



# **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

Sandro Robson Miranda

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS GRANULARES,  
COM ADIÇÃO DA CAL HIDRATADA PARA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS DE  
PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NA CIDADE DE PALMAS - TO.

Palmas – TO

2018

Sandro Robson Miranda

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS GRANULARES,  
COM ADIÇÃO DA CAL HIDRATADA PARA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS DE  
PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NA CIDADE DE PALMAS - TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Palmas– TO

2018

Sandro Robson Miranda

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS GRANULARES,  
COM ADIÇÃO DA CAL PARA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO  
ASFÁLTICA NA CIDADE DE PALMAS - TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof.<sup>a</sup> MSc. Jacqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

## RESUMO

MIRANDA, Sandro Robson. **Análise do comportamento mecânico de solos granulares, com adição da cal, para utilização em projetos de pavimentação asfáltica na cidade de Palmas - TO.** 2018. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O estudo dos solos é importante para caracteriza-los e definir sua aplicabilidade para utilização em serviços de terraplanagem. Neste trabalho foi feito um comparativo entre solos de jazidas diferentes na cidade de Palmas Tocantins, estes solos foram retirados do fundo de caixa onde ocorreu o empréstimo de material para utilização em serviços de terraplanagem. Após coleta do material e levado ao laboratório de solos para identificação e análises de caracterização, adicionou-se a cal hidratada a estes solos a uma proporção de 6% da cal para cada massa de solo destinada a análise, em seguida realizaram-se ensaios de compactação (ensaios de Proctor), e os ensaios de índice de suporte califórnia para cada solo coletado, com e sem a adição da cal hidratada. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada principalmente as normas técnicas do DNIT e do DNER para os ensaios e suas especificações, obtendo assim resultados característicos para cada solo com o objetivo de fazer uma análise comparativo entre os solos in natura com os solos com a adição da cal hidratada, determinando assim índices para cada material possibilitando uma avaliação do comparativo entre os solos das jazidas com adição e sem a adição da cal hidratada, com a sua aplicabilidade. Alcançando desta forma os resultados propostos a este trabalho de conclusão de curso, que foi analisar o comportamento do solo com a adição da cal hidratada comparando-o ao solo natural.

**Palavras-chave:** Cal Hidratada. Solos. Índice Suporte Califórnia. Jazida.

## ABSTRACT

MIRANDA, Sandro Robson. **Analysis of the mechanical behavior of granular soils, with addition of lime, for use in asphalt paving projects in the city of Palmas - TO.** 2018. 73f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The study of soils and of paramount importance to characterize them and define their applicability for use in earthmoving services. The focus of this work is to compare the soils of different deposits in the city of Palmas Tocantins; these soils were removed from the cash fund where the loan of material for use in earthmoving services occurred. After collecting the material and taking it to the soil laboratory for identification and characterization analyzes, the hydrated lime was added to these soils at a proportion of 6% of the lime for each soil mass for analysis, compaction (Proctor's tests), and the California support index assays for each field collected, with and without the addition of hydrated lime. For the development of this work the DNIT and DNER technical norms for the tests and their specifications were used, the objective of this work is to make a comparative analysis between the soils in natura with the soils with the addition of hydrated lime, thus determining indices for an evaluation of these materials, so it is possible to say if there will be a significant difference in the soil strength of each deposit in which the hydrated lime was used. In this way we obtained the expected results to which if this work of conclusion of course was proposed that was to carry out a comparative analysis of the use of the hydrated lime in the stabilization of soils. Keywords: Hydrated lime. Solos. Table of Contents Support California. Throw.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2 - Pavimento flexível .....	16
Figura 3 - Pavimento semi - rígido .....	16
Figura 4 - Constituição do pavimento .....	17
Figura 5 - Curva granulométrica .....	21
Figura 7 - Sequência de ensaio de granulometria.....	23
Figura 8 - Aparelho de Casagrande .....	24
Figura 9 - Ensaio amostra antes e depois .....	25
Figura 10 - Ensaio de limite de plasticidade.....	26
Figura 11 - Curva de Compactação .....	28
Figura 12 - Molda do corpo de prova .....	29
Figura 13 - Tabela granulometria .....	21
Figura 14 - Mapa de localização das jazidas para coleta do material.....	35
Figura 15 - Jazidas .....	36
Figura 16 - Gráfico granulometria.....	42
Figura 17 - Material.....	43
Figura 18 - Limites .....	43
Figura 19 - Ensaio.....	44
Figura 20 - Densidades e umidade de compactação.....	45
Figura 21 - Gráfico ISC .....	45
Figura 22 - Ensaio ISC .....	46

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 01 – Teor de umidade.....	28
Fórmula 02 e 03 - Limite de liquidez .....	29
Fórmula 04 - Índice de plasticidade .....	31

