

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MATHEUS RAMOS SANTOS

**ANÁLISE DE SOLO PARA SUPORTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DO TRECHO DE
DUPLICAÇÃO DA BR-163 DO KM 172,40 AO KM 182,40 ENTRE SANTA MARIA E
VILA GOES**

**CASCADEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MATHEUS RAMOS SANTOS

**ANÁLISE DE SOLO PARA SUPORTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DO TRECHO DE
DUPLICAÇÃO DA BR-163 DO KM 172,40 AO KM 182,40 ENTRE SANTA MARIA E
VILA GOES**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Engenheiro Civil Especialista
Lincoln Salgado

**CASCADEL - PR
2017**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos que compartilharam da minha caminhada, em tempos bons e em tempo difíceis.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu pai Josemar, minha mãe Marli e meus irmãos Diogo e Tiago (em memória), que sempre me apoiaram tanto financeiramente quanto psicologicamente, e me incentivaram para conquistar este momento.

Agradeço a vida que levo, abençoado por Deus.

Aos meus amigos de infância que também vivenciaram tudo junto comigo: Lucas e Luciane.

Aos meus amigos que a faculdade me proporcionou e levarei para a vida toda. Amigos que me apoiaram em momentos difíceis e estavam sempre presentes.

A meu professor orientador Lincoln, por nortear o caminho correto para finalizar este trabalho com maestria e aos seus ensinamentos notáveis.

A todos os professores que passaram em minha vida acadêmica e contribuíram para o profissional que me tornei.

Ao Centro Universitário Assis Gurgacz, por me fornecer uma estrutura exemplar de ensino.

Agradeço ao Laboratorista Anderson, por me supervisionar em todos os ensaios realizados e apresentados nesse trabalho.

Um agradecimento especial aos engenheiros: Clair, Chirley, Elves, Iziquia, por estarem sempre à disposição para minhas constantes dúvidas, contribuindo significativamente para meu desenvolvimento profissional.

Agradeço também a empresa Prosul, por me proporcionar a oportunidade de obter conhecimento sobre a duplicação da BR – 163, Cascavel à Marmelândia.

EPÍGRAFE

*“Muitos querem aquilo que você tem, mas vão desistir quando souberem o preço que
você pagou.”*

(Autor desconhecido).

RESUMO

Objetivando efetivar uma abordagem sobre solos, mais especificamente no trecho de duplicação da BR-163 do km 172,40 ao km 182,40 entre Santa Maria, distrito de Santa Tereza do Oeste e Vila Goes, onde está sendo executada uma obra de pavimentação em pavimento rígido, foi efetuada uma análise do suporte de solo necessário para fundação do mesmo. Ao analisar o solo local, através de ensaios em laboratório para estudo da capacidade de suporte e suas características para projeto, verificou-se que os materiais e métodos executivos utilizados foram adequados, conforme normas de desempenho mínimo e manuais de execução de pavimento rígido; e comparando-se resultados obtidos com o projeto executivo. Esta abordagem foi embasada em: Manual de Pavimento Rígido do DNIT, Manual de Projetos do DNIT, Manual de Pavimentação do DNIT e outras normativas do DNIT, DNER, DER, PCA e ABCP em relação a método de ensaios, especificações de serviços e especificações técnicas. Após realizados os ensaios e analisados os resultados, verificou-se que é um solo de argila siltosa avermelhada, laterítica, derivada do processo de intemperismo físico e químico da rocha basáltica. Verificou-se que o valor médio encontrado de CBR do solo é de 12,26%, sendo que o projeto executivo considera 10% e sugere uma solução de troca de material do solo por uma camada de macadame seco no subleito com CBR de 15,5%. Assim, o solo possui uma boa capacidade de suporte de tensões para o pavimento rígido, mas em comparação com o projeto precisaria de uma maior espessura da pista de concreto devido ao projeto substituir o solo na camada de subleito por macadame seco, que apresenta um valor maior de CBR, influenciando em uma menor espessura de pavimento. O que não é necessariamente positivo no sentido financeiro, cabendo para esta afirmação estudo mais aprofundado.

Palavras-chave: Pavimentação. Classificação de Solo. Ensaios. Pavimento Rígido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Decomposição de rochas.	18
Figura 2 – Perfil resultante da decomposição das rochas.	18
Figura 3 - As bases sucessivas da construção de rodovias em baixadas.	19
Figura 4 - Talude de aterro.	23
Figura 5 - Faixa granulométrica.	26
Figura 6 - Granulometria do material.	27
Figura 7 - Faixa granulométrica do material de enchimento.	29
Figura 8 - Faixa granulométrica do material de enchimento.	31
Figura 9 - Valores de K (N) em função do número de golpes.	37
Figura 10 - Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo.	40
Figura 11 - Tabela para cálculo de expansão.	41
Figura 12 - Cálculo do Índice de Suporte Califórnia (ISC).	42
Figura 13 - Classificação de solos pela Tabela HRB.	46
Figura 14 - Classificação de solos pela Tabela HRB.	47
Figura 15 - Classificação de solos pela Tabela HRB.	48
Figura 16 - Classificação de solos pela Tabela HRB.	49
Figura 17 - Identificação da derivação do solo.	49
Figura 18 - Coeficiente de recalque máximo.	53
Figura 19 - Valor correspondente de K em relação a CBR.	53
Figura 20 - Coeficiente K para presença de sub-base de CCR.	54
Figura 21 - Valor correspondente de K em relação a CBR.	55
Figura 22 - Coeficiente K para presença de sub-base de CCR.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio Granulométrico.....	45
Tabela 2 - Limites Físicos.	47
Tabela 3 - Ensaio Proctor.	51
Tabela 4 - Ensaio de CBR.	51
Tabela 5 - Ensaio de Expansão.....	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Determinação do teor de umidade.	35
Equação 2: Determinação do teor de umidade.	36
Equação 3: Determinação do Limite de Liquidez.	37
Equação 4: Determinação do Limite de Liquidez.	37
Equação 5: Determinação da massa específica.	40
Equação 6: Determinação da massa específica.	40
Equação 7: Determinação do teor da umidade do solo compactado.	40
Equação 8: Determinação da expansão.	41
Equação 9: Determinação do Índice de Suporte Califórnia.	42
Equação 10 - Classificação entre solos A-7-5 ou A-7-6.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Normativa Brasileira

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

CCR - Concreto Compactado ao Rolo

ME – Método de Ensaio

ES – Especificação de Serviço

EM – Especificação de Material

ISC - Índice de Suporte Califórnia

BGTC - Brita Graduada Tratada com Cimento

AASHTO - *American Association of State Highway Officials*

HRB - *Highway Research Board*

FATEC - Faculdade de Tecnologia de Pavimentação

PCA - *Portland Cement Association*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	16
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
CAPÍTULO 2	17
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1 Origem dos solos	17
2.1.2 Solo residual	17
2.1.3 Solos orgânicos	18
2.1.4 Classificação de materiais e solos	19
2.1.5 Compactação	20
2.1.6 Aterro	21
2.1.6.1 Critério de compactação	21
2.1.7 Corte	22
2.1.8 Talude	22
2.1.9 Compensação de corte e aterro	23
2.1.10 Regularização de subleito	23
2.1.10.1 Classificação de qualidade mínima de material	24
2.1.10.2 Critério de tratamento de solo local	24
2.1.11 Sub-base	24
2.1.11.1 Classificação de qualidade mínima de material	25
2.1.11.2 Critério de tratamento de solo local	25
2.1.12 Britagem	25
2.1.13 Brita graduada tratada com cimento (BGTC)	25
2.1.13.1 Composição granulométrica	26
2.1.13.2 Adição de cimento	26
2.1.14 Base	27
2.1.14.1 Classificação de qualidade mínima de material	28
2.1.15 Pavimento rígido	28
2.1.15.1 Definições granulométricas	28

2.1.16 Serviços preliminares	29
2.1.17 Tabela HRB (<i>Highway Research Bord</i>) - AASHTO.....	30
2.1.18 Macadame seco.....	30
2.1.18.1 Definições granulométricas	31
2.1.19 Método PCA 84 (<i>Portland Cement Association</i>)	32
CAPÍTULO 3	33
3.1 METODOLOGIA.....	33
3.1.1 Materiais	33
3.1.1.1 Propriedades inerentes do solo para fundação do pavimento rígido	33
3.1.2 Métodos	33
3.1.2.1 Solo local.....	33
3.1.2.2 Propriedades do solo local.....	34
3.1.2.3 Ensaio de Limite de Plasticidade.....	34
3.1.2.4 Ensaio de Limite de Liquidez.....	35
3.1.2.5 Ensaio de Índice Suporte Califórnia.....	38
3.1.2.6 Classificação dos solos	43
3.1.2.7 Análise dos métodos empregados para correção.....	43
3.1.3 ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland)	43
CAPÍTULO 4	45
4.1 RESULTADOS	45
4.1.1 Classificação do Solo.....	45
4.1.2 Proctor	50
4.1.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	51
4.1.4 Expansão do Solo	52
4.2 COMPARATIVO	52
4.2.1 Dimensionamento de espessura de pavimento rígido seguindo os ensaios encontrados pelo autor.	52
4.2.2 Dimensionamento de projeto da empreiteira.....	54
4.3 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO	56
CAPÍTULO 5	57
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
CAPÍTULO 6	58
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A – LIMITES FÍSICOS	63
.....	65
APÊNDICE B – ENSAIOS: CBR, COMPACTAÇÃO, DETERMINAÇÃO DE UMIDADE E EXPANSÃO	68

APÊNDICE C – GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO	73
APÊNDICE D –GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C	78

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Segundo o Manual de Pavimento Rígido, o pavimento é uma estrutura construída e destinada, econômica e simultaneamente, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando a superfície do rolamento mais durável.

Para o pavimento rígido, a sua fundação deve apresentar uma capacidade de suporte mínima conforme Manual de Pavimento Rígido, então será analisado o solo local, através de ensaios de laboratório, ensaios “*in loco*” e sondagens do terreno, para classificação do solo e identificação de suas propriedades, e assim feita a análise final de suporte do solo.

Os pavimentos rígidos são constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de Cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, denominada sub-base. Pavimentos flexíveis são aqueles compostos por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são constituídos de revestimento asfáltico delgado sobre camadas puramente granulares nas quais existem sistemas de camadas superpostas, as quais as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada (Manual do Pavimento Rígido, 2005).

A fundação do pavimento rígido será constituída pelas camadas de subleito, sub-base e a base e revestimento unificados. O que difere do pavimento flexível é a grande área de distribuição de carga por sua extensão e a baixa pressão na fundação do pavimento.

O terreno de fundação onde será apoiado o pavimento deve ser submetido a estudos até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego. Uma análise do solo local foi elaborada para fundação das placas de pavimento rígido, por meio de ensaios de laboratório (CBR) para o subleito e sub-base, para assim determinar se o solo local poderá ser utilizado como material para fundação ou será necessário tratamento ou substituição do solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o solo local onde foi executada a estrutura do Pavimento Rígido no trecho da BR-163, km 172,40 ao km 182.40, localizados entre o Distrito de Santa Maria e Vila Goes, no município de Santa Tereza do Oeste – PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o solo local através de ensaios em laboratório e *in loco* para estudo da capacidade de suporte e suas características para projeto;
- Verificar se os materiais e métodos executivos utilizados foram adequados para o solo, conforme normas de desempenho mínimo e manuais de execução de pavimento rígido;
- Comparar resultados obtidos com projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

O pavimento rígido consiste em concreto usinado podendo ser armado, usado na pista de rolamento e sua vida útil mínima é de vinte anos de operação, com baixo nível de manutenção.

O pavimento flexível é a alternativa mais comum de estrutura de pavimento para a região. Possui uma metodologia de tratamento de solo para fundação similar ao do pavimento rígido, mas alguns critérios diferenciados devem ser levados em consideração em seu dimensionamento e execução, e o tratamento nas camadas de compactação.

O estudo da fundação adequada é extremamente importante para que tudo ocorra como foi solicitado. O concreto em si é extremamente resistente e durável, mas se a fundação não estiver conforme as solicitações para dar suporte à capa de rolamento, sua vida útil será

reduzida, aumentando assim a necessidade de manutenção e possivelmente inviabilizando a obra em pavimento rígido.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O solo local, embasado em normativas e manuais de pavimentação, está adequado para solicitações de suporte para pavimento rígido?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O maior causador de patologias e redução de vida útil do pavimento rígido é o tratamento irregular do solo, podendo causar movimentação do solo ou recalque, que irá influenciar diretamente na capa de rolamento em concreto usinado. Uma fundação na qual as solicitações de desempenho mínimas não estão conforme o Manual de Pavimento Rígido e as normativas, não irão cumprir com sua vida útil mínima, aumentando assim sua necessidade de manutenções.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada na análise do solo do local, indicando se o referido foi executado conforme as normas de qualidade e desempenho e os padrões do Manual de Pavimento Rígido.

Serão executados ensaios em laboratório e ensaios “*in loco*” para identificação de qualidade de material do local.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os materiais e métodos executivos que serão descritos conforme normativas e manuais.

2.1.1 Origem dos solos

O solo, do latim *solum*, é o material existente na crosta terrestre, que conforme o Manual de Pavimentação, não é consolidado, originado de rochas, cuja decomposição/processo de intemperismo químico provêm da simples agitação da água em suas partículas sólidas.

Geologicamente, o solo é definido como material intemperizado de rochas, ou seja, considera-se solo todo tipo de material que possa ser escavado sem necessidade de explosivos.

Como o Manual de Pavimentação comenta, os solos possuem dois grandes grupos: solo residual, onde os produtos da rocha intemperizada permanecem ainda no local de sua origem; solo transportado, quando o material intemperizado foi transportado por um agente qualquer, para um local diferente de sua origem.

2.1.2 Solo residual

Segundo Manual de Pavimentação, solo residual é aquele que em sua composição depende do tipo da composição mineralógica da rocha original.

Para o caso da decomposição de basaltos, forma um solo típico conhecido como terra-roxa, de composição argilo-arenosa. Já a decomposição de arenitos ou quartzitos irão formar solos arenosos constituídos de quartzo. Rochas metamórficas do tipo filito, formando um solo de composição argilosa e bastante plástico. Como demonstra a Figura 1.

Figura 1- Decomposição de rochas.

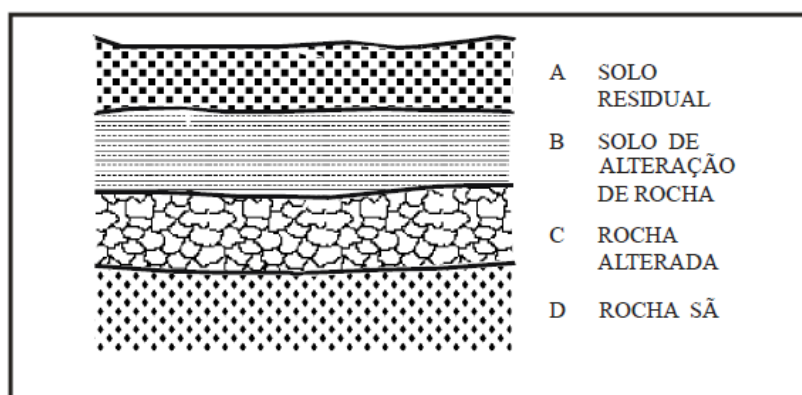
Tipo de rocha	Composição mineral	Tipo de solo	Composição
basalto	plagioclásio piroxênios	argiloso (pouca areia)	argila
quartzito	quartzo	arenoso	quartzo
filitos	micas (sericita)	argiloso	argila

Tipo de rocha	Composição mineral	Tipo de solo	Composição
granito	quartzo feldspato mica	areno-argiloso (micáceo)	quartzo e argila (micáceo)
calcário	calcita		argila

Fonte: Manual de Pavimentação.

O Manual de Pavimentação cita que, o solo residual é um solo que apresenta as características da rocha que lhe deu origem. Já o solo de alteração de rocha, representa alguns elementos da rocha matriz, como estrutura ou minerais não decompostos. A rocha alterada é um mineral que representa características da rocha de origem, preservando parte de sua estrutura, porém um estado de dureza e resistência menor ao que a rocha sã. A rocha sã é a rocha inalterada em sua natureza. Como a Figura 2 demonstra.

Figura 2 – Perfil resultante da decomposição das rochas.



Fonte: Manual de Pavimentação.

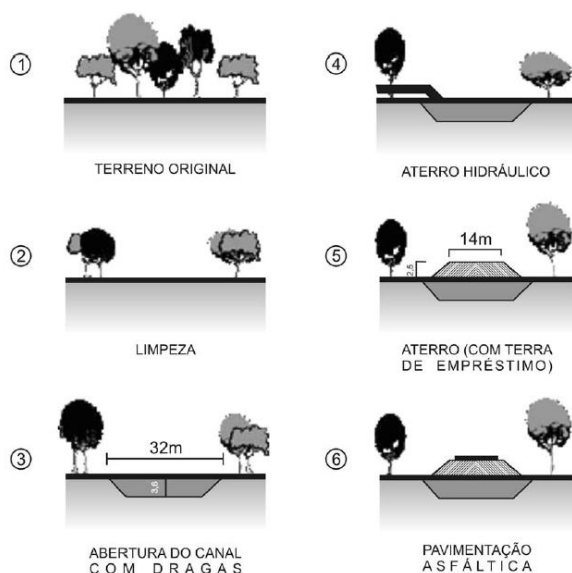
2.1.3 Solos orgânicos

Conforme Manual de Pavimentação, solos orgânicos geralmente são originados de áreas topográficas e geograficamente bem caracterizadas: em bacias e depressões

continentais, em baixadas marginais e litorâneas ou baixadas de rios, sendo um solo com resistência baixa e altamente plástico, sendo impróprio para qualquer tipo de fundação.

O tratamento básico para o solo orgânico seria a própria limpeza e remoção do solo em questão, e reposição desse espaço físico com solo não-orgânico ou rochas, para obtenção da resistência necessária de projeto. Como representado na Figura 3.

Figura 3 - As bases sucessivas da construção de rodovias em baixadas.



Fonte: Manual de Pavimentação.

