	88,79	123,12	113,36	106,18	116,14
Mc (g)	15,23	15,81	19,16	23,32	20,63	15,65	25,03	22,78	16,18	25,18
Mw (g)	13,08	10,93	9,18	8,75	9,66	8,81	11,58	10,64	10,42	9,04
Ms (g)	99,70	84,46	72,26	70,53	78,32	73,14	98,09	90,58	90,00	90,96
w (%)	13,12	12,94	12,70	12,41	12,33	12,05	11,81	11,75	11,58	9,94
w adotada (%)	13,12	12,94	12,70	12,41	12,33	12,05	11,81	11,75	11,58	9,94
Densidade Seca (g/cm³)	1,902	1,900	1,893	1,895	1,850	1,841	1,799	1,762	1,763	1,733



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	11A	70
M _s +M _w +M _c (g)	107,40	117,11
M _s +M _c (g)	103,51	113,00
M _c (g)	16,18	15,65
M _w (g)	3,89	4,11
M _s (g)	87,33	97,35
w (%)	4,45	4,22
w média (%)	4,34	
Solo (kg)	25,000	
w Ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,123 kg	
Cimento Adicionado:	1,677 kg	

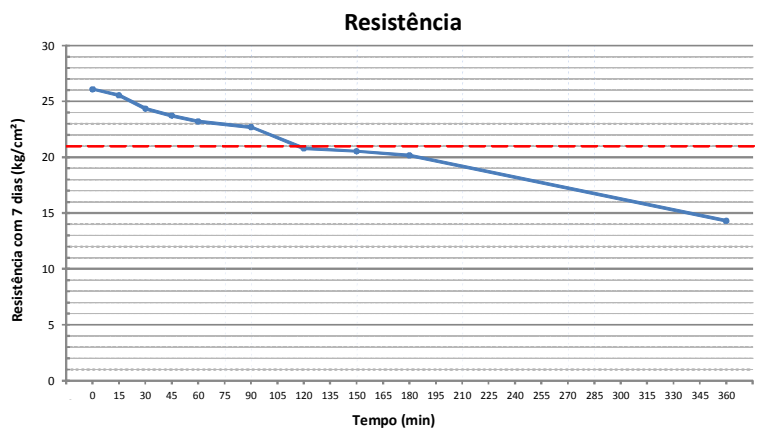
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2155	2151	2136	2136	2085	2064	2016	1972	1974	1906
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2161	2168	2159	2176	2143	2127	2097	2078	2110	2062
Absorção de Água em 4horas (%)	0,28%	0,79%	1,08%	1,87%	2,78%	3,05%	4,02%	5,38%	6,89%	8,18%
Altura (mm)	128	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,2	100,2	100,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,0
Diâmetro 2	100,0	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0
Área (cm²)	78,70	78,70	78,78	78,62	78,62	78,62	78,62	78,62	78,62	78,54
Leitura Anel (µm)	645	622	516	506	474	472	390	297	282	212
Leitura Corrigida (kg)	2112,05	2036,74	1689,64	1656,90	1552,11	1545,56	1277,06	972,53	923,41	694,19
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	26,84	25,88	21,45	21,08	19,74	19,66	16,24	12,37	11,75	8,84
Cápsula n.o	10A	10	11	11A	12	13	13A	14	17	24
Ms+Mw+Mc + (g)	78,90	116,30	80,20	101,50	88,40	100,30	88,90	88,30	138,30	91,50
Ms+Mc (g)	71,90	104,80	71,20	92,20	80,70	90,80	80,80	78,30	121,60	78,50
Mc (g)	11,54	12,57	10,03	16,18	15,23	15,81	10,82	9,91	15,98	10,41
Mw (g)	7,00	11,50	9,00	9,30	7,70	9,50	8,10	10,00	16,70	13,00
Ms (g)	60,36	92,23	61,17	76,02	65,47	74,99	69,98	68,39	105,62	68,09
w (%)	11,60	12,47	14,71	12,23	11,76	12,67	11,57	14,62	15,81	19,09