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	grau Celsius
cm	centímetro
g	grama
h	teor de umidade
IP	Índice de Plasticidade
kg	quilograma
Km	quilômetro
LL	limite de liquidez
LP	limite de plasticidade
Min	minuto
ml	mililitro
mm	milímetro
n°	número
N	número de golpes na determinação de um ponto do ensaio
Ph	massa do solo
Ps	massa do solo seco
Psi	libras por polegada
rpm	rotação por minuto



## LISTA DE ABREVIATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CPs	Corpos-de-prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GPS	Global Positioning System
HRB	HighWay Research Board
ISC	Índice Suporte Califórnia
LMS	Laboratório de Mecânica dos Solos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RCS	Resistência a Compressão Simples
TRB	Transportation Research Board
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Problema.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>13</b>
<i>1.2.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2 Objetivo Específico .....</i>	<i>13</i>
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Pavimento .....</b>	<b>15</b>
<i>2.1.1 Pavimentos flexíveis.....</i>	<i>15</i>
<i>2.1.2 Pavimentos semi-rígido.....</i>	<i>16</i>
<b>2.2 Constituição do pavimento.....</b>	<b>17</b>
<i>2.2.1 Subleito.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2 Regularização do subleito.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2.1 Reforço do subleito.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.3 Sub-base .....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.4 Base.....</i>	<i>19</i>
<b>2.3 Solo e sua definição .....</b>	<b>19</b>
<i>2.3.1.1 Solos do tipo coesivos .....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.1.2 Solos não coesivos .....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.2 Índices físicos.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.3 Análise da granulometria.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.4 Ensaio de peneiramento.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.4.1 Preparo das amostras .....</i>	<i>23</i>
<i>2.3.5 Ensaio de consistência.....</i>	<i>23</i>
<i>2.3.5.1 Limite de liquidez (LL).....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.5.2 Ensaio do limite de liquidez.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.5.3 Limite de plasticidade (LP) .....</i>	<i>26</i>
<i>2.3.5.4 Índice de plasticidade (IP) .....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.6 Compactação dos solos.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.6.1 Curva de compactação. ....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.6.2 Ensaio de compactação. ....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.6.3 Ensaio de Proctor intermediário.....</i>	<i>30</i>
<i>2.3.6.4 Índice de suporte Califórnia – ISC.....</i>	<i>30</i>

<b>2.4 Estabilização de solos.....</b>	<b>31</b>
2.4.1 Estabilização mecânica.....	31
2.4.2 Estabilização química.....	32
<b>2.5 Fator da Cal.....</b>	<b>32</b>
2.5.1 Equipamentos e materiais.....	33
2.5.1.1 Materiais e mistura.....	33
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Materiais utilizados.....</b>	<b>36</b>
3.1.1 Amostra de solos.....	36
3.1.2 A cal.....	37
3.1.3 Água potável.....	37
3.1.4 Materiais necessários para coleta do material de amostra.....	37
<b>3.2 Procedimentos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Ensaio de caracterização.....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Preparo da amostra de solo natural.....	38
3.3.2 Análise granulométrica por peneiramento - NBR 7181/84.....	39
3.3.3 Limite de liquidez.....	39
3.3.4 Limite de plasticidade.....	39
3.3.5 Ensaio mecânico de compactação.....	40
3.3.6 Ensaio mecânico de Índice de Suporte Califórnia.....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Análise granulométrica.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Análises dos limites.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Compactação.....</b>	<b>44</b>
4.3.1 Curva de compactação.....	44
4.3.2 Energia de compactação.....	44
4.3.3 Densidade e umidade de compactação.....	45
<b>4.4 Análises ISC (índice de suporte califórnia).....</b>	<b>45</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da malha viária para o desenvolvimento do País é sempre crescente, pois é através desta malha que se faz o transporte da produção agrícola, agropecuária e insumos, utilizada também para o transporte de produtos comerciais, possibilitando percorrer maiores distâncias em espaços de tempo mais curtos. Para tanto buscar novas tecnologias se faz necessário, para que possa viabilizar e melhorar as construções destas malhas viárias.

Sabe-se que o solo deverá receber um tratamento para que possa suportar carregamentos transferidos pelo o pavimento. Segundo DNIT (2006) este método construtivo deverá ser dividido em base, sub-base e reforço do subleito quando necessário, este material para o reforço dessa estrutura na sua maioria e retirado de jazidas escavadas.