2.1.4 Classificação de materiais e solos

Segundo o Manual de Pavimentação, as frações de classificação de material estão compreendidas nas seguintes espessuras em relação a granulometria:

- Pedregulho: é a fração passando na peneira de 3" e retida na peneira de 2,00 mm;
- Areia: é a fração que passa na peneira 2,00 mm e retida na peneira de 0,075 mm;
- Areia grossa: é a fração passando na peneira 2,00 mm e retida na peneira 0,42 mm;
- Areia fina: é a fração passando na peneira 0,42 mm e retida na peneira 0,075 mm;
- Silt: fração de grãos que passa na peneira de 0,075 mm e retida na peneira de 0,005 mm;
- Argila: fração de grãos passando na peneira 0,005 mm e com tamanhos abaixo de 0,001 mm.

O Manual de Pavimentação também comenta que, os solos na natureza representam compostos com mais de uma destas composições citadas acima, contendo uma certa fração de cada tipo de solo ou rocha, dependendo da localização geográfica. O Manual de Pavimentação cita que os tipos de solos possuem as seguintes características comuns:

- Areias e pedregulhos são solos de granulometria grossa, podendo ser compostos de grãos de forma cúbica ou arredondadas, constituídas de quartzo (sílica pura). Seus grãos possuem um comportamento que varia pouco em relação à quantidade de água em sua composição, sendo solos de baixa coesão, dependendo do atrito entre seus grãos para assumir a resistência à deformação;
- Siltes são os solos intermediários, têm uma tendência para o comportamento arenoso ou para o argiloso, dependendo da distribuição granulométrica e da composição mineralógica de seus grãos;
- Argilas tem por classificação de granulação fina com grãos de formas lamelares, alongadas e tubulares, cuja constituição principal é de minerais argílicos: caulinita, illita e montmorilonita, isto é, silicatos hidratados de alumínio e/ou ferro e magnésio, que formam arcabouços cristalinos constituídos de unidades fundamentais. Devido a composição fina e mineralógica, o comportamento da argila é delicado conforme a quantidade de água envolvendo os grãos, onde a quantidade de água define características marcantes de plasticidade, permitindo a moldagem dessa massa de argila sem alteração de volume. Quando se tem menor umidade na composição da argila, maior sua coesão;
- Solo laterítico é um solo que comumente forma-se de crostas contínuas, como concreções pisolíticas isoladas, ou na textura de solos finos, pouco ou nada ativos. As cores podem variar de vermelho a amarelo;
- Saibro é composto por um solo areno-siltoso; pode conter pedregulhos, provenientes de alteração de rochas graníticas ou gnáissicas.

2.1.5 Compactação

Conforme a normativa DNIT 108/2009 – ES, a compactação é classificada como uma operação por processo manual ou mecânico, destinada a reduzir o volume dos vazios de

um solo ou outro material, com a finalidade de aumentar a resistência e estabilidade do solo local.

2.1.6 Aterro

Segundo a normativa do DNIT 108/2009 - ES, aterros são os segmentos de rodovia cuja implantação requer depósito de materiais provenientes de cortes e/ou de empréstimos, que são devidamente compactados de acordo com projeto para sua finalidade pré-estabelecida.

2.1.6.1 Critério de compactação

De acordo com a normativa DNIT 108/2009 – ES - Aterros, o lançamento do material do aterro deve ser executado em camadas sucessivas em toda a sua seção transversal e nas extensões longitudinais, permitindo o umedecimento e a compactação. Para o corpo de aterro, a espessura das camadas não deve exceder 30cm e em camadas finais não deve ultrapassar 20cm.

Para o corpo de aterro deve-se trabalhar com a umidade ótima de aproximadamente 3%, até se obter a massa específica aparente seca, correspondente a 100% da massa específica aparente máxima seca, como diz a normativa DNER - ME 129/94, Método A.

Em camadas finais de aterro, a massa específica aparente seca deve corresponder a 100% da massa específica aparente máxima seca, na normativa DNER - ME 129/94, Método B.

Para qualquer trecho que não se adequar às condições impostas da norma, devem ser escarificados e homogeneizados para levá-los à umidade ótima, assim podendo ser compactado.

2.1.7 Corte

A normativa DNIT 106/2009 - ES diz que os segmentos de rodovia, na qual a implantação requer a remoção e movimentação do terreno primitivo, ao longo de seu eixo e nos limites das seções de projeto, podem ser dos seguintes tipos:

- Corte a céu aberto é a escavação na superfície do solo;
- Corte à meia encosta é a escavação para o seguimento do traçado de uma rodovia, que atinge parcialmente sua seção transversal;
- Corte em caixão seria a escavação de taludes com sua inclinação parcialmente na vertical.

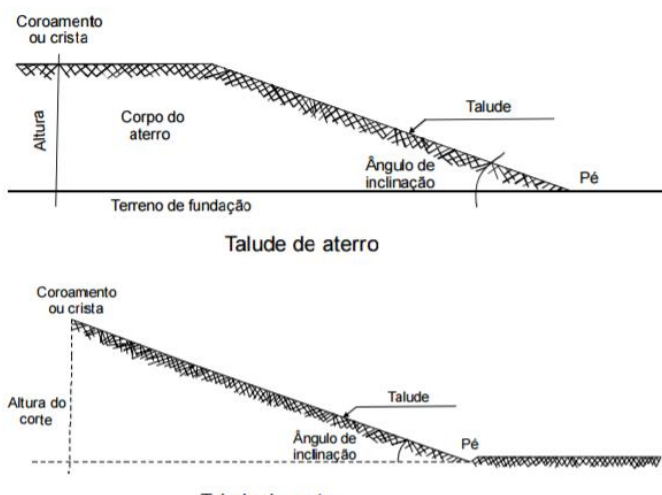
Categorias de corte:

- Primeira categoria: solos em geral residuais ou sedimentares, com diâmetro máximo de 0,15 m, independentemente de sua umidade;
- Segunda categoria: são solos que apresentam resistência ao desmonte mecânico inferior ao da rocha sã, cuja a extração obriga a utilização de equipamentos pesados, e eventualmente pode envolver o uso de explosivos ou remoção por processo manual. Estão incluídos nesta categoria blocos de até 2m³ e os matacões ou rochas com diâmetro compreendido em 0,15 m a 1,00m;
- Terceira categoria: são os materiais com resistência ao desmanche equivalentes ao da rocha sã, com blocos de 2 m³ ou superiores, com diâmetros correspondentes superiores a 1,00 m, para possibilitar o carregamento e transporte, tendo a utilização constante de explosivos.

2.1.8 Talude

Superfície inclinada em relação ao terreno primitivo, para escavação de corte ou aterro, segue em Figura 4.

Figura 4 - Talude de aterro.



Fonte: DNIT 106/2009 - ES.

Para o talude escalonado se executam banquetas com intenção da diminuição da velocidade de águas pluviais, aumentando a drenagem e estabilizando o talude (DNIT 106/2009 – ES).

2.1.9 Compensação de corte e aterro

Igualar a quantidade de corte considerando o coeficiente de compactação de cada solo, para determinar a quantidade de solo que será utilizado para aterro do local pré-estabelecido, diminuindo ao máximo a necessidade do empréstimo de solos (DNIT 106/2009 – ES).

2.1.10 Regularização de subleito

De acordo com a normativa DNIT 137/2010 – ES, as operações de compactação mecânica das camadas finais de aterro do local onde estará o traçado de rodovia, devem obedecer às larguras e cotas do projeto, compreendendo às espessuras máximas de 20 cm para compactação e estabilização.

Caso haja espessuras superiores a 20 cm, devem ser executados previamente conforme especificações da normativa DNIT 105/2009 - ES, DNIT 107/2009 - ES e DNIT 108/2009 - ES.

É expressamente proibida a execução de serviços em dias de chuva.

2.1.10.1 Classificação de qualidade mínima de material

O ensaio de *Índice de Suporte Califórnia* descrito na normativa do DNIT 172/2016 - ME e ensaio de compactação, segundo normativa DNER - ME 129/94, demonstra a capacidade de suporte e expansão referente a amostra de solo local, sendo classificado como solo orgânico, no caso de um valor de CBR < 2%, e podendo ser utilizado como sub-base para CBR > 20%.

2.1.10.2 Critério de tratamento de solo local

Seguindo as especificações da normativa DNIT 137/2010 – ES, toda a vegetação e materiais orgânicos existentes no leito da rodovia devem ser removidos.

Após a execução dos serviços iniciais de terraplenagem, deve-se adicionar o material necessário para chegar a cota do greide de projeto, procedendo com a escarificação na profundidade de 20cm, pulverizando, umedecendo ou secando o material para enfim compactá-lo e dar o seu devido acabamento.

2.1.11 Sub-base

Segundo a normativa DNIT - ES 139/2010, a pavimentação de sub-base estabilizada granulometricamente, é uma camada de pavimentação complementar à base e com a mesma função estrutural, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado.

Não devem ser executados serviços em dias de chuva.

2.1.11.1 Classificação de qualidade mínima de material

O ensaio de *Índice de Suporte Califórnia* descrito na normativa do DNIT 172/2016 - ME e ensaio de compactação segundo normativa DNER - ME 129/94, demonstra a capacidade de suporte e expansão referente à amostra de solo local. Deve-se obter os valores de CBR > 20% e expansão < 1%.

2.1.11.2 Critério de tratamento de solo local

Para a normativa DNIT - ES 139/2010, a execução da sub-base compreende as operações em conjunto de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais em centrais de mistura ou na pista; seguidas de espalhamento, compactação e acabamento, na largura e extensão da pista. O material deve ser distribuído e homogeneizado até atingir a cota de projeto desejada.

2.1.12 Britagem

É o processo de reduzir os pedaços de uma rocha por esmagamento ou rotação para se obter uma rocha no diâmetro desejado.

2.1.13 Brita graduada tratada com cimento (BGTC)

Segundo a normativa DER ET - DE - P00/009, a brita graduada tratada com cimento é o produto resultante da mistura em uma usina das pedras britadas, água e Cimento Portland, e eventualmente aditivos. Seu uso mais comum é em camadas de sub-base ou base, tendo como sua principal característica a estabilização das camadas finais de compactação para maior resistência em pistas de rolamento.

2.1.13.1 Composição granulométrica

Os agregados da mistura devem ser duros, limpos e duráveis, livres de excessos de partículas lamelares ou alongadas, ou de fácil desintegração. Devem seguir os mínimos dos seguintes ensaios:

- Desgaste inferior de 50% no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme normativa DNER - ME 035/98;
- Equivalente de areia do agregado miúdo superior a 55%, definido na normativa DNER – ME 054/97;
- Índice de forma superior a 0,5 e porcentagem de partículas lamelares inferior a 10%, segundo normativa DNER - ME 086/94;
- Ensaio de durabilidade conforme DNER – ME 089/94.

Segue na Figura 5 a faixa granulométrica imposta pela normativa DER ET - DE - P00/009.

Figura 5 - Faixa granulométrica.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando	Tolerâncias
ASTM	mm		
1 ½"	37,5	100	± 7%
1"	25,0	90 – 100	± 7%
¾"	19,0	75 – 95	± 7%
3/8"	9,5	45 – 64	± 7%
Nº 4	4,8	30 – 45	± 5%
Nº 10	2,0	18 – 33	± 5%
Nº 40	0,42	7 – 17	± 5%
Nº 80	0,18	1 – 11	± 3%
Nº 200	0,075	0 – 8	± 2%
Espessura da camada acabada (cm)		12 a 18	

Fonte: Normativa DER ET - DE - P00/009.

2.1.13.2 Adição de cimento

O cimento empregado deve seguir as especificações mínimas da normativa DNER - EM 036/95, devendo ser incorporado aos agregados para constituição da mistura, sendo

fixado de modo a atender os valores de compressão simples e a tração por corpo de prova diametral.

2.1.14 Base

Conforme normativa DNIT - ES 141/2010, uma camada estabilizada granulometricamente da pavimentação, destina-se a resistir aos esforços verticais causados pelo fluxo de veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado.

Os materiais constituintes são solos, misturas e materiais britados, devendo por ensaios de caracterização de agregados serem classificados de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Granulometria do material.

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

Fonte DNIT - ES 141/2010.

A fração que passa na peneira de malha 40 deve apresentar Limite de Liquidez inferior ou igual a 25%, e Índice de Plasticidade inferior a 6%. Caso esses itens sejam ultrapassados, o equivalente de areia deve ser maior que 30%.

A porcentagem do material que passa na peneira de malha 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira malha 40.

2.1.14.1 Classificação de qualidade mínima de material

O *Índice de Suporte Califórnia* deverá, de acordo com normativa DNER - ME 049/94 e DNER - ME 129/94, obter um valor de ISC > 60% para o número $N < 5 \times 10^6$, ISC > 80% para o número $N > 5 \times 10^6$ e a expansão < 0,5%.

2.1.15 Pavimento rígido

Conforme Manual de Pavimento Rígido, é uma camada de rolamento de alta resistência e durabilidade que funciona como distribuidor dos esforços, diminuindo assim a tensão pontual imposta à fundação.

2.1.15.1 Definições granulométricas

De acordo com o Manual de Pavimento Rígido, todo o ensaio do agregado graúdo deve ser constituído por pedra britada tipo rachão, produto final da britagem primária, fragmentos duros e duráveis, livres de excessos de partículas lamelares, alongadas ou quebradiças, matéria orgânica e quaisquer substâncias prejudiciais para sua integridade e resistência, seguindo os seguintes requisitos:

- O diâmetro do agregado deve estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada compactada, podendo ter em sua composição até 10% de agregado situado entre 4" e 6", conforme Figura 7.

Figura 7 - Faixa granulométrica do material de enchimento.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	I
6"	152,4	100
4"	101,6	90 – 100
3"	76,2	65 – 80
2"	50,8	15 – 55
1"	25,4	5 – 30
½"	12,7	2 – 18
nº 4	4,8	0 - 15

Fonte: DER ET-DE-P00/011.

O material para enchimento e camada de isolamento, deve constituir-se por britagem com 50%, com granulometria compreendida entre a peneira 3/4 e 3/8 e 50% passando na peneira 3/8, para permitir o travamento da camada de pedra rachão evitando a penetração do material na camada do subleito, seguindo os mínimos de norma citados a seguir:

- A perda no ensaio de durabilidade conforme DNER - ME 089/94, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
- Equivalente de areia do agregado miúdo superior a 55%, definido na normativa DNER – ME 054/97;
- A fração que passa na peneira de malha 40, deve apresentar Limite de Liquidez, conforme normativa DNER - ME 122/94, igual ou inferior a 25% e Índice de Plasticidade inferior ou igual a 6%, segundo normativa DNER-ME 082/94.

2.1.16 Serviços preliminares

A normativa DNER-ES 278/97, comenta que para os serviços preliminares de terraplenagem, todas as operações de preparação das áreas destinadas à implantação da pavimentação, como áreas de empréstimos e ocorrências de material, deve-se remover o material vegetal e outros que sejam considerados como elementos de obstrução.

2.1.17 Tabela HRB (*Highway Research Bord*) - AASHTO

Conforme a FATEC (Faculdade de Tecnologia de Pavimentação), a classificação de solos que foi originada na data de 1929 pela AASHTO (*American Association of State Highway Officials*), é um sistema de classificação dos solos baseado nos limites físicos e na granulometria do material.

Existem nessa tabela 7 (sete) classes e 11 (onze) grupos como representado a seguir:

- A - 1: A - 1 - a e A - 1 - b;
- A - 2: A - 2 - 4, A - 2 - 5, A - 2 - 6 e A - 2 - 7;
- A - 3;
- A - 4;
- A - 5;
- A - 6;
- A - 7: A - 7 - 5 e A - 7 - 6.

As classes A - 1, A - 2 e A - 3, são classificações de solos de granulometria mais graúda, apresentando um máximo de 35% de material retido na peneira de malha 200.

Para as classes A-1 e A3, o Índice de Plasticidade é limitado em 6%, o que caracteriza materiais com predominância de não plástico (pedra britada, pedregulho e areias).

Os grupos A-2-4 e A-2-5 o Índice de Plasticidade é limitado em 10%, nos grupos A-2-6 e A-2-7, especifica um mínimo de 11% no Índice de Plasticidade. Na classe A- 2, considera-se o Limite de Liquidez (areias e areias argilosas ou siltosas).

Para as classes A-4, A-5, A-6 e A-7, determina-se no mínimo 35% de material passado na peneira de malha 200 e considera-se, tanto o Índice de Plasticidade, como o Limite de Liquidez (solos finos argilas e siltes).

2.1.18 Macadame seco

A normativa do DER ET-DE-P00/011 por definição, comenta que a sub-base ou base de macadame seco é constituída por agregados graúdos, podendo ser naturais ou britados. Seus vazios são preenchidos a seco por agregados miúdos, geralmente pó de pedra, cuja estabilização é obtida pela ação da energia de compactação. A camada de bloqueio ou isolamento é a parte inferior da camada de macadame seco, limitada a espessura de 4cm após a compactação. São constituídos por finos da britagem, aplicados nos casos que a camada

subjacente ao macadame seco é constituída por solos com mais de 35%, passando na peneira 200, evitando então que o agregado graúdo do macadame seco desça para a camada inferior, devido à compactação.

2.1.18.1 Definições granulométricas

De acordo com o Manual de Pavimento Rígido, todo ensaio do agregado graúdo deve ser constituído por pedra britada tipo rachão, produto final da britagem primária, fragmentos duros e duráveis, livres de excessos de partículas lamelares, alongadas ou quebradiças, matéria orgânica e quaisquer substâncias prejudiciais para sua integridade e resistência, seguindo os seguintes requisitos:

- O diâmetro do agregado deve estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada compactada, podendo ter em sua composição até 10% de agregado situado entre 4" e 6", conforme Figura 8.

Figura 8 - Faixa granulométrica do material de enchimento.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	I
6"	152,4	100
4"	101,6	90 – 100
3"	76,2	65 – 80
2"	50,8	15 – 55
1"	25,4	5 – 30
½"	12,7	2 – 18
nº 4	4,8	0 - 15

Fonte: DER ET-DE-P00/011.

