



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Amanda Costa Rodrigues

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA O CORREDOR DE ÔNIBUS
DO SISTEMA BRT EM PALMAS - TO.

Palmas – TO

2016/02



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Amanda Costa Rodrigues

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA O CORREDOR DE ÔNIBUS
NO SISTEMA DO BRT EM PALMAS - TO.**

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Euzir Pinto Chagas.

Palmas – TO

2016/02

Amanda Costa Rodrigues

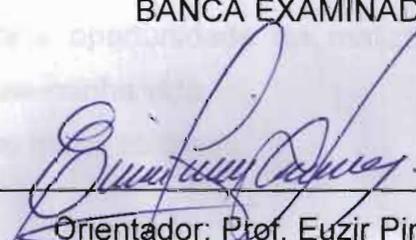
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA O CORREDOR DE ÔNIBUS
NO SISTEMA DO BRT EM PALMAS - TO.

Monografia elaborada e apresentada como
requisito parcial para aprovação na disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

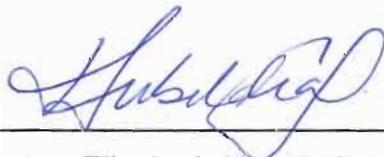
Orientador: Prof. Euzir Pinto Chagas

Aprovada em 07 de 11 de 2016.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas



Professora: Elizabeth Hernández Zubeldia
Centro Universitário Luterano de Palmas



Professor: Edivaldo Alves Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que proporcionou esta vitória e com sua sabedoria me ensinou a confiar e esperar o tempo certo para tudo.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial à minha mãe, Elisete Angelica Costa Rodrigues, ao meu pai, Glauro Rodrigues da Silva e ao meu irmão, Glauro Rodrigues da Silva Filho. Palavras não são o bastante para agradecer o apoio que todos vocês puderam me dar. Obrigada pelos conselhos e pelo simples fato de existirem em minha.

Ao meu noivo, Fabio José Strieder, que esteve sempre ao meu lado me dando força, ajudando-me nas decisões, além do grande empenho dado na elaboração desse trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Luterana de Palmas, em especial ao professor Euzir Pinto Chagas, pela orientação.

Agradeço ainda as instituições que colaboraram disponibilizando informações para a elaboração desse trabalho.

Por fim, agradeço à Universidade Luterana de Palmas e ao Curso de Engenharia Civil pela oportunidade da realização dessa graduação que foi de grande importância em minha vida.

A todos, o meu muito obrigada.

RESUMO

Com a expansão dos espaços urbanos a necessidade do planejamento em transporte, para reduzir as externalidades, é de fundamental importância. O uso de corredores exclusivos para o tráfego de ônibus por meio do sistema *Bus Rapid Transit* - BRT é um exemplo de como as externalidades podem ser parcialmente resolvidas. O desenvolvimento deste tipo de sistema depende fundamentalmente no tipo de pavimento que será aplicado aos corredores e o seu correto dimensionamento, sendo amplamente usado o pavimento rígido de concreto. Desta forma, este trabalho visou realizar o dimensionamento pelo método simplificado PCA/84 do pavimento rígido para o corredor de ônibus em Palmas - TO. Com a aplicação a metodologia adotada chegou-se a 19 cm de espessura de revestimento com uso de sub base granular, e 18 cm de espessura quando usado sub base melhorada com cimento. A pequena variação de espessura pode ser explicada pela alto valor de CBR do subleito, que, assim como a sub base melhorada, apresentou papel redutor da camada de revestimento.

Palavras-chave: **Pavimento Rígido. Pavimento de Concreto. Cimento *Portland*. PCA/84.**

ABSTRACT

With the expansion of urban areas the need planning in transportation to reduce externalities is crucial. The use of exclusive bus lanes through the Bus Rapid Transit system - BRT is an example how those externalities can be partially resolved. The development of this type of system depends mainly on the type of flooring that will be applied to bus lanes and their correct dimensioning, being widely used the concrete paving. Thus, this study aimed to scale out by simplified method PCA/84 the pavement to the bus lanes in Palmas - TO. By applying the methodology adopted, was reached 19 cm thickness using granular sub base, and 18 cm when used sub-base improved with cement. The small variation in thickness can be explained by the high value of CBR subgrade, which, as well as sub-base improved with cement, makes the thickness of the coating layer be decreased.

Keyword: **Rigid Pavement. Concrete Pavement. Portland Cement. PCA/84.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Camadas Pavimento Rígido	21
Figura 02 - Camadas Pavimento Flexível	21
Figura 03 - Distribuição de carga no Pavimento Rígido.	21
Figura 04 - Distribuição de carga no Pavimento Flexível.	21
Figura 05 - Perfil de Pavimento rígido de concreto simples, sem barras de transferência.....	24
Figura 06 - Desnívelamento entre placas de concreto do pavimento rígido sem e com barras de transferência.	24
Figura 07 - Seção de pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua.	25
Figura 08 - Seção de pavimento de concreto com armadura distribuída contínua....	26
Figura 09 - Seção de pavimento estruturalmente armado.	27
Figura 10 - Perfil de pavimento whitetopping.	29
Figura 11 - Curva de desempenho do pavimento segundo AASHTO (1993).....	35
Figura 12 - Curvas de Fadiga.....	38
Figura 13 - Mapa de localização.	41
Figura 14 - Localização da Jazida 01	43
Figura 15 - Localização da Jazida 02.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tipos de Cimento	30
Tabela 02 - Correspondência entre valores de suporte de subleito	34
Tabela 03 - Resultados da análise granulométrica do subleito.	48
Tabela 04 - Resultados na análise do limite de liquidez e plasticidade do subleito...	49
Tabela 05 - Resultados análise de compactação do subleito.	49
Tabela 06 - Resultados Índice Suporte Califórnia do subleito.	50
Tabela 07 - Resultados da análise granulométrica da sub base.	50
Tabela 08 - Resultados na análise do limite de liquidez e plasticidade da sub base.	51
Tabela 09 - Resultados análise de compactação da sub base.	51
Tabela 10 - Resultados Índice Suporte Califórnia da sub base.	52
Tabela 11 - Reflexo financeiro pela redução da espessura da placa de concreto com a utilização de sub base melhorada com cimento.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Tipos de sub-bases para pavimentos de concreto	23
Quadro 02 - Exemplo de Quadro de Dimensionamento.....	40
Quadro 03 - Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência	40
Quadro 04 - Categoria de Cargas por Eixo	45
Quadro 05 - Aumento de k devido a presença de sub base granular.	46
Quadro 06 - Tipos de solos ou camada e valores aproximados de coeficiente de recalque (k).	47
Quadro 07 - Tráfego Médio diário de Caminhões (TMDC) admissível, categoria de carga de eixo nº 3 - Pavimento com barras de transferência.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>
ABCP	<i>Associação Brasileira de Cimento Portland</i>
ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CBR	<i>Californian Bearing Ratio</i>
DNER	<i>Departamento Nacional de Estradas de Rodagem</i>
DNIT	<i>Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes</i>
ISC	<i>Índice Suporte Califórnia</i>
MPR	<i>Manual de Pavimento Rígido</i>
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PSI	<i>Present Serviceability Index</i>
TMD	<i>Tráfego Médio Diário</i>
TMDC	<i>Tráfego Médio Diário de Caminhões</i>
TRB	<i>Transportation Research Board</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

k	Coeficiente de recalque
q	Pressão
w	Deslocamento vertical
N _{RIG}	Número de repetições do eixo padrão
D	Espessura
ΔPSI	Variação de serventia
Z _r	Nível de confiabilidade
s ₀	Desvio padrão
Sc	Resistência do concreto
C _d	Coeficiente de drenagem
J	Coeficiente de transferência de carga
E _c	Módulo de elasticidade do concreto
C _{total}	Consumo total da resistência à fadiga
i	Relação de tensões
N _{sol}	Número de repetições previstas
N _{adm}	Número admissível de repetições
P	Fator de erosão
p	Pressão vertical
C ₁	Constante de ajustamento
psi	<i>Pounds per Square Inch</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema de Pesquisa	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Justificativa	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Funções do Pavimento	18
2.1.1	Classificação dos pavimentos	18
2.2	Pavimento Rígido	19
2.2.1	Breve Histórico	19
2.3	Estrutura do Pavimento Rígido.....	20
2.3.1	Subleito	22
2.3.2	Regularização do Subleito.....	22
2.3.3	Sub-base	22
2.3.4	Base e Revestimento	23
2.4	Tipos de Pavimentos Rígidos.....	23
2.4.1	Pavimento de Concreto Simples.....	23
2.4.2	Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua	25
2.4.3	Pavimento de concreto com armadura distribuída contínua	26
2.4.4	Pavimento de concreto estruturalmente armado	26
2.4.5	Pavimento de concreto rolado	27
2.4.6	Pavimento de concreto com fibras	27
2.4.7	Pavimento De Concreto Protendido	28
2.4.8	Pavimento Whitetopping	28
2.5	Insumos Utilizados nos Pavimentos Rígidos.....	29
2.5.1	Estudo do Cimento <i>Portland</i>.....	29
2.5.2	Estudo dos Agregados	31
2.5.3	Estudo da Água de Amassamento.....	32
2.5.4	Estudo dos Aditivos.....	33
2.5.5	Estudo dos Materiais Selantes de Juntas	33
2.6	Dimensionamento do Pavimento Rígido	34

2.6.1	Dimensionamento pelo Método da AASHTO/93	35
2.6.2	Dimensionamento pelo Método da ABCP - PCA/66	36
2.6.3	Dimensionamento pelo Método da ABCP - PCA/84	37
2.6.4	Dimensionamento das Barras de Transferência	40
3	METODOLOGIA	41
3.1	Caracterização do Subleito	41
3.2	Prospecção de Jazida de Material de Sub base	43
3.3	Caracterização Sub base	44
3.4	Dimensionamento do Pavimento Rígido	44
4	RESULTADOS.....	48
4.1	Caracterização do Subleito	48
4.1.1	Granulometria.....	48
4.1.2	Limite de Liquidez e Plasticidade	48
4.1.3	Compactação.....	49
4.1.4	Índice Suporte Califórnia - ISC.....	49
4.2	Caracterização da Sub base	50
4.2.1	Granulometria.....	50
4.2.2	Limite de Liquidez e Plasticidade	51
4.2.3	Compactação.....	51
4.2.4	Índice Suporte Califórnia	52
4.3	Dimensionamento do Pavimento Rígido	52
4.3.1	Definição da Categoria de Carga por Eixo.	52
4.3.2	Definição do Suporte Relativo.....	53
4.3.3	Dimensionamento da placa de concreto.....	55
4.4	Avaliação do reflexo financeiro pela redução da espessura da placa de concreto com a utilização de sub base melhorada com cimento	58
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICES	64
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO.....	86

1 INTRODUÇÃO

Com a expansão dos espaços urbanos a necessidade do planejamento em infraestrutura cresce em todos os seguimentos, como abastecimento de água, rede de esgoto, transmissão de energia, sendo o planejamento em transporte urbano tão importante quanto os demais. O sistema de mobilidade urbana deve ser amplo o suficiente para que novas tecnologias de transporte possam ser incorporadas (RIBEIRO, 2009).

Segundo o mesmo autor, reduzir as externalidades, como a emissão de poluentes, acidentes viários e o congestionamento, e satisfazer às demandas relacionadas ao transporte urbano são os principais objetivos do planejamento de transportes.

As externalidades podem ser parcialmente resolvidas a partir do uso racional do espaço viário urbano. Exemplo disso são as faixas exclusivas para o tráfego de ônibus, que apresenta uma capacidade de transporte, em média, dez vezes superior a uma dedicada ao transporte privado (LINDAU et al, 2013), fazendo com que cada vez mais cidades adaptem suas ruas e avenidas para esse tipo tráfego.

Os corredores exclusivos para ônibus podem ser utilizados por meio de diferentes tipos de sistemas, um deles é o *Bus Rapid Transit*, no Brasil conhecido pela sua sigla BRT, o qual está em tramite processual para possível implantação em Palmas - TO. Alouche (2006) define o BRT como um corredor com grandes níveis de demandas com tratamento preferencial para os ônibus, operando de forma integrada e com maior uso de tecnologia.

Para o desenvolvimento desse sistema de transporte público, a definição do tipo de pavimento a ser executado é de grande importância, devido ao elevado número de solicitações que o pavimento sofrerá. Ribeiro (2009), para esse tipo de projeto, dá preferência ao pavimento rígido devido as suas características, as quais podem ser citadas: não sofre deformação na frenagem e aceleração, não sofre ataque de substâncias derivadas do petróleo, apresenta melhor visibilidade por reflexão, maior durabilidade com pouca manutenção, comparado ao pavimento flexível, maior resistência mecânica, suportando os esforços aplicados pelos ônibus, consideravelmente maiores que os dos carros, dentre outros.

A *Portland Cement Association* (PCA) dos Estados Unidos desenvolveu procedimento de dimensionamento de pavimentos rígidos que agrega progressos e conhecimentos nas áreas de cálculos de tensões, projetos geométricos, construção

e gerência desse tipo de pavimento, o qual foi publicado em 1984. Este método aplica-se tanto a pavimento de concreto simples e com barras de transferência, quanto aos dotados de armadura distribuída, descontínua ou contínua, e usa um modelo de análise estrutural por elementos finitos (PITTA, 1998).

O método PCA/84 permite combinar facilmente diferentes fatores de projeto, propiciando a análise acelerada de muitas soluções alternativas. Assim este trabalho visou realizar o dimensionamento do pavimento rígido para o corredor de ônibus de um trecho do sistema BRT na cidade de Palmas - TO.

1.1 Problema de Pesquisa

A partir da caracterização do subleito, qual a estrutura do pavimento rígido que garanta uma vida útil de no mínimo vinte anos para o corredor de ônibus do sistema BRT em Palmas - TO?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

- Dimensionar o pavimento rígido em concreto simples com barras de transferência pelo método simplificado PCA/84 para um trecho do corredor de ônibus do sistema BRT em Palmas - TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para facilitar e atingir o objetivo geral do trabalho os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar estudo do subleito por meio de ensaios de caracterização em laboratório;
- Realizar prospecção da jazida para material granular de sub base;
- Proceder com ensaios de caracterização do material granular de sub base;
- Dimensionar o pavimento rígido em concreto simples com barras de transferência pelo método simplificado PCA/84;
- Avaliar o reflexo financeiro reduzindo a espessura da camada de revestimento com a utilização de sub base melhorada com cimento.

1.3 Justificativa

Um sistema de mobilidade urbana ineficiente causa perdas econômicas expressivas, desperdiça o tempo e energia das pessoas em deslocamentos de rotina e sobrecarrega a atmosfera com poluentes, sendo o sistema um dos maiores problemas a serem combatidos pelas cidades (Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano, 2013).

Diversas soluções para o sistema de transporte público de Palmas têm sido discutidas e/ou executadas nos últimos anos, tais como o aumento e melhoria na qualidade na frota de veículos para o transporte público de passageiros, assim como o acréscimo de linhas expandindo a área atendida pelo sistema.

Atualmente o projeto mais debatido tem sido a implantação do Sistema BRT na cidade, com o estabelecimento de corredores específicos para a passagem de ônibus.

Em termos de pavimento, o concreto predomina em corredores BRT com elevada demanda, onde a operação é realizada principalmente por veículos articulados e bi-articulados. Dependendo da incidência, buracos e afundamentos do leito viário, que decorrem de pavimentos mal dimensionados, podem comprometer as velocidades operacionais do sistema (LINDAU, 2013).

É de fundamental importância dimensionar corretamente as camadas que suportarão as cargas provenientes do tráfego, para se obter um pavimento adequado ao uso final. Esta atualidade do tema e a notável necessidade de realizar o dimensionamento adequado justificam a realização deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Funções do Pavimento

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) define pavimento como estrutura construída após a terraplenagem, composto por camadas de espessuras variáveis, que tem como função distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto e resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Para Balbo (2007) a medida em que é criada uma superfície regular, aderente e que ocasiona menos ruído, o pavimento, além das características apresentadas pelo DNIT, melhora a qualidade operacional do tráfego, proporcionando aos usuários maior segurança, conforto ambiental em vias urbanas e rurais e uma expressiva redução nos custos operacionais, tendo em vista que os custos de operação e manutenção dos veículos são diretamente ligados as condições de superfície dos pavimentos.

2.1.1 Classificação dos pavimentos

Segundo DNIT (2006) os pavimentos são classificados, de forma geral, em três tipos:

- a) **Flexível**: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.
- b) **Semi-Rígido**: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.
- c) **Rígido**: aquele em que o revestimento tem elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento *Portland*.

2.2 Pavimento Rígido

2.2.1 Breve Histórico

De acordo com Senço (1997), em 1865 tem-se os primeiros registros de execução de pavimentação em concreto no Reino Unido e em 1891 foi construído, e até esta em hoje em funcionamento, o primeiro pavimento em concreto nos Estados Unidos.

Em diversos países, principalmente Alemanha e Estados Unidos, antes da Segunda Guerra Mundial, o pavimento de concreto passou a ter preferência para auto-estradas. Nessa época a Alemanha tinha cerca de 92% de suas auto-estradas em concreto. No fim de 1950 os Estados Unidos tinham em torno de 89% das grandes vias urbanas e 79% das vias rurais pavimentadas com concreto. No Brasil, o primeiro pavimento de concreto foi executado no Caminho do Mar – ligação de São Paulo a Cubatão em 1926. Em seguida foi realizada em 1932, em concreto, a pavimentação da travessia de São Miguel Paulista, da antiga estrada Rio - São Paulo (SILVA E CARNEIRO, 2014).

Pasko Jr. (1998, apud BRITO e GRAEFF, 2009) aponta que os primeiros pavimentos consistiam de placas quadradas com 150 mm de espessura medindo de 1,8m a 2,4m de cada lado, que era basicamente determinado pelos equipamentos disponíveis para a produção do concreto. Quando novas tecnologias foram desenvolvidas para o aprimoramento dos equipamentos para a produção e lançamento do concreto, as placas começaram a se tornar maiores e mais espessas. Em 1917 foi utilizado pela primeira vez o sistema de barras de transferência de esforços entre placas de concreto, em Virgínia, nos Estados Unidos, o que levou ao surgimento de uma série de novas seções transversais, juntas e esquemas de reforço.

Entre 1920 e 1930 as placas de concreto eram concretadas diretamente sobre o solo de contato e apenas uma pequena camada superior do solo era removida como preparação para receber o pavimento. Problemas começaram a aparecer quando caminhões de peso consideravelmente superior ao dos automóveis começaram a trafegar nas rodovias, o que levou ao aparecimento do fenômeno conhecido como bombeamento de finos e a conseqüente ruptura das placas. Como solução a este problema, passou-se a se utilizar sub-base de material granular, geralmente formada por areia, brita e, em alguns casos, escória. Posteriormente

passou-se a se utilizar sub-base tratada com cimento, que foi rapidamente difundida (American Concrete Pavement Association, 2009, apud BRITO e GRAEFF, 2009).

No Brasil a utilização de pavimentos em concreto foi intensa até o início da década de 50, tanto em vias urbanas quanto em rodovias, tais como a BR-116/RJ subida da serra de Teresópolis e nas rodovias nos Estados de Pernambuco e Paraíba, porém, posterior a esta data, devido a vários fatores de natureza política e econômica, essa prática sofreu grande retenção (SILVA E CARNEIRO, 2014).

Segundo os mesmos autores, a produção nacional de cimento, após o término da Segunda Guerra Mundial, foi destinada prioritariamente ao suprimento de necessidades fundamentais da indústria da Construção Civil, fazendo com que os setores de pavimentação utilizassem uma tecnologia que não dependesse do cimento. Na mesma época, nos Estados Unidos, criou-se a tecnologia de pavimentos flexíveis à base de produtos betuminosos em detrimento dos pavimentos rígidos, a qual foi rapidamente absorvida pelos órgãos brasileiros ligados ao ramo. Essa situação estimulou meio técnico de pavimentação a aparelhar-se quase que exclusivamente para emprego de pavimentos asfálticos, com formação de mão de obra e montagem do parque de equipamentos; como conseqüência, há certa inércia para que se passe novamente adotar a alternativa dos pavimentos rígidos para a pavimentação, mesmo havendo sinais efetivos da mudança das circunstâncias técnicas e, principalmente, econômicas (PITTA, 1996).

A partir do ano de 1998, com a compra de pavimentadoras e usinas modernas pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), o pavimento de concreto vem sendo empregado na execução de pavimentação rodoviária no Brasil. Atualmente, pode-se destacar seu emprego em rodovias nacionais, como na terceira faixa de interligação Anchieta - Imigrantes; na marginal da rodovia Presidente Dutra (SP); na pista descendente da Rodovia dos Imigrantes; na pista sul das Marginais da Rodovia Castelo Branco; no Rodoanel Mário Covas; em avenidas como a Av. Assis Brasil (RS) e no Nordeste, onde o Exército Brasileiro executa 142,5 km dos 336,0 km de pavimento rígido na Rodovia BR101/NE, nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (SILVA E CARNEIRO, 2014).

2.3 Estrutura do Pavimento Rígido

A estrutura do pavimento rígido, quando comparada com a do pavimento flexível, é mais simples, por apresentar a camada de base e a camada revestimento

em uma única camada (figuras 01 e 02), por vezes necessitando de uma camada de sub-base e eventual regularização do subleito da via. As camadas do pavimento rígido atendem às solicitações de tráfego de forma divergente do pavimento flexível devido sua formação e materiais utilizados nas mesmas, como ilustradas nas figuras 03 e 04 (NETO, 2011).

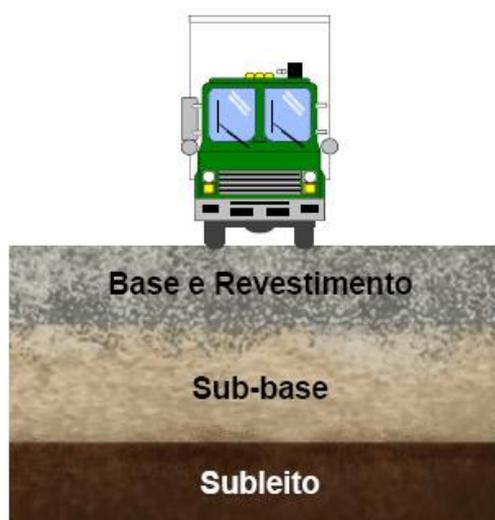


Figura 01 - Camadas Pavimento Rígido

Fonte: ABCP



Figura 02 - Camadas Pavimento Flexível

Fonte: ABCP

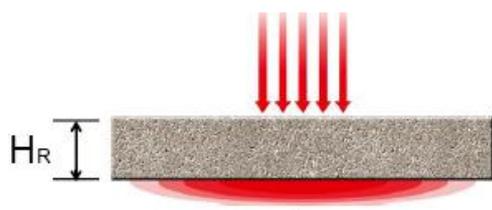


Figura 03 - Distribuição de carga no Pavimento Rígido.