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 09	Registro: 23
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 26/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
15ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa	Operador: Fernando Troni	

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº 1 - Número de Golpes	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418	2418
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4564	4554	4556	4569	4545	4540	4536	4525	4524	4499
Peso do Solo úmido (g)	2146	2136	2138	2151	2127	2122	2118	2107	2106	2081
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,146	2,136	2,138	2,151	2,127	2,122	2,118	2,107	2,106	2,081
Cápsula n.o	2	7	6	4	1	9	10	72	50	53
Ms+Mw+Mc + (g)	97,95	88,92	95,80	99,50	95,10	98,74	98,51	115,40	113,50	114,90
Ms+Mc (g)	88,01	80,65	86,82	90,01	85,89	89,54	89,38	106,01	104,23	106,29
Mc (g)	12,21	16,23	16,04	14,32	11,19	13,95	12,57	25,03	23,32	20,13
Mw (g)	9,94	8,27	8,98	9,49	9,21	9,20	9,13	9,39	9,27	8,61
Ms (g)	75,80	64,42	70,78	75,69	74,70	75,59	76,81	80,98	80,91	86,16
w (%)	13,11	12,84	12,69	12,54	12,33	12,17	11,89	11,60	11,46	9,99
w adotada (%)	13,11	12,84	12,69	12,54	12,33	12,17	11,89	11,60	11,46	9,99
Densidade Seca (g/cm³)	1,897	1,893	1,897	1,911	1,894	1,892	1,893	1,888	1,890	1,892



UMIDADE HIGROSCÓPICA:		
Determinação	1	2
Cápsula n.o	1A	13A
Ms+Mw+Mc (g)	93,97	88,43
Ms+Mc (g)	91,80	86,31
Mc (g)	13,54	10,82
Mw (g)	2,17	2,12
Ms (g)	78,26	75,49
w (%)	2,77	2,81
w média (%)	2,79	
Solo (kg)	22,500	
w ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,279 kg	
Cimento Adicionado:	1,532 kg	

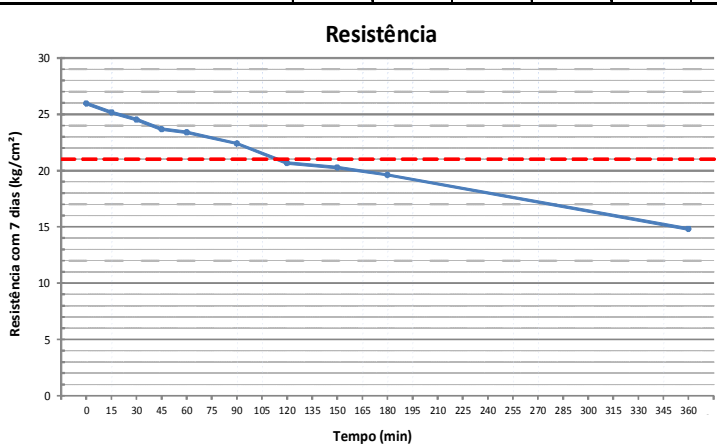
ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2148	2140	2144	2154	2128	2118	2113	2080	2061	2042
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2155	2148	2153	2164	2138	2129	2124	2091	2073	2054
Absorção de Água em 4horas (%)	0,33%	0,37%	0,42%	0,46%	0,47%	0,50%	0,52%	0,53%	0,58%	0,59%
Altura (mm)	127	127	127	127	128	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,0	100,0	100,0	101,1	100,1	99,9	99,9	100,0	100,0	99,9
Diâmetro 2	100,2	99,9	100,0	99,9	100,2	100,0	99,9	99,9	99,9	99,8
Área (cm²)	78,70	78,46	78,54	79,33	78,78	78,46	78,38	78,46	78,46	78,30
Leitura Anel (µm)	627	612	584	575	558	544	498	492	483	342
Leitura Corrigida (kg)	2053,11	2003,99	1912,31	1882,84	1827,17	1781,33	1630,70	1611,05	1581,58	1119,88
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	26,09	25,54	24,35	23,74	23,19	22,70	20,80	20,53	20,16	14,30
Cápsula n.o	34A	90	98	50	32	70	72	99	87	381
Ms+Mw+Mc + (g)	106,20	121,50	128,50	125,20	90,90	126,90	145,90	138,70	137,40	136,00
Ms+Mc (g)	96,50	111,00	117,90	113,80	82,40	115,10	133,50	126,20	125,20	124,40
Mc (g)	15,79	25,18	25,55	23,32	11,81	15,65	25,03	25,80	20,63	22,23
Mw (g)	9,70	10,50	10,60	11,40	8,50	11,80	12,40	12,50	12,20	11,60
Ms (g)	80,71	85,82	92,35	90,48	70,59	99,45	108,47	100,40	104,57	102,17
w (%)	12,02	12,23	11,48	12,60	12,04	11,87	11,43	12,45	11,67	11,35