O material para enchimento e camada de isolamento, deve constituir-se por britagem com 50%, com granulometria compreendida entre a peneira 3/4 e 3/8 e 50% passando na peneira 3/8, para permitir o travamento da camada de pedra rachão evitando a penetração do material na camada do subleito, seguindo os mínimos de norma citados a seguir.

- A perda no ensaio de durabilidade conforme DNER - ME 089/94, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
- Equivalente de areia do agregado miúdo superior a 55%, definido na normativa DNER – ME 054/97;
- A fração que passa na peneira de malha 40 deve apresentar Limite de Liquidez, conforme normativa DNER - ME 122/94, igual ou inferior a 25% e Índice de Plasticidade inferior ou igual a 6%, segundo normativa DNER-ME 082/94.

2.1.19 Método PCA 84 (*Portland Cement Association*)

É um método de dimensionamento do pavimento rígido em função dos valores obtidos de CBR do subleito, o número de repetições previstas e cargas por eixo.

O Método da PCA/84 baseia-se em quatro pontos, descritos abaixo:

- Estudos teóricos clássicos sobre o comportamento de placas de concreto (Teorias de Westergaard e Pickett) e modernas análises de computador empregando elementos finitos, de acordo com Tayabji e Colley;
- Ensaio de laboratórios e de modelos sobre o comportamento de juntas, sub-bases e acostamentos e sua influência no desempenho do pavimento;
- Pistas experimentais, especialmente a da então AASHO, hoje denominada de ASSHTO, e estudos específicos levados a efeito por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários; e
- Observação metódica de pavimentos em serviço.

A conexão entre essas informações teóricas, de pesquisa e práticas, necessárias para a concepção de um procedimento de dimensionamento (em contraposição aos métodos empíricos), no qual se integram os distintos parâmetros, é resolvida por uma análise completa das tensões e deformações em um modelo que emprega elementos finitos. Em linhas gerais, o modelo trabalha com as propriedades do concreto, o tipo de fundação e os carregamentos solicitantes.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Materiais

Conforme Embrapa Florestas, o material de solo local, de características Latossolo, foi o objeto de estudo.

3.1.1.1 Propriedades inerentes do solo para fundação do pavimento rígido

O solo local deve atender às normas de desempenho dos ensaios conforme norma DNIT 172/2016 – ME Determinação do Índice de Suporte Califórnia, utilizando amostras não trabalhadas, como um solo de qualidade superior, descartando-o como solo orgânico, podendo assim ser usado na camada de subleito. Caso não atenda as solicitações dos esforços, será substituído por um material que atenda às solicitações de esforços mínimos, segundo normativa de desempenho citada acima.

3.1.2 Métodos

Os métodos analisados serão entre o dimensionamento da espessura do pavimento rígido de projeto da empreiteira, e os resultados encontrados pelo autor do trabalho.

3.1.2.1 Solo local

Em um estudo feito pela Embrapa Florestas, o Laboratório de Monitoramento Ambiental e a Universidade Federal do Paraná em 2012, citam que a região de Cascavel - PR

tem um solo característico chamado de Latossolo, sendo um solo bem drenado, com elevado potencial de resistência e utilização.

3.1.2.2 Propriedades do solo local

Para a definição das propriedades do solo local para projeto, procedeu-se a análise estatística dos valores de capacidade de suporte do material a ser empregado como camada final de terraplenagem. Obtendo, através de ensaios, derivado de propriedades de um solo drenante e de elevado potencial de resistência a tensões axiais, determinando também que a utilização do solo local será uma potencial opção de material para subleito.

3.1.2.3 Ensaio de Limite de Plasticidade

Limite de Plasticidade é o limite de teor de umidade que marca a transição do estado plástico da amostra tornando-se quebradiço ou semissólido.

Todo o método de ensaio segue a normativa do DNER-ME 082/94, Solos - determinação do Limite de Plasticidade. Inicialmente será feita a preparação da amostra para ensaios de caracterização de solos conforme norma DNER - ME 041/94, tomam-se cerca de 50 gramas da amostra do solo, prosseguindo assim com a execução do ensaio. Coloca-se a amostra na cápsula adicionando quantidade suficiente para se obter a massa plástica da amostra, adicionando água aos poucos, misturando com a espátula a amostra continuamente, até se obter a homogeneização completa da amostra.

Separa-se aproximadamente 20 gramas da amostra homogeneizada, modelando-a de forma elipsoidal. Rolando a amostra, em valores de 80 a 90 rotações por minuto, considerando uma rotação o movimento da mão de frente para trás, retornando ao ponto de partida, sendo que a amostra deve ser compreendida entre os dedos e a face rugosa da placa de vidro, com pressão suficiente para formar o chamado, rolinho, formando um cilindro de diâmetro uniforme. As dimensões do cilindro estão compreendidas na norma DNER - ME 082/94.

A partir do momento que se fragmenta o cilindro, transfere-se imediatamente os pedaços para determinação da umidade, com a Equação 1:

Equação 1: Determinação do teor de umidade.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps}$$

Onde:

- h = Teor de umidade, em porcentagem;
- Ph = Peso do material úmido;
- Ps = Peso do material seco em estufa a 105 °C, até a constância de peso.

As pesagens devem ser feitas em uma balança de precisão de 0,01 gramas.

Deve-se repetir os processos citados acima até que se obtenha três valores que mantenham uma constância de 5% entre os cálculos das amostras.

Os resultados esperados destes ensaios são os seguintes:

- Calcula-se o Índice de Plasticidade de um solo pela diferença numérica entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade;
- Quando o Limite de Liquidez ou Limite de Plasticidade não puderem ser determinados, anota-se um Índice de Plasticidade como NP (não plástico). No caso do solo extremamente arenoso, o ensaio de Limite de Plasticidade deve ser feito antes do ensaio de Limite de Liquidez. Se o Limite de Plasticidade não puder ser determinado, também deve-se anotar ambos como NP. Quando o Limite de Plasticidade for igual ou maior do que o Limite de Liquidez, também se anota o Índice de Plasticidade como NP.

3.1.2.4 Ensaio de Limite de Liquidez

Limite de Liquidez é o limite de teor de umidade que marca a transição do estado plástico da amostra para o estado líquido.

Todo o método de ensaio a seguir estará segundo a normativa DNER - ME 122/94, Solos - determinação do Limite de Liquidez, com as definições pré-estabelecidas na normativa em relação a Limite de Liquidez e curva de fluidez. Inicialmente será feita a preparação da amostra para ensaios de caracterização de solos, conforme norma DNER - ME 041/94. Tomam-se cerca de 70 gramas da amostra do solo, prosseguindo assim com a execução do ensaio, coloca-se a amostra na cápsula, acrescenta-se de 15 cm³ a 20 cm³ de água destilada e homogeneíza-se a mistura do solo e água. Após a homogeneização da amostra, se

faz adições de água da ordem de 1cm^3 a 3cm^3 , procedendo-se sempre a perfeita homogeneização da mistura, que deve se apresentar como uma massa plástica. O tempo de homogeneização de cada amostra deve compreender entre 15min e 30min, sendo o maior intervalo para o solo argiloso.

Utilizar uma porção de amostra misturada suficiente para espalhar a massa plástica, de tal modo que a mesma se aproxime de 2/3 da superfície da concha. Empregar o menor número de passadas da espátula na superfície da amostra para evitar formação de bolhas de ar no interior da massa, alisar com a espátula a massa de solo, até que esta se apresente com 1cm de espessura no ponto de máxima. Quaisquer excessos de massa devem ser retirados e devolvidos à cápsula de armazenamento respectiva.

Produzir uma canelura na massa de solo, segundo o plano de simetria do aparelho, usando o cinzel, de tal modo que a espessura da massa na parte central seja de 1cm. Segue a utilização específica do cinzel para cada tipo de solo, citado na norma DNER - ME 122/94.

Golpear contra a base do aparelho casa grande, pelo acionamento da manivela, a concha que contém a amostra, com uma velocidade constante de duas voltas por segundo, até que as bordas da canelura se unam na extensão de 1cm.

Transferir uma porção da amostra com a espátula para uma cápsula, pesando imediatamente o conjunto recipiente mais solo, levando-o para a estufa a 105°C - 110°C , para determinação da umidade, utilizar uma balança de precisão de 0,01 gramas, determinando a umidade pela Equação 2:

Equação 2: Determinação do teor de umidade.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

- h = Teor da umidade, em porcentagem;
- Ph = Massa do solo úmido;
- Ps = Massa do solo seco em estufa, seco até constância de massa.

Retirar o solo remanescente na concha, transferindo-a para a concha de porcelana. Repetir estes procedimentos pelo menos mais três vezes, com adições de água gradativamente crescentes. Objetivando esse processo a fim de obter solo de consistência que permita pelo menos uma determinação do número de golpes em cada um dos intervalos: 25-35, 20-30 e 15-25.

Tendo como resultado os valores de umidade e número de golpes que serão representados em um sistema de eixos ortogonais, ordenado em escala logarítmica, sendo representados a abscissa e os números de golpes, na escala aritmética, correspondendo com os teores de umidade. Deve ser traçada uma reta dos pontos lançados no gráfico de pelo menos três pontos.

O Limite de Liquidez é expresso em teor de umidade.

Na impossibilidade de se conseguir a abertura de uma canelura na massa de solo existente na concha ou o seu fechamento ultrapassar o valor de 25 golpes, considerar a amostra como não apresentando Limite de Liquidez.

O ensaio deve ser realizado para duas determinações diferentes, atendendo ao intervalo de 20-30 para número de golpes (N) e da faixa de umidade de no máximo 150%, conforme Figura 9.

Figura 9 - Valores de K (N) em função do número de golpes.

Nº de golpes, (N)	K (N)
20	0,966
21	0,973
22	0,980
23	0,987
24	0,994
25	1,000
26	1,006
27	1,012
28	1,018
29	1,023
30	1,029

Fonte: DNER - ME 122/94, p. 05.

O Limite de Liquidez é determinado pela Equação 3 e 4:

Equação 3: Determinação do Limite de Liquidez.

$$LL = h \times (N/25) \times 0,156$$

Equação 4: Determinação do Limite de Liquidez.

$$LL = h \times K$$

Onde:

- h = Teor de umidade (%), corresponde a N golpes;
- N = Número de golpes na determinação de um ponto do ensaio;
- LL = Limite de Liquidez (%).

No caso de os valores apresentarem importâncias com mais de 1% de variação, os ensaios devem ser refeitos.

O Limite de Liquidez é a média das duas determinações.

3.1.2.5 Ensaio de *Índice Suporte Califórnia*

Os ensaios de Índice de Suporte Califórnia determinam a capacidade de suporte do solo compactado, para o dimensionamento de pavimentos rodoviários.

Todo o método de ensaio a seguir estará segundo a normativa DNIT 172/2016 - ME, solos - determinação do *Índice de Suporte Califórnia*, utilizando amostras não trabalhadas. Inicialmente deve-se secar ao ar a amostra recebida, destorroando no almofariz pela mão de gral, homogeneizando e reduzindo a amostra, com o auxílio do quartiador de amostras, até se obter uma amostra representativa de 6000 gramas, para solos siltosos ou argilosos, e 7000 gramas, para solos arenosos e pedregulhosos. A amostra considerada deve passar na peneira de 19 mm de abertura (malha $\frac{3}{4}$) e reter na peneira de abertura 4,8 mm (malha N° 4). Repetindo o procedimento por quantas vezes necessárias conforme solicitação, mínimo de cinco 5 moldes.

Fixa-se o molde à sua base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apoia-se o conjunto em uma base fixa. Compacta-se o material referido com o disco espaçador usado como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se ter uma altura total de solo de 12,5cm, depois de compactado. Cada camada deve receber 12 (doze) golpes do soquete, no caso de material de subleito. Nos casos de sub-base, 26 (vinte e seis) golpes e base 55 (cinquenta e cinco) golpes, sendo distribuídos uniformemente sobre sua superfície. Ou conforme solicitação de projeto.

Remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes cuidado de destacar, com o auxílio de uma espátula, o material a ele aderente. Com uma régua rígida bisela, rasa-se o material na altura exata do molde e determina-se o peso do material úmido compactado. Retira-se do material excedente da moldagem uma amostra representativa de cerca de 100g,

para determinação do teor de umidade. Pesa-se a amostra e seca-se em estufa a 105°C - 110°C, até constância de massa, e executam-se as pesagens de amostra seca.

Repete-se as operações acima, para teores crescentes de umidade, utilizando amostras de solo não trabalhadas, quantas vezes necessárias para caracterizar a curva de compactação. Estes corpos moldados serão utilizados nos ensaios de expansão e penetração.

O ensaio de expansão, com a utilização dos corpos de prova moldados anteriormente serão necessárias para caracterizar a curva de compactação, removendo o disco espaçador de cada corpo de prova deve e os moldes devem ser invertidos e fixados nos respectivos pratos base perfurados em local solido.

Em cada molde de corpo de prova, no espaço do disco espaçador, deve ser colocada a haste de expansão com os pesos anelares. Essa carga deve ser superior a 4,536kg.

Instala-se na haste de expansão um extensômetro fixo ao porta-extensômetro, posto na borda superior do cilindro, para a medir as expansões ocorridas, que devem ser anotadas a cada 24 horas, em porcentagens da relação de altura inicial do corpo de prova.

Os corpos de prova devem ficar submersos em água durante 96 horas.

Terminando o período de embebição que seria a imersão no período de 4 dias, cada molde deve ser retirado da imersão e mantido em repouso para escoar a água durante quinze minutos. Após esse tempo, o molde estará preparado para a penetração.

Para o ensaio de penetração é necessária a prensa de CBR. Para esse ensaio devem ser colocadas cada molde no encaixe de rompimento da prensa, as mesmas cargas utilizadas no ensaio de expansão anterior.

Esse conjunto deve ser transportado para o prato da prensa e inicia-se o ensaio com o pistão de penetração no molde, com a aplicação de uma carga média de 45N, controlada pela leitura no extensômetro do anel dinamométrico, que é o que mede a penetração do pistão no solo.

As leituras são obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo. As leituras efetuadas no extensômetro do anel medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas. Considerando no extensômetro do anel, a função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado, conforme Figura 10.

Figura 10 - Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo.

Tempo (min)	Penetração		Leitura no extensômetro do anel (mm)
	pol	mm	
0,5	0,025	0,63	-
1,0	0,050	1,27	-
1,5	0,075	1,90	-
2,0	0,100	2,54	-
3,0	0,150	3,81	-
4,0	0,200	5,08	-
6,0	0,300	7,62	-
8,0	0,400	10,16	-
10,0	0,500	12,70	-

Fonte: DNIT 172/2016 - ME.

O cálculo da massa específica aparente do solo seco compactado é determinada a massa específica aparente úmida, como mostra a Equação 5:

Equação 5: Determinação da massa específica.

$$\mu = \frac{Ph}{V}$$

Onde:

- Ph = Massa do solo úmido compactado;
- V = Volume do solo úmido compactado.

Em seguida se obtém a massa específica aparente do solo seco compactado através da Equação 6 e 7:

Equação 6: Determinação da massa específica.

$$\mu_z = \frac{\mu_h \times 100}{100 + h}$$

Equação 7: Determinação do teor da umidade do solo compactado.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

- h = Teor de umidade do solo compactado;
- Ph = Massa do material úmido;
- Ps = Massa do material seco.

O cálculo da expansão e o cálculo da água absorvida durante a embebição, para cada corpo de prova, deve ser utilizado os seguintes dados representados na Figura 11.

Figura 11 – Tabela para cálculo de expansão.

Data	Hora	Tempo decorrido min.	Molde nº		
			Leituras no extensômetro Mm	Diferenças de leituras no extensômetro mm	Expansão %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

Fonte: DNIT 172/2016 - ME.

- Coluna 1 – Data do início do ensaio;
- Coluna 2 – Horário das leituras efetuadas no extensômetro;
- Coluna 3 – Variação de tempo decorrido entre as leituras do extensômetro, que devem ser de a cada 24 horas;
- Coluna 4 – Leituras no extensômetro;
- Coluna 5 – Diferença das leituras efetuadas de 24 em 24 horas;
- Coluna 6 – Percentagem de expansão relativa à altura inicial do corpo de prova.

Equação 8: Determinação da expansão.

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

O Cálculo do Índice de Suporte Califórnia corresponde a leitura de cada corpo de prova, seguindo a tabela da Figura 12.

Figura 12 - Cálculo do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Tempo min (1)	Penetração (2)		Pressão padrão kgf/cm² (3)	Molde nº			
	mm	pol.		Leituras no extensômetro mm (4)	Pressão		(7) ISC %
					Calculada kgf/cm² (5)	Corrigida kgf/cm² (6)	
0,5	0,63	0,025	-				
1,0	1,27	0,050	-				
1,5	1,90	0,075	-				
2,0	2,54	0,100	70,31				
3,0	3,81	0,150	-				
4,0	5,08	0,200	105,46				
6,0	7,62	0,300	131,58				
8,0	10,16	0,400	161,71				
10,0	12,7	0,500	182,80				

Fonte: DNIT 172/2016 - ME.

- Coluna 1 – Tempo;
- Coluna 2 – Penetração ocorrida no tempo especificado;
- Coluna 3 – Pressão exercida padrão, correspondente a um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%;
- Coluna 4 – Leituras no extensômetro do anel;
- Coluna 5 – Pressão correspondente as leituras do anel gráfico de aferição do mesmo;
- Coluna 6 – Pressão corrigida;
- Coluna 7 – Índice de Suporte Califórnia (ISC).

O Índice de Suporte Califórnia (ISC), em porcentagem, para cada corpo de prova deve seguir a Equação 9:

Equação 9: Determinação do Índice de Suporte Califórnia.

$$ISC = \frac{(\text{Pressão calculada ou pressão corrigida}) \times 100}{\text{Pressão padrão}}$$

A determinação da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima é dada por valores das massas específicas aparentes secas de cada molde e corpo de prova e os valores correspondentes das umidades de moldagem permitindo o traçado da curva de

compactação do solo. A ordenada máxima da curva fornece a massa específica aparente seca máxima e a abscissa que lhe corresponde é a umidade ótima do solo.