Pequena pressão fundação do pavimento.

Fonte: ABCP.

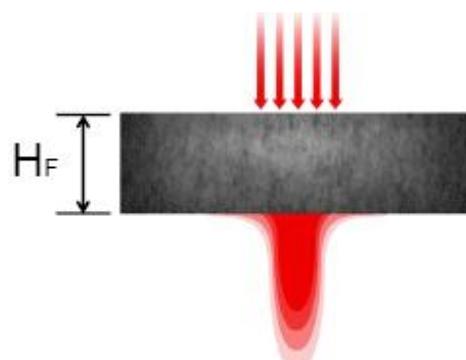


Figura 04 - Distribuição de carga no Pavimento Flexível.

Grande pressão na fundação do pavimento

Fonte: ABCP.

2.3.1 Subleito

Senço (1997) descreve subleito como terreno de fundação do pavimento, assim como Neto (2011) coloca que o subleito é o terreno ao qual será construída a estrutura do pavimento, absorvendo as cargas diluídas aplicadas sobre a mesma e oferecendo suporte para manter a via estática, tendo a mesma designação que para a pavimento rígido e pavimento flexível.

Esta camada deve oferecer características necessárias ao suporte do pavimento, podendo sofrer tratamento especial para alcançar tais fins (Balbo, 2007), porém para o pavimento rígido, segundo Neto (2011), o reforço de subleito pode ser considerado inexistente, dado que a camada de sub-base pode suprir essas necessidades.

2.3.2 Regularização do Subleito

A camada de regularização do subleito oferece as mesmas características para ambos os métodos de pavimentação, que consiste em uma camada de espessura irregular de aterro ou corte compactado com a finalidade de garantir ao subleito as características geométricas transversais e longitudinais de projeto para a via, evitando gastos desnecessários com subleitos irregulares que apresentem alta resistência (Senço, 1997).

DNER (1997), na especificação de serviço nº 299/97, coloca que às larguras e cotas devem obedecer os valores que constam nas notas de serviço de terraplenagem do projeto, ficando limitado a cortes e/ou aterros de até 20cm de espessura.

2.3.3 Sub-base

De acordo com o Manual de Pavimento Rígido - MPR - (DNIT, 2005), a prática atual no projeto de pavimentos rígidos tem sido a intercalação de uma sub-base entre a placa de concreto e o subleito.

A camada de sub-base, ainda segundo o manual, é definida uma camada delgada que tem como função uniformizar o suporte disponível ao longo da faixa do pavimento, evitar os efeitos das mudanças excessivas de volume dos solos do subleito e eliminar a ocorrência do fenômeno de bombeamento de finos plásticos, porventura presentes no solo de fundação, quando da presença de água em excesso e cargas pesadas.

DNIT (2005) indica ainda que além de não bombeáveis, as sub-bases sob as placas de concreto, não devem ser consolidáveis, recomendando-se para tanto que ela seja pouco espessa.

Os tipos de sub-bases para pavimentos de concreto podem ser classificados conforme o Quadro 01.

Quadro 01 - Tipos de sub-bases para pavimentos de concreto

Sub-base para pavimentos de concreto	Sub-bases granulares	Granulometria fechada	
		Granulometria aberta	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento Solo melhorado com cimento Brita graduada tratada com cimento Concreto rolado
		Com outros aditivos	Asfalto Cal Pozolana

Fonte: Adaptado de DNIT, 2005.

2.3.4 Base e Revestimento

Devido suas características de resistência e estabilidade, as placas de concreto de cimento desempenham as funções de duas camadas, a de revestimento e a de base, eliminando a necessidade de uma camada diferenciada (NETO, 2011).

Esta parte superior do pavimento pode ser realizada de diversas formas, dependendo do dimensionamento adequado a cada situação encontrada em campo. Os tipos de pavimentos são descritos no item 2.4.

2.4 Tipos de Pavimentos Rígidos

2.4.1 Pavimento de Concreto Simples

Oliveira (2000) descreve esse tipo de pavimento como de placas de concreto de cimento *Portland* que absorvem tanto os esforços de compressão quanto os de tração. As placas são separadas por juntas moldadas ou serradas, que controlam a fissuração devida à retração, ao empenamento e à dilatação térmica.

Os pavimentos de concreto simples podem ser divididos em concreto simples sem barras de transferência e concreto simples com barras de transferência. As barras de aço, que podem ser empregadas com a função de transferir esforços entre placas, não são consideradas armaduras, portanto não descaracterizam o pavimento de concreto simples.

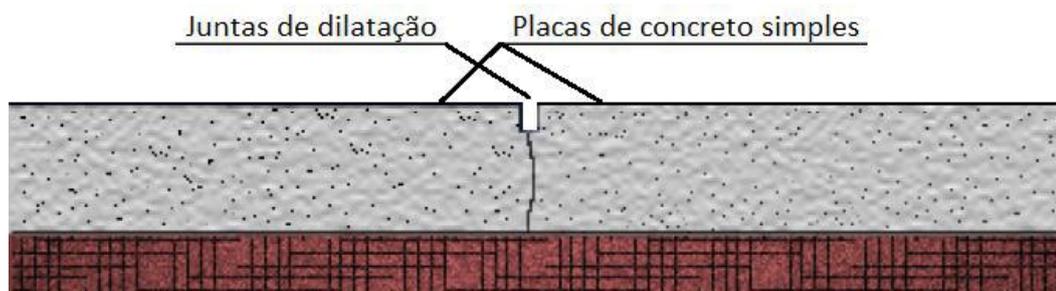


Figura 05 - Perfil de Pavimento rígido de concreto simples, sem barras de transferência.

Fonte: Oliveira, 2000.

DNIT (2005) coloca que os pavimentos de concreto simples sem barras de transferência não dispõem de espécie alguma de aço, sob nenhuma forma, e tem a entrosagem de agregados como única maneira de transferência de carga entre placas e por isso mesmo, exigem placas curtas, da ordem de 5 a 6m de comprimento). Já os pavimentos de concreto simples com barras de transferência são dotados de sistema artificial de transmissão de carga, formado por barras curtas de aço liso, postada na meia-seção das juntas transversais e que podem ter comprimento de placa de até 9m a 12m.



Figura 06 - Desnivelamento entre placas de concreto do pavimento rígido sem e com barras de transferência.

Fonte: Loturco, 2005, apud Assumpção et al, 2014.

2.4.2 Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua

Este tipo de pavimento é constituído por um conjunto de placas de concreto que contam com malhas de aço sob a forma de armadura distribuída, apoiadas sobre a fundação. As malhas de aço são posicionadas acima do plano médio da seção, mantendo o mínimo de 5 cm de cobertura (OLIVEIRA, 2000).

De acordo com DNIT (2005) as malhas são situadas antes de cada junta transversal, não apresentando função estrutural, ou seja, não contribui para aumentar a resistência da placa à flexão, e as placas de concreto devem obrigatoriamente possuir barras de transferência.

A armadura tem a função de inibir a propagação de fissuras, que ocorrem por efeito das variações de volume devidas à retração por secagem e às mudanças de temperatura, mantendo as faces fortemente ligadas, podendo reduzir o número de juntas (OLIVEIRA, 2000).

O pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua possibilita a execução de placas de até 30 metros de comprimento, porém usualmente placas entre 12 a 15m sejam mais adotados (DNIT, 2005).

No Brasil existem diversas aplicações deste tipo de pavimento, principalmente para pisos industriais, por exemplo nas indústrias Santa Marina, em São Paulo, 1985; Cofap, em Itajubá – MG, 1985, 1987 e 1992; Volkswagen do Brasil, em São Bernardo do Campo – SP, 1987; Schincariol, em Itu – SP, 1990 e em Alagoinhas – BA, 1998, dentre outras (GASPARETTO, 1999, apud OLIVERA, 2000).

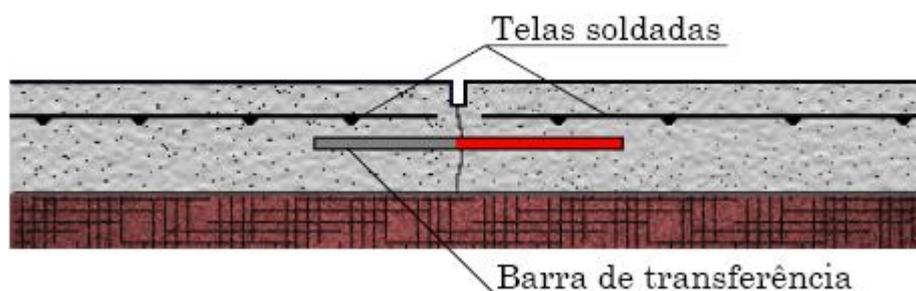


Figura 07 - Seção de pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua.

Fonte: Oliveira, 2000.

2.4.3 Pavimento de concreto com armadura distribuída contínua

O pavimento de concreto com armadura distribuída contínua possui armadura distribuída em toda sua extensão, tornando a placa bastante pesada, fazendo com que exista boa transmissão de carga nas fissuras, que surgem pelo fato de não serem executadas juntas transversais e, dependendo do método de execução, também não apresenta juntas longitudinais. São necessárias apenas as juntas de construção, executadas ao término de um ciclo de trabalho, ou quando as faixas de rolamento são construídas separadamente (DNIT, 2005).

Oliveira (2000) apresenta que a distância entre a armadura e a face superior é de aproximadamente $1/3$ da espessura da placa. O aço tem função de controlar a fissuração devida às variações volumétricas, da mesma forma como ocorre no caso dos pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua.

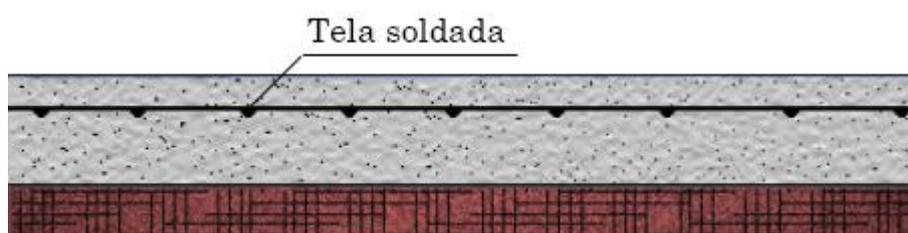


Figura 08 - Seção de pavimento de concreto com armadura distribuída contínua.

Fonte: Oliveira, 2000.

O comprimento das placas é igual à extensão diária construída (DNIT, 2005), este tipo de pavimento nunca foi executado no Brasil, devido ao elevado custo de construção, mas é largamente empregado no Texas (EUA) e também já foi construído em Portugal, na França e na Inglaterra (OLIVEIRA, 2000).

2.4.4 Pavimento de concreto estruturalmente armado

Este tipo de pavimento de concreto é formado por placas armadas na parte inferior, onde se desenvolvem as maiores tensões de tração. O aço tem função de resistir a essas tensões, diminuindo, assim, a espessura de concreto. O pavimento de concreto estruturalmente armado possui ainda outra malha de armadura na parte superior, que a função de controlar a fissuração por retração (OLIVEIRA, 2000).

Para Pitta (1998), no projeto de um pavimento estruturalmente armado procura-se determinar as posições das diversas tensões atuantes, armando a placa nesses pontos específicos, obtendo assim maior eficiência da estrutura. Os

pavimentos de concreto estruturalmente armados apresentam vantagens, quando comparadas aos pavimentos de concreto simples, que as placas podem ser menos espessas e possuir maior espaçamento entre juntas.

Loturco (2005, apud Assumpção et al, 2014) comenta que o pavimento de concreto estruturalmente armado é disposto em placas de até 30 m de comprimento.

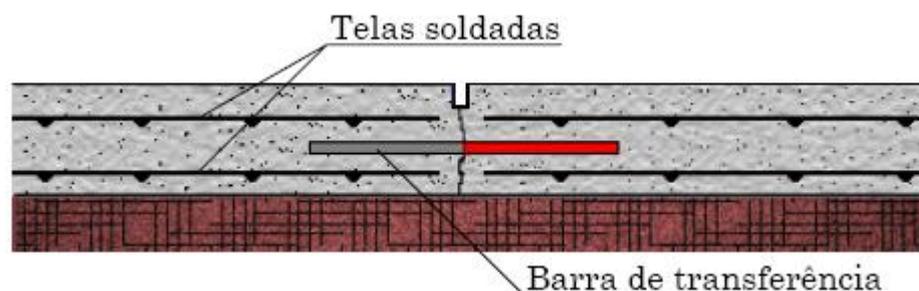


Figura 09 - Seção de pavimento estruturalmente armado.

Fonte: Oliveira, 2000.

2.4.5 Pavimento de concreto rolado

O MPR (DNIT, 2005) apresenta o concreto rolado – também conhecido como concreto pobre rolado e concreto compactado com rolo – como um concreto seco, de consistência rija e trabalhabilidade tal que lhe permite ser compactado por rolos compressores, vibratórios ou não, em lugar de ser adensado por vibradores de imersão ou equipamento semelhante normalmente empregado nos concretos tradicionais de pavimentação.

Seu uso em pavimentação data de 1893, em Bellefontaine, Ohio, nos Estados Unidos, desde então estendida e desenvolvida a prática na Grã-Bretanha, no Brasil, em pavimentos urbanos a partir dos anos 50, e alguns outros países.

Ainda segundo o Manual, uma característica notável deste tipo de pavimento rígido é que não há exigências rigorosas quanto à granulometria, nem quanto aos índices de qualidade do agregado graúdo, o que possibilita aproveitar materiais que seriam descartados para uso nos concretos comuns de pavimentos.

2.4.6 Pavimento de concreto com fibras

Segundo Figueiredo (2011), o concreto reforçado com fibras pode ser considerado um compósito, onde as fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal. As fibras

destinadas ao reforço do concreto são chamadas, de maneira genérica, como macro-fibras e podem ser de aço ou poliméricas.

O concreto com fibras de aço ou outro tipo de fibra apresenta maior resistência a fissuração, impacto e desgaste, além de possuir maior ductilidade, (OLIVEIRA, 2000), isso devido a uma das características do reforço proporcionado pelas fibras, que é o fato de estas se distribuírem aleatoriamente no material, reforçando toda a peça, diferenciando do que ocorre com as armaduras convencionais (FIGUEIREDO, 2011).

2.4.7 Pavimento De Concreto Protendido

O pavimento de concreto protendido é utilizado, principalmente, quando há tráfego muito intenso. Sua maior aplicação são as pistas e os pátios de aeroportos. Já foi utilizado em diversos aeródromos, tanto no Brasil quanto no exterior (OLIVEIRA, 2000). "Exemplo marcante de utilização no Brasil é a pista 09-27 do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Tom Jobim), com 18 cm de espessura e placas de até 123 m de comprimento, com mais de 20 anos de serviço..." (PITTA, 1999).

Segundo Schmid (2005), no pavimento rígido de concreto protendido, a resistência do concreto à tração é controlada pela protensão que comprime previamente o concreto, criando nele uma reserva de tensão que permite uma redução sensível na espessura da placa. A placa comprimida é praticamente impermeável e sem trincas. Os pavimentos de concreto protendido apresentam ainda a vantagem das juntas poderem ser espaçadas de até 150 metros, porém a execução é mais sofisticada.

2.4.8 Pavimento Whitetopping

O whitetopping é uma solução para reabilitação de pavimentos asfálticos já existentes, que consiste em uma camada rígida de reforço, executada com concreto de cimento *Portland* (DNIT, 2005).

Segundo o MPR (DNIT, 2005), a adoção deste tipo de pavimento passou a ser considerada após pesquisa realizada pela ABCP, a partir do qual foi elaborado o Manual de Recapeamento de Pavimentos Flexíveis com Concreto Tipo Whitetopping.

De acordo com o Manual, a vantagem da utilização desse tipo de pavimento é que, além de sanar as deficiências pavimento antigo existente, passa a ter o desempenho de um pavimento rígido novo, com todas as vantagens inerentes a este tipo de pavimento, principalmente no que concerne à segurança, ao conforto de rolamento e à economia, tanto dos usuários, como dos órgãos responsáveis e da sociedade como um todo. Essa alternativa de reabilitação é na maioria das vezes mais econômica, quando se depara com pavimentos flexíveis seriamente danificados ou que estejam propensos a se deteriorar mais rapidamente sob tráfego pesado ou em meio a ambiente agressivo, aplicando uma camada asfáltica nivelante sobre o pavimento existente, para sanar as irregularidades da superfície, antes do lançamento do pavimento rígido superposto.

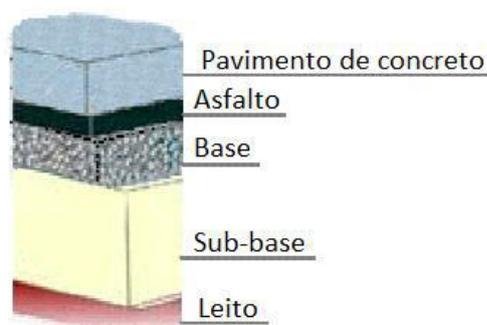


Figura 10 - Perfil de pavimento whitetopping.

Fonte: Oliveira, 2000.

2.5 Insumos Utilizados nos Pavimentos Rígidos

Os materiais usados para pavimentos de concreto de cimento *Portland* são classificados, de acordo com DNIT (2005), em cinco itens, sendo eles o próprio cimento *Portland*, os agregados graúdos e miúdos, a água de amassamento, os aditivos e os materiais selantes de junta. Para obras de pavimentação rígida de concreto, o material deve apresentar critérios para a seleção de fontes, e procedimentos para a caracterização tecnológica, além da indicação das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e do DNIT para a qualificação destes materiais.

2.5.1 Estudo do Cimento *Portland*

O cimento *Portland* tem como seu constituinte principal o clínquer, material sinterizado e peletizado, resultante da calcinação a aproximadamente 1450 °C de

uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura (AMORIM, 2010).

Segundo DNIT (2005) as adições, que são misturadas ao clínquer para o produção do cimento *Portland*, e que podem variar de um tipo de cimento para outro, são um dos fatores que definem os diferentes tipos de cimentos. Estas adições podem ser de escória de alto forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos. A escolha destes materiais para mistura classifica os tipos de cimento *Portland* alterando suas características e propriedades de acordo com a Tabela 01.

Tabela 01 - Tipos de Cimento

Tipo	Denominação	Tipo Específico	Característica
CPI	Cimento <i>Portland</i> Comum	CPI	Sem adição
		CPI - S	Com adição de materiais carbonáticos
CPII	Cimento <i>Portland</i> composto	CPII-E	Com adição de escória
		CPII-Z	Com adição de materiais pozolânicos
		CPII-F	Com adição de materiais carbonáticos
CPIII	Cimento <i>Portland</i> de alto forno		
CPIV	Cimento <i>Portland</i> Pozolânico		
CPV	Cimento <i>Portland</i> de Alta Resistência Inicial		
CPB	Cimento <i>Portland</i> Branco Estrutural		
	Cimento <i>Portland</i> resistente aos sulfatos		
	Cimento <i>Portland</i> de baixo calor de hidratação		

Fonte: Adaptado DNIT, 2005.

Para cada tipo de cimento, características importantes, como resistência, tempo de endurecimento e reatividade, são alteradas e/ou incrementadas para melhor atender a designação ao qual é empregado (NETO, 2011). DNIT (2005) coloca que para a execução dos pavimentos de concreto não são feitas exigências especiais quanto ao tipo de cimento e quanto aos índices físicos e químicos que estes tipos devem apresentar. Entretanto, os cimentos que apresentam maior eficiência no concreto, com maiores resistências para menores consumos, são aqueles cujo processo de endurecimento com o tempo seja mais lento. Assim o Manual de Pavimento Rígido (DNIT, 2005) recomenda os seguintes tipos de cimento para pavimentação em concreto:

- Cimento *Portland* Comum (NBR 5732);
- Cimento *Portland* Composto (NBR11578);
- Cimento *Portland* de Alto Forno (NBR 5735);
- Cimento *Portland* Pozolânico (NBR 5736).

2.5.2 Estudo dos Agregados

Para Silva (2005), os agregados podem ser classificados em naturais, quando são encontrados na forma em que serão utilizados no concreto, ou agregados artificiais, que passam por algum tipo de processo para modificar sua estrutura. Há também outra classificação dos agregados, feita pela dimensão destes, classificando-os em agregados miúdos e agregados graúdos. Na bibliografia mencionada observa-se que, agregados miúdos possuem dimensão mínima $0,15 \text{ mm} \leq D \leq 4,8 \text{ mm}$, e podem ser exemplificados por areia natural quartzosa ou artificial resultante do britamento de rochas estáveis. Já os agregados graúdos, apresentam dimensão mínima de $4,8 \text{ mm} \leq D \leq 75 \text{ mm}$, e tem como exemplo o pedregulho natural ou pedra britada.

Os agregados utilizados para a finalidade da pavimentação em concreto de cimento *Portland* diferem dos demais devido à rigorosidade em sua seleção, exigências e aplicação, isto se deve ao fato de ser necessário para o concreto de pavimentação, que ele tenha maior resistência à tração, menores variações volumétricas, menor suscetibilidade à fissuração, resistência à fadiga e elevada durabilidade à ação do meio ambiente e à ação abrasiva do tráfego (DNIT, 2005). A escolha para utilização dos agregados é criteriosa e demanda a realização de

diversos ensaios laboratoriais de caracterização visando averiguar essas características de extrema importância para o emprego em pavimentos.

2.5.3 Estudo da Água de Amassamento

Para uma boa qualidade do concreto, a água utilizada para o amassamento e cura também pode passar por um controle tecnológico relevante à presença ou não de impurezas. Apesar de estudos na área indicarem que a qualidade da água utilizada não influencia em grande escala nas características do concreto, a presença de algumas características na água pode vir a classificá-la como imprópria à utilização na construção de pavimentos, como mostrados nos estudos realizados por Abrams (DNIT, 2005).

Estes estudos mostraram que água muito ácida, carbonatada, com excesso de cloreto de sódio ou sulfatos, com açúcares ou similares e residuais de curtumes não são apropriadas para utilização no concreto. O mesmo autor considera como satisfatória a utilização de água de pântanos e brejos, com baixas concentrações de íons SO_4^- , sulfato de sódio e cloreto de sódio, provenientes de minas de carvão e gesso, dentre outras.

Resumidamente o MPR (DNIT, 2005) considera como apropriada para uso em pavimento de concreto as águas tratadas e utilizadas para o abastecimento das populações das cidades e traz a relação de normas para qualificação das águas para amassamento e cura do concreto, sendo elas:

- NBR 12654 - Água de Amassamento - Coleta de Amostra para Ensaio;
- DNIT 036/2004-ME - Água de Amassamento - Ensaio Químico - Método de Ensaio;
- DNIT 037/2004 - ME - Água de Amassamento - Ensaio Comparativo - Método de Ensaio.
- DNIT 047/2004 – ES – Concreto de Cimento *Portland* em equipamento de pequeno porte - Especificação de Serviço.
- DNIT 048/2004 - ES - Concreto de Cimento *Portland* em equipamento de fôrma-trilho - Especificação de Serviço.
- DNIT 049/2004 – ES - Concreto de Cimento *Portland* em equipamento de fôrma-deslizante - Especificação de Serviço.