Trecho: Tuneiras - Cruzeiro do Oeste	Prof: 1,0m	Saco : 09	Registro: 24
Local: BR-487 km 128+800m	Data: 26/06/2012	Responsável: Max Alberto Cancian	
16ª Bateria de Cimento Portland: 7%	Material: Areia Vermelha Argilosa		Operador: Fernando Troni

COMPACTAÇÃO DNER 202/94

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº2 - Número de Golpes	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Peso do Cilindro (g)	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414	2414
Volume do Cilindro (cm³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	969	1000
Peso do Cilindro + Solo úmido (g)	4563	4550	4555	4551	4558	4542	4541	4525	4455	4490
Peso do Solo úmido (g)	2149	2136	2141	2137	2144	2128	2127	2111	2041	2076
Densidade do Solo úmido (g/cm³)	2,149	2,136	2,141	2,137	2,144	2,128	2,127	2,111	2,106	2,076
Cápsula n.o	3	8	12	5	11	13	11A	87	99	34
Ms+Mw+Mc + (g)	103,43	96,50	122,30	101,20	110,40	115,29	109,68	115,20	132,70	118,80
Ms+Mc (g)	92,86	87,01	110,21	91,36	99,34	104,51	99,80	105,29	121,65	109,00
Mc (g)	11,88	13,00	15,23	12,76	10,03	15,81	16,18	20,63	25,80	11,50
Mw (g)	10,57	9,49	12,09	9,84	11,06	10,78	9,88	9,91	11,05	9,80
Ms (g)	80,98	74,01	94,98	78,60	89,31	88,70	83,62	84,66	95,85	97,50
w (%)	13,05	12,82	12,73	12,52	12,38	12,15	11,82	11,71	11,53	10,05
w adotada (%)	13,05	12,82	12,73	12,52	12,38	12,15	11,82	11,71	11,53	10,05
Densidade Seca (g/cm³)	1,901	1,893	1,899	1,899	1,908	1,897	1,902	1,890	1,888	1,886



UMIDADE HIGROSCÓPICA:

Determinação	1	2
Cápsula n.o	P2	P1
M _s +M _w +M _c (g)	398,26	381,82
M _s +M _c (g)	392,77	376,20
M _c (g)	169,03	168,60
M _w (g)	5,49	5,62
M _s (g)	223,74	207,60
w (%)	2,45	2,71
w média (%)	2,58	
Solo (kg)	22,500	
w Ótima (%)	13,20	
Água Adicionada:	2,329 kg	
Cimento Adicionado:	1,535 kg	