A determinação gráfica do Índice de Suporte Califórnia final é obtida pelo valor da ordenada dessa curva, correspondente à umidade ótima antes determinada, fornece o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

3.1.2.6 Classificação dos solos

Serão realizadas sondagens conforme respectiva normativa para classificação e identificação do solo local, executando também ensaios complementares para reconhecimento de suas propriedades.

3.1.2.7 Análise dos métodos empregados para correção

O subleito poderá ser executado com o solo local caso apresente um alto valor de CBR, determinados no ensaio DNIT 172/2016 - ME, mas usualmente pode se utilizar de material pétreo caso haja abundância deste, devido a possíveis detonações de rochas locais para traçado da pista projetada.

A regularização do subleito deve ser formada por uma camada que apresente elevado valor de suporte, sendo determinado conforme DNER-ME 024/94 Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman, em relação às deflexões máximas dimensionadas em projeto para camada de regularização do subleito.

Sub-base é a camada final de terraplenagem antes da capa, sendo fixada por norma uma camada onde deve se haver um elevado valor de resistência, para obtenção dos valores máximos de deflexões dimensionados em projeto conforme Manual de Pavimento Rígido, mantendo uma fundação adequada para o pavimento rígido.

3.1.3 ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland)

O método ABCP de dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, utilizado nesse trabalho como método de comparação do dimensionamento do projeto

executivo da duplicação e os resultados de Limites Físicos, Proctor, CBR e expansão encontrados pelo autor. Utilizando os valores de CBR para identificar qual o suporte que o solo apresenta e conseqüentemente através das tabelas, encontra-se a espessura da pista de concreto, podendo ser utilizados os mínimos sugeridos ou conforme solicitação um dimensionamento adequado para o mesmo.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS

Os ensaios realizados e demonstrados nos Apêndices A e B foram executados por meio de coleta de amostra não trabalhada *in loco* e posteriormente preparação da amostra para execução dos ensaios laboratoriais, apresentaram os resultados demonstrados nos capítulos 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4.

4.1.1 Classificação do solo

Conforme os ensaios apresentados no Apêndice A, demonstra-se a caracterização de solo e limites físicos, o solo foi classificado na tabela HRB como A-7-5, um solo argilo-siltoso avermelhado laterítico, derivado do processo de intemperismo físico e químico da rocha basáltica. Conforme mostrado a seguir.

O ensaio granulométrico de peneiramento grosso e fino do solo está compreendido na amostragem apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio Granulométrico.

Ensaio Granulométrico						
	Coluna 1		Coluna 2		Coluna 3	
Resultados	Pedregulho > 4,8		Areia grossa		Areia média	
	Areia fina		Passando na #200			
Ensaio 01	0	%	0,21	%	1,49	%
Ensaio 02	0	%	0,17	%	1,61	%
Ensaio 03	0	%	0,53	%	2,11	%
Ensaio 04	0	%	0,31	%	2,74	%
Ensaio 05	0	%	0,11	%	2,23	%
Média	0	%	0,266	%	2,036	%

Fonte: Autor.

- Primeira etapa de classificação:

Para materiais granulares, é quando se passa 35% ou menos na peneira de malha 200. Quando materiais siltosos e argilosos, passando mais de 35% na peneira de malha 200.

Sendo classificado devido aos valores médios de peneiramento da Coluna 5 da Tabela 1, como um solo que passa mais de 35% do material na peneira de malha 200, como a Figura 13 representa.

Figura 13 - Classificação de solos pela Tabela HRB.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina).

Assim, por análise, a classificação geral do solo se trata de um material siltoso e argiloso.

- Segunda classificação:

A segunda classificação é de acordo com a porcentagem, passando nas peneiras de malhas 10,40 e 200.

Todos os solos da classificação geral de material siltoso e argiloso não devem possuir retenção nas peneiras números 10 e 40, apenas uma porcentagem mínima de 36 passando na peneira de malha 200.

- Terceira classificação:

A terceira classificação envolve o material passando na peneira 40, o Limite de Liquidez e o Índice de Plasticidade, sendo que, não há necessidade da classificação para fração que passa na peneira 40, pois, a porcentagem que passa nessa peneira é de 100%, então não há porcentagem que passa ou é retida.

A média dos valores encontrados no Apêndice A de Limites de Liquidez foi determinada através de ensaios realizados pelo autor, mostrado como valor médio na Coluna

1 da Tabela 2, com um valor de 53,44%, então seguimos a classificação mostrada da Figura 14.

Tabela 2 - Limites Físicos.

Ensaio de Limites Físicos e Classificação do Solo								
	Coluna 1		Coluna 2		Coluna 3		Coluna 4	Coluna 5
Resultados	LL		LP		IP		IG	Classificação HRB
Ensaio 01	52	%	33,9	%	18,1	%	14	A-7-5
Ensaio 02	53,9	%	33,1	%	20,8	%	15	A-7-5
Ensaio 03	55,1	%	32,7	%	22,3	%	16	A-7-5
Ensaio 04	53,4	%	32	%	21,4	%	15	A-7-5
Ensaio 05	52,8	%	32,6	%	20,1	%	15	A-7-5
Média	53,44	%	32,86	%	20,54	%	15	A-7-5

Fonte: Autor.

Figura 14 - Classificação de solos pela Tabela HRB.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina).

Os Grupos A-4 e A-6 foram descartados da classificação pois o Limite de Liquidez excede os limites por eles determinados.

A média dos Índices de Plasticidade obtidos pela relação dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade é de 20,54%, como a Coluna 3 do Tabela 2 apresenta, em seguida a classificação mostrada na Figura 15.

Figura 15 - Classificação de solos pela Tabela HRB.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina).

O Grupo de solos A-5, também foi desclassificado, pois seu limite de Índice de Plasticidade de 11% foi excedido pelo valor encontrado no ensaio, que é de 32,86% como mostra na tabela 2.

O solo já pode ser classificado como Grupo A-7.

- Quarta classificação:

A quarta classificação consiste na avaliação do índice de grupo, que através dos resultados dos ensaios foi calculado, sendo seu valor médio de 15, como indicado na Coluna 4 do Tabela 2. A Figura 16 mostra a classificação final do solo.

A Tabela HRB define, quando $IP < LL - 30$, será solo A-7-5 e se $IP > LL - 30$, será solo A-7-6.

Equação 10 - Classificação entre solos A-7-5 ou A-7-6.

$$20,54 < 53,44 - 30 = 20,54 < 23,44$$

Solo classificado como Grupo A-7-5.

Figura 16 - Classificação de solos pela Tabela HRB.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
	Grupo	A-1-a		A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5	A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)		50 máx. 30 máx. 15 máx.		50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.			35 máx. 35 máx. 35 máx.	35 máx.			36 mín. 36 mín. 36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)								40 máx. 41 mín. 40 máx.	41 mín. 40 máx.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	41 mín.
Índice de Grupo		6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
		0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Materiais que predominam		Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre					

Fonte: UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina).

Para definição de qual rocha originou o solo através de sua derivação pelo processo de intemperismo físico e químico, usa-se a Figura 17 como referência. Levam-se em consideração os valores de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

Figura 17 - Identificação da derivação do solo.

Material n.	Identificação	LL %	LP %	Granulometria % que passa na #s n. 10 / 40 / 200	Classificação HRB
0	Brita Graduada	NP	NP		
1	Brita Graduada	NP	NP		
2	Areia Argilosa Laterítica RJ, Brasil.	29	10		
3	Areia Silto-argilosa sedimentar, Suíça.	17	5		
4	Areia siltosa saprolítica sobre Gnaisse, SP, Brasil.	28	9		
5	Argila Laterítica de Basalto, SP, Brasil.	54	24		
6	Argila saprolítica sobre Basalto, SP, Brasil.	56	25		

Fonte Manual de Pavimentação DNIT.

Sendo que a numeração de cada material tem sua descrição:

- O material 0 corresponde ao material especificado pelo DNIT para construção de bases granulares para rodovias, com curva granulométrica dentro da Faixa Granulométrica D;

- O material 1 precisa sofrer estabilização granulométrica para atender às especificações do DNIT para constituir material de base granular de Faixa Granulométrica D;
- O material 2 tem sido utilizado como base de rodovias de baixo volume de tráfego. Apresenta baixo Índice de Expansão e alta resistência de CBR. Perde pouca resistência ao entrar em contato com a água;
- O material 3 foi estabilizado com cimento e utilizado como sub-base;
- O material 4 apresenta-se expansivo e de baixa resistência CBR. Perde consideravelmente sua resistência ao entrar em contato com a água e é altamente erosivo em taludes;
- O material 5 apesar de ser muito contrátil e apresentar trincamento, é pouco expansivo e possui resistência considerável. Perde pouca resistência ao entrar em contato com a água e tem sido utilizado frequentemente em bases de pavimento com baixo volume de tráfego;
- O material 6 pode ser contrátil e expansivo e perde resistência ao entrar em contato com a água.

Com as médias dos valores de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade apresentados na Tabela 10, é um solo de argila siltosa avermelhada, laterítica derivado do processo de intemperismo físico e químico da rocha basáltica.

4.1.2 Proctor

O ensaio de Proctor por energia normal de compactação; definido para solos que compõem a camada de subleito. Como o Apêndice B apresenta, foram moldados cinco pontos por ensaio para se obter uma curva de densidade aparente de maior precisão. Obtendo-se a média dos valores de densidade aparente seca, como indicado na Coluna 1, Tabela 3 e a umidade ótima de serviço, apresentada na Coluna 2, Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaio Proctor.

Ensaio Proctor		
	Coluna 1	Coluna 2
Resultados	Densidade Seca Máx	Umidade Ótima
Ensaio 01	1,385 g/cm ²	33,2 %
Ensaio 02	1,379 g/cm ²	33,1 %
Ensaio 03	1,419 g/cm ²	31,7 %
Ensaio 04	1,424 g/cm ²	33,1 %
Ensaio 05	1,424 g/cm ²	31,5 %
Média	1,406 g/cm ²	32,52 %

Fonte: Autor.

4.1.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia do Apêndice B apresentou uma média de CBR = 12,26% como a Tabela 4 demonstra, que segundo norma DNER – ME 049/94, deve estar compreendido entre 2% e 20% para poder ser utilizado para efetivo dimensionamento do projeto da pavimentação como subleito.

Tabela 4 - Ensaio de CBR.

Ensaio CBR		
Resultados	I.S.C	
Ensaio 01	12,6	%
Ensaio 02	12,2	%
Ensaio 03	13,5	%
Ensaio 04	10,8	%
Ensaio 05	12,2	%
Média	12,26	%

Fonte: Autor.

4.1.4 Expansão do Solo

A expansão do solo é apresentada de acordo com o Apêndice B, um baixo valor de expansão das amostras, segundo a Tabela 5, confirmando assim que o solo não é expansivo, ou seja, não faz parte do grupo dos solos orgânicos.

Tabela 5 - Ensaio de Expansão.

Ensaio de Expansão		
Resultados	Expansão	
Ensaio 01	0,15	%
Ensaio 02	0,24	%
Ensaio 03	0,17	%
Ensaio 04	0,17	%
Ensaio 05	0,08	%
Média	0,162	%

Fonte: Autor.

4.2 COMPARATIVO

Apresentação dos resultados demonstrados no projeto e os resultados encontrados pelo autor, visando a comparação de dimensionamento de espessura Coeficiente de Recalque da pista de concreto.

4.2.1 Dimensionamento do coeficiente de recalque do solo com os resultados encontrados neste trabalho

Para fatores de dimensionamento, adotando as tabelas preconizadas pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o coeficiente de recalque K deve ser menor que 60 Mpa/metros, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Coeficiente de recalque máximo.

Tipo de solo (AASHTO M 145)	Coeficiente de recalque (MPa/m)
A1-a	≥ 110
A1-b	70 a 165
A2-4, A2-5	≥ 80
A2-6, A2-7	50 a 90
A3	55 a 90
A4	25 a 80
A5	≤ 50
A6	≤ 60
A7-5, A7-6	≤ 60

Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, 1998, p. 12.

De acordo com o CBR médio encontrado com os ensaios apresentados no Apêndice B, pode-se adotar o valor de CBR = 12%, para fator de cálculo a favor da segurança, obtendo-se o valor de $K = 53$ MPa/m, como a Figura 19 representa.

Figura 19 - Valor correspondente de K em relação a CBR.

Índice de su- porte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)	Índice de su- porte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)
2	16	12	53
3	24	13	54
4	30	14	56
5	34	15	57
6	38	16	59
7	41	17	60
8	44	18	61
9	47	19	62
10	49	20	63
11	51		

Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, 1998, p.13

Leva-se em consideração a contribuição estrutural da camada de sub-base em CCR (Concreto Compactado ao Rolo), com espessura de 10cm, obtendo um coeficiente de recalque $K = 152$ MPa/m, assim como a Figura 20 indica.

Figura 20 – Coeficiente K para presença de sub-base de CCR.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a		
CBR (%)	k (MPa/m)	10 cm	12,5 cm	15 cm
2	16	65	77	98
3	24	87	101	126
4	30	101	118	145
5	34	111	128	158
6	38	120	138	169
7	41	127	145	177
8	44	133	152	186
9	47	140	159	194
10	49	144	164	199
11	51	148	168	204
12	53	152	173	209
13	54	154	175	211
14	56	158	179	216
15	57	160	182	219
16	59	164	186	224
17	60	166	188	226
18	61	168	190	229
19	62	170	192	231
20	63	172	194	233

Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, 1998, p 17.

4.2.2 Dimensionamento de projeto da empreiteira

De acordo com o CBR médio encontrado com os ensaios, pode-se adotar o valor de CBR = 10%, para fator de cálculo a favor da segurança, obtendo-se o valor de K = 49 MPa/m, como visto na Figura 21.

Figura 21 - Valor correspondente de K em relação a CBR.

Índice de su- porte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)	Índice de su- porte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)
2	16	12	53
3	24	13	54
4	30	14	56
5	34	15	57
6	38	16	59
7	41	17	60
8	44	18	61
9	47	19	62
10	49	20	63
11	51		

Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, 1998, p. 13.

Levando em consideração a contribuição estrutural da camada de sub-base em CCR (Concreto Compactado ao Rolo) com espessura de 10cm, obtendo um coeficiente de recalque $K = 144 \text{ MPa/m}$, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Coeficiente K para presença de sub-base de CCR.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a		
CBR (%)	k (MPa/m)	10 cm	12,5 cm	15 cm
2	16	65	77	98
3	24	87	101	126
4	30	101	118	145
5	34	111	128	158
6	38	120	138	169
7	41	128	145	177
8	44	133	152	186
9	47	140	159	194
10	49	144	164	199
11	51	148	168	204
12	53	152	173	209
13	54	154	175	211
14	56	158	179	216
15	57	160	182	219
16	59	164	186	224
17	60	166	188	226
18	61	168	190	229
19	62	170	192	231
20	63	172	194	233

Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, 1998, p 17.

4.3 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO

Para o dimensionamento de espessura de pavimento rígido, foi verificado que o valor de CBR de ensaio do autor adotado foi de 12% resultando em $k = 53$ MPa/m e de projeto devido que para o dimensionamento da placa de concreto, foram adotadas as tabelas preconizadas pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland de correlação entre o coeficiente de recalque do subleito (k) e o Índice de Suporte Califórnia (ISC). Deste modo, para o projeto em questão, com o ISC estimado do subleito igual a 10%, obtém-se como resultado da tabela um $k = 49$ MPa/m para o subleito. Com o intuito de proteger a camada compactada do subleito, permitir a drenagem do pavimento e prevenir o bombeamento do solo do subleito para a sub-base de CCR, será colocada uma camada de macadame seco com espessura mínima de 15 cm. A presença desta camada de macadame seco promove um aumento no coeficiente de recalque do subleito, resultando em $k = 58$ MPa/m. Levando-se em consideração a contribuição estrutural da camada de sub-base de CCR – Concreto Compactado com Rolo de $h = 10$ cm, aplicado sobre a camada de macadame seco, obtém-se um coeficiente de recalque no topo do sistema (ou na camada imediatamente abaixo da placa) de $k = 162$ MPa/m.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que a execução de ensaios de classificação e de suporte de tensões são essenciais para a análise e conhecimento do solo, possibilitando assim uma elaboração de projeto com maior viabilidade técnica financeira e econômica.

O solo local, como apresentado no Apêndice A, é composto por uma argila siltosa avermelhada, laterítica e derivada do processo de intemperismo físico e químico da rocha Basáltica, apresentando no Apêndice B um valor médio de CBR de 12,26%. Isto dá ao solo uma boa capacidade de suporte de tensões para o pavimento de concreto, mas em comparação com o projeto, precisaria de uma maior espessura da pista de concreto. Devido ao fato do projeto adotar uma solução de substituição do solo natural na camada de subleito por macadame seco, que apresenta no projeto executivo um CBR de 15,50%, influenciando na capacidade de suporte do solo e consequentemente em uma menor espessura da pista de concreto. O que pode não um fator que influencie positivamente na economia, pois a remoção e substituição do solo natural por macadame seco e os métodos de execução deste material na camada de subleito podem ser um agravante nos custos finais da obra.

Os materiais, ou seja, o solo local, de acordo com normativa de desempenho DNIT 137/2010 - ES, que determina que para dimensionamento da camada de subleito, o CBR deve-se estar compreendido entre 2% e 20%, o solo está em conformidade com a necessidade de suporte exigido por norma, podendo assim ser dimensionado como material de subleito para o pavimento rígido.

A qualidade dos métodos executivos, seguindo os valores de CBR do projeto executivo, está mantendo a conformidade com as normas e manuais.

Como dito nos capítulos anteriores, a vida útil do pavimento rígido pode ser seriamente comprometida quando as camadas de fundação são executadas de forma incorreta, mas no solo em questão poderá servir como material de fundação para o pavimento rígido, evitando também as patologias com uma manutenção regular.