2.5.4 Estudo dos Aditivos

O DNIT (2005) denomina como aditivo “toda substância não plenamente indispensável à composição ou à finalidade do concreto em si, mas que, quando nele colocada em pequenas quantidades, antes ou durante a mistura, gera ou reforça certas características do concreto, quer no estado plástico, como no endurecido”. Ou seja, os aditivos são adicionados ao concreto com o intuito de melhorar suas propriedades. Segundo o DNIT (2005), alguns dos efeitos que se deseja obter com a utilização de aditivos são:

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Acelerar ou retardar o tempo de pega;
- Reduzir a permeabilidade;
- Acelerar o desenvolvimento da resistência nas idades iniciais;
- Torná-lo mais resistente aos agentes agressivos;
- Retardar ou diminuir o calor de hidratação;
- Desenvolver propriedades fungicidas, germicidas ou inseticidas etc.

2.5.5 Estudo dos Materiais Selantes de Juntas

Neto (2011) descreve as juntas como espaçamentos que tem a função de evitar esforços indesejados no interior da estrutura, e são distribuídas entre as placas de concreto, prolongando a vida útil do pavimento.

Ao realizar a selagem das juntas do pavimento rígido, tenta-se impedir a infiltração de água e de matérias sólidas através delas. O mesmo autor explica que a água em contato com concreto pode vir a corroer a estrutura, decaindo suas propriedades e que as partículas sólidas podem criar novos esforços durante o processo de dilatação, esforços aos quais o pavimento não foi dimensionado.

O Manual de Pavimento Rígido (DNIT, 2005) descreve que um material selante de juntas de pavimentos de concreto pode estar sujeito a efeitos dos esforços de dilatação, ou seja, sobre compressão ou tração e que o material apropriado deve proporcionar longa vida de serviço e resistência às solicitações e possuir características como fluidez, período de cura propícia ao seu uso, adesividade, elasticidade, resistência à fissuração e coesão.

2.6 Dimensionamento do Pavimento Rígido

Segundo Balbo (2009), pode-se encontrar na literatura atual alguns métodos clássicos de dimensionamento de pavimento rígido de concreto. Todos eles levam em conta conceitos de carga nas placas, coeficiente de recalque (k) e tensões de tração na flexão. A determinação do coeficiente de recalque é feita por meio de uma prova de carga estática, na qual é possível correlacionar as pressões transmitidas através de uma placa rígida e os deslocamentos correspondentes (PITTA, 1998).

$$k = qw \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

q = pressão transmitida a fundação em MPa;

w = deslocamento vertical na área afetada em m.

O coeficiente de recalque em MPa/m é a correlação entre o Índice de Suporte Califórnia, também conhecido como *Californian Bearing Ratio* (CBR) e o coeficiente de recalque do solo no subleito, como mostra a tabela 02.

Tabela 02 - Correspondência entre valores de suporte de subleito

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

Fonte: Adaptado de Pitta, 1998.

2.6.1 Dimensionamento pelo Método da AASHTO/93

O método AASHTO - *American Association of State Highway Transportation Officials* - é um método empírico-estatístico baseado em critérios de desempenho medidos nas pistas experimentais da associação em Illinois, EUA. A espessura da placa de concreto de cimento *Portland* é definida a partir do número de eixos que garantirá a perda de serventia em um período estimado de vida útil (AASHTO, 1993, apud ASSUMPÇÃO et al., 2014).

A concepção do método de dimensionamento da AASHTO fez surgir a definição de serventia (PSI - *Present Serviceability Index*) e de desempenho, que ainda hoje são usadas em projetos de pavimentação. A serventia é definida como uma medida de quão bem um pavimento em dado instante do tempo serve ao tráfego usuário, com conforto ao rolamento, considerando-se a existência de tráfego misto, sob qualquer condição climática. Tal medida varia dentro de uma escala de 0 a 5, e o valor 5 representa o melhor índice de serventia possível (HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1962, apud SANTOS, 2011).

A Figura 11 demonstra a curva típica de perda de serventia (PSI) ao longo do tempo de operação do pavimento.

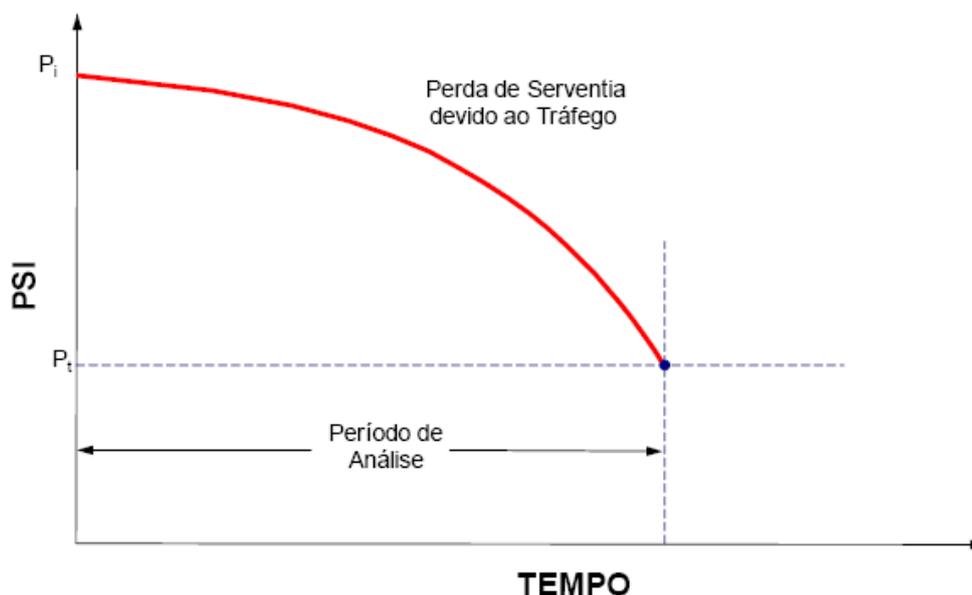


Figura 11 - Curva de desempenho do pavimento segundo AASHTO (1993).

A equação 02 apresenta o modelo utilizado para o dimensionamento e desempenho das estruturas de concreto.

$$\log(N_{RIG}) = Zr.s_0 + 7,35 \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}\right)}{1 + \frac{1,624 \cdot 10^7}{(D + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32pt) \log \left[\frac{Sc.Cd.(D^{0,75} - 1,132)}{215,63.J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0,25}} \right]} \right]$$

Equação 02

Onde:

N_{RIG} = número de repetições do eixo padrão de 80 kN segundo a AASHTO;

D = espessura da placa (pol.);

ΔPSI = variação de serventia;

Zr = nível de confiabilidade (Confiabilidade Estatística);

s_0 = desvio padrão;

Sc = resistência do concreto à ruptura por tração (psi);

Cd = coeficiente de drenagem;

J = coeficiente de transferência de carga;

Ec = módulo de elasticidade do concreto;

k = módulo de reação (pci).

2.6.2 Dimensionamento pelo Método da ABCP - PCA/66

Brito e Graeff (2009) explicam que o método descrito pela PCA (1966) trata-se de uma padronização dos estudos realizados anteriormente por Westergaard (1926) e Pickett e Ray (1951). A PCA propõe ábacos baseados no trabalho de Pickett e Ray que foram desenvolvidos após manipulação computacional.

Para o dimensionamento através deste método são levados em consideração as propriedades do concreto, o suporte da fundação, fatores de segurança de carga e as tensões produzidas pelas cargas e também os efeitos de fadiga nos pavimentos de concreto, que foram baseados no estudo de Hilsdorf e Kesler em 1966 (MOURA, 1999).

A fadiga é explicada por Balbo (2009) como o processo de deformações permanentes que se dá pela atuação de tensões repetidas. Seu resultado vai desde a apresentação de fissuras internas que implicam na perda da rigidez do concreto

até o rompimento sem que o nível de tensões ultrapasse a resistência do material. O DNIT (2005) completa que sua análise é feita utilizando o método de Miner, que mostra o acúmulo de consumo de fadiga das tensões atuantes, sendo:

$$C_{total} = \sum_i \frac{N_{sol,i}}{N_{adm,i}} \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

C_{total} = consumo total da resistência à fadiga;

i = relação de tensões;

$N_{sol,i}$ = número de repetições previstas para a relação de tensões i ;

$N_{adm,i}$ = número admissível de repetições para a relação de tensões i .

A determinação da espessura do pavimento de concreto é realizada por meio de ábacos de dimensionamento.

2.6.3 Dimensionamento pelo Método da ABCP - PCA/84

Apesar de este método ser de autoria do mesmo órgão que lançou o método de dimensionamento em 1966, o mesmo apresenta relevantes modificações quando comparado com a sua versão anterior.

Pitta (1998) explica que o método de 1984 considera como critérios de ruptura a erosão e a fadiga das placas, diferenciando do método apresentado em 1966 que analisa apenas os efeitos de fadiga.

O mesmo autor ainda descreve outras características do novo método, como por exemplo o uso para pavimentos de concreto simples e com barras de transferência, também nos dotados de armadura distribuída, descontínua, e o fato do método usar um modelo de análise estrutural por elementos finitos, que em linhas gerais, pode ser explicado como um método matemático, no qual um meio contínuo é subdividido em elementos (finitos) que mantém as propriedades de quem os originou. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados.

O método PCA/84 também acrescentou a contribuição de acostamentos de concreto para melhoria do desempenho da estrutura, o suporte estrutural das sub-bases de concreto rolado ou sub-bases tratadas com cimento (BRITO E GRAEFF, 2009).

Os critérios de ruptura (fadiga e erosão) são apresentados pelo DNIT (2005):

a) Fadiga

As tensões de tração por flexão passam a ser consideradas pela passagem da carga, tangenciando a borda longitudinal e não mais a junta transversal como no método PCA/66. A curva de fadiga anterior foi prolongada até alcançar a relação de tensões mínima de 0,45, abaixo da qual as repetições admissíveis de carga são ilimitadas.

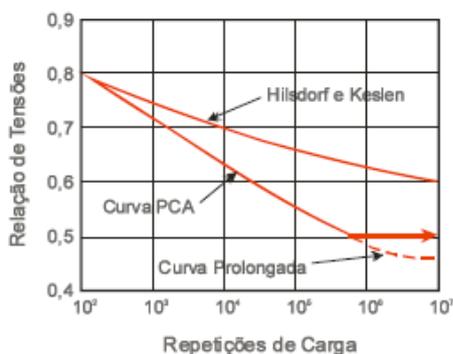


Figura 12 - Curvas de Fadiga.

Fonte: DNIT, 2005

b) Erosão e escalonamento

A erosão é a perda de material do topo da camada imediatamente sob a placa de concreto. Ocorre devido à ação combinada da água e da passagem de forças elevadas, dando-se o fato também nas laterais do pavimento, manifestam-se sob a forma de deformações verticais críticas.

Na análise de erosão também se utiliza o conceito de dano acumulado. O fator de erosão mede o poder que uma certa carga tem de produzir a deformação vertical da placa de concreto e seu valor é expresso pela letra P.

Segundo Pitta (1998), o fator de erosão provém de dados experimentais que apresentaram um índice de serventia final igual a 3,0, que é um valor relativamente alto, o que provoca uma tendência ao superdimensionamento, obtendo a seguinte expressão:

$$P = \frac{268,7p^2}{hk^{0,73}} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

P=fator de erosão;

p=pressão vertical exercida na fundação sob o canto da placa, em psi;

h=espessura da placa em polegadas;

k=coeficiente de recalque, em libras por polegada cúbica.

O escalonamento é conhecido como os danos pela formação de degraus nas juntas transversais, e sub-bases estáveis associadas a erosão. Ela é representada pela expressão:

$$\log N = 14,524 - 6,777 \times (C_1 \times P - 9,0)^{0,013} \quad \text{Equação 05}$$

Onde:

N=número admissível de passagens da força;

P=fator de erosão;

C₁=constante de ajustamento relacionada ao tipo de sub-base, igual a 1,0 se granular e cerca de 0,9 se tratada com cimento.

2.6.3.1 Procedimento Simplificado Método ABCP - PCA/84

Pitta (1998) em seu livro Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84 - Estudo Técnico 97, publicado pela ABCP, descreve o procedimento simplificado do método PCA/84, o qual foi explicado neste estudo.

O autor explica que este procedimento deve ser usado quando não se dispõe dos dados completos de tráfego, caso comumente encontrado quando se trata de pavimentação urbana. A ausência de informações sobre a distribuição das cargas por eixo impede que se calculem os danos por fadiga e erosão.

O procedimento simplificado estabelece a relação entre os tipos de vias (residências, estradas rurais, arteriais, vias expressas, entre outras) e o tráfego médio diário (TMD), definindo a categoria de carga de eixo, que por sua vez leva a definição do quadro que soluciona o dimensionamento (exemplo quadro 03), sem a necessidade de calcular os consumos de resistência a fadiga e erosão (PITTA,1998).

O método simplificado apresenta sete quadros que resolvem o dimensionamento das placas de concreto, os quadros são diferenciados por Categorias de Carga por Eixos (categoria nº 1, nº 2, nº 3 e nº 4) e pelo uso ou não de barras de transferência.

Quadro 02 - Exemplo de Quadro de Dimensionamento.

Tráfego Médio diário de Caminhões (TMDC) admissível, categoria de carga de eixo nº 1 - Pavimento sem barras de transferência.

	Sem acostamento de concreto				Com acostamento de concreto ou meio-fio			
	Espes- sura de concreto (cm)	Suporte Disponível (MPa/m)			Espes- sura de concreto (cm)	Suporte Disponível (MPa/m)		
		Baixo (20 a 34)	Médio (35 a 49)	Alto (50 a 60)		Baixo (20 a 34)	Médio (35 a 49)	Alto (50 a 60)
$F_{ctm,k} = 4,4 \text{ MPA}$	12		0,1	0,3	10		0,1	0,4
	13	0,2	1	4	11	0,3	2	6
	14	2	11	33	12	4	21	60
	15	18	77	210	13	38	160	410
	16	110	407		14	240		
	17	500						
$F_{ctm,k} = 4,1 \text{ MPA}$	13		0,2	0,7	11		0,3	1
	14	0,4	2	8	12	0,8	5	15
	15	4	19	54	13	9	41	110
	16	27	110	290	14	65	260	650
	17	140	530		15	360		
	18	600						
$F_{ctm,k} = 3,8 \text{ MPA}$	14	0,1	0,4	1	11			0,2
	15	0,7	4	12	12	0,1	0,8	3
	16	5	26	72	13	2	9	26
	17	32	130	350	14	14	63	170
	18	150	570		15	90	340	
				16	430			

$F_{ctm,k}$: Máxima resistência característica à tração na flexão do concreto.

Fonte: Pitta, 1998.

2.6.4 Dimensionamento das Barras de Transferência

As barras de transferência são dimensionadas, de forma simplificada, através da quadro 03, apresentado pelo Manual de Pavimento Rígido (DNIT, 2005), onde relaciona o diâmetro, o comprimento e o espaçamento das barras em razão da espessura da placa.

Quadro 03 - Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência

Espessura da Placa (cm)	Diâmetro (cm)	Comprimento (mm)	Espaçamento (mm)
Até 17,0	20	460	300
17,5 – 22,0	25	460	300
22,5 – 30,0	32	460	300
> 30,0	40	460	300

Fonte: DNIT, 2005.

3 METODOLOGIA

A priori, foi definido do trecho a ser estudado, iniciando na Avenida Parque (próximo ao CEULP ULBRA) e finalizando na avenida LO-27, conforme apresenta o mapa de localização (figura 13). Foi estabelecido também os pontos de coleta de material, para análise do subleito, sendo eles:

- ponto 01 - no cruzamento da Avenida Parque com a Avenida Joaquim Teotônio Segurado;
- ponto 02 - no centro no trecho; e
- ponto 03 - no cruzamento da Avenida LO-27 com a Avenida Joaquim Teotônio Segurado;



Figura 13 - Mapa de localização.

Fonte: Google Earth

Para a coleta do material de subleito, nos três pontos analisados, foi realizada limpeza superficial da área, removendo a matéria orgânica presente. A primeira camada escavada, com cerca de 15 centímetros de profundidade, foi dispensada, pois esta ainda apresentava resíduos de matéria orgânica e outros. Subsequente ao descarte, 30 quilos do material de cada ponto foi coletado, armazenado em embalagens apropriadas separadamente, e encaminhado ao laboratório de solos do Ceulp Ulbra, onde foi preparado e ensaiado.

3.1 Caracterização do Subleito

Os ensaios laboratoriais para a caracterização do subleito seguiram as normas rodoviárias elaboradas pelo DNER, sendo elas:

- a) Preparação de Amostra para Caracterização - Método de Ensaio 041/94.

Todo material coletado foi passado na peneira de 2,00 milímetros, separando material retido do passante. Posteriormente foram formadas cinco amostras, de

cinco quilos, de cada ponto coletado, com quantidade proporcionais do material, usadas para o ensaio de compactação e índice de suporte califórnia. Para o ensaio de análise granulométrica a amostra de cada ponto, de um quilo, também foi formada a partir da proporcionalidade de material retido e passante da peneira de 2,00mm. As amostras formadas para os ensaios de limite de liquidez e plasticidade foi estabelecida pelo material coletado passante na peneira de 0,42mm, com cerca de 200 gramas de material, para cada ponto analisado.

b) Análise Granulométrica por Peneiramento - Método de Ensaio 080/94.

Primeiramente todo o material separado para este ensaio foi lavado, separadamente para cada ponto, para retirada de silte e argila, o que leva a resultados mais corretos, e em seguida disposto na estufa por 24 horas para secagem. Após secagem, as amostras foram passadas nas peneiras 3/4", 3/8", nº 4, 10, 16, 30, 40, 50, 100 e 200 para elaboração da curva granulométrica.

c) Determinação do Limite de Liquidez - Método de Ensaio 122/94

Com a utilização do aparelho Casagrande, para cada ponto de análise, foram efetuados cinco repetições do método de ensaio, com adição de água destilada na ordem de 1cm³ a 3cm³ a cada repetição e registrado o número de golpes das mesmas. Para cada repetição foram colhidos porção de solo de ambos os lados da canelura, abrangendo o local em que se verificou a união das bordas, para determinação da umidade.

d) Determinação do Limite de Plasticidade - Método de Ensaio 082/94.

Da mesma forma como no ensaio de limite de liquidez, para este método de ensaio foram executadas cinco repetições para cada amostra. Os materiais foram moldados, sobre placa esmerilada, conforme gabarito (3mm de diâmetro e 10cm de comprimento) até que fissurasse em pequenos fragmentos. Alguns fragmentos foram coletados para a determinação da umidade.

e) Compactação - amostras não trabalhadas Método de Ensaio 129/94

O ensaio de compactação foi realizado em cinco amostras. Com uso de cilindros, previamente pesados, foram colocadas três camada de solo, compactadas com auxílio de soquete metálico cilíndrico, aplicando 26 golpes por camada. A cada

repetição do ensaio foram adicionados teores crescentes de água, para formação da curva de compactação.

f) Índice Suporte Califórnia - Método de Ensaio 049/94

Dos cinco moldes usados para o ensaio de compactação, três foram usados para o ensaio de índice suporte califórnia, o que apresentou a umidade ótima do material, e os que apresentaram valor anterior e posterior a umidade ótima. Estes três moldes foram colocados em tanque com água para embebição por quatro dias, com extensômetros fixados a ele. Após o período de embebição os moldes foram rompidos em presa para determinação do índice suporte califórnia. As leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão da prensa no solo foram anotadas conforme norma.

3.2 Prospecção de Jazida de Material de Sub base

A prospecção teve início com a uma pesquisa sobre possíveis propriedades locais que apresentem materiais adequados para o uso na pavimentação como sub base. Com essa pesquisa foram escolhidas duas jazidas para análise.

A jazida 01, está localizada na TO - 010, sentido Lajeado, na coordenada 794889.92m E e 8881174.32m S (figura 14). Esta jazida se encontra em exploração, o que facilitou a coleta no material para realização dos ensaios.

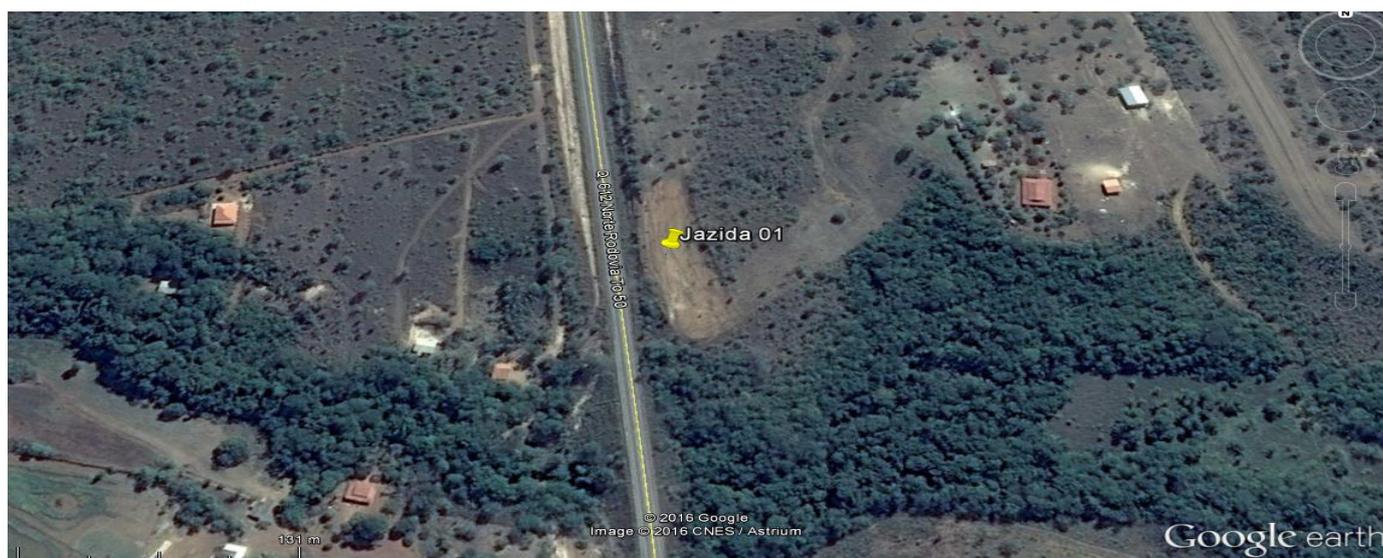


Figura 14 - Localização da Jazida 01

A jazida 02, localizada na TO - 050, sentido Porto Nacional, encontra-se na coordenada 794862.49m E e 8849354.35m S. Para a coleta deste material, foi

realizada limpeza superficial da área, para retirada de matéria orgânica presente, e posterior escavação, com cerca de 50 centímetros de profundidade.