ROMPIMENTO DNER 201/94 K anel = 3,2745

Determinação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cilindro Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo	0min	15min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min	360min
	0h	0,25h	0,5h	0,75h	1,0h	1,5hs	2,0hs	2,5hs	3,0hs	6,0hs
Corpo de Prova Seco (g)	2145	2134	2140	2134	2144	2130	2132	2097	1992	2042
Corpo de Prova Após Imersão de 4horas (g)	2151	2141	2148	2143	2154	2141	2144	2109	2003	2053
Absorção de Água em 4horas (%)	0,28%	0,33%	0,37%	0,42%	0,47%	0,52%	0,56%	0,57%	0,55%	0,54%
Altura (mm)	129	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Diâmetro 1	100,2	100,1	100,1	100,2	100,0	100,2	100,1	100,0	99,9	99,9
Diâmetro 2	100,2	100,1	100,2	100,2	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0
Área (cm²)	78,85	78,70	78,78	78,85	78,62	78,78	78,70	78,62	78,46	78,46
Leitura Anel (µm)	625	605	590	570	562	539	497	487	470	355
Leitura Corrigida (kg)	2046,56	1981,07	1931,96	1866,47	1840,27	1764,96	1627,43	1594,68	1539,02	1162,45
Resistência com 7 dias (kg/cm²)	25,95	25,17	24,52	23,67	23,41	22,40	20,68	20,28	19,61	14,82
Cápsula n.o	48	82	34	61	46	38	53	88	4	2
Ms+Mw+Mc + (g)	127,40	131,30	95,60	130,00	135,70	96,30	134,80	118,00	137,00	127,80
Ms+Mc (g)	114,80	119,50	86,60	118,00	123,90	86,40	122,70	106,60	124,10	116,00
Mc (g)	24,00	22,78	11,50	17,20	22,26	11,69	20,13	19,16	14,32	12,21
Mw (g)	12,60	11,80	9,00	12,00	11,80	9,90	12,10	11,40	12,90	11,80
Ms (g)	90,80	96,72	75,10	100,80	101,64	74,71	102,57	87,44	109,78	103,79
w (%)	13,88	12,20	11,98	11,90	11,61	13,25	11,80	13,04	11,75	11,37

APÊNDICE D

Ensaio de Campo

Trecho: Quatro Pontes - Marechal Rondon					Prof: 0,32m					Registro: 27
Local: BR-163 km 276			Data de Início: 09/08/2012			Responsável: Max Alberto Cancian				
Remendo em F 6% e 7%					6% e 7%		Material: Solo-Cimento			
Constante da VIGA: 3,10										
DATA	ENTRADA DE DADOS					DEFLEXÃO				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
09/08/2012	9	10	5	4	6	27,9	31,0	15,5	12,4	18,6
16/08/2012	7	3	3	3	4	21,7	9,3	9,3	9,3	12,4
23/08/2012	8	6	6	5	9	24,8	18,6	18,6	15,5	27,9
30/08/2012	10	4	6	5	8	31,0	12,4	18,6	15,5	24,8
06/09/2012	8	7	8	5	9	24,8	21,7	24,8	15,5	27,9
13/09/2012	9	6	11	4	7	27,9	18,6	34,1	12,4	21,7
20/09/2012	10	7	12	5	7	31,0	21,7	37,2	15,5	21,7
27/09/2012	14	4	12	6	13	43,4	12,4	37,2	18,6	40,3
04/10/2012	10	9	13	6	6	31,0	27,9	40,3	18,6	18,6
11/10/2012	12	9	14	10	8	37,2	27,9	43,4	31,0	24,8
18/10/2012	11	12	18	13	17	34,1	37,2	55,8	40,3	52,7
25/10/2012	9	6	13	8	13	27,9	18,6	40,3	24,8	40,3
01/11/2012	12	9	11	7	12	37,2	27,9	34,1	21,7	37,2
08/11/2012	10	6	11	9	13	31,0	18,6	34,1	27,9	40,3
06/12/2012	11	8	10	9	13	32,6	25,4	32,4	27,9	40,3
03/01/2013	9	7	10	7	10	28,4	22,6	29,6	20,6	31,2
31/01/2013	9	7	9	8	10	27,3	22,5	28,1	25,3	29,5