O estudo de dimensionamento da camada de rolamento não pôde ser finalizado neste trabalho devido à falta das informações do Número N no projeto executivo e impossibilitando os cálculos pelo método PCA 84 de dimensionamento de pavimento rígido.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar os solos considerando outro método de classificação;
- Avaliar a estrutura remanescente (sub-base, base e capa de rolamento);
- Comparar os resultados obtidos com resultados de outras obras executadas;
- Dimensionar o pavimento utilizando médias dos resultados encontrados;
- Comparar dimensionamento existente com o dimensionamento para os resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. Engenheiro Civil Márcio Rocha Pitta.

DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DE CONCRETO.

Disponível em < file:///C:/Users/oito/Downloads/ABCP%20escaneado.pdf>acesso em: 04 out. 2017.

Associação Brasileira de Cimento Portland. Engenheiro Abdo Hallack. **PAVIMENTO DE CONCRETO**. Disponível em <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/10/Aula-Pav.-R%C3%ADgido.pdf>acesso em: 03 mar. 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER ET-DE-P00/011 – Sub-base ou base de macadame seco – Especificação de Serviço**. Curitiba: 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER ET - DE - P00/009 – Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento – BGTC – Especificação técnica**. Curitiba: 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 278/97 - Terraplenagem - Serviços preliminares - Especificações de serviço**. Rio de Janeiro: 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 082/94, Solos - determinação do limite de plasticidade – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: 1994.

_____. **DNER 041/94 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: 1994.

_____. **DNER 035/98 - Agregados - Determinação da abrasão *Los Angeles* – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: 1998.

_____. **DNER 054/97 - Equivalente de areia – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: 1997.

_____. **DNER - ME 086/94 - Agregado – Determinação do índice de forma**. Rio de Janeiro: 1994.

_____. **DNER 089/94 - Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio – Método de Ensaio.** Janeiro: 1994.

_____. **DNER 024/94 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman – Método de Ensaio.** Janeiro: 2009.

_____. **DNER 129/94 – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio, Método A.** Janeiro: 1994.

_____. **DNER 036/95 – Cimento Portland – recebimento e aceitação – Especificação de Material.** Janeiro: 1995.

_____. **DNER 122/94 – Determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito - Método de Ensaio.** Janeiro: 1994.

_____. **DNER 082/94 - Solos - determinação do limite de plasticidade – Método de Ensaio.** Janeiro: 1994.

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

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

_____. **DNIT 108/2009 – Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT 106/2009 – Terraplenagem – Cortes – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT 137/2010 – Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT 105/2009 – Terraplenagem – Caminhos de serviço – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT 107/2009 – Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT 172/2016 – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostra não trabalhadas – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: 2009.

_____. **DNIT - MANUAL DO PAVIMENTO RÍGIDO 2. ED.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **DNIT - MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO 3. ED.** Rio de Janeiro, 2006.

Embrapa Florestas e Universidade Federal do Paraná. Núcleo de pesquisadores. **MAPA SIMPLIFICADO DE SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ**, 2012. Disponível em <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/mapa_solos_pr.pdf>acesso em: 03 mar. 2017.

Faculdade de Tecnologia de Pavimentação. Professor Edson. **CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HRB – HIGHWAY RESEARCH BORD – AASHTO - PARA FINALIDADES RODOVIÁRIAS.** Disponível em < <http://www.professoredmoura.com.br/download/Class.-HRB.pdf>>acesso em: 01 out. 2017.

Portland Cement Association. José Eudes Marinho da Silva, Luiz Antonio Vieira Carneiro. **PAVIMENTOS DE CONCRETO: HISTÓRICO, TIPOS E MODELOS DE FADIGA.** Disponível em <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_2014/RMCT_012_E2C_11.pdf>acesso em: 08 out. 2017.

Universidade do Estado de Santa Catarina. Núcleo de pesquisadores. **TABELA HRB (HIGHWAY RESEARCH BORD) - AASHTO.** Disponível em <http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao__rodoviaria__hrb.pdf>acesso em: 01 out. 2017.

Universidade Federal de Juiz de Fora. Professor Geraldo Luciano de Oliveira Marques.

NOTAS DE AULA DA DISCIPLINA PAVIMENTAÇÃO. Disponível em

<<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>acesso

em: 03 mar. 2017.

APÊNDICE A – LIMITES FÍSICOS

LIMITES FÍSICOS										
Rodovia:	BR-163		Furo:			Nº Golpes:	12		Proctor:	Normal
Trecho:	KM 172,40 - KM 182,40		Amostra:	2		Horizonte:			Data:	14/08/2017
Segmento:	Santa Maria - Vila Goes		Estaca:	8720		Material:	ARGILA		Operador:	Matheus Ramos Santos
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA										
UMIDADE HIGROSCÓPICA			PENEIRAMENTO GROSSO							
Cápsula Nº	11	09	Peneira		Peso da Amostra Seca (gf)			% que Passa de Amostra Total		
(a) Solo Úmido + Tara (gf)	65,30	58,20	Nº	mm	Retido		Passando			
(b) Solo Seco + Tara (gf)	55,00	49,40	2"	50,8						
(c) Tara da Cápsula (gf)	11,90	12,90	1 1/2"	38,1						
(d) Água (a-b) (gf)	10,30	8,80	1"	25,4						
(e) Solo Seco (b-c) (gf)	43,10	36,50	3/4"	19,1						
(f) Teor de Umidade (100*d/e) (%)	23,90	24,11	3/8"	9,5						
Umidade Média (%)	24,00		4	4,8	0,00		1.191,7	100,0%		
			10	2,0	1,98		1.189,7	99,8%		
AMOSTRA TOTAL SECA:			PENEIRAMENTO FINO							
			Recipiente Nº:			Peso da Am. Parcial Úmida (gf):		100,0		
(a) Amostra Total Úmida (gf)	1.477,2		Peneiras		Amostra Seca (gf)		Porcentagem que Passa			
(b) Solo Seco Retido na #10 (gf)	2,0		Nº	mm	Retido	Passando	Amostra Parcial	Amostra Total		
(c) Solo Úmido Pass. #10 (a-b) (gf)	1.475,3		10	2,000	0,00			99,8%		
(d) Solo S. Pass. #10 (c/(1+h)) (gf)	1.189,7		40	0,420	1,30	79,34	98,4%	98,2%		
(e) Amostra Total Seca (b+d) (gf)	1.191,7		200	0,075	1,10	78,24	97,0%	96,9%		
ENSAIOS FÍSICOS										
	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
Cápsula Nº	03	30	22			28	39	06	35	04
Cápsula + Solo Úmido (gf)	24,30	27,90	22,20			18,10	20,60	19,60	20,00	19,20
Cápsula + Solo Seco (gf)	20,50	22,40	18,30			16,50	18,90	17,50	18,00	17,60
Peso da Cápsula (gf)	13,30	12,20	11,50			11,70	13,80	11,30	11,90	12,60
Peso da Água (gf)	3,80	5,50	3,90			1,60	1,70	2,10	2,00	1,60
Peso do Solo Seco (gf)	7,20	10,20	6,80			4,80	5,10	6,20	6,10	5,00
Porcentagem de Água (%)	52,8%	53,9%	57,4%			33,3%	33,3%	33,9%	32,8%	32,0%
Nº de Golpes	22	24	21							
Constante	1,016	1,005	1,022							
Limite de Liquidez Calculado	51,9%	53,7%	56,1%							
RESUMO DOS ENSAIOS										
Pedregulho > 4,8 mm	Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm	Areia Média 2,0 - 0,42 mm	Areia Fina 0,42 - 0,074 mm	Passando na #200						
0,00%	0,17%	1,61%	1,36%	96,86%						
LL	LP	IP	IG	Classificação HRB						
53,9%	33,1%	20,8%	15	A-7-5						

LIMITES FÍSICOS										
Rodovia:	BR-163			Furo:				Nº Golpes:	12	
Trecho:	KM 172,40 - KM 182,40			Amostra:	3			Horizonte:		
Segmento:	Santa Maria - Vila Goes			Estaca:	8820			Material:	ARGILA	
								Proctor:	Normal	
								Data:	21/08/2017	
								Operador:	Matheus Ramos Santos	
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA										
UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO						
Cápsula Nº	30	05		Peneira		Peso da Amostra Seca (gf)		% que Passa de Amostra Total		
(a) Solo Úmido + Tara (gf)	72,60	66,40		Nº	mm	Retido	Passando			
(b) Solo Seco + Tara (gf)	60,50	55,90		2"	50,8					
(c) Tara da Cápsula (gf)	12,20	12,30		1 1/2"	38,1					
(d) Água (a-b) (gf)	12,10	10,50		1"	25,4					
(e) Solo Seco (b-c) (gf)	48,30	43,60		3/4"	19,1					
(f) Teor de Umidade (100*d/e) (%)	25,05	24,08		3/8"	9,5					
Umidade Média (%)	24,57			4	4,8	0,00	1.178,7	100,0%		
				10	2,0	6,20	1.172,5	99,5%		
AMOSTRA TOTAL SECA:				PENEIRAMENTO FINO						
				Recipiente Nº:		Peso da Am. Parcial Úmida (gf):		100,0		
(a) Amostra Total Úmida (gf)	1.466,8			Peneiras		Amostra Seca (gf)		Porcentagem que Passa		
(b) Solo Seco Retido na #10 (gf)	6,2			Nº	mm	Retido	Passando	Amostra Parcial	Amostra Total	
(c) Solo Úmido Pass. #10 (a-b) (gf)	1.460,6			10	2,000	0,00			99,5%	
(d) Solo S. Pass. #10 (c/(1+h)) (gf)	1.172,5			40	0,420	1,70	78,58	97,9%	97,4%	
(e) Amostra Total Seca (b+d) (gf)	1.178,7			200	0,075	0,90	77,68	96,8%	96,3%	
ENSAIOS FÍSICOS										
LIMITE DE LIQUEDEZ						LIMITE DE PLASTICIDADE				
Cápsula Nº	11	22	29			06	04	35	39	09
Cápsula + Solo Úmido (gf)	29,60	24,50	21,60			20,20	16,50	18,50	18,60	19,70
Cápsula + Solo Seco (gf)	23,30	19,90	18,60			18,00	15,60	16,90	17,40	17,80
Peso da Cápsula (gf)	11,90	11,50	13,30			11,30	12,60	11,90	13,80	12,30
Peso da Água (gf)	6,30	4,60	3,00			2,20	0,90	1,60	1,20	1,90
Peso do Solo Seco (gf)	11,40	8,40	5,30			6,70	3,00	5,00	3,60	5,50
Porcentagem de Água (%)	55,3%	54,8%	56,6%			32,8%	30,0%	32,0%	33,3%	34,5%
Nº de Golpes	24	24	22			NÃO				
Constante	1,005	1,005	1,016			NÃO				
Límite de Liqueidez Calculado	55,0%	54,5%	55,7%			NÃO				
RESUMO DOS ENSAIOS										
Pedregulho > 4,8 mm	Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm	Areia Média 2,0 - 0,42 mm	Areia Fina 0,42 - 0,074 mm	Passando na #200						
0,00%	0,53%	2,11%	1,12%	96,25%						
LL	LP	IP	IG	Classificação HRB						
55,1%	32,7%	22,3%	16	A-7-5						

LIMITES FÍSICOS										
Rodovia:	BR-163			Furo:				Nº Golpes:	12	
Trecho:	KM 172,40 - KM 182,40			Amostra:	5			Horizonte:		
Segmento:	Santa Maria - Vila Goes			Estaca:	9020			Material:	ARGILA	
								Proctor:	Normal	
								Data:	04/09/2017	
								Operador:	Matheus Ramos Santos	
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA										
UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO						
Cápsula Nº	03	28		Peneira		Peso da Amostra Seca (gf)		% que Passa de Amostra Total		
(a) Solo Úmido + Tara (gf)	82,30	79,50		Nº	mm	Retido	Passando			
(b) Solo Seco + Tara (gf)	69,20	66,00		2"	50,8					
(c) Tara da Cápsula (gf)	13,30	11,70		1 1/2"	38,1					
(d) Água (a-b) (gf)	13,10	13,50		1"	25,4					
(e) Solo Seco (b-c) (gf)	55,90	54,30		3/4"	19,1					
(f) Teor de Umidade (100*d/e) (%)	23,43	24,86		3/8"	9,5					
Umidade Média (%)	24,15			4	4,8	0,00	1.181,3	100,0%		
				10	2,0	1,26	1.180,0	99,9%		
AMOSTRA TOTAL SECA:			PENEIRAMENTO FINO							
			Recipiente Nº:			Peso da Am. Parcial Úmida (gf):		100,0		
(a) Amostra Total Úmida (gf)	1.466,2		Peneiras		Amostra Seca (gf)		Porcentagem que Passa			
(b) Solo Seco Retido na #10 (gf)	1,3		Nº	mm	Retido	Passando	Amostra Parcial		Amostra Total	
(c) Solo Úmido Pass. #10 (a-b) (gf)	1.464,9		10	2,000	0,00				99,9%	
(d) Solo S. Pass. #10 (c/(1+h)) (gf)	1.180,0		40	0,420	1,80	78,75	97,8%		97,7%	
(e) Amostra Total Seca (b+d) (gf)	1.181,3		200	0,075	0,80	77,95	96,8%		96,7%	
ENSAIOS FÍSICOS										
	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
Cápsula Nº	35	04	39			06	29	09	30	22
Cápsula + Solo Úmido (gf)	18,60	20,10	19,60			20,30	21,50	23,60	25,10	23,00
Cápsula + Solo Seco (gf)	16,30	17,50	17,60			18,10	19,50	20,80	21,90	20,00
Peso da Cápsula (gf)	11,90	12,60	13,80			11,30	13,30	12,30	12,20	11,50
Peso da Água (gf)	2,30	2,60	2,00			2,20	2,00	2,80	3,20	3,00
Peso do Solo Seco (gf)	4,40	4,90	3,80			6,80	6,20	8,50	9,70	8,50
Porcentagem de Água (%)	52,3%	53,1%	52,6%			32,4%	32,3%	32,9%	33,0%	35,3%
Nº de Golpes	25	25	26			NÃO				
Constante	1,000	1,000	0,995							
Límite de Liquidez Calculado	52,3%	53,1%	52,9%							
RESUMO DOS ENSAIOS										
Pedregulho > 4,8 mm	Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm	Areia Média 2,0 - 0,42 mm	Areia Fina 0,42 - 0,074 mm	Passando na #200						
0,00%	0,11%	2,23%	0,99%	96,67%						
LL	LP	IP	IG	Classificação HRB						
52,8%	32,6%	20,1%	15	A-7-5						

LIMITES FÍSICOS																																			
Rodovia:	BR-163		Furo:			Nº Golpes:	12		Proctor:	Normal																									
Trecho:	KM 172,40 - KM 182,40		Amostra:	4		Horizonte:			Data:	28/08/2017																									
Segmento:	Santa Maria - Vila Goes		Estaca:	8920		Material:	ARGILA		Operador:	Matheus Ramos Santos																									
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA																																			
UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRAMENTO GROSSO																															
Cápsula Nº	23	12	Peneira		Peso da Amostra Seca (gf)			% que Passa de Amostra Total																											
(a) Solo Úmido + Tara (gf)	80,20	84,60	Nº	mm	Retido		Passando																												
(b) Solo Seco + Tara (gf)	66,80	70,00	2"	50,8																															
(c) Tara da Cápsula (gf)	12,50	12,10	1 1/2"	38,1																															
(d) Água (a-b) (gf)	13,40	14,60	1"	25,4																															
(e) Solo Seco (b-c) (gf)	54,30	57,90	3/4"	19,1																															
(f) Teor de Umidade (100*d/e) (%)	24,68	25,22	3/8"	9,5																															
Umidade Média (%)	24,95		4	4,8	0,00		1.171,1		100,0%																										
			10	2,0	3,60		1.167,5		99,7%																										
AMOSTRA TOTAL SECA:			PENEIRAMENTO FINO																																
			Recipiente Nº:				Peso da Am. Parcial Úmida (gf):		100,0																										
(a) Amostra Total Úmida (gf)	1.462,3		Peneiras		Amostra Seca (gf)		Porcentagem que Passa																												
(b) Solo Seco Retido na #10 (gf)	3,6		Nº	mm	Retido	Passando	Amostra Parcial		Amostra Total																										
(c) Solo Úmido Pass. #10 (a-b) (gf)	1.458,7		10	2,000	0,00				99,7%																										
(d) Solo S. Pass. #10 (c/(1+h)) (gf)	1.167,5		40	0,420	2,20	77,83	97,3%		97,0%																										
(e) Amostra Total Seca (b+d) (gf)	1.171,1		200	0,075	1,30	76,53	95,6%		95,3%																										
ENSAIOS FÍSICOS																																			
	LIMITE DE LIQUEDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE																													
Cápsula Nº	30	06	03			22	50	39	38	04																									
Cápsula + Solo Úmido (gf)	24,90	27,30	21,90			17,00	17,60	20,40	19,20	18,40																									
Cápsula + Solo Seco (gf)	20,50	22,40	18,90			15,70	16,60	18,70	17,70	17,00																									
Peso da Cápsula (gf)	12,20	13,30	13,30			11,50	13,60	13,80	12,90	12,60																									
Peso da Água (gf)	4,40	4,90	3,00			1,30	1,00	1,70	1,50	1,40																									
Peso do Solo Seco (gf)	8,30	9,10	5,60			4,20	3,00	4,90	4,80	4,40																									
Porcentagem de Água (%)	53,0%	53,8%	53,6%			31,0%	33,3%	34,7%	31,3%	31,8%																									
Nº de Golpes	25	23	26			NÃO																													
Constante	1,000	1,010	0,995																																
Limite de Liqueidez Calculado	53,0%	53,3%	53,9%																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">RESUMO DOS ENSAIOS</th> </tr> <tr> <th>Pedregulho > 4,8 mm</th> <th>Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm</th> <th>Areia Média 2,0 - 0,42 mm</th> <th>Areia Fina 0,42 - 0,074 mm</th> <th>Passando na #200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,00%</td> <td>0,31%</td> <td>2,74%</td> <td>1,62%</td> <td>95,33%</td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>LP</td> <td>IP</td> <td>IG</td> <td>Classificação HRB</td> </tr> <tr> <td>53,4%</td> <td>31,8%</td> <td>21,6%</td> <td>15</td> <td>A-7-5</td> </tr> </tbody> </table>											RESUMO DOS ENSAIOS					Pedregulho > 4,8 mm	Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm	Areia Média 2,0 - 0,42 mm	Areia Fina 0,42 - 0,074 mm	Passando na #200	0,00%	0,31%	2,74%	1,62%	95,33%	LL	LP	IP	IG	Classificação HRB	53,4%	31,8%	21,6%	15	A-7-5
RESUMO DOS ENSAIOS																																			
Pedregulho > 4,8 mm	Areia Grossa 4,8 - 2,0 mm	Areia Média 2,0 - 0,42 mm	Areia Fina 0,42 - 0,074 mm	Passando na #200																															
0,00%	0,31%	2,74%	1,62%	95,33%																															
LL	LP	IP	IG	Classificação HRB																															
53,4%	31,8%	21,6%	15	A-7-5																															