Foram coletados aproximadamente 40 quilos de material de cada jazida, armazenados em embalagens apropriadas e encaminhados ao laboratório de solos do Ceulp Ulbra, onde foram preparados e ensaiados.

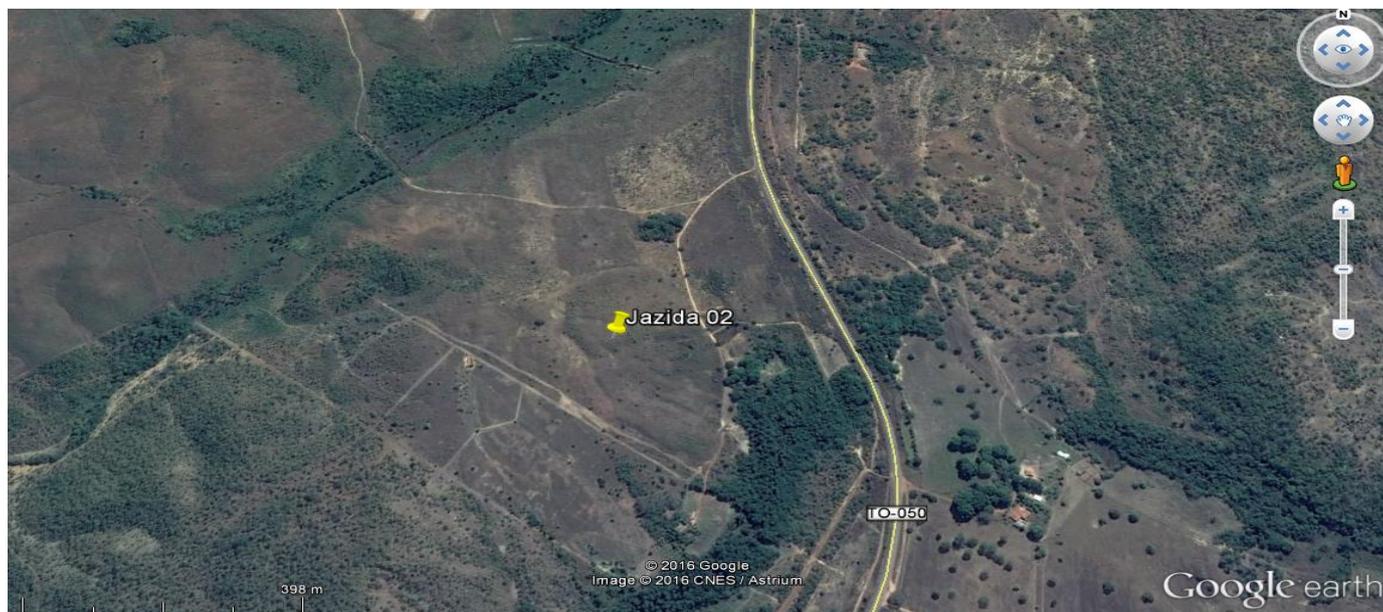


Figura 15 - Localização da Jazida 02.

3.3 Caracterização Sub base

O material coletado nas jazidas foram preparados e ensaiados seguindo a mesma metodologia aplicada a caracterização do material do subleito.

3.4 Dimensionamento do Pavimento Rígido

O dimensionamento da placa de concreto seguiu os passos propostos pelo método simplificado do PCA/84, que foram:

1. Definição da Categoria de Carga por Eixo.

A categoria de carga por eixo (quadro 04) foi determinada pela definição do tipo de via, descritas como ruas residenciais, estradas rurais, ruas coletoras, estradas primárias, ruas arteriais, vias expressas e vias urbanas industriais, relacionando o tipo de via ao número de tráfego médio diário.

Quadro 04 - Categoria de Cargas por Eixo

Categoria de carga por eixo	Descrição	Tráfego			Cargas Máximas por eixo, KN	
		TMD	TMDC ²		Eixos simples	Eixos Tandem
			%	Veículos/dia		
1	Ruas Residenciais Estradas Rurais e secundárias (baixo e médio) ¹	200 a 800	1 a 3	Até 25	98	160
2	Ruas coletoras Estradas rurais e secundárias (alto) Estradas primárias e ruas arteriais (baixo)	700 a 5000	5 a 18	40 a 1000	115	195
3	Ruas arteriais e estradas primárias (médio) Vias expressas e estradas de escoamento de produção rural (baixo e médio)	3000 a 12000 2 faixas 3000 a 50000 ou mais 4 faixas ou mais	8 a 30	500 a 5000 ou mais	133	230
4	Ruas arteriais, estradas primárias, vias expressas Vias urbanas industriais e estradas de escoamento de produção rural (médio e alto)	3000 a 20000 2 faixas 3000 a 150000 ou mais 4 faixas ou mais	8 a 30	1500 a 8000 ou mais	151	267

Notas: ¹ Os termos alto, médio e baixo referem-se aos valores relativos das cargas por eixo em cada tipo de rua ou estrada, isto é, baixo para uma estrada primária representa cargas mais elevadas do que baixo em uma estrada rural.

² Tráfego Médio Diário de Caminhões - Não inclui caminhões leves.

Fonte: Pitta, 1998.

2. Definição do Suporte Relativo.

Para a definição do suporte relativo Pitta (1998) explica que, para o dimensionamento simplificado, deve-se recorrer ao quadro 05 quando há o uso da camada de sub base, para classificar o correspondente valor de suporte através do quadro 05.

No quadro 05, entrou-se com a porcentagem de CBR do subleito, e foi determinado o coeficiente de recalque no topo do sistema para a correspondente espessura de sub base.

Quadro 05 - Aumento de k devido a presença de sub base granular.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub base iguais a (cm)			
CBR (%)	k (MPa/m)	10	15	20	30
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	93
20	63	68	72	79	95

Fonte: PCA, 1984, apud Pitta, 1998.

Com o valor do coeficiente de recalque definido pelo quadro 05, foi determinado o suporte relativo pelo quadro 06, o qual é descrito em valores de suporte baixo, médio, alto e muito alto.

Quadro 06 - Tipos de solos ou camada e valores aproximados de coeficiente de recalque (k).

Tipo de Solo ou camada	Suporte Relativo	k (MPa/m)
Solos de silte e argila	Baixo	20 a 34
Solos arenosos e pedregulhosos com finos plásticos	Médio	35 a 49
Solos arenosos e pedregulhosos sem finos plásticos	Alto	50 a 60
Sub bases tratadas com cimento	Muito alto	70 a 110 ou mais

Fonte: Pitta, 1998.

3. Dimensionamento da placa de concreto.

O quadro que resolve o dimensionamento (exemplificado pelo quadro 02) foi definido pela classificação da Categoria de Carga de Eixo e pela aplicação de barras de transferência.

Para a determinação da espessura da placa de concreto observa-se a coluna de suporte relativo determinadas pelo passo anterior. Os valores escritos em cada coluna referem-se ao TMDC, cujo faz ligação com a espessura da placa.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização do Subleito

Após aplicação das metodologias de ensaio para caracterização do subleito as tabelas de número 03 a 06 apresentam os resumos dos resultados obtidos. Os resultados completos são apresentados nos apêndices do trabalho.

4.1.1 Granulometria

Os resultados obtidos pelo ensaio de granulometria mostram certa regularidade quando verificado as porcentagens de material passante pela peneira nº 200, sendo 21,16% para o ponto 01, 17,64% ponto 02 e 20,56% para o ponto 03.

Quando analisados estes resultados correlacionando com a classificação TRB (*Transportation Research Board*) dos solos, mostra que este material, para todos os pontos coletados, apresenta comportamento como subleito de excelente a bom, pois todas as amostras obtiveram menos de 35% de material passante pela peneira nº 200, mostrados na tabela 03.

Tabela 03 - Resultados da análise granulométrica do subleito.

Amostra	Total amostra Seca* - Grosso (g)	Total amostra Seca* - Fino (g)	% passante peneira nº 10 (2mm)	% passante peneira nº 200 (0,075mm)
Subleito 01	746,8	117,10	69,38	21,16
Subleito 02	739,30	116,00	52,35	17,64
Subleito 03	726,70	117,61	29,01	20,56

*Total das amostras úmidas: 1000g para Grosso; 120g para Fino.

4.1.2 Limite de Liquidez e Plasticidade

As características de liquidez e plasticidade do subleito indicam o grau potencial de expansibilidade de um determinado solo com a porcentagem de inchamento, como apresentado por DNIT (2005) no Manual de Pavimento Rígido.

Os resultados das análises dos pontos coletados para o subleito mostram que este solo apresenta porcentagem de inchamento de até 2% e grau de expansibilidade como não expansivo, pois nenhuma amostra obteve índice de plasticidade maior que 10, como mostrado na tabela 04.

Tabela 04 - Resultados na análise do limite de liquidez e plasticidade do subleito.

Amostra	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
Subleito 01	31,0	23,0	8,0
Subleito 02	27,0	17,5	9,5
Subleito 03	34,0	28,5	5,5

4.1.3 Compactação

O Manual de Pavimento Rígido (DNIT, 2005) coloca que a umidade de compactação deve estar próxima da umidade ótima ou estar levemente acima desta, pelo menos nos últimos 50 a 60cm do subleito, isto porque as condições de compactação de subleitos expansivos ou moderadamente expansivos devem ser controladas. Apesar das amostras não serem expansivas, conforme explicado no item 4.1.2, a compactação do subleito deverá ser executada seguindo os teores de umidade ótima obtidos pelos ensaios que são: 18,3% para o ponto 01, 10,3% para o ponto 02 e 17,7% para o ponto 03 (tabela 05).

Tabela 05 - Resultados análise de compactação do subleito.

Amostra	Densidade máxima ($\gamma_{s,max}$) (g/cm³)	Umidade ótima (W) (%)
Subleito 01	1,640	18,3
Subleito 02	1,900	10,3
Subleito 03	1,855	17,7

4.1.4 Índice Suporte Califórnia - ISC

Para dimensionamento da placa de concreto para o pavimento rígido pelo método simplificado, a determinação do índice suporte califórnia ou também chamado de CBR, do subleito é essencial, pois é a partir deste que se define o suporte relativo a adotar nas tabelas de dimensionamento.

Para este trabalho o CBR do subleito foi determinado pela média dos valores de ISC dos moldes que apresentaram a umidade ótima do material, para cada ponto de coleta, sendo eles: molde 15, usado para o subleito 01, molde 18, do subleito 02 e molde 17, do subleito 03 (tabela 06). Portanto o CBR utilizado para o dimensionamento foi de 16,9%.

Tabela 06 - Resultados Índice Suporte Califórnia do subleito.

Amostra	Nº Molde	Índice Suporte Califórnia (%)
Subleito 01	12	6,5
	15	10,5
	14	6,0
Subleito 02	07	21,0
	18	26,3
	20	17,1
Subleito 03	12	13,4
	17	14,1
	23	13,8

4.2 Caracterização da Sub base

Após aplicação das metodologias de ensaio para caracterização dos materiais coletados nas jazidas, as tabelas de número 07 a 10 apresentam os resumos dos resultados obtidos. Os resultados completos são apresentados nos apêndices do trabalho.

4.2.1 Granulometria

As duas jazidas analisadas atendem a recomendação do MPR no que se diz respeito a granulometria. Este coloca que a porcentagem de material passando na peneira ABNT 0,075mm deverá ser igual ou menor do que 35%. O ensaio foi aplicado essencialmente para determinar este percentual, o qual a jazida 01 obteve 24,93% e a jazida 02 23,79% de material passando pela peneira nº 200 (tabela 07).

Tabela 07 - Resultados da análise granulométrica da sub base.

Amostra	Total amostra Seca* - Grosso (g)	Total amostra Seca* - Fino (g)	% passante peneira nº 10 (2mm)	% passante peneira nº 200 (0,075mm)
Jazida 01	790,40	116,11	47,61	24,93
Jazida 02	795,40	117,25	77,58	23,79

*Total das amostras úmidas: 1000g para Grosso; 120g para Fino.

4.2.2 Limite de Liquidez e Plasticidade

Para execução de sub base para pavimento em concreto, o manual de pavimento rígido (DNIT, 2005) estabelece valores máximos de limite de liquidez de 25% e de índice de plasticidade de até 6%. A partir das referências citadas as amostras coletadas em campo apresentaram resultados insatisfatórios para jazida 01 e satisfatórios para jazida 02, como apresentado na tabela 08.

Estes resultados mostram que a jazida 01 não atende aos requisitos para aplicação como sub base em pavimento rígido, impossibilitando o uso do material da jazida analisada.

Tabela 08 - Resultados na análise do limite de liquidez e plasticidade da sub base.

Amostra	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
Jazida 01	40,0	16,4	23,7
Jazida 02	23,5	18,1	5,4

4.2.3 Compactação

O ensaio de compactação do material de sub base foi realizado a fim de determinar o teor de umidade ótima. DNIT (2010) estabelece que para sub bases granulares a variação do teor de umidade admitido para o material no início da compactação é de menos 2 pontos percentuais até mais 1 ponto percentual da umidade ótima de compactação. Portanto, admite-se para jazida 02 uma variação de umidade na faixa de 7,2% a 10,2%, tendo seu teor de umidade ótima em 9,2% (tabela 09).

Tabela 09 - Resultados análise de compactação da sub base.

Amostra	Densidade máxima ($\gamma_{s,max}$) (g/cm³)	Umidade ótima (W) (%)
Jazida 01	1,760	9,4
Jazida 02	2,00	9,2

O ensaio de compactação foi aplicado ao material coletado na jazida 01 apenas para comparação, pois, conforme mostrado no item 4.2.2, este material não satisfaz as condições para aplicação como sub base para pavimentação em concreto.

4.2.4 Índice Suporte Califórnia

Os resultados obtidos pelo ensaio de ISC mostram que o material da jazida 02 tem o valor relativo de suporte alto, 63,7% (tabela 10), isto implica que o uso deste material acarretará em uma melhor qualidade da estrutura no pavimento rígido.

A jazida 01 também apresentou resultado, que em termos de ISC, poderia ser aplicado como material sub base, pois apresentou ISC maior que 20%, porém devido a outras características sua utilização como sub base fica inviabilizado, como explicado anteriormente.

Tabela 10 - Resultados Índice Suporte Califórnia da sub base.

Amostra	Nº Molde	Índice Suporte Califórnia (%)
	01	25,9
Jazida 01	03	32,1
	18	20,7
	16	121,6
Jazida 02	25	63,7
	20	22,0

4.3 Dimensionamento do Pavimento Rígido

4.3.1 Definição da Categoria de Carga por Eixo.

O dimensionamento da placa de concreto iniciou com o definição do Categoria de Carga de Eixo. O trecho estudado compreendeu parte da Avenida Teotônio Segurado, tendo como início do trecho frente ao CEULP Ulbra e finalizando em frente ao Italian Palace Hotel, totalizando uma extensão de 2,6 quilômetros (figura 13).

A Avenida Teotônio Segurado trata-se de uma via arterial, caracterizada por possuir interseções em nível, controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.

O dimensionamento do pavimento rígido foi elaborado para via exclusiva para ônibus, portanto o tráfego médio diário de veículos de passeio (automóveis, utilitários, pick-ups, furgões e similares) não foram contabilizados. Segundo dados coletados na Secretaria Municipal de Acessibilidade, Mobilidade, Trânsito e

Transporte (2016), atualmente duas linhas de ônibus trafegam pelo trecho estudado, linha 1A e linha 1H, compondo um TMD de 500 ônibus.

Tendo como base para cálculo 20 anos de projeto, estimou-se o aumento do TMD de ônibus em conformidade com o crescimento da população de Palmas - TO. De acordo com dados informados pelo IBGE - TO (2016), Palmas, no período de julho de 2013 a julho de 2014, obteve uma taxa de crescimento geométrico de 2,91%, sendo essa taxa a maior entre as capitais do Brasil. Assim, para 20 anos de projeto, o TMD de ônibus ficou estimado em 791, para o trecho estudado.

Portanto, considerando o tipo de via e o TMD de ônibus a categoria de carga de eixo foi classificada como nº 3 (quadro 04).

Parte retirada do quadro 04 - Categoria de Cargas por Eixo

Categoria de carga por eixo	Descrição	Tráfego			Cargas Máximas por eixo, KN	
		TMD	TMDC ²		Eixos simples	Eixos Tandem
			%	Veículos/dia		
3	Ruas arteriais e estradas primárias (médio) Vias expressas e estradas de escoamento de produção rural (baixo e médio)	3000 a 12000 2 faixas 3000 a 50000 ou mais 4 faixas ou mais	8 a 30	500 a 5000 ou mais	133	230
4	Ruas arteriais, estradas primárias, vias expressas Vias urbanas industriais e estradas de escoamento de produção rural (médio e alto)	3000 a 20000 2 faixas 3000 a 150000 ou mais 4 faixas ou mais	8 a 30	1500 a 8000 ou mais	151	267

Notas: ¹ Os termos alto, médio e baixo referem-se aos valores relativos das cargas por eixo em cada tipo de rua ou estrada, isto é, baixo para uma estrada primária representa cargas mais elevadas do que baixo em uma estrada rural.

² Tráfego Médio Diário de Caminhões - Não inclui caminhões leves.

Fonte: Pitta, 1998.

4.3.2 Definição do Suporte Relativo

O quadro 05 mostra o valor de coeficiente de recalque do sistema subleito - sub base. Os dados de entrada neste quadro foram o valor do CBR do subleito e a espessura da camada de sub base.

O CBR_{subleito} , encontrado a partir dos ensaios de caracterização, apresentou valor igual a 16,9% (aproximadamente 17%), por este valor ser relativamente alto,

optou-se por usar espessura mínima da camada de sub base, portanto 10 centímetros de espessura. Com isso, o coeficiente de recalque no topo do sistema foi de 65 MPa/m.

Parte retirada do quadro 05 - Aumento de k devido a presença de sub base granular.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub base iguais a (cm)			
CBR (%)	k (MPa/m)	10	15	20	30
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93

Fonte: PCA, 1984, apud Pitta, 1998.

No procedimento Simplificado, o valor do coeficiente de recalque enquadrou-se na categoria de suporte relativo *alto*, que foi considerado como dado de entrada no quadro de dimensionamento, pois o suporte relativo *muito alto* é aplicado apenas para sub bases tratadas com cimento, como mostrado pelo quadro 06.

Parte retirada do quadro 06 - Tipos de solos ou camada e valores aproximados de coeficiente de recalque (k).

Tipo de Solo ou camada	Suporte Relativo	k (MPa/m)
Solos arenosos e pedregulhosos sem finos plásticos	Alto	50 a 60
Sub bases tratadas com cimento	Muito alto	70 a 110 ou mais

Fonte: Pitta, 1998

4.3.3 Dimensionamento da placa de concreto

Visto que a categoria de carga de eixo foi classificada como nº 3 e que o pavimento será do tipo de concreto simples com barras de transferência, foi determinado o quadro que resolve o dimensionamento (quadro 07).

Para este trabalho, foi considerado para projeto a aplicação de meio fio e sarjetas, para tanto usou-se o bloco à direita do quadro e a coluna correspondente ao suporte relativo caracterizado como *alto*. Também foi considerado que os agregados usados para a fabricação do concreto apresentem características apropriadas, o que permitiu empregar no dimensionamento a máxima resistência característica à tração na flexão do concreto ($F_{ctm,k}$) igual a 4,4MPa.

Procedeu-se a determinação da espessura necessária, para TMD de ônibus de projeto igual a 791, encontrando os valores:

- para TMDC = 530 → espessura = 18 cm
- para TMDC = 2000 → espessura = 19 cm

Adotou-se 19 cm, com margem suficiente de segurança para absorver ocasionais aumentos anômalos de tráfego.

4.3.3.1 Dimensionamento da placa de concreto para sub base melhorada com cimento.

Para atender os objetivos do trabalho, foi dimensionado a espessura da placa de concreto com uso de sub base melhorada com cimento.

Para isso, o método simplificado do PCA/84 admite que o suporte relativo para este tipo de sub base é classificado como *muito alto* (quadro 05). Os demais parâmetros de projeto e dimensionamento foram mantidos, sendo: categoria de carga de eixo nº 3; pavimento de concreto simples com barras de transferência; aplicação de meio fio e sarjetas; $F_{ctm,k} = 4,4\text{MPa}$; e TMD de projeto igual a 791.

Observando então o lado direito do quadro 07 e coluna referente ao suporte relativo *multo alto*, encontrou-se os seguintes valores:

- para TMDC = 460 → espessura = 17 cm
- para TMDC = 1800 → espessura = 18 cm

Foi adotado 18 cm de espessura de placa de concreto, implicando em uma diminuição de 1 cm de espessura, quando utilizado sub base melhorada com cimento.

Quadro 07 - Tráfego Médio diário de Caminhões (TMDC) admissível, categoria de carga de eixo nº 3 - Pavimento com barras de transferência.

	Sem acostamento de concreto					Com acostamento de concreto ou meio-fio				
	Espes- sura de concreto (cm)	Suporte Disponível (MPa/m)				Espes- sura de concreto (cm)	Suporte Disponível (MPa/m)			
		Baixo (20 a 34)	Médio (35 a 49)	Alto (50 a 60)	Muito alto (70 ou mais)		Baixo (20 a 34)	Médio (35 a 49)	Alto (50 a 60)	Muito Alto (70 ou mais)
$F_{ctm,k} = 4,4 \text{ MPa}$	18				38	16			24	100
	19			37	170	17		46	120	460
	20		57	160	640	18	50	210	530	1800
	21	51	220	580	2200	19	210	800	2000	6600
	22	180	740	1900	7100	20	770	2800	6700	
	23	580	2300	5900	12200	21	2500	9100		
	24	1700	6700	13900	19000	22	7900			
	25	4700	16300	21100						
	26	12800	24200							
	27	23000								
$F_{ctm,k} = 4,1 \text{ MPa}$	19			40	170	16			30	120
	20			39	170	17			140	510
	21		54	150	610	18		51	540	1800
	22	45	200	530	2000	19	52	210	1900	6300
	23	150	630	1600	6100	20	210	780	6100	
	24	470	1900	4800	18400	21	700	2500		
	25	1300	5200	13800		22	2200	7900		
26	3400	14400			23	6500				

	27	8900								
F _{ctm,k} = 3,8 MPA	21			33	150	17				25
	22		43	120	500	18			30	120
	23	34	150	410	1600	19		48	130	470
	24	110	470	1200	4600	20	45	190	470	1600
	25	320	1300	3400	13100	21	170	640	1600	5100
	26	860	3500	9400		22	550	2000	4800	15900
	27	2200	9300			23	1600	5900		
	28	5400				24	4600			

Fonte: Pitta, 1998.

A redução de apenas 1 cm pode ser explicado pelo fato que o subleito apresentou características que o classificou como suporte relativo *alto*, possuindo boa qualidade como material de fundação do pavimento, tendo papel redutor na espessura da camada de revestimento. O que também se aplica quando usado sub bases tratadas com cimento, pois estas são caracterizadas como suporte relativo *muito alto*, fazendo com que também haja uma redução na espessura da placa de concreto.

4.4 Avaliação do reflexo financeiro pela redução da espessura da placa de concreto com a utilização de sub base melhorada com cimento

A avaliação do reflexo financeiro foi feita tendo como base apenas o consumo de cimento. A norma do DNIT 054/2004 - PRO, intitulada como "Pavimento Rígido - Estudo de Traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais - Procedimento" estabelece como requisito o consumo mínimo de 320 quilos de cimento para fabricação do 1 metro cúbico de concreto para pavimento rígido.

O trecho estudado possui 2.600 metros de extensão, e considerando a aplicação de concreto simples com barras de transferência, a largura máxima da placa fica compreendida entre 9 a 12 metros (DNIT, 2005). Para os cálculos de consumo de cimento foi considerado 9 metros de largura, desta forma a área de revestimento para o trecho estudado foi de 23.400 m².

Para a aplicação de sub base granular (sem melhoramento com cimento) a placa de revestimento de concreto apresentou espessura de 19 cm, logo o volume de concreto para esta situação foi de 4.446 m³. Respeitando o consumo mínimo de cimento especificado pela norma do DNIT supra citada, o consumo de cimento para esta situação foi de 1.422.720 quilos.

Já para aplicação da sub base melhorada com cimento, a espessura da camada de revestimento foi reduzida em 1 cm, passando para 18 cm de espessura, logo volume de concreto foi igual a 4.212 m³ e consumo de cimento de 1.347.840 quilos.

Para esta última situação, o cálculo de consumo de cimento para sub base foi feito segundo os dados: área semelhante ao revestimento; 10 cm de espessura de sub base, conforme usado para determinação do suporte relativo no item de dimensionamento do pavimento rígido; aplicação de 3% de cimento para melhoramento; e densidade do material de sub base igual a 2,0 g/cm³, encontrado pelo ensaio de compactação.

A área e a espessura da sub base foram usadas para determinar o volume de material e a densidade para calcular o peso deste material, resultando respectivamente em 2.340 m³ e 4.680.000 quilos. A quantificação de cimento para o melhoramento da sub base foi calculado usando 3% do peso do material. Com base nestes valores, foi determinado a aplicação de 140.400 quilos de cimento para todo o volume de sub base.

A base do preço de custo de cimento foi extraído do SINAPI - Tocantins, data base setembro/2016, que apresentou o valor mediano para o quilo de cimento *Portland* composto CP II-32 de 0,54 centavos. O custo com cimento para as duas situações expostas foram calculados e apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Reflexo financeiro pela redução da espessura da placa de concreto com a utilização de sub base melhorada com cimento.

Situação	Quantidade de cimento (kg)	Valor Unitário	Valor Total
Revestimento com 19 cm de espessura - sub base granular	1.422.720	R\$ 0,54	R\$ 768.268,80
Revestimento com 18 cm de espessura - sub base melhorada com cimento (3%)	1.488.240	R\$ 0,54	R\$ 803.649,60

Os cálculos mostraram que houve maior consumo de cimento, e conseqüentemente, maior custo, quando aplicado sub base melhorada com cimento, mesmo que a espessura da camada de revestimento tenha sido reduzida.

Isso se justifica pela pequena alteração na espessura da placa de concreto pois, para ambos os casos, o suporte relativo teve papel redutor na camada de revestimento. Assim a aplicação de sub bases tratadas com cimento implicará em uma diminuição significativa da espessura da camada de revestimento quando o subleito possuir características de suporte menores que do caso estudado, causando uma redução no custo de cimento.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Para o estudo em questão nota-se que o material de subleito possui características, como limite de liquidez, índice de plasticidade e CBR, que garantem a qualidade da fundação para pavimento rígido;
- Tendo em vista a utilização da técnica de pavimento rígido para vias exclusivas para ônibus, recomenda-se a prospecção de novas jazidas, considerando que das duas amostras coletadas, uma foi descartada por não atender as exigências técnicas de norma, o que evidencia uma variação nas características dos materiais encontrados na região;
- Conforme resultados apresentados, para o trecho em questão, a opção do uso de sub base granular com maior espessura de revestimento apresentou menor custo, quando levado em consideração o consumo de cimento, comparado com a aplicação de sub base melhorada com cimento, pois para ambos casos o suporte relativo reflete efeito de redução da espessura da camada de revestimento.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento *Portland*. **Curso de Tecnologia de Pavimentos de Concreto: Modulo 2 - Projeto e Dimensionamento do Pavimento**. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Pavim_Concreto_Apres_Mod02%20ABCP.pdf>. Acesso em 25 de fevereiro de 2016.

ALOUCHE, P. L. **Corredores Urbanos de Transporte para Altas Demandas**. Seminário Soluções Integradas de Transporte, Porto Alegre, 2006.

AMORIM, A. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparentes**. 2010. Monografia (Especialização). Curso de Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO. **Mobilidade Sustentável: para um Brasil mais competitivo**. Brasília, 2013.

ASSUMPÇÃO, A. J., CAREIRO, D. S., MENEZES, F. F. C., MILANEZI, M. R. **Pavimento Rígido de Concreto: Utilização nos Corredores de Ônibus de São Paulo**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2014.

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

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BRITO, L. A. T., GRAEFF, Â. G. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos: Metodologias e seus Impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações**. Relatório Final de Pesquisa. Porto Alegre, 2009.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Pavimentação - Regularização do subleito**. Norma rodoviária - Especificação de Serviço nº 299/97. Rio de Janeiro, 1997.

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

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2.ed. - Rio de Janeiro, 2005.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **NORMA 054/2004 -PRO**. Pavimento Rígido - Estudo de Traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **NORMA 139/2010 - ES**. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Tocantins, Palmas. 2016.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. Tese (Livre-Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

LINDAU, L.A; PEREIRA, B. M; CASTILHO, R. A; DIOGENES, M. C; HERRERA, J. C. **Avaliação do Desempenho Limite de Corredores Bus Rapid Transit (BRT) sem Ultrapassagem**. Rio de Janeiro, 2013.

MOURA, J. C. **Análise comparativa do desempenho dos métodos de dimensionamento de pavimentos rígidos**. 1999. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

NETO, G. L. G. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade da Amazônia, Belém - PA, 2011.

OLIVEIRA, P. L. de. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PITTA, M. R. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/84**. 2º edição, São Paulo, ABCP, 1996.

PITTA, M. R. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/84**. 3ª edição, São Paulo, ABCP, 1998.

PITTA, M. R. **Pavimento de Concreto: Um moderno ovo de Colombo?**. Revista Ibracon. Vol. 5. 1996. Disponível em <<http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/uploads/2013/03/PavConcreto-Um-moderno-ovo-de-Colombo-RevIbracon-ed13-Jun96.pdf>>. Acesso em 29 de fevereiro de 2016.

PITTA, M. R. **Pavimento de concreto Parte 1**. 1999. Disponível em: <piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/pavimento-de-concreto-parte-1-85160-1.aspx>. Acesso em: 17 de março de 2016.

RIBEIRO, A. R. Dissertação. **Análise econômica da implantação de corredores estruturais de ônibus**. 2009. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://www.ppgec.feciv.ufu.br/node/263>>. Acesso em 24 de fevereiro de 2016.

SANTOS, C. R. G. **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. 2011. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SCHMID, M. T. Rudloff Industrial Ltda. (Org.). **Pavimentos rígidos em concreto protendido**. 2. ed. 17 p. São Paulo, 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE ACESSIBILIDADE, MOBILIDADE, TRÂNSITO E TRANSPORTE. Linhas de ônibus. Entrevista concedida a Amanda Costa Rodrigues, Palmas - TO, 26 de setembro de 2016.

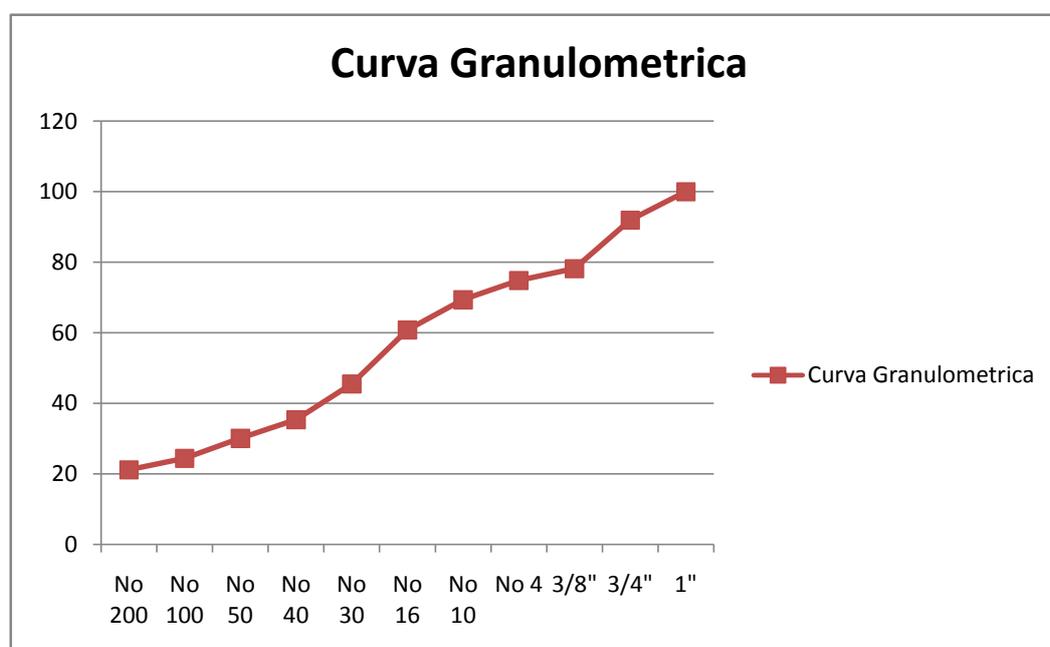
SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: PINI. 174 p., 1997.

SILVA, J. E. M., CARNEIRO, L. A. V. Pavimentos De Concreto: Histórico, Tipos E Modelos De Fadiga. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**. Vol. XXXI. Rio de Janeiro, 2014.

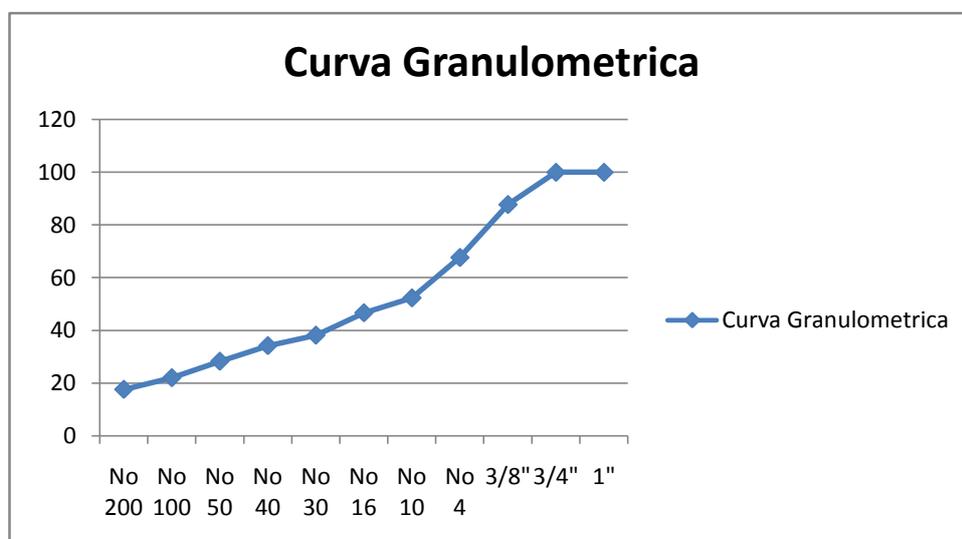
SILVA, R. R. **O Uso de Concreto Compactado a Rolo (CCR) na Execução de Sub-Base de Pavimentos Rodoviários de Concreto de Cimento Portland**. 2005. 103 f. Monografia (Especialização). Curso de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2005.

APÊNDICES

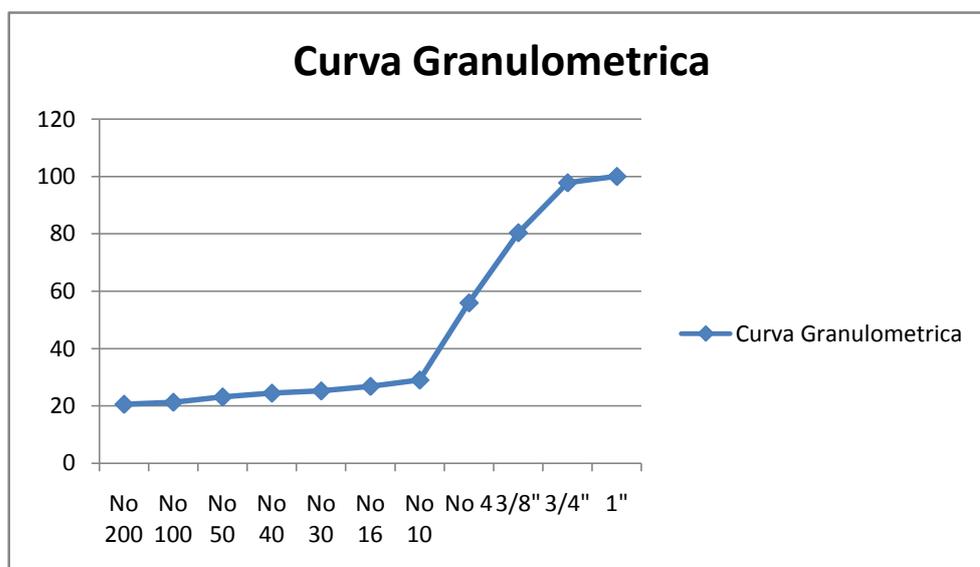
ANALISE GRANULOMETRICA									
Solicitante: _____			Fone: _____			Data: _____			
Material: _____			Estaca: _____			Registro N°: _____			
Trecho: Subleito 01			Prof (m): _____			Amostra: 1			
Obs: _____									
TEOR DE UMIDADE					PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)				1000,00	
C + S + A	(g)	95,47	104,60	Amostra Total Seca (g)				746,80	
C + S	(g)	93,70	102,20	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante	
C - Cápsula	(g)	11,40	16,50			Retido	Passante		
S - Solo	(g)	82,3	85,7	2"	50,8		746,80	100,00	
A - Água	(g)	1,77	2,40	1 1/2"	38,1		746,80	100,00	
w - Umidade	(%)	2,15	2,80	1"	25,4		746,80	100,00	
Umidade Média	(%)	2,48		3/4"	19,0	60,00	686,80	91,97	
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS passante na peneira N° 10				3/8"	9,5	102,70	584,10	78,21	
				N° 4	4,8	25,00	559,10	74,87	
Picnômetro N°	#			N° 10	2,0	41,00	518,10	69,38	
Pic+Solo+Água	(g)			PENEIRAMENTO FINO					
Pic+Água	(g)			Massa Úmida (g)				120,00	
T°C de Ensaio	(°C)			Massa Seca (g)				117,10	
Massa Solo Úmido	(g)			Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante	
Massa Solo Seco	(g)					Retido	Passante		
ME da Água, T°C Ens	(g/cm ³)			N° 16	1,19	14,50	102,60	60,79	
ME dos grãos	(g/cm ³)			N° 30	0,59	25,80	76,80	45,50	
ME dos grãos média	(g/cm ³)			N° 40	0,42	17,10	59,70	35,37	
Massa Úmida para Sedimentação	(g)			N° 50	0,25	8,94	50,76	30,07	
Massa Seca para Sedimentação	(g)			N° 100	0,15	9,58	41,18	24,40	
Número do Densímetro				N° 200	0,075	5,47	35,71	21,16	



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
Solicitante:			Fone:			Data:		
Material:			Estaca:			Registro N°:		
Trecho:	Subleito 02		Prof (m):			Amostra:	2	
Obs:								
TEOR DE UMIDADE				PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)		1000,00		
C + S + A	(g)	96,96	107,64	Amostra Total Seca (g)		739,30		
C + S	(g)	94,14	104,64	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
C - Cápsula	(g)	12,03	17,77			Retido	Passante	
S - Solo	(g)	82,1	86,9	2"	50,8		739,30	100,00
A - Água	(g)	2,82	3,00	1 1/2"	38,1		739,30	100,00
w - Umidade	(%)	3,43	3,45	1"	25,4		739,30	100,00
Umidade Média	(%)	3,44		3/4"	19,0	0,00	739,30	100,00
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS passante na peneira N° 10				3/8"	9,5	90,40	648,90	87,77
Picnômetro N°	#	1	2	N° 4	4,8	148,60	500,30	67,67
Pic+Solo+Água	(g)	660,4	660,7	N° 10	2,0	113,30	387,00	52,35
Pic+Água	(g)	630,4	630,7	PENEIRAMENTO FINO				
T°C de Ensaio	(°C)	27,0	27,0	Massa Úmida (g)		120,00		
Massa Solo Úmido	(g)	50,0	50,0	Massa Seca (g)		116,00		
Massa Solo Seco	(g)	48,3	48,3	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
ME da Água, T°C Ens	(g/cm ³)	1,0	1,0			Retido	Passante	
ME dos grãos	(g/cm ³)	2,63	2,63	N° 16	1,19	12,50	103,50	46,71
ME dos grãos média	(g/cm ³)	2,63		N° 30	0,59	18,85	84,65	38,20
Massa Úmida para Sedimentação	(g)	100,00		N° 40	0,42	8,80	75,85	34,23
Massa Seca para Sedimentação	(g)			N° 50	0,25	13,13	62,72	28,30
Número do Densímetro				N° 100	0,15	13,83	48,89	22,06
				N° 200	0,075	9,80	39,09	17,64



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
Solicitante:			Fone:			Data:		
Material:			Estaca:			Registro N°:		
Trecho:	Subleito 03		Prof (m):			Amostra:	3	
Obs:								
TEOR DE UMIDADE				PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)		1000,00		
C + S + A	(g)	87,60	98,70	Amostra Total Seca (g)		726,70		
C + S	(g)	85,90	97,30	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
C - Cápsula	(g)	12,03	17,77			Retido	Passante	
S - Solo	(g)	73,9	79,5	2"	50,8		726,70	100,00
A - Água	(g)	1,70	1,40	1 1/2"	38,1		726,70	100,00
w - Umidade	(%)	2,30	1,76	1"	25,4		726,70	100,00
Umidade Média	(%)	2,03		3/4"	19,0	16,20	710,50	97,77
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS passante na peneira N° 10				3/8"	9,5	126,60	583,90	80,35
Picnômetro N°	#	1	2	N° 4	4,8	177,60	406,30	55,91
Pic+Solo+Água	(g)			N° 10	2,0	195,50	210,80	29,01
Pic+Água	(g)			PENEIRAMENTO FINO				
T°C de Ensaio	(°C)			Massa Úmida (g)		120,00		
Massa Solo Úmido	(g)			Massa Seca (g)		117,61		
Massa Solo Seco	(g)			Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
ME da Água, T°C Ens (g/cm ³)						Retido	Passante	
ME dos grãos (g/cm ³)				N° 16	1,19	8,99	108,62	26,79
ME dos grãos média (g/cm ³)				N° 30	0,59	6,36	102,26	25,22
Massa Úmida para Sedimentação (g)				N° 40	0,42	3,17	99,09	24,44
Massa Seca para Sedimentação (g)				N° 50	0,25	5,42	93,67	23,10
Número do Densímetro				N° 100	0,15	7,41	86,26	21,28
				N° 200	0,075	2,91	83,35	20,56



LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

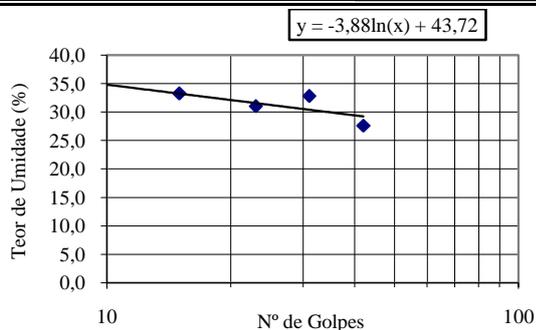
Solicitante: _____ Fone: _____ Data: _____
 Descrição: _____ Estaca: _____ Reg. Nº: _____
 Trecho: Subleito 01 Prof (m): _____ Amostra: Subleito 01
 Obs: _____

LIMITE DE LIQUIDEZ

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	33,10	27,41	28,00	30,21	25,00		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	28,25	23,25	23,88	25,42	21,28		
Massa da Cápsula	(g)	10,68	10,56	10,59	11,01	10,77		
Massa da Água	(g)	4,85	4,16	4,12	4,79	3,72		
Massa Solo Seco	(g)	17,57	12,69	13,29	14,41	10,51		
Teor de Umidade	(%)	27,60	32,78	31,00	33,24	35,39		
Número de Golpes	#	42	31	23	15	8		

LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	14,02	15,00	15,08	14,54	13,25		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	13,42	14,05	14,22	13,78	12,78		
Massa da Cápsula	(g)	10,76	10,62	10,52	10,52	11,00		
Massa da Água	(g)	0,60	0,95	0,86	0,76	0,47		
Massa Solo Seco	(g)	2,66	3,43	3,70	3,26	1,78		
Teor de Umidade	(%)	22,56	27,70	23,24	23,31	26,40		



CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{LP})

#	\bar{LP}	$0,95 \cdot \bar{LP}$	$1,05 \cdot \bar{LP}$	Ñ Serve
1	24,64	23,41	25,87	2
2	23,88	22,69	25,07	

Limite de Liquidez (LL)	31,0
Limite de Plasticidade (LP)	23,0
Índice de Plasticidade (IP)	8,0

LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

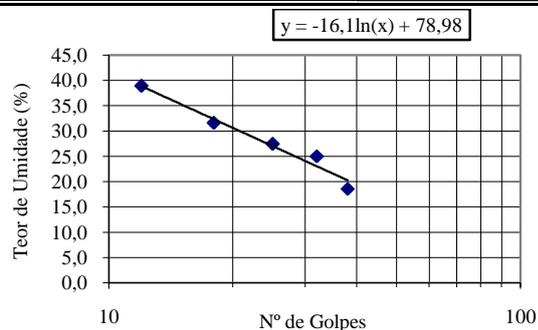
Solicitante: _____ Fone: _____ Data: _____
 Descrição: _____ Estaca: _____ Reg. Nº: _____
 Trecho: Subleito 02 Prof (m): _____ Amostra: Subleito 02
 Obs: _____