APÊNDICE B – ENSAIOS: CBR, COMPACTAÇÃO, DETERMINAÇÃO DE UMIDADE E EXPANSÃO

ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 049-94)											
Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:							
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	07/08/17							
Camada / Estaca / Posição:		Material:	Registro:	Energia:	Operador:						
Sub-leito 8620		Argila	1	Normal	Matheus Ramos Santos						
COMPACTAÇÃO											
Cilindro nº	12	9	5	17	2						
Água Adicionada(ml)	100	200	300	400	500						
Cilindro+Solo Umido(g)	7.162	8.154	8.402	7.710	9.500						
Peso do Cilindro(g)	4.070	4.656	4.640	3.910	5.626,0						
Peso do Solo Umido(g)	3.092	3.498	3.762	3.800	3.874						
Volume do Cilindro(cm³)	2.074	2.078	2.080	2.072	2.070						
Dens. Apar. Úmida(g/cm³)	1,491	1,683	1,809	1,834	1,871						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	11	4	5	22	28	30	9	39	23	3	
Cápsula+Solo Umido(g)	101,50	112,80	80,30	86,00	71,40	74,50	79,80	71,90	87,20	97,70	
Cápsula+Solo Seco(g)	83,20	92,40	65,30	69,40	57,30	59,70	63,30	57,70	68,10	76,10	
Peso da Água(g)	18,30	20,40	15,00	16,60	14,10	14,80	16,50	14,20	19,10	21,60	
Peso da Cápsula(g)	11,90	12,60	12,30	11,50	11,70	12,20	12,30	13,80	12,50	13,30	
Peso do Solo Seco(g)	71,30	79,80	53,00	57,90	45,60	47,50	51,00	43,90	55,60	62,80	
Teor de Umidade(%)	25,7	25,6	28,3	28,7	30,9	31,2	32,4	32,3	34,4	34,4	
Umidade Adotada(%)	25,7		28,5		31,1		32,4		34,4		
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,187		1,310		1,380		1,386		1,392		
EXPANSÃO											
Data	Hora	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,00	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,20	Alt. CP (mm)	114,30
		Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
7/8/17	16:30	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
8/8/17	16:30	1,22	0,19	1,12	0,11	1,09	0,08	1,05	0,04	1,01	0,01
9/8/17	16:30	1,54	0,47	1,44	0,39	1,14	0,12	1,12	0,11	1,03	0,03
10/8/17	16:30	1,69	0,60	1,51	0,45	1,20	0,17	1,14	0,12	1,04	0,03
11/8/17	16:30	1,98	0,86	1,78	0,68	1,23	0,20	1,18	0,16	1,05	0,04
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:	Constantes do Anel		0,1087		a: 0,1087		0,1087				
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	1	0,1	20	2,2	55	6,0	6	0,7	7	0,8
1	1,27	5	0,5	37	4,0	80	8,7	19	2,1	15	1,6
1,5	1,91	7	0,8	60	6,5	100	10,9	36	3,9	26	2,8
2	2,54	10	1,1	75	8,2	120	13,0	65	7,1	33	3,6
3	3,81	13	1,4	85	9,2	135	14,7	109	11,8	55	6,0
4	5,08	16	1,7	91	9,9	148	16,1	132	14,3	72	7,8
6	7,62	20	2,2	105	11,4	182	19,8	168	18,3	97	10,5
8	10,16	25	2,7	111	12,1	195	21,2	186	20,2	106	11,5
10	12,70	32	3,5	116	12,6	201	21,8	196	21,3	113	12,3
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		1,2	2	8,4	11,9	13,0	18,6	11,3	16,0	4,8	6,8
I.S.C. 0,2"		1,8	1,7	10,0	9,5	16,1	15,3	16,1	15,2	8,5	8,1
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=		1,385		UMID. ÓTIMA(%)=		33,2		I.S.C.(%)=			
								12,6		EXPANSÃO(%)=	

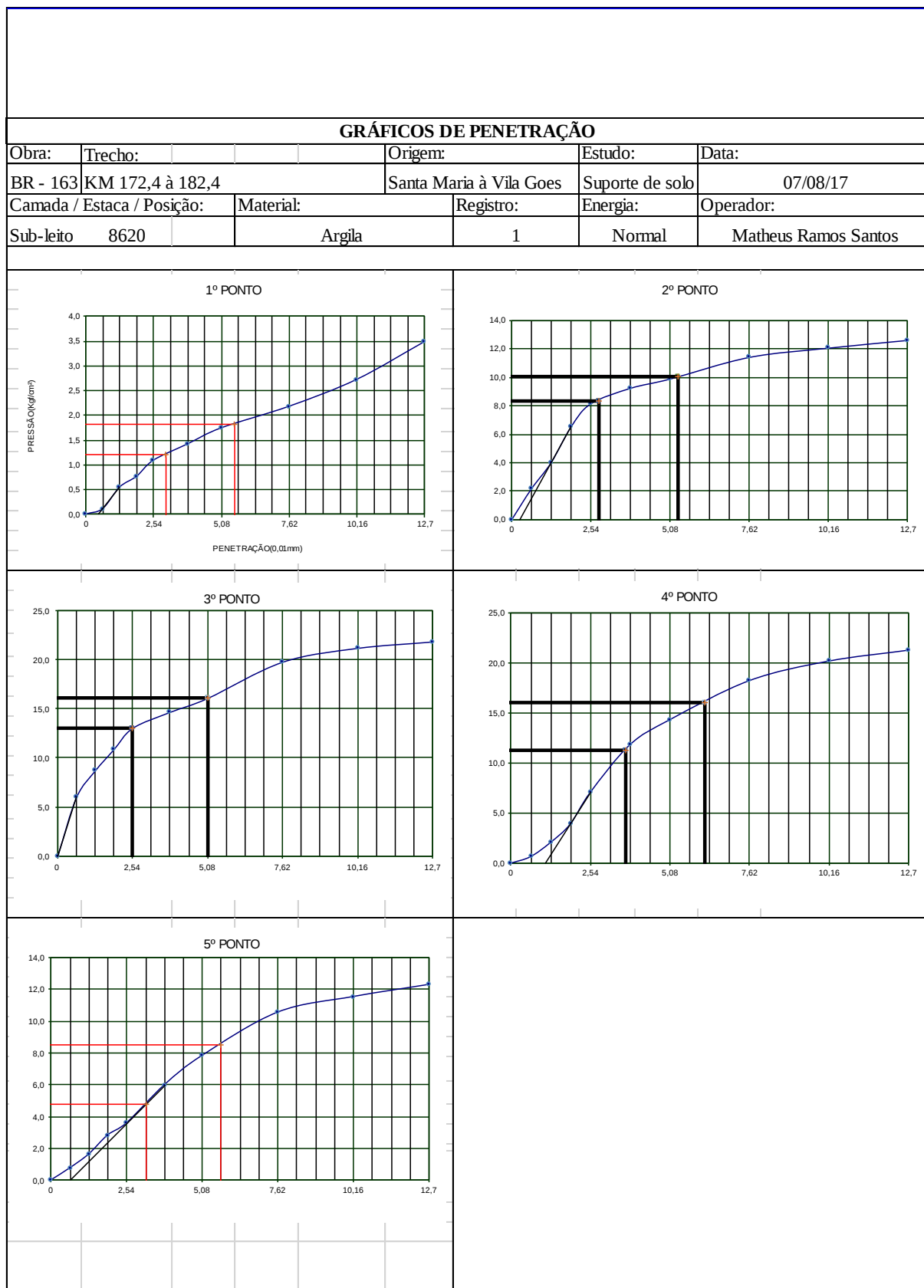
ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 049-94)											
Obra:	Trecho:			Origem:		Estudo:		Data:			
BR - 163	KM 172,4 à 182,4			Santa Maria à Vila Goes		Suporte de solo		14/08/17			
Camada / Estaca / Posição:		Material:		Registro:		Energia:		Operador:			
Sub-leito 8720		Argila		2		Normal		Matheus Ramos Santos			
COMPACTAÇÃO											
Cilindro nº	5	2	12	17	9						
Água Adicionada(ml)	100	200	300	400	500						
Cilindro+Solo Úmido(g)	7.706	9.042	7.789	7.700	8.526						
Peso do Cilindro(g)	4.640	5.626	4.070	3.910	4.656						
Peso do Solo Úmido(g)	3.066	3.416	3.719	3.790	3.870						
Volume do Cilindro(cm³)	2.080	2.070	2.074	2.072	2.078						
Dens. Apar. Úmida(g/cm³)	1,474	1,650	1,793	1,829	1,862						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	38	12	22	39	3	4	30	6	5	50	
Cápsula+Solo Úmido(g)	98,30	95,30	91,60	90,20	82,50	81,30	94,60	99,30	100,60	100,00	
Cápsula+Solo Seco(g)	80,60	78,30	73,80	73,50	66,30	65,20	74,30	78,20	78,60	77,90	
Peso da Água(g)	17,70	17,00	17,80	16,70	16,20	16,10	20,30	21,10	22,00	22,10	
Peso da Cápsula(g)	12,90	12,10	11,50	13,80	13,30	12,60	12,20	13,30	12,30	13,60	
Peso do Solo Seco(g)	67,70	66,20	62,30	59,70	53,00	52,60	62,10	64,90	66,30	64,30	
Teor de Umidade(%)	26,1	25,7	28,6	28,0	30,6	30,6	32,7	32,5	33,2	34,4	
Umidade Adotada(%)	25,9		28,3		30,6		32,6		33,8		
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,171		1,286		1,373		1,379		1,392		
EXPANSÃO											
Data	Hora	Alt. CP (mm) Leitura	114,30 Expansão	Alt. CP (mm) Leitura	114,00 Expansão	Alt. CP (mm) Leitura	114,30 Expansão	Alt. CP (mm) Leitura	114,20 Expansão	Alt. CP (mm) Leitura	114,30 Expansão
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
14/8/17	14:00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
15/8/17	14:00	1,16	0,14	1,10	0,09	1,09	0,08	1,08	0,07	1,05	0,04
16/8/17	14:00	1,67	0,59	1,39	0,34	1,23	0,20	1,17	0,15	1,09	0,08
17/8/17	14:00	1,85	0,74	1,49	0,43	1,36	0,31	1,20	0,18	1,08	0,07
18/8/17	14:00	2,02	0,89	1,88	0,77	1,46	0,40	1,31	0,27	1,15	0,13
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel		0,1087	a: 0,1087			0,1087			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	12	1,3	33	3,6	54	5,9	31	3,4	39	4,2
1	1,27	23	2,5	53	5,8	69	7,5	49	5,3	56	6,1
1,5	1,91	31	3,4	66	7,2	81	8,8	61	6,6	69	7,5
2	2,54	38	4,1	79	8,6	101	11,0	79	8,6	91	9,9
3	3,81	48	5,2	92	10,0	120	13,0	100	10,9	121	13,2
4	5,08	56	6,1	107	11,6	134	14,6	126	13,7	132	14,3
6	7,62	69	7,5	129	14,0	144	15,7	147	16,0	169	18,4
8	10,16	73	7,9	134	14,6	148	16,1	156	17,0	178	19,3
10	12,70	79	8,6	141	15,3	152	16,5	167	18,2	185	20,1
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	
	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	
I.S.C. 0,1"	4,1	6	8,6	12,2	11,0	15,6	8,6	12,2	9,9	14,1	
I.S.C. 0,2"	6,1	5,8	11,6	11,0	14,6	13,8	13,7	13,0	14,3	13,6	
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=	1,379	UMID. ÓTIMA(%)=	32,6	I.S.C.(%)=			13,0	EXPANSÃO(%)=		0,27	

ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 049-94)											
Obra:	Trecho:			Origem:		Estudo:		Data:			
BR - 163	KM 172,4 à 182,4			Santa Maria à Vila Goes		Suporte de solo		21/08/17			
Camada / Estaca / Posição:		Material:		Registro:		Energia:		Operador:			
Sub-leito 8820		Argila		3		Normal		Matheus Ramos Santos			
COMPACTAÇÃO											
Cilindro nº	12	17	5	9	2						
Água Adicionada(ml)	100	200	300	400	500						
Cilindro+Solo Umido(g)	7.015	7.231	8.462	8.533	9.498						
Peso do Cilindro(g)	4.070	3.910	4.640	4.656	5.626						
Peso do Solo Umido(g)	2.945	3.321	3.822	3.877	3.872						
Volume do Cilindro(cm³)	2.074	2.072	2.080	2.078	2.070						
Dens. Apar. Umida(g/cm³)	1,420	1,603	1,838	1,866	1,871						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	5	11	4	12	30	50	6	23	28	39	
Cápsula+Solo Umido(g)	96,30	94,20	99,50	102,30	80,10	86,30	91,70	90,60	88,20	93,60	
Cápsula+Solo Seco(g)	78,60	77,60	80,30	82,60	64,20	69,20	72,60	71,00	68,20	72,90	
Peso da Água(g)	17,70	16,60	19,20	19,70	15,90	17,10	19,10	19,60	20,00	20,70	
Peso da Cápsula(g)	12,30	11,90	12,60	12,10	12,20	13,60	13,30	12,50	11,70	13,80	
Peso do Solo Seco(g)	66,30	65,70	67,70	70,50	52,00	55,60	59,30	58,50	56,50	59,10	
Teor de Umidade(%)	26,7	25,3	28,4	27,9	30,6	30,8	32,2	33,5	35,4	35,0	
Umidade Adotada(%)	26,0		28,2		30,7		32,9		35,2		
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,127		1,251		1,406		1,404		1,384		
EXPANSÃO											
Data	Hora	Alt. CP (mm) Leitura (mm)	114,30 Expansão (%)	Alt. CP (mm) Leitura (mm)	114,00 Expansão (%)	Alt. CP (mm) Leitura (mm)	114,30 Expansão (%)	Alt. CP (mm) Leitura (mm)	114,20 Expansão (%)	Alt. CP (mm) Leitura (mm)	114,30 Expansão (%)
21/8/17	13:30	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
22/8/17	13:30	1,01	0,01	1,05	0,04	1,02	0,02	1,10	0,09	1,12	0,10
23/8/17	13:30	1,09	0,08	1,11	0,10	1,09	0,08	1,14	0,12	1,19	0,17
24/8/17	13:30	1,14	0,12	1,19	0,17	1,12	0,10	1,19	0,17	1,23	0,20
25/8/17	13:30	1,22	0,19	1,26	0,23	1,18	0,16	1,26	0,23	1,31	0,27
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel		0,1087	a: 0,1087			0,1087			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)		(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	36	3,9	26	2,8	42	4,6	21	2,3	28	3,0
1	1,27	49	5,3	34	3,7	63	6,8	36	3,9	39	4,2
1,5	1,91	68	7,4	53	5,8	81	8,8	48	5,2	52	5,7
2	2,54	79	8,6	64	7,0	97	10,5	63	6,8	69	7,5
3	3,81	89	9,7	87	9,5	114	12,4	81	8,8	86	9,3
4	5,08	103	11,2	96	10,4	126	13,7	95	10,3	100	10,9
6	7,62	119	12,9	109	11,8	141	15,3	106	11,5	116	12,6
8	10,16	126	13,7	114	12,4	155	16,8	118	12,8	129	14,0
10	12,70	132	14,3	129	14,0	168	18,3	128	13,9	133	14,5
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		8,6	12	7,2	10,3	10,5	15,0	6,8	9,7	7,5	10,7
I.S.C. 0,2"		11,2	10,6	10,5	10,0	13,7	13,0	10,3	9,8	10,9	10,3
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=		1,419		UMID. ÓTIMA(%)=		31,7		I.S.C.(%)=		13,5	
								EXPANSÃO(%)=		0,17	

ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 049-94)												
Obra:	Trecho:				Origem:		Estudo:		Data:			
BR - 163	KM 172,4 à 182,4				Santa Maria à Vila Goes		Suporte de solo		28/08/17			
Camada / Estaca / Posição:			Material:			Registro:		Energia:		Operador:		
Sub-leito 8920			Argila			4		Normal		Matheus Ramos Santos		
COMPACTAÇÃO												
Cilindro nº	5		12		9		17		2			
Água Adicionada(ml)	100		200		300		400		500			
Cilindro+Solo Umido(g)	7.985		7.618		8.465		7.773		9.510			
Peso do Cilindro(g)	4.640		4.070		4.656		3.910		5.626,0			
Peso do Solo Umido(g)	3.345		3.548		3.809		3.863		3.884			
Volume do Cilindro(cm³)	2.080		2.074		2.078		2.072		2.070			
Dens. Apar. Úmida(g/cm³)	1,608		1,711		1,833		1,864		1,876			
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE												
Cápsula nº	11		9		6		35		4		23	
Cápsula+Solo Umido(g)	101,50		112,80		80,30		86,00		71,40		74,50	
Cápsula+Solo Seco(g)	83,20		92,40		65,30		69,40		57,30		59,70	
Peso da Água(g)	18,30		20,40		15,00		16,60		14,10		14,80	
Peso da Cápsula(g)	11,90		12,90		11,30		11,90		12,60		12,50	
Peso do Solo Seco(g)	71,30		79,50		54,00		57,50		44,70		47,20	
Teor de Umidade(%)	25,7		25,7		27,8		28,9		31,5		31,4	
Umidade Adotada(%)	25,7		25,7		28,4		28,9		31,5		31,4	
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,279		1,279		1,333		1,333		1,394		1,394	
EXPANSÃO												
Data	Hora	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,00	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,20	Alt. CP (mm)	114,30	
		Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
28/8/17	14:00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	
29/8/17	14:00	1,10	0,09	1,08	0,07	1,12	0,10	1,06	0,05	1,08	0,07	
30/8/17	14:00	1,16	0,14	1,14	0,12	1,21	0,18	1,14	0,12	1,14	0,12	
31/8/17	14:00	1,22	0,19	1,20	0,18	1,26	0,23	1,21	0,18	1,19	0,17	
1/9/17	14:00	1,31	0,27	1,29	0,25	1,34	0,30	1,28	0,25	1,23	0,20	
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS												
Anel dinamométrico nº:			Constantes do Anel		0,1087		a: 0,1087		0,1087			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	
0,5	0,64	26	2,8	33	3,6	42	4,6	39	4,2	36	3,9	
1	1,27	41	4,5	51	5,5	64	7,0	56	6,1	45	4,9	
1,5	1,91	56	6,1	69	7,5	82	8,9	79	8,6	64	7,0	
2	2,54	70	7,6	86	9,3	106	11,5	92	10,0	79	8,6	
3	3,81	91	9,9	101	11,0	127	13,8	106	11,5	94	10,2	
4	5,08	104	11,3	117	12,7	145	15,8	118	12,8	110	12,0	
6	7,62	116	12,6	126	13,7	168	18,3	129	14,0	121	13,2	
8	10,16	128	13,9	136	14,8	176	19,1	136	14,8	136	14,8	
10	12,70	136	14,8	158	17,2	182	19,8	149	16,2	144	15,7	
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	ISC	
	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	(%)	
I.S.C. 0,1"	7,6	11	9,3	13,3	11,5	16,4	10,0	14,2	8,6	12,2		
I.S.C. 0,2"	11,3	10,7	12,7	12,1	15,8	15,0	12,8	12,2	12,0	11,3		
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=	1,424		UMID. ÓTIMA(%)=		33,1		I.S.C.(%)=		11,2		EXPANSÃO(%)=	

ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS (DNER-ME 049-94)											
Obra:	Trecho:			Origem:		Estudo:		Data:			
BR - 163	KM 172,4 à 182,4			Santa Maria à Vila Goes		Suporte de solo		04/09/17			
Camada / Estaca / Posição:		Material:		Registro:		Energia:		Operador:			
Sub-leito 8920		Argila		5		Normal		Matheus Ramos Santos			
COMPACTAÇÃO											
Cilindro nº	2	9	17	12	5						
Água Adicionada(ml)	100	200	300	400	500						
Cilindro+Solo Umido(g)	8.710	8.123	7.697	7.941	8.547						
Peso do Cilindro(g)	5.626,0	4.656	3.910	4.070	4.640						
Peso do Solo Umido(g)	3.084	3.467	3.787	3.871	3.907						
Volume do Cilindro(cm³)	2.070	2.078	2.072	2.074	2.080						
Dens. Apar. Úmida(g/cm³)	1,490	1,668	1,828	1,866	1,878						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											
Cápsula nº	9	23	3	39	30	4	12	6	5	28	
Cápsula+Solo Umido(g)	88,20	92,00	105,00	97,30	94,20	99,90	84,60	96,70	105,40	100,60	
Cápsula+Solo Seco(g)	72,10	75,20	84,60	78,60	75,00	79,70	67,00	75,90	81,40	78,20	
Peso da Água(g)	16,10	16,80	20,40	18,70	19,20	20,20	17,60	20,80	24,00	22,40	
Peso da Cápsula(g)	12,30	12,50	13,30	13,80	12,20	12,60	12,10	13,30	12,30	11,70	
Peso do Solo Seco(g)	59,80	62,70	71,30	64,80	62,80	67,10	54,90	62,60	69,10	66,50	
Teor de Umidade(%)	26,9	26,8	28,6	28,9	30,6	30,1	32,1	33,2	34,7	33,7	
Umidade Adotada(%)	26,9	28,8	30,4	32,7	34,2						
Dens. Apar. Seca(g/cm³)	1,175	1,296	1,402	1,407	1,400						
EXPANSÃO											
Data	Hora	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,00	Alt. CP (mm)	114,30	Alt. CP (mm)	114,20	Alt. CP (mm)	114,30
		Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão	Leitura	Expansão
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
4/9/17	16:30	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
5/9/17	16:30	1,22	0,19	1,12	0,11	1,09	0,08	1,05	0,04	1,01	0,01
6/9/17	16:30	1,54	0,47	1,44	0,39	1,14	0,12	1,12	0,11	1,03	0,03
7/9/17	16:30	1,69	0,60	1,51	0,45	1,20	0,17	1,14	0,12	1,04	0,03
8/9/17	16:30	1,98	0,86	1,78	0,68	1,23	0,20	1,18	0,16	1,05	0,04
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS											
Anel dinamométrico nº:		Constantes do Anel		0,1087	a:	0,1087		0,1087			
tempo	penetração	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão	Leitura	pressão
min	(mm)	(0,001mm)	(kgf/cm²)		(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)	(0,001mm)	(kgf/cm²)
0,5	0,64	25	2,7	41	4,5	39	4,2	8	0,9	30	3,3
1	1,27	39	4,2	62	6,7	55	6,0	20	2,2	47	5,1
1,5	1,91	52	5,7	78	8,5	80	8,7	31	3,4	64	7,0
2	2,54	66	7,2	91	9,9	96	10,4	47	5,1	82	8,9
3	3,81	82	8,9	102	11,1	108	11,7	63	6,8	99	10,8
4	5,08	96	10,4	116	12,6	114	12,4	81	8,8	109	11,8
6	7,62	108	11,7	123	13,4	123	13,4	98	10,7	116	12,6
8	10,16	119	12,9	134	14,6	131	14,2	107	11,6	125	13,6
10	12,70	128	13,9	141	15,3	138	15,0	119	12,9	137	14,9
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA		Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC	Carga	ISC
		Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)	Corrigida	(%)
I.S.C. 0,1"		7,2	10	9,9	14,1	10,4	14,8	6,0	8,6	8,9	12,7
I.S.C. 0,2"		10,4	9,9	12,6	12,0	12,4	11,8	9,3	8,8	11,8	11,2
DENS. SECA MÁX. (g/cm³)=		1,424	UMID. ÓTIMA(%)=	31,5	I.S.C.(%)=			12,2	EXPANSÃO(%)=		0,09

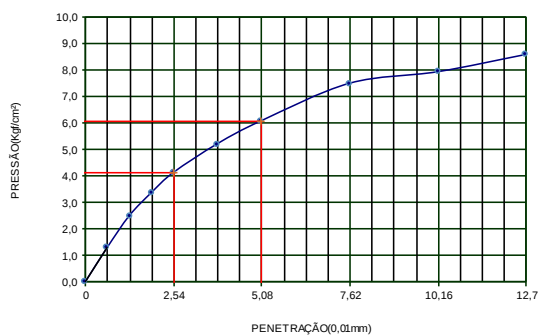
APÊNDICE C – GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO



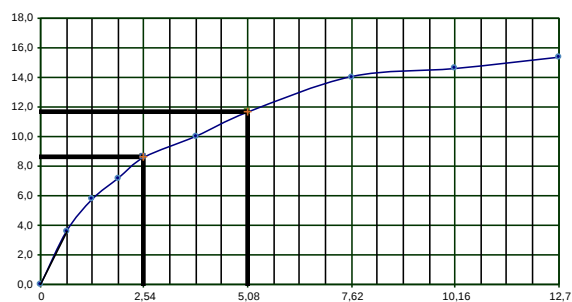
GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO

Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	14/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8720	Argila	2	Normal	Matheus Ramos Santos

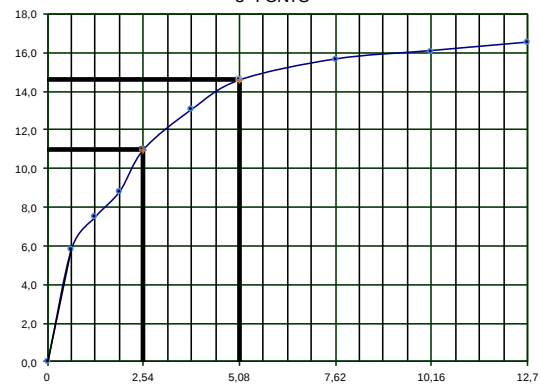
1º PONTO



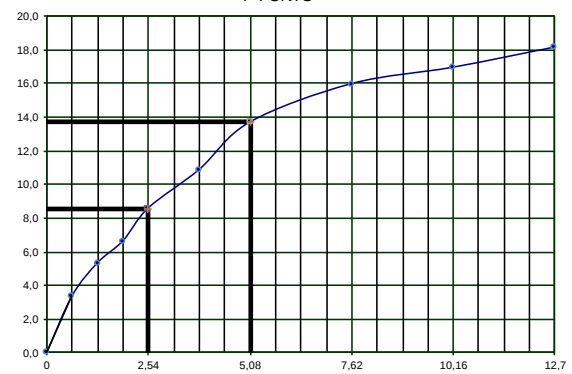
2º PONTO



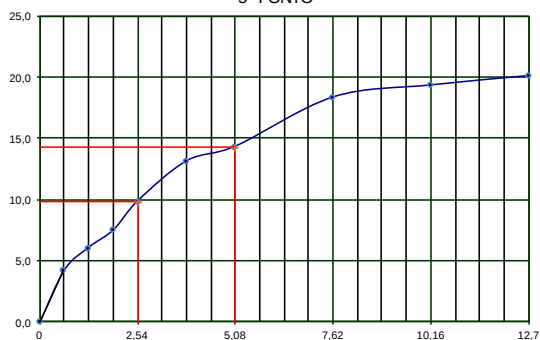
3º PONTO



4º PONTO

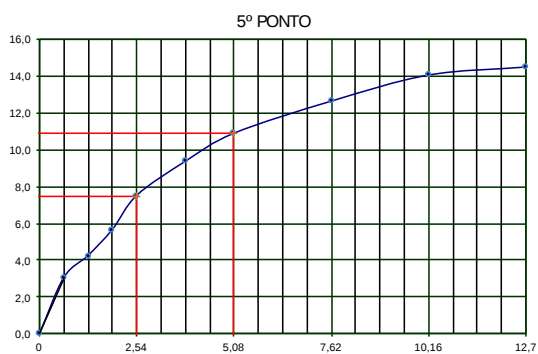
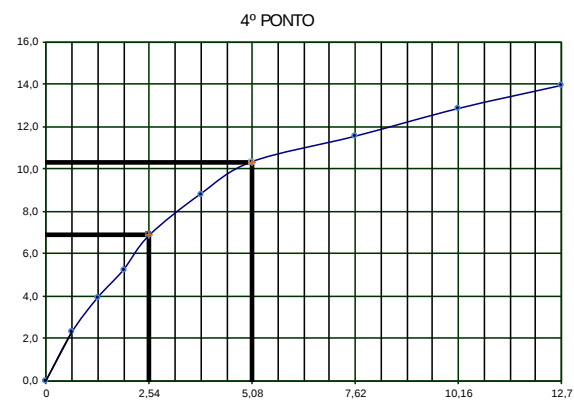
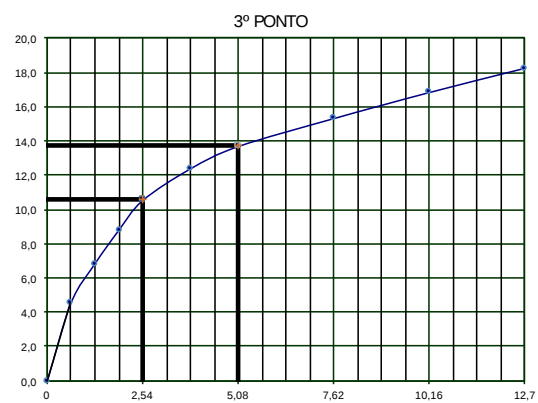
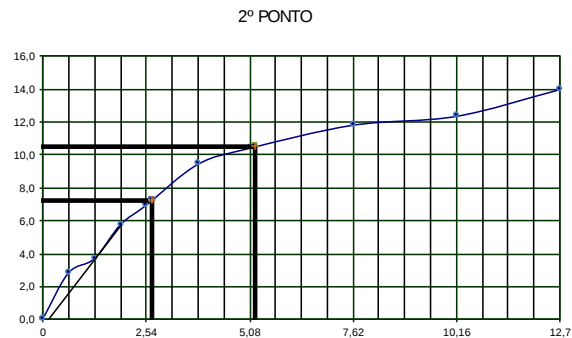
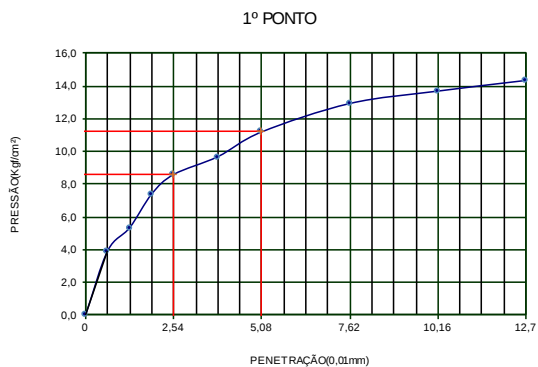


5º PONTO



GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO

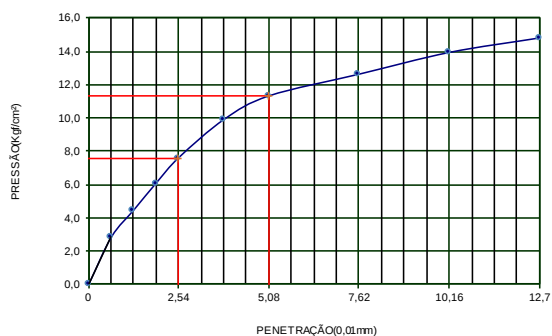
Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	21/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8820	Argila	3	Normal	Matheus Ramos Santos



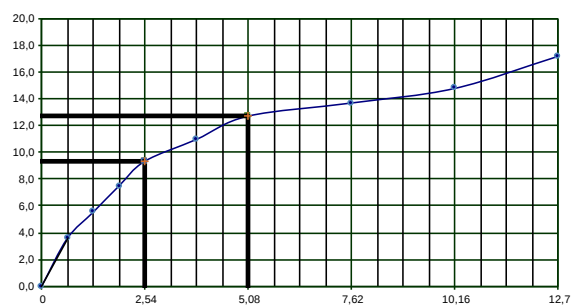
GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO

Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	28/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8920	Argila	4	Normal	Matheus Ramos Santos