LIMITE DE LIQUIDEZ

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	49,80	48,00	51,40	51,70	44,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	44,40	41,90	43,80	43,30	35,40		
Massa da Cápsula	(g)	15,30	17,50	16,10	16,70	12,00		
Massa da Água	(g)	5,40	6,10	7,60	8,40	9,10		
Massa Solo Seco	(g)	29,10	24,40	27,70	26,60	23,40		
Teor de Umidade	(%)	18,56	25,00	27,44	31,58	38,89		
Número de Golpes	#	38	32	25	18	12		

LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,90	8,70	10,20	9,40	9,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,70	8,50	10,05	9,24	9,20		
Massa da Cápsula	(g)	8,60	7,30	9,10	8,40	7,50		
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,15	0,16	0,30		
Massa Solo Seco	(g)	1,10	1,20	0,95	0,84	1,70		
Teor de Umidade	(%)	18,18	16,67	15,79	19,05	17,65		



CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{LP})

#	\bar{LP}	$0,95 \cdot \bar{LP}$	$1,05 \cdot \bar{LP}$	Ñ Serve
1	17,47	16,59	18,34	2
2	17,67	16,78	18,55	

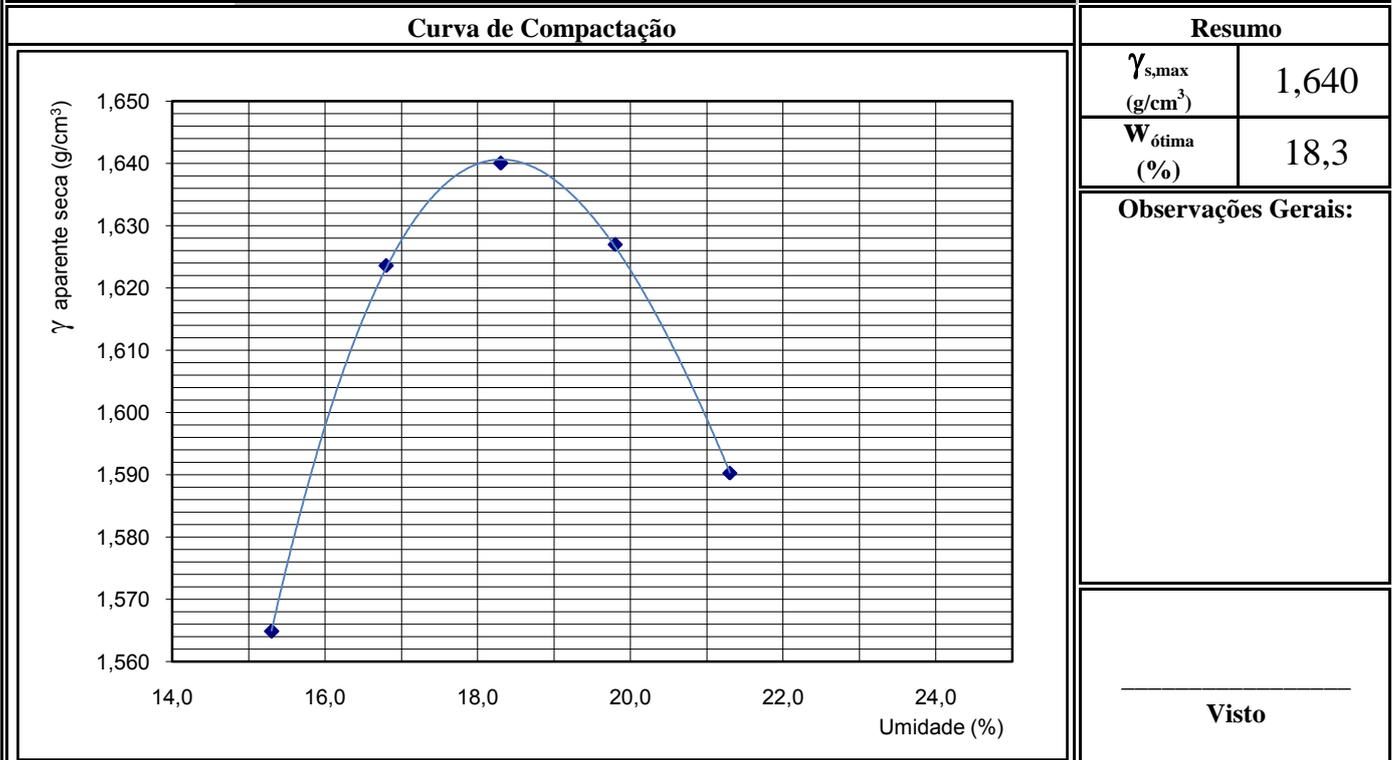
Limite de Liquidez (LL)	27,0
Limite de Plasticidade (LP)	17,5
Índice de Plasticidade (IP)	9,5

COMPACTAÇÃO

Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____
Descrição: _____	Estaca: _____	Reg. Nº: _____
Trecho: Subleito 01	Prof (m): _____	Amostra: 1
Energia: _____	Nº Golpes: 26	Soquete: Grande
		Molde: Grande

Teor de Umidade										Umidade Higroscópica	
Nº Cápsula	#									1	2
C + S + A	(g)									85,2	80,5
C + S	(g)									84,4	79,8
C - Cápsula	(g)									22,1	23,0
A - Água	(g)									0,8	0,7
S - Solo	C									62,3	56,8
w - Umidade	(%)									1,3	1,2
Umidade Média	(%)									1,3	

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	840	930	1020	1110	1200	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	14,0	15,4	17,0	18,5	20,0	Nº	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	15,3	16,8	18,3	19,8	21,3	#	(cm)	(cm ³)
Nº do Molde	#	4	12	15	14	1	4	5550	2085
M + S + A	(g)	8048	8493	8623	8350	8750	12	5507	2074
M - Molde	(g)	4286	4560	4570	4290	4755	15	5554	2089
S + A	(g)	3762	3933	4053	4060	3995	14	5550	2083
γ úmida	(g/cm ³)	1,804	1,896	1,940	1,949	1,929	1	5440	2071
γ seca	(g/cm ³)	1,565	1,624	1,640	1,627	1,590			

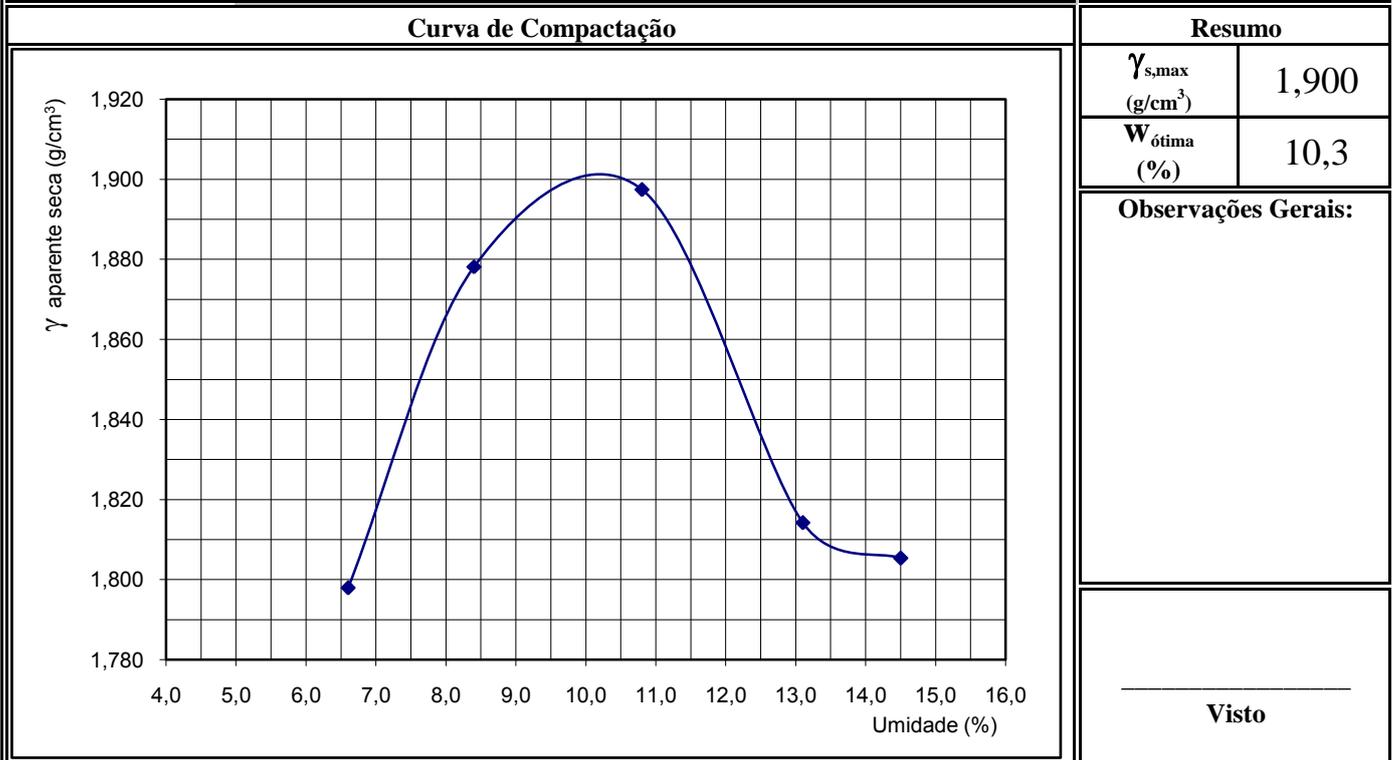


COMPACTAÇÃO

Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____
Descrição: _____	Estaca: _____	Reg. N°: _____
Trecho: Subleito 02	Prof (m): _____	Amostra: 2
Energia: _____	N° Golpes: 26	Soquete: Grande
		Molde: Grande

Teor de Umidade										Umidade Higroscópica	
N° Cápsula	#									1	2
C + S + A	(g)									582,7	659,7
C + S	(g)									576,9	651,0
C - Cápsula	(g)									153,3	102,3
A - Água	(g)									5,8	8,7
S - Solo	C									423,6	548,7
w - Umidade	(%)									1,4	1,6
Umidade Média	(%)									1,5	

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	300	400	500	600	700	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	N°	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	6,6	8,4	10,8	13,1	14,5	#	(cm)	(cm ³)
N° do Molde	#	17	7	18	20	10	2	5550	2087
M + S + A	(g)	9550	9760	9950	9820	9600	2	5507	2089
M - Molde	(g)	5550	5507	5554	5550	5440	2	5554	2091
S + A	(g)	4000	4253	4396	4270	4310	2	5550	2081
γ úmida	(g/cm ³)	1,917	2,036	2,102	2,052	2,067	2	5440	2085
γ seca	(g/cm ³)	1,798	1,878	1,897	1,814	1,805			

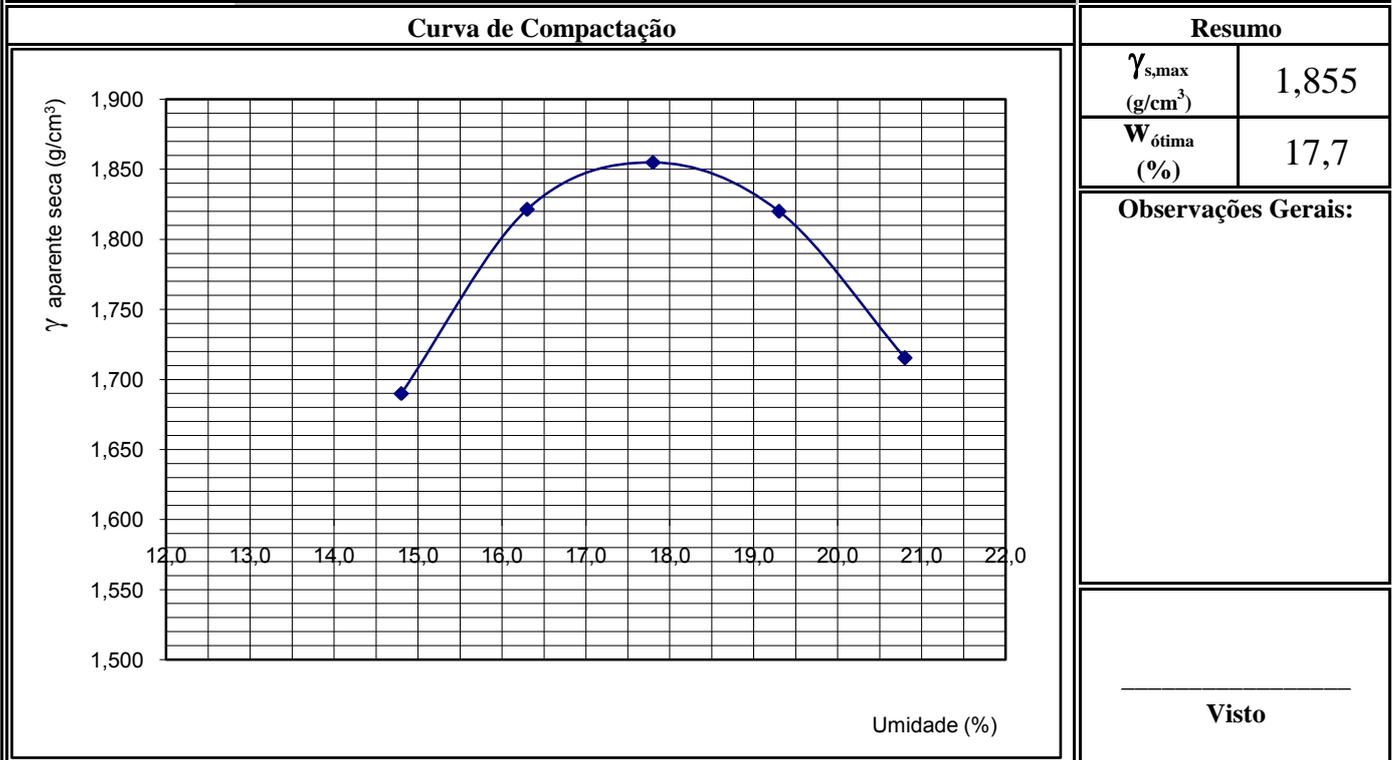


COMPACTAÇÃO

Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____
Descrição: _____	Estaca: _____	Reg. Nº: _____
Trecho: Subleito 03	Prof (m): _____	Amostra: 3
Energia: _____	Nº Golpes: 26	Soquete: Grande
		Molde: Grande

Teor de Umidade											Umidade Higroscópica	
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2
C + S + A	(g)										55,0	58,0
C + S	(g)										54,0	56,8
C - Cápsula	(g)										21,3	14,0
A - Água	(g)										1,0	1,2
S - Solo	C										32,7	42,8
w - Umidade	(%)										3,1	2,8
Umidade Média	(%)										2,9	

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	710	800	890	980	1070	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	11,8	13,3	14,8	16,3	17,8	Nº	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	14,8	16,3	17,8	19,3	20,8	#	(cm)	(cm ³)
Nº do Molde	#	4	12	17	23	7	4	4286	2085
M + S + A	(g)	8331	8953	9351	9078	9200	12	4560	2074
M - Molde	(g)	4286	4560	4806	4575	4763	17	4806	2080
S + A	(g)	4045	4393	4545	4503	4310	23	4575	2074
γ úmida	(g/cm ³)	1,940	2,118	2,185	2,171	2,072	5	4763	2080
γ seca	(g/cm ³)	1,690	1,821	1,855	1,820	1,715			



INDICE SUPORTE CALIFORNIA

Rodovia:		Segmento:	
Trecho:	Subleito 01	Estaca:	
Subtrecho:		Data:	
Amostra:	1	Registro:	
		Operador:	

EXPANSÃO

Molde (Nº)			12			15			14		
			11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	1,34	0,34	0,30	1,22	0,22	0,19	1,12	0,12	0,11
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico

DIN 001

Constante do anel

0,10100

Relógio comparador

EXT 001

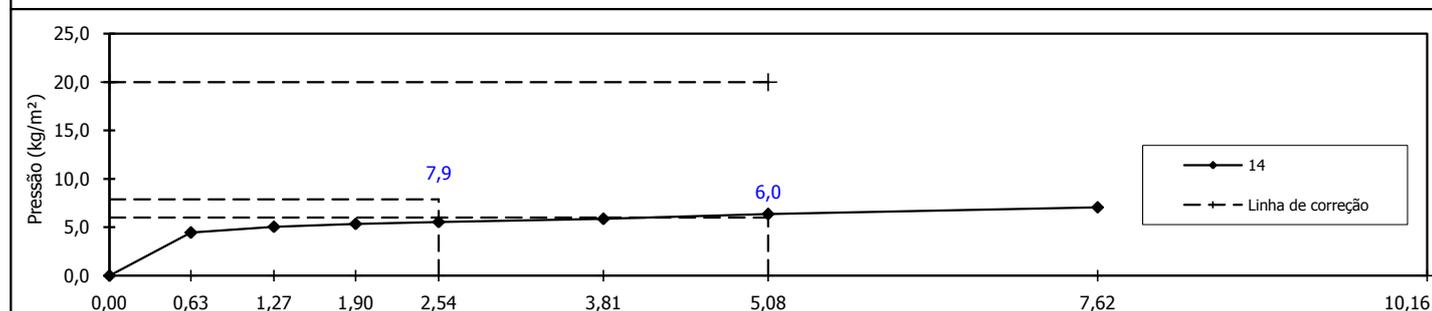
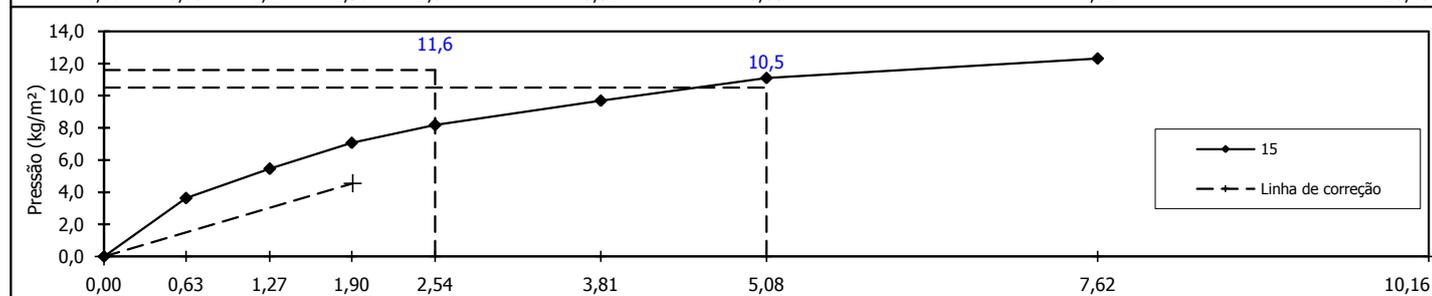
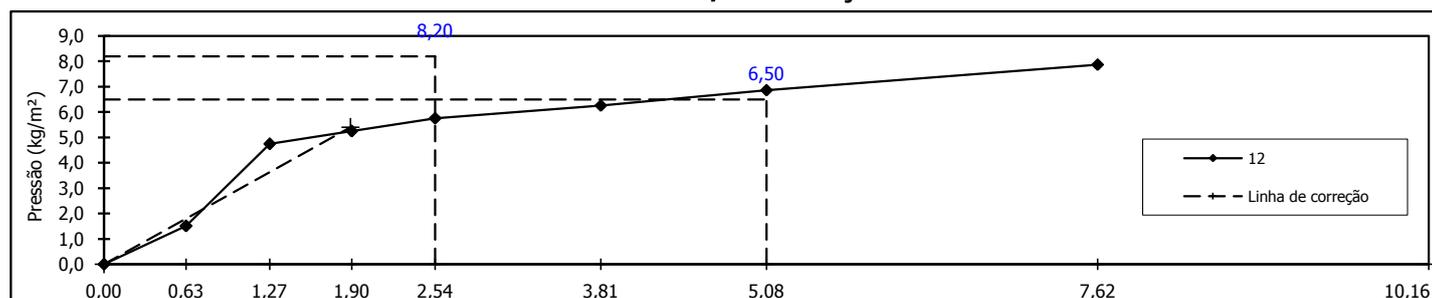
Área do pistão (cm²)

19,3221

PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	12			Molde	15			Molde	14		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	15	1,52			36	3,6			44	4,4		
1,0	1,27	0,050	-	47	4,75			54	5,5			50	5,1		
1,5	1,90	0,075	-	52	5,25			70	7,1			53	5,4		
2,0	2,54	0,100	70,31	57	5,76	5,8	8,2	81	8,2	8,2	11,6	55	5,6	5,6	7,9
3,0	3,81	0,150	-	62	6,26			96	9,7			58	5,9		
4,0	5,08	0,200	105,46	68	6,87	6,9	6,5	110	11,1	11,1	10,5	63	6,4	6,4	6,0
6,0	7,62	0,300	-	78	7,88			122	12,3			70	7,1		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



INDICE SUPORTE CALIFORNIA

Rodovia: _____	Segmento: _____
Trecho: <u>Subleito 02</u>	Estaca: _____
Subtrecho: _____	Data: _____
Amostra: <u>2</u>	Registro: _____
	Operador: _____

EXPANSÃO

Molde (Nº)			07			18			20		
			11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	1,30	0,30	0,26	1,50	0,50	0,44	1,15	0,15	0,13
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico

DIN 001

Constante do anel

0,10100

Relógio comparador

EXT 001

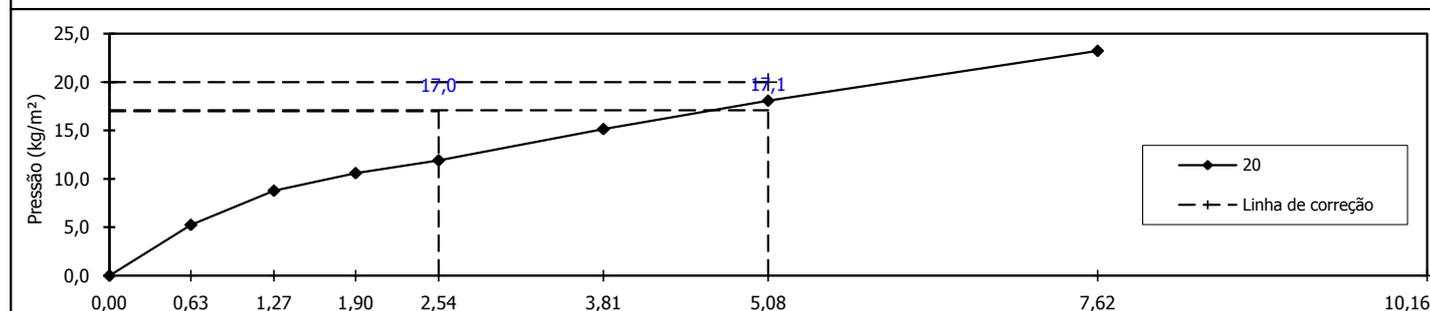
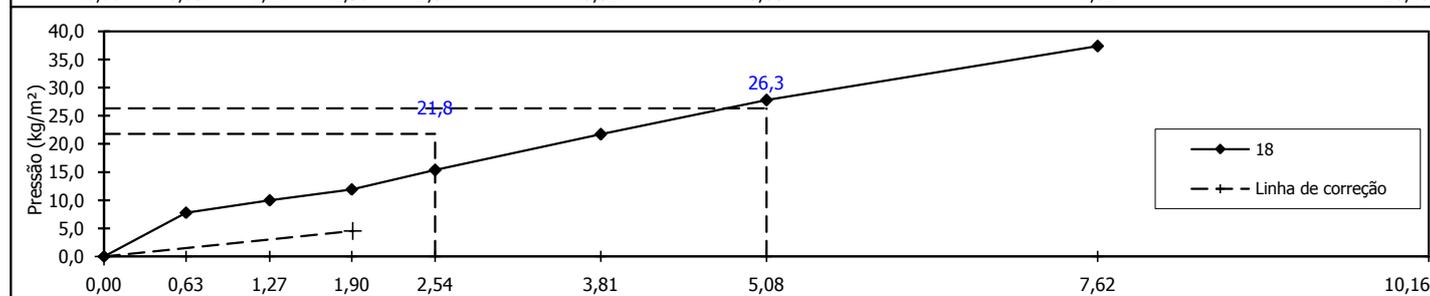
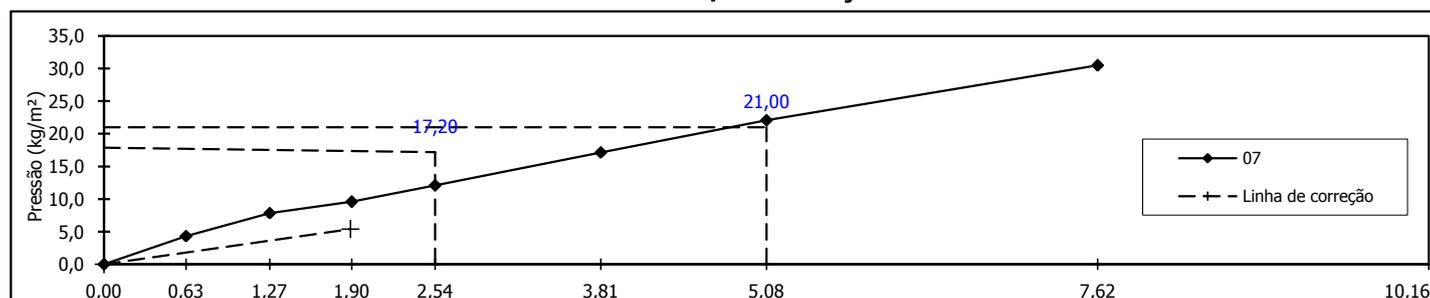
Área do pistão (cm²)

19,3221

PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	07			Molde	18			Molde	20		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	43	4,34			77	7,8			52	5,3		
1,0	1,27	0,050	-	78	7,88			99	10,0			87	8,8		
1,5	1,90	0,075	-	95	9,60			118	11,9			105	10,6		
2,0	2,54	0,100	70,31	120	12,12	12,1	17,2	152	15,4	15,4	21,8	118	11,9	11,9	17,0
3,0	3,81	0,150	-	170	17,17			215	21,7			150	15,2		
4,0	5,08	0,200	105,46	219	22,12	22,1	21,0	275	27,8	27,8	26,3	179	18,1	18,1	17,1
6,0	7,62	0,300	-	302	30,50			370	37,4			230	23,2		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



INDICE SUPORTE CALIFORNIA

Rodovia: _____	Segmento: _____
Trecho: <u>Subleito 03</u>	Estaca: _____
Subtrecho: _____	Data: _____
Amostra: <u>3</u>	Registro: _____
	Operador: _____

EXPANSÃO

Molde (Nº)			12			17			23		
			11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	1,02	0,02	0,02	1,06	0,06	0,05	1,12	0,12	0,11
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico

DIN 001

Constante do anel

0,10100

Relógio comparador

EXT 001

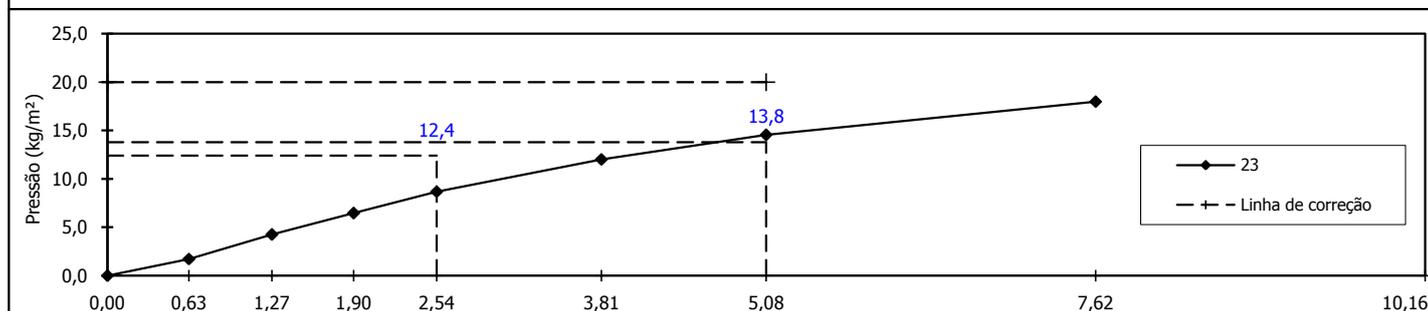
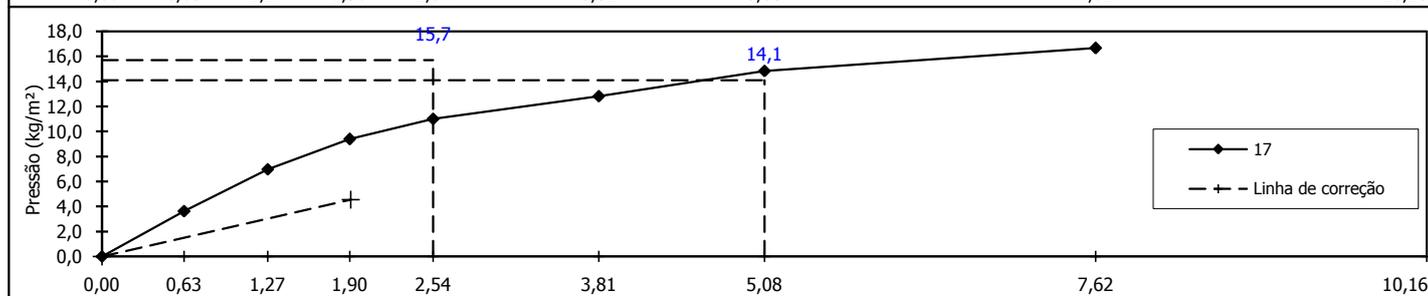
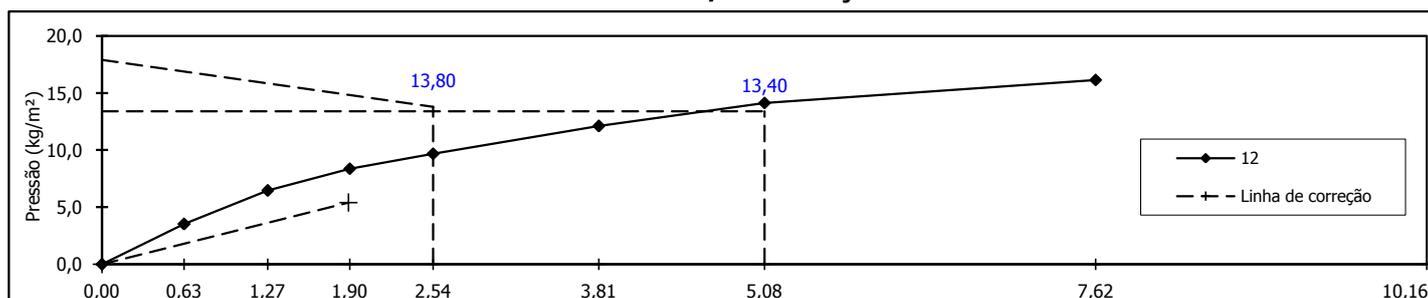
Área do pistão (cm²)

19,3221

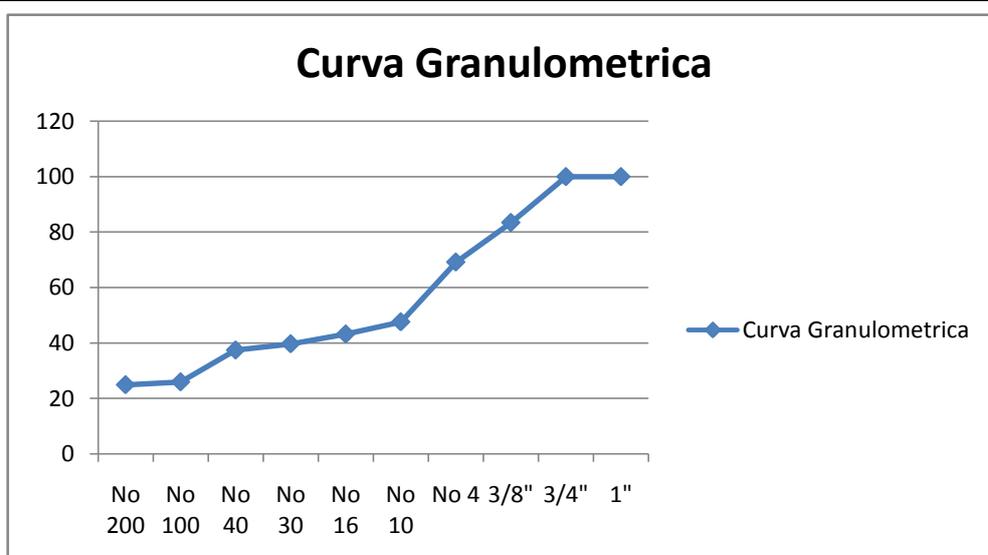
PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	12			Molde	17			Molde	23		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	35	3,54			36	3,6			17	1,7		
1,0	1,27	0,050	-	64	6,46			69	7,0			42	4,2		
1,5	1,90	0,075	-	83	8,38			93	9,4			64	6,5		
2,0	2,54	0,100	70,31	96	9,70	9,7	13,8	109	11,0	11,0	15,7	86	8,7	8,7	12,4
3,0	3,81	0,150	-	120	12,12			127	12,8			119	12,0		
4,0	5,08	0,200	105,46	140	14,14	14,1	13,4	147	14,8	14,8	14,1	144	14,5	14,5	13,8
6,0	7,62	0,300	-	160	16,16			165	16,7			178	18,0		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

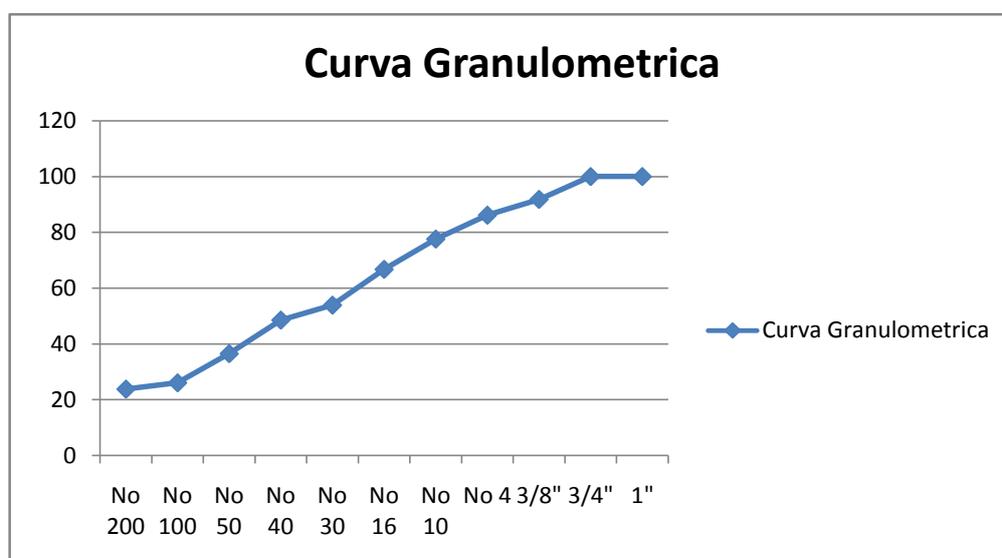
Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
Solicitante:			Fone:			Data:		
Material:			Estaca:			Registro N°:		
Trecho:	Jazida 01		Prof (m):			Amostra:	Sub base	
Obs:								
TEOR DE UMIDADE				PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)		1000,00		
C + S + A	(g)	88,20	95,70	Amostra Total Seca (g)		790,40		
C + S	(g)	86,10	92,80	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
C - Cápsula	(g)	12,03	17,77			Retido	Passante	
S - Solo	(g)	74,1	75,0	2"	50,8		790,40	100,00
A - Água	(g)	2,10	2,90	1 1/2"	38,1		790,40	100,00
w - Umidade	(%)	2,84	3,87	1"	25,4		790,40	100,00
Umidade Média	(%)	3,35		3/4"	19,0	0,00	790,40	100,00
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS passante na peneira N° 10				3/8"	9,5	130,80	659,60	83,45
Picnômetro N°	#	1	2	N° 4	4,8	112,80	546,80	69,18
Pic+Solo+Água	(g)			N° 10	2,0	170,50	376,30	47,61
Pic+Água	(g)			PENEIRAMENTO FINO				
T°C de Ensaio	(°C)			Massa Úmida (g)		120,00		
Massa Solo Úmido	(g)			Massa Seca (g)		116,11		
Massa Solo Seco	(g)			Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		% Passante
ME da Água, T°C Ens	(g/cm ³)					Retido	Passante	
ME dos grãos	(g/cm ³)			N° 16	1,19	10,72	105,39	43,21
ME dos grãos média	(g/cm ³)			N° 30	0,59	8,60	96,79	39,69
Massa Úmida para Sedimentação	(g)			N° 40	0,42	5,50	91,29	37,43
Massa Seca para Sedimentação	(g)			N° 50	0,25	14,30	76,99	31,57
Número do Densímetro				N° 100	0,15	13,70	63,29	25,95
				N° 200	0,075	2,50	60,79	24,93



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
Solicitante: _____		Fone: _____		Data: _____				
Material: _____		Estaca: _____		Registro N°: _____				
Trecho: Jazida 02		Prof (m): _____		Amostra: Sub base				
Obs: _____								
TEOR DE UMIDADE				PENEIRAMENTO GROSSO				
N° Cápsula	#	1	2	Amostra Total Úmida (g)		1000,00		
C + S + A	(g)	87,60	94,80	Amostra Total Seca (g)		795,40		
C + S	(g)	86,10	92,80	Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)		
C - Cápsula	(g)	12,03	17,77				Retido	Passante
S - Solo	(g)	74,1	75,0	2"	50,8	795,40	100,00	
A - Água	(g)	1,50	2,00	1 1/2"	38,1	795,40	100,00	
w - Umidade	(%)	2,03	2,67	1"	25,4	795,40	100,00	
Umidade Média	(%)	2,35		3/4"	19,0	0,00	795,40	100,00
MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS passante na peneira N° 10				3/8"	9,5	65,10	730,30	91,82
				N° 4	4,8	45,07	685,23	86,15
Picnômetro N°	#	1	2	N° 10	2,0	68,12	617,11	77,58
Pic+Solo+Água	(g)			PENEIRAMENTO FINO				
Pic+Água	(g)			Massa Úmida (g)		120,00		
T°C de Ensaio	(°C)			Massa Seca (g)		117,25		
Massa Solo Úmido	(g)			Peneira	Diâmetro (mm)	Peso da Amostra Seca (g)	% Passante	
Massa Solo Seco	(g)							Retido
ME da Água, T°C Ens	(g/cm ³)			N° 16	1,19	16,40	100,85	66,73
ME dos grãos	(g/cm ³)			N° 30	0,59	19,40	81,45	53,90
ME dos grãos média	(g/cm ³)			N° 40	0,42	8,10	73,35	48,54
Massa Úmida para Sedimentação	(g)			N° 50	0,25	18,20	55,15	36,49
Massa Seca para Sedimentação	(g)			N° 100	0,15	15,80	39,35	26,04
Número do Densímetro				N° 200	0,075	3,40	35,95	23,79



LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

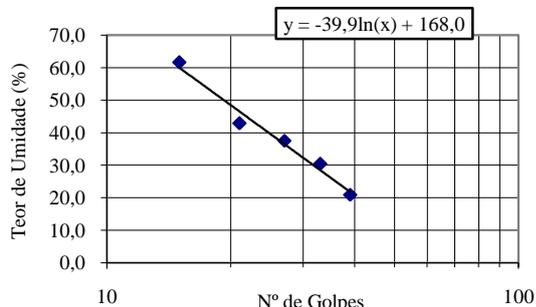
Solicitante: _____ Fone: _____ Data: _____
 Descrição: _____ Estaca: _____ Reg. Nº: _____
 Trecho: Jazida 01 Prof (m): _____ Amostra: Sub base
 Obs: _____

LIMITE DE LIQUIDEZ

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	49,60	53,60	50,50	51,10	46,90		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	44,30	45,00	41,20	40,60	35,50		
Massa da Cápsula	(g)	19,00	16,70	16,40	16,10	17,00		
Massa da Água	(g)	5,30	8,60	9,30	10,50	11,40		
Massa Solo Seco	(g)	25,30	28,30	24,80	24,50	18,50		
Teor de Umidade	(%)	20,95	30,39	37,50	42,86	61,62		
Número de Golpes	#	39	33	27	21	15		

LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,35	9,40	9,10	9,75	9,85		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,12	9,20	8,90	9,52	9,60		
Massa da Cápsula	(g)	7,70	8,10	7,70	8,10	8,00		
Massa da Água	(g)	0,23	0,20	0,20	0,23	0,25		
Massa Solo Seco	(g)	1,42	1,10	1,20	1,42	1,60		
Teor de Umidade	(%)	16,20	18,18	16,67	16,20	15,63		



CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{LP})

#	\bar{LP}	$0,95 \cdot \bar{LP}$	$1,05 \cdot \bar{LP}$	Ñ Serve
1	16,57	15,74	17,40	2
2	16,17	15,36	16,98	

$$LL = A \cdot \ln(\text{Nº de Golpes}) + B$$

A	-3,2675
B	42,695

Limite de Liquidez (LL)	40,0
Limite de Plasticidade (LP)	16,4
Índice de Plasticidade (IP)	23,7

MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508

Picnômetro Nº	#		
Teor de Umidade	(%)		
Massa Solo Úmido	(g)		
Massa Picnômetro+Solo+Água, T°C de Ensaio	(g)		
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)		
Temperatura de Ensaio	(°C)		
Massa Solo Seco	(g)		
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)		
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)		
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)		

Observações Gerais

A massa específica do solo em questão foi obtida a partir de amostra seca em estufa a 105°C

Visto

LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

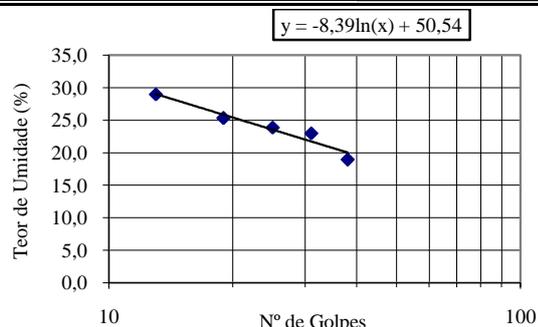
Solicitante: _____ Fone: _____ Data: _____
 Descrição: _____ Estaca: _____ Reg. N°: _____
 Trecho: Jazida 02 Prof (m): _____ Amostra: Sub base
 Obs: _____

LIMITE DE LIQUIDEZ

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	47,40	47,80	49,80	49,20	46,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	42,80	42,10	43,50	42,80	40,10		
Massa da Cápsula	(g)	18,50	17,30	17,10	17,50	18,00		
Massa da Água	(g)	4,60	5,70	6,30	6,40	6,40		
Massa Solo Seco	(g)	24,30	24,80	26,40	25,30	22,10		
Teor de Umidade	(%)	18,93	22,98	23,86	25,30	28,96		
Número de Golpes	#	38	31	25	19	13		

LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	10,00	9,60	10,70	9,65	8,97		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,78	9,37	10,45	9,40	8,78		
Massa da Cápsula	(g)	8,60	8,10	9,10	8,00	7,10		
Massa da Água	(g)	0,22	0,23	0,25	0,25	0,19		
Massa Solo Seco	(g)	1,18	1,27	1,35	1,40	1,10		
Teor de Umidade	(%)	18,64	18,11	18,52	17,86	17,27		



CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{LP})

#	\bar{LP}	$0,95 \cdot \bar{LP}$	$1,05 \cdot \bar{LP}$	Ñ Serve
1	18,08	17,18	18,98	2
2	18,07	17,17	18,98	

Limite de Liquidez (LL)	23,5
Limite de Plasticidade (LP)	18,1
Índice de Plasticidade (IP)	5,4

MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508

Picnômetro N°	#		
Teor de Umidade	(%)		
Massa Solo Úmido	(g)		
Massa Picnômetro+Solo+Água, T°C de Ensaio	(g)		
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)		
Temperatura de Ensaio	(°C)		
Massa Solo Seco	(g)		
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)		
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)		
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)		

Observações Gerais

A massa específica do solo em questão foi obtida a partir de amostra seca em estufa a 105°C

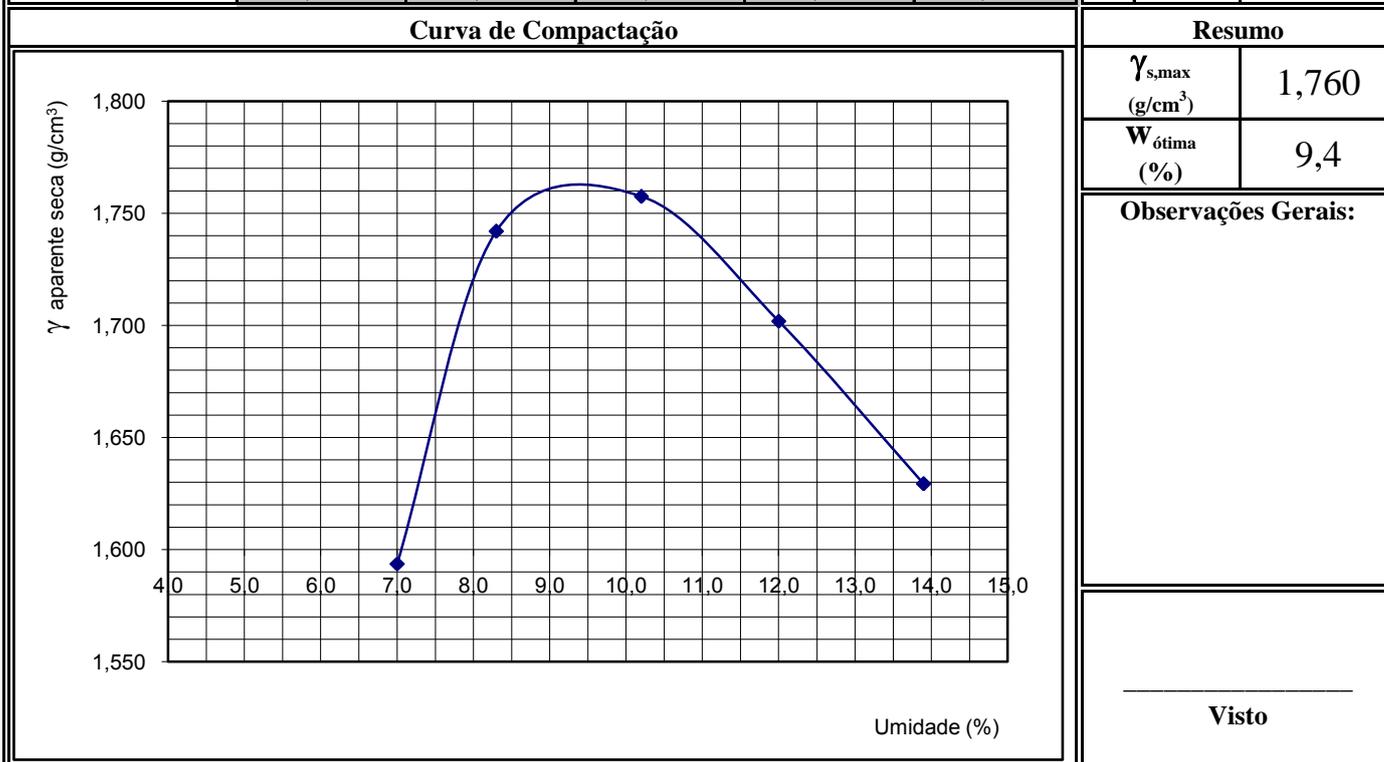
Visto

COMPACTAÇÃO

Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____
Descrição: _____	Estaca: _____	Reg. N°: _____
Trecho: Jazida 01	Prof (m): _____	Amostra: Sub base
Energia: _____	N° Golpes: 26	Soquete: Grande
		Molde: Grande

Teor de Umidade										Umidade Higroscópica	
N° Cápsula	#									1	2
C + S + A	(g)									595,7	662,8
C + S	(g)									583,4	651,0
C - Cápsula	(g)									152,7	101,9
A - Água	(g)									12,3	11,8
S - Solo	C									430,7	549,1
w - Umidade	(%)									2,9	2,1
Umidade Média	(%)									2,5	

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	300	400	500	600	700	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	N°	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	7,0	8,3	10,2	12,0	13,9	#	(cm)	(cm ³)
N° do Molde	#	10	1	3	18	20	10	5550	2076
M + S + A	(g)	9090	9450	9600	9530	9460	1	5507	2090
M - Molde	(g)	5550	5507	5554	5550	5440	3	5554	2089
S + A	(g)	3540	3943	4046	3980	3860	18	5550	2088
γ úmida	(g/cm ³)	1,705	1,887	1,937	1,906	1,856	20	5440	2080
γ seca	(g/cm ³)	1,594	1,742	1,758	1,702	1,629			

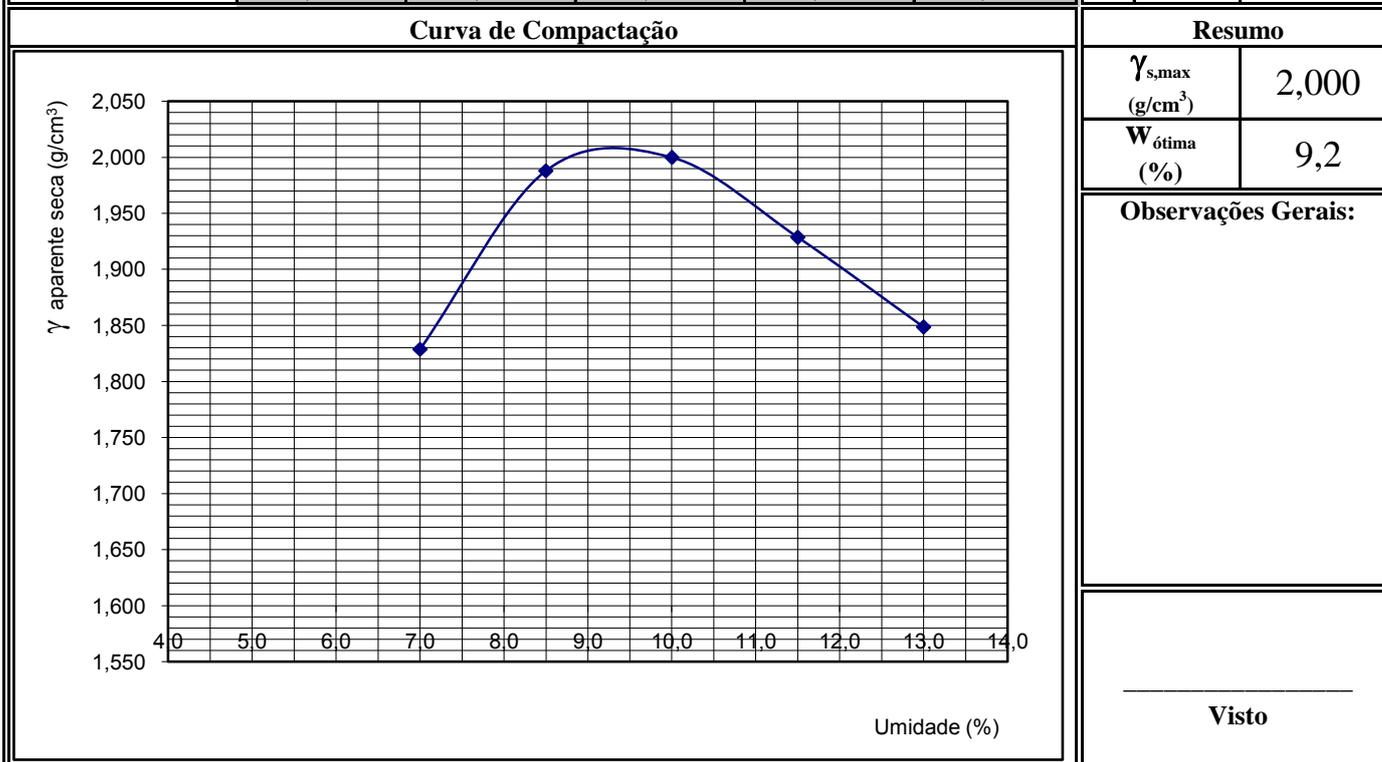


COMPACTAÇÃO

Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____
Descrição: _____	Estaca: _____	Reg. N°: _____
Trecho: Jazida 02	Prof (m): _____	Amostra: Sub base
Energia: _____	N° Golpes: 26	Soquete: Grande
		Molde: Grande

Teor de Umidade										Umidade Higroscópica	
N° Cápsula	#									1	2
C + S + A	(g)									73,0	89,0
C + S	(g)									72,6	88,2
C - Cápsula	(g)									21,1	21,2
A - Água	(g)									0,4	0,8
S - Solo	C									51,5	67,0
w - Umidade	(%)									0,8	1,2
Umidade Média	(%)									1,0	

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	360	450	540	630	720	M _{úmida} (g)	5000	
% Água Adic.	(%)	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	N°	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	7,0	8,5	10,0	11,5	13,0	#	(cm)	(cm ³)
N° do Molde	#	2	16	25	20	5	2	4750	2080
M + S + A	(g)	8820	9000	8950	8840	9102	16	4505	2084
M - Molde	(g)	4750	4505	4381	4350	4755	25	4381	2077
S + A	(g)	4070	4495	4569	4490	4347	20	4350	2088
γ úmida	(g/cm ³)	1,957	2,157	2,200	2,150	2,089	5	4755	2081
γ seca	(g/cm ³)	1,829	1,988	2,000	1,929	1,849			



ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA

Rodovia: _____	Segmento: _____
Trecho: <u>JAZIDA 01</u>	Estaca: _____
Subtrecho: _____	Data: _____
Amostra: <u>Sub base</u>	Registro: _____
	Operador: _____

EXPANSÃO

Molde (Nº)			01			03			18		
			11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	1,30	0,30	0,26	1,50	0,50	0,44	1,10	0,10	0,09
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico

DIN 001

Constante do anel

0,10100

Relógio comparador

EXT 001

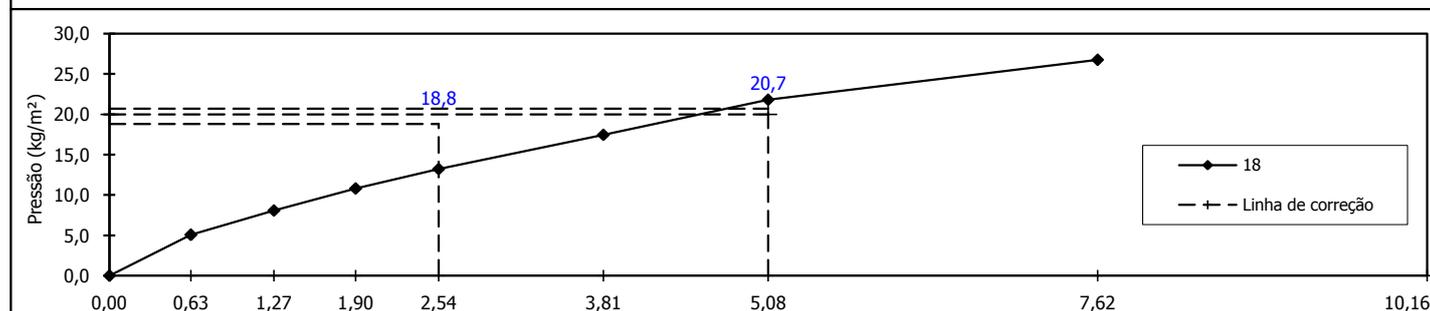
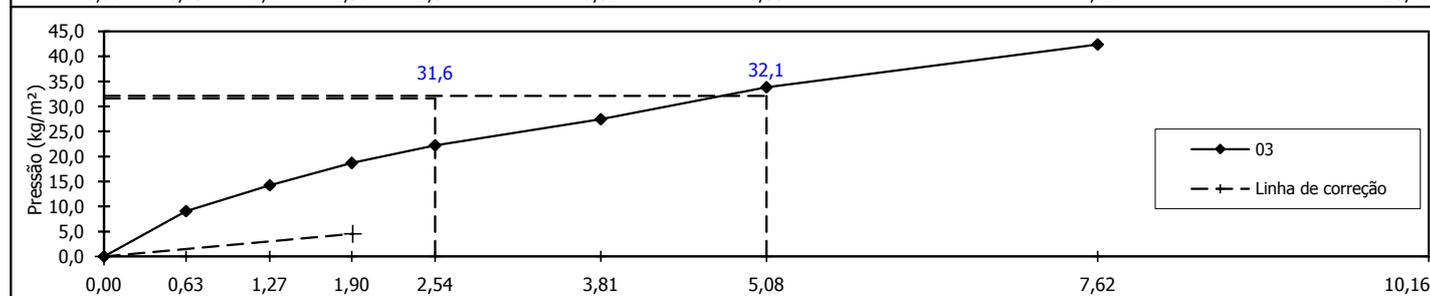
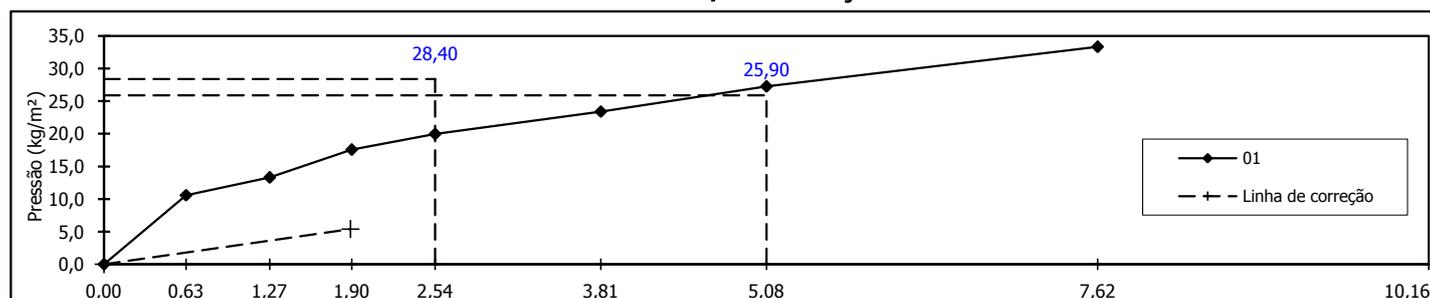
Área do pistão (cm²)

19,3221

PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	01			Molde	03			Molde	18		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	105	10,61			90	9,1			50	5,1		
1,0	1,27	0,050	-	132	13,33			141	14,2			80	8,1		
1,5	1,90	0,075	-	174	17,57			185	18,7			107	10,8		
2,0	2,54	0,100	70,31	198	20,00	20,0	28,4	220	22,2	22,2	31,6	131	13,2	13,2	18,8
3,0	3,81	0,150	-	232	23,43			272	27,5			173	17,5		
4,0	5,08	0,200	105,46	270	27,27	27,3	25,9	335	33,8	33,8	32,1	216	21,8	21,8	20,7
6,0	7,62	0,300	-	330	33,33			420	42,4			265	26,8		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



INDICE SUPORTE CALIFORNIA

Rodovia:		Segmento:	
Trecho:	JAZIDA 02	Estaca:	
Subtrecho:		Data:	
Amostra:	Sub base	Registro:	
		Operador:	

EXPANSÃO

Molde (Nº)			16			25			20		
			11,38			11,38			11,38		
Altura do molde (cm)			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data		Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	1,04	0,04	0,04	1,00	0,00	0,00	1,06	0,06	0,05
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico

DIN 001

Constante do anel

0,10100

Relógio comparador

EXT 001

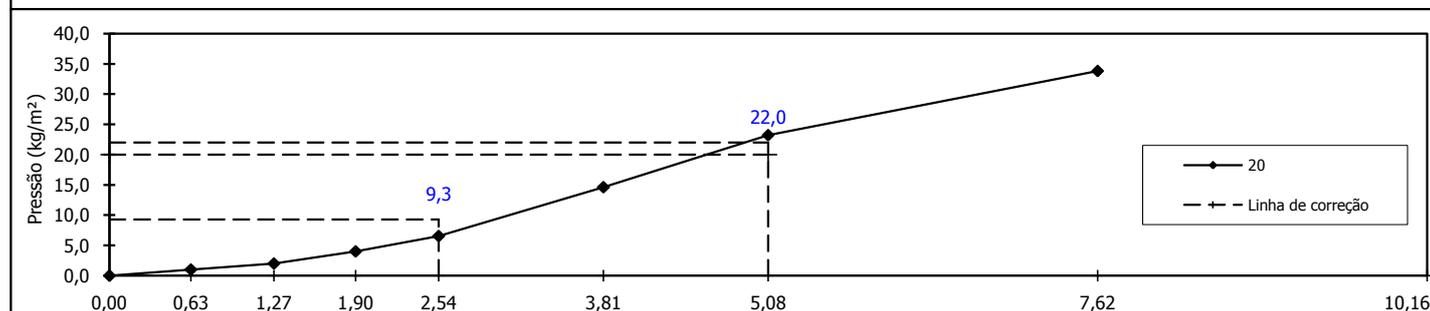
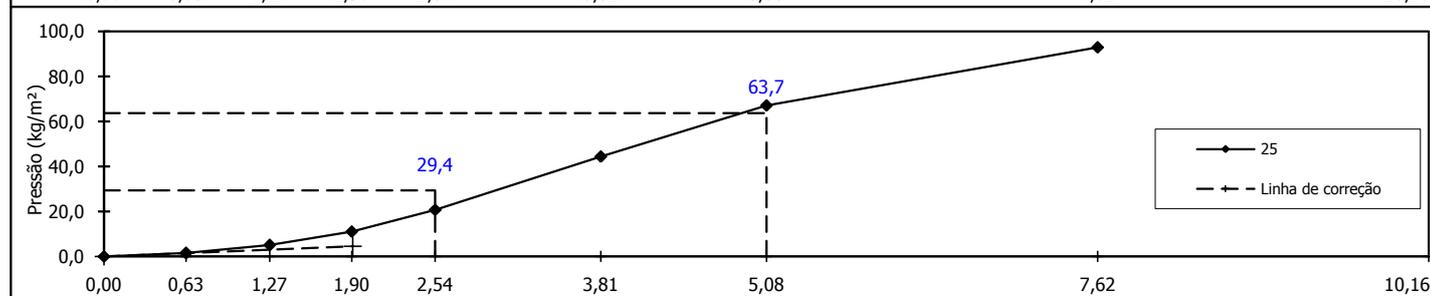
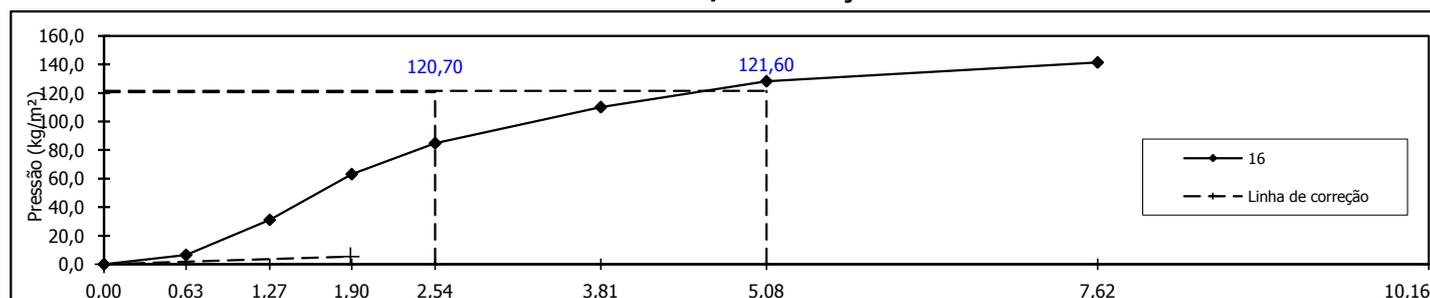
Área do pistão (cm²)

19,3221

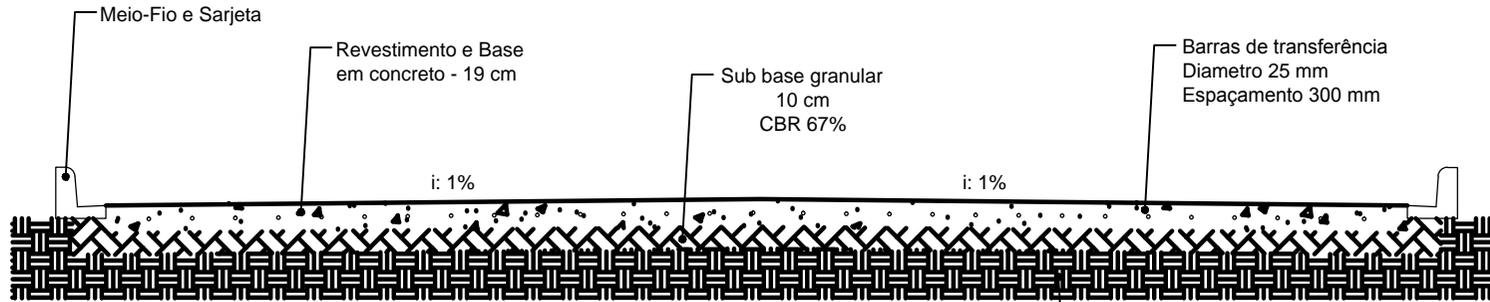
PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	16			Molde	25			Molde	20		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	65	6,57			15	1,5			10	1,0		
1,0	1,27	0,050	-	310	31,31			50	5,1			20	2,0		
1,5	1,90	0,075	-	625	63,13			110	11,1			40	4,0		
2,0	2,54	0,100	70,31	840	84,84	84,8	120,7	205	20,7	20,7	29,4	65	6,6	6,6	9,3
3,0	3,81	0,150	-	1090	110,09			440	44,4			145	14,6		
4,0	5,08	0,200	105,46	1270	128,27	128,3	121,6	665	67,2	67,2	63,7	230	23,2	23,2	22,0
6,0	7,62	0,300	-	1400	141,40			920	92,9			335	33,8		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C

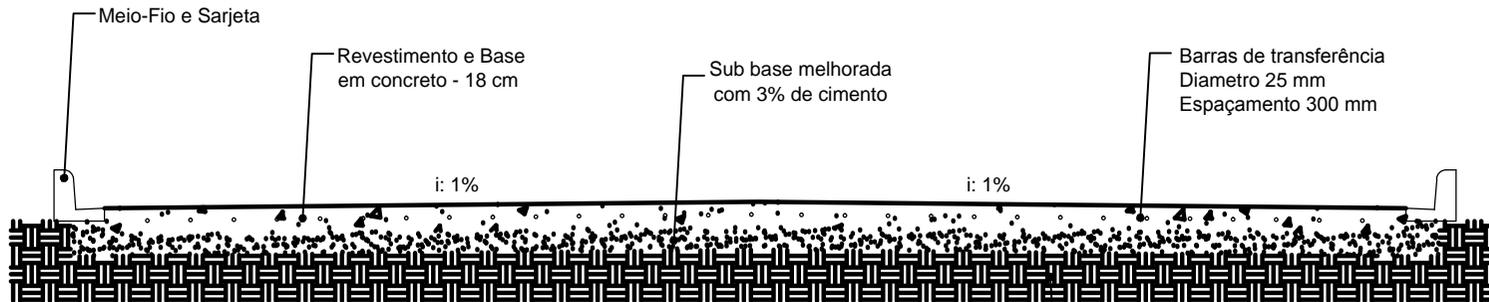


Seção Transversal



Perfil Transversal - Sub base granular
Sem escala

Subleito
CBR 17%



Perfil Transversal - Sub base melhorada com cimento
Sem escala

Subleito
CBR 17%

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



Foto 01 - Coleta do Material de Subleito



Foto 02 - Coleta do Material de Subleito



Foto 03 - Coleta do Material de Jazida



Foto 04 - Preparação das amostras para ensaio



Foto 05 - Ensaio Limite de Liquidez e Plasticidade



Foto 06 - Ensaio Granulometria - Peneiramento Grosso



Foto 07 - Ensaio Granulometria - Peneiramento Fino



Foto 08 - Ensaio Compactação



Foto 09 - Ensaio Compactação



Foto 10 - Ensaio Índice Suporte Califórnia



Foto 11 - Ensaio Índice Suporte Califórnia



Foto 12 - Ensaio Índice Suporte Califórnia