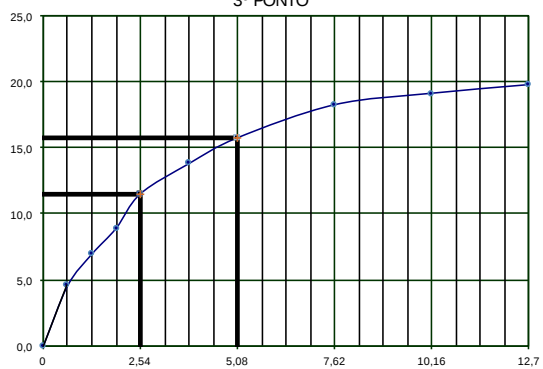
1º PONTO



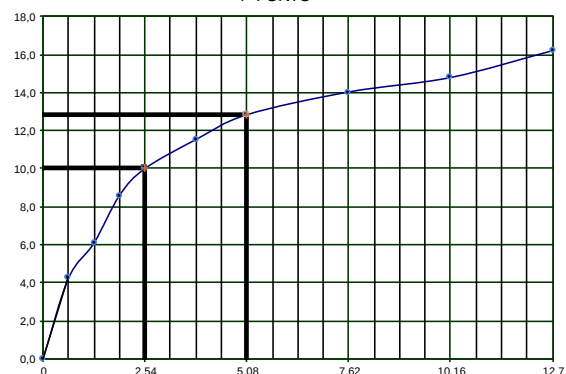
2º PONTO



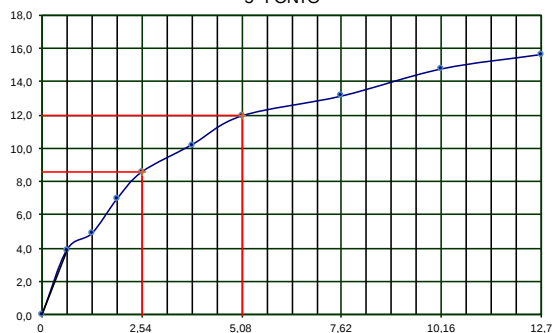
3º PONTO



4º PONTO

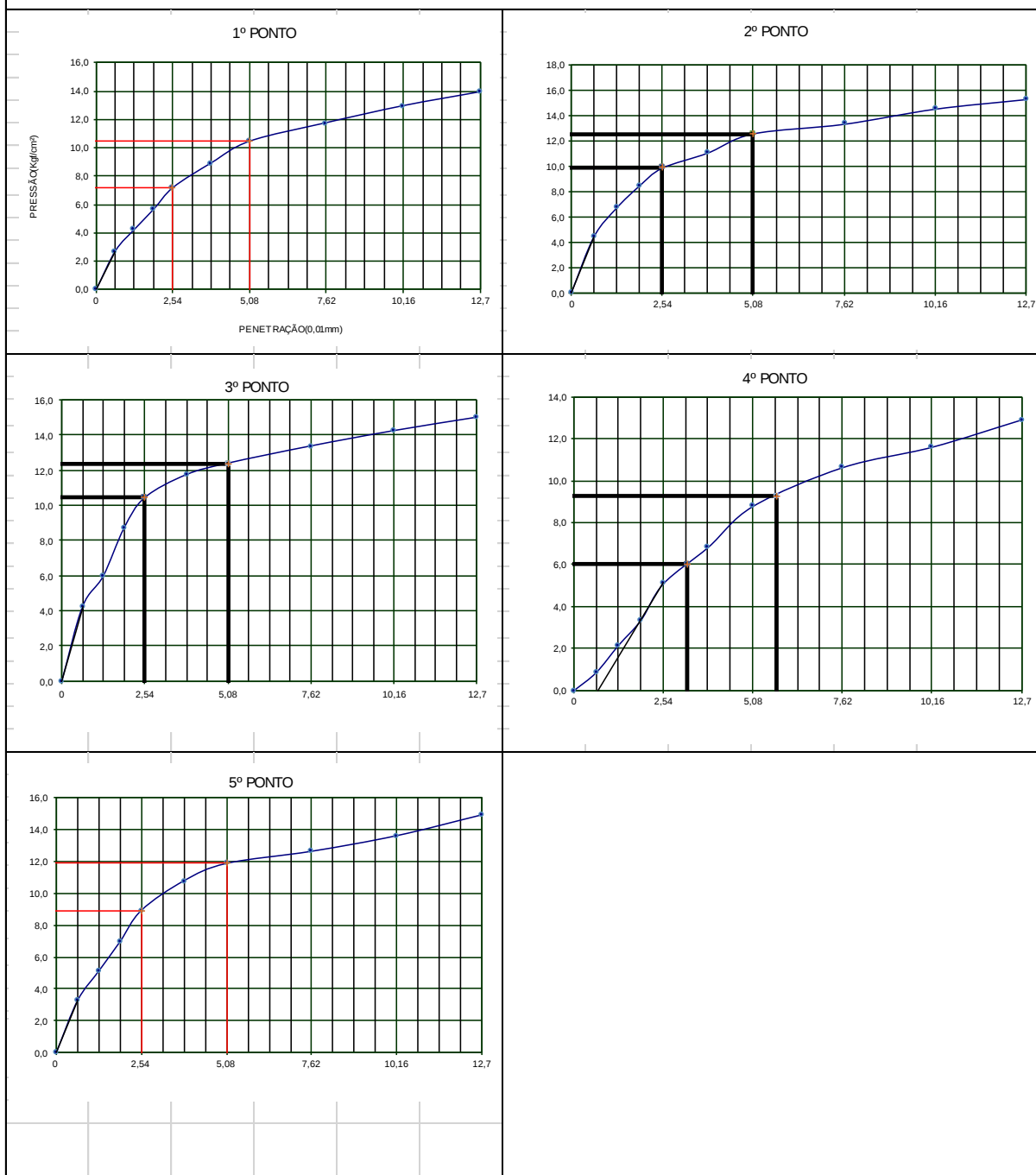


5º PONTO

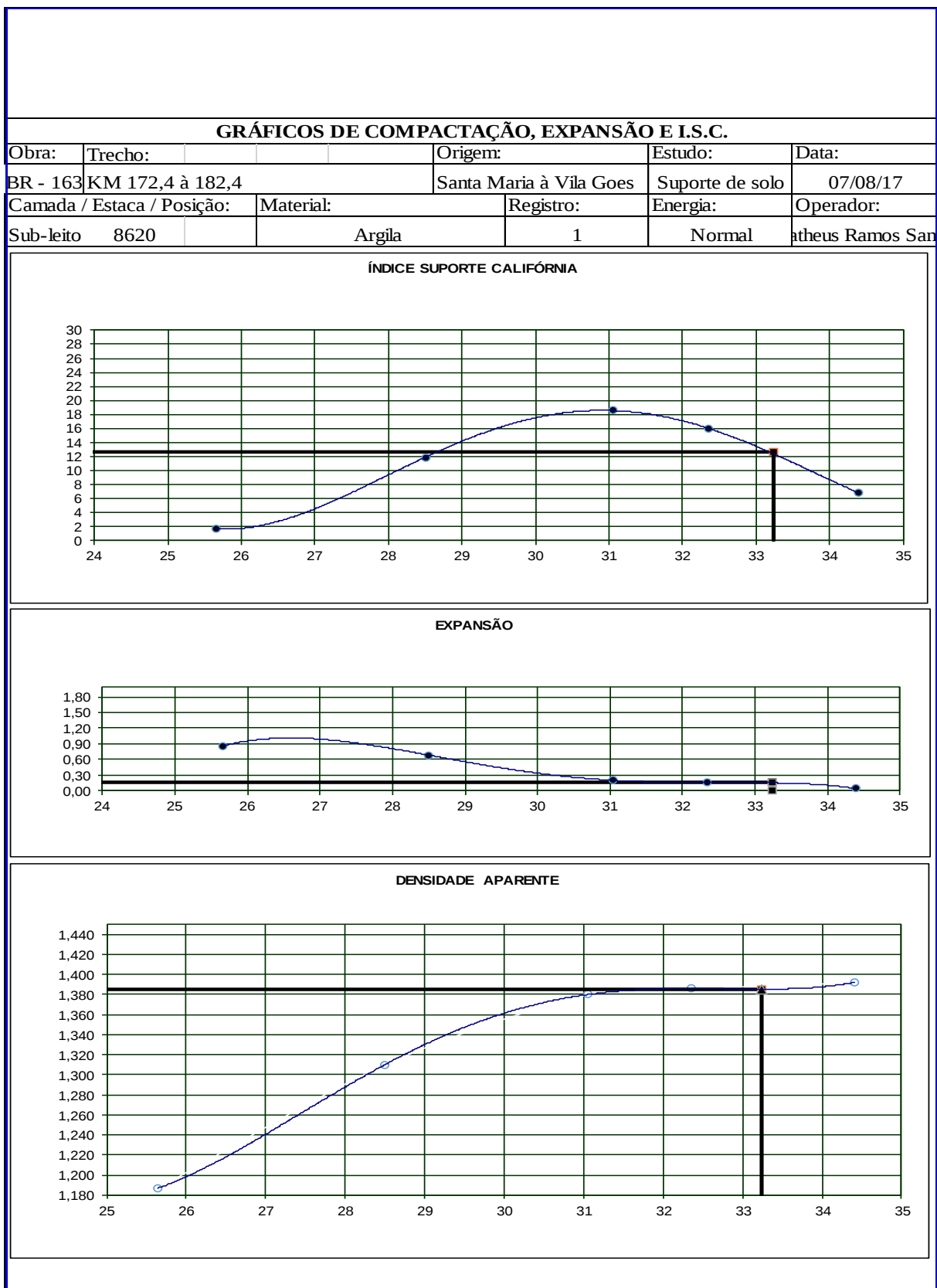


GRÁFICOS DE PENETRAÇÃO

Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	04/09/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 9020	Argila	5	Normal	Matheus Ramos Santos



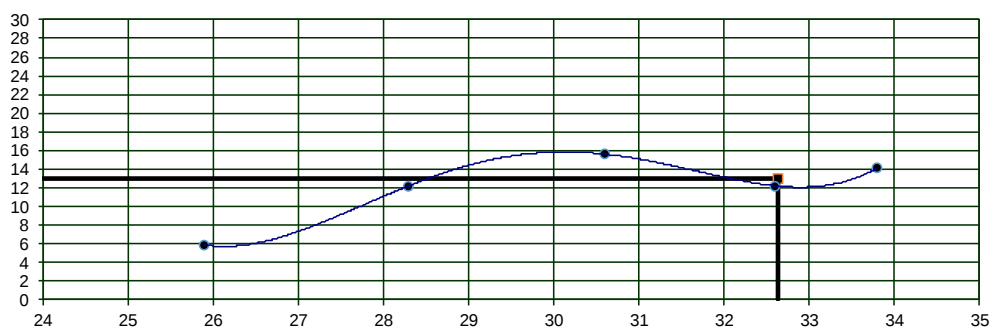
APÊNDICE D – GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.



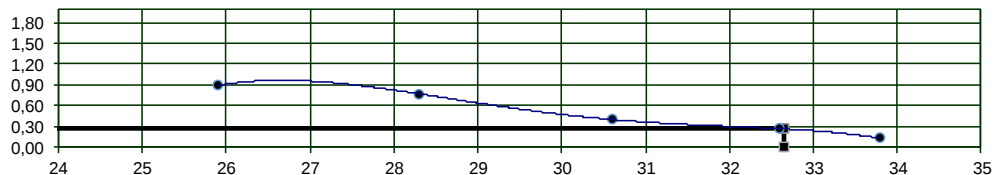
GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.

Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	14/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8720	Argila	2	Normal	Matheus Ramos Santos

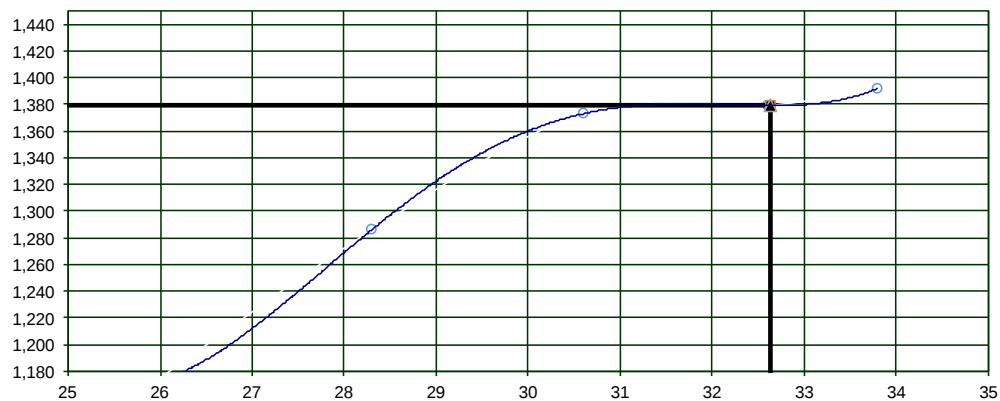
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



EXPANSÃO



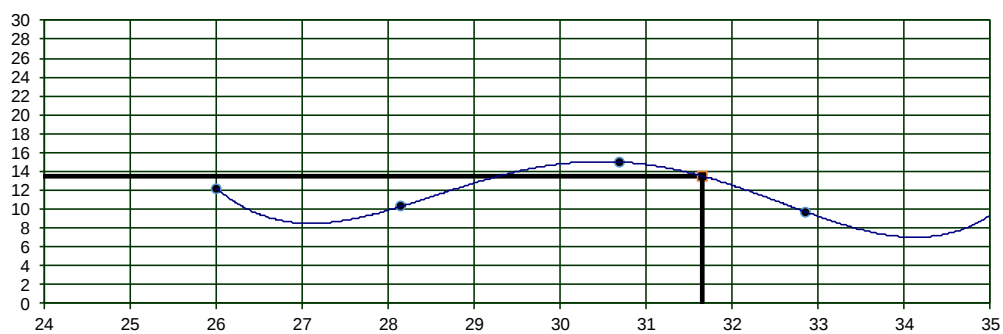
DENSIDADE APARENTE



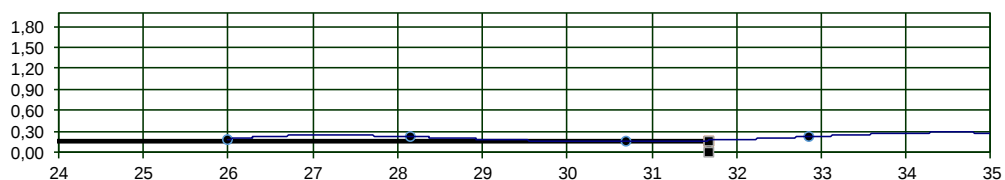
GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.

Obra:	Trecho:		Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4		Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	21/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:		Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8820	Argila		3	Normal	Matheus Ramos Santos

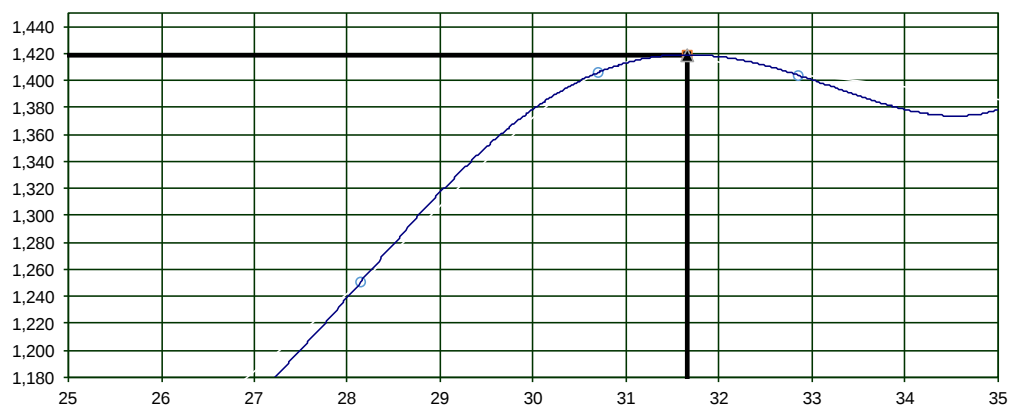
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



EXPANSÃO



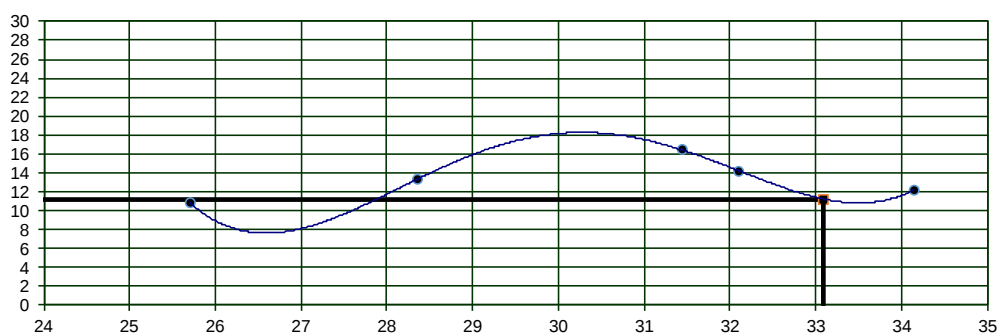
DENSIDADE APARENTE



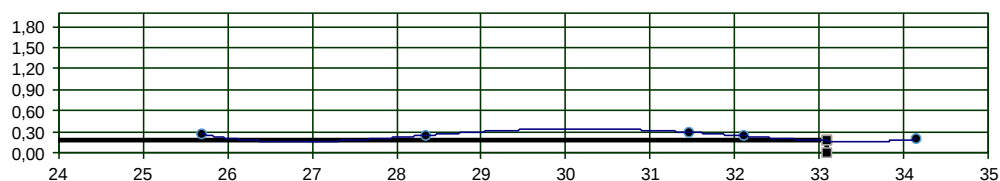
GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.

Obra:	Trecho:		Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4		Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	28/08/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:		Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 8920	Argila		4	Normal	Matheus Ramos Santos

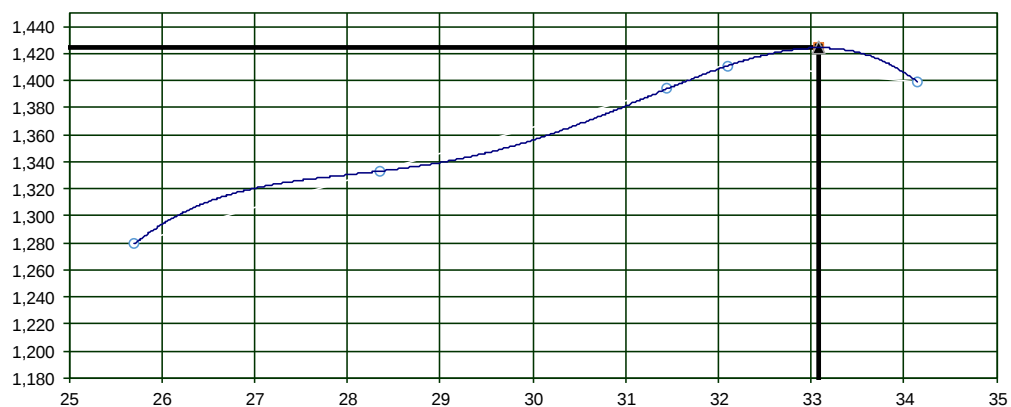
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



EXPANSÃO



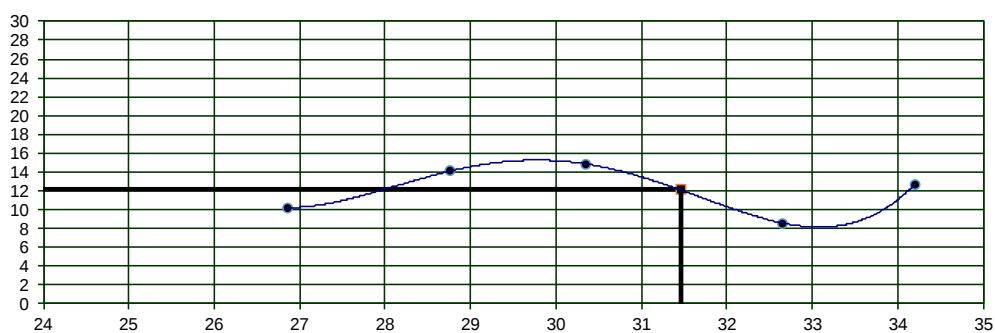
DENSIDADE APARENTE



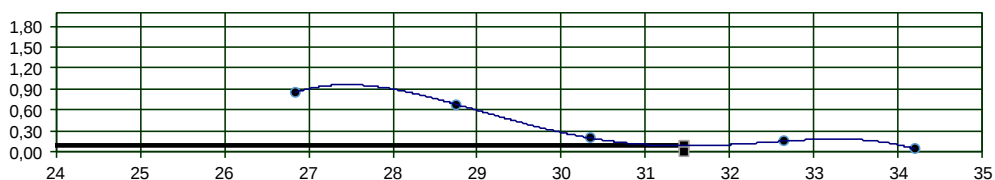
GRÁFICOS DE COMPACTAÇÃO, EXPANSÃO E I.S.C.

Obra:	Trecho:	Origem:	Estudo:	Data:
BR - 163	KM 172,4 à 182,4	Santa Maria à Vila Goes	Suporte de solo	04/09/17
Camada / Estaca / Posição:	Material:	Registro:	Energia:	Operador:
Sub-leito 9020	Argila	5	Normal	Matheus Ramos Santos

ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA



EXPANSÃO



DENSIDADE APARENTE