Como as obras rodoviárias estão sujeitas a variação de materiais no mesmo projeto, reflexo de sua característica de obra linear, e comum encontrar-se materiais marginais que não atendam às exigências para aplicação no pavimento. Os esforços para tornar esses materiais tecnicamente viáveis levaram ao desenvolvimento e aplicação de métodos de estabilização de solos. Um dos métodos utilizados na estabilização dos solos e a estabilização química, que é a adição de um aditivo ao solo, conferindo-lhe melhoria em suas propriedades de engenharia, um dos aditivos mais usados na pavimentação brasileira e a cal hidratada

O objetivo desse estudo é analisar três jazidas localizadas no município de Palmas Tocantins, comparando as características de cada jazida entre o material natural e o material com a adição da cal hidratada, para tanto foi utilizado um teor de seis por cento para cada massa analisada, e para os ensaios de compactação foi observado um período de quatro dias para a realização do proctor nos corpos de prova. Fazendo assim um comparativo com a norma e verificando se estes solos se enquadra nos índices para utilização como suporte do pavimento asfáltico de vias.

## 1.1 Problema

O estudo do solo para o uso em camadas de base e sub-base do pavimento é de suma importância, haja vista que, analisar as características destes materiais se faz necessário para determinar sua aplicação correta e sua resistência. Estes materiais oriundos de jazidas naturais, quanto as suas solicitações, poderá haver necessidade da estabilização destes solos com material de reforço para que possa garantir uma melhor resistência. Para tanto se sabe que a adição da cal hidratada para solos naturais melhora a qualidade do material. Para as três jazidas analisadas no município de Palmas no Tocantins, a adição da cal hidratada contribui na resistência destes solos?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo Geral*

Analisar o comportamento mecânico dos solos granulares naturais e com adição da cal hidratada, em três jazidas localizadas no município de Palmas - TO.

### 1.2.2 *Objetivo Específico*

- Prospectar três jazidas no município de Palmas - TO;
- Realizar a caracterização do solo de todas as amostras;
- Estudar os solos após adição de 6% da cal hidratada;
- Comparar o solo natural com solo-cal.

### 1.3 Justificativa

O desenvolvimento e crescimento populacional dos centros urbanos aumenta a necessidade de investimento em obras de infraestrutura como pavimentação, terraplanagem, dentre outras. Segundo Caputo (1987), pavimento é a estrutura construída após a terraplanagem e destinada econômica e simultaneamente, em seu conjunto a: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança, também resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Na construção de pavimentos sobre as camadas de solos é necessário reforçar a camada do subleito em sua grande maioria, pois a qualidade do material encontrado no local pode não atender as solicitações impostas pelo tráfego, necessitando assim de outro material para reforçar as camadas de base e sub-base. Este material é extraído de jazidas naturais em sua maioria, no entanto existem alguns agravantes como: impactos ambientais, erosões, assoreamento e poluição no local ocasionada pela sua extração.

Este estudo visa pesquisar e classificar o material de três jazidas, material este utilizado em bases e sub-bases do pavimento no município de Palmas – Tocantins, caracterizando e analisando se a estabilização deste material com a adição da cal irá melhorar as características destes solos. Este estudo indicará as características do material e sua melhor aplicação, utilizando análises laboratoriais para avaliar os resultados encontrados e fazer um comparativo entre a utilização do material das jazidas naturais, ou a utilização deste material melhorado e estabilizado com a adição da cal hidratada.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pavimento

Segundo Senço (2008), pavimento é a estrutura aplicada sobre a face de terraplenagem, e deve ser determinada técnica e economicamente para suportar os esforços verticais proveniente do tráfego e distribuí-los; além de melhorar as condições de rolamento, no que se refere à segurança e conforto do usuário; e ser resistentes aos esforços horizontais (desgastes), tornando a superfície mais durável.

De acordo com o manual de pavimentação DNIT (2006), pavimento é a estrutura edificada acima do terraplenagem e destinada a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais gerados no pavimento tornando mais durável a superfície de rolamento.

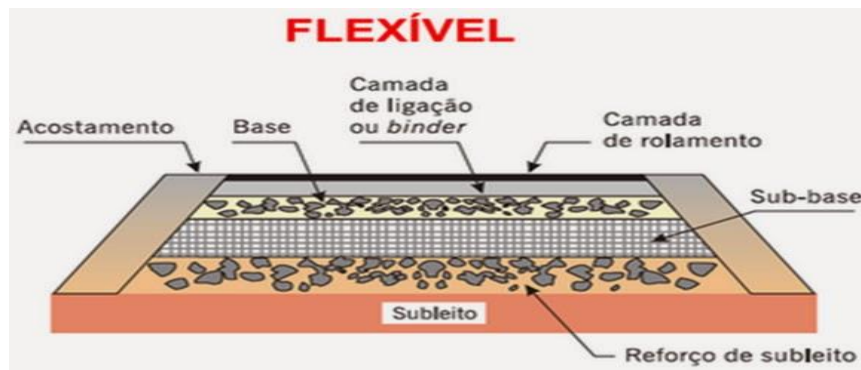
Em sua maioria a divisão dos pavimentos é classificada dois grupos: Rígidos e Flexíveis. Porém é classificado por alguns autores em três grupos diferentes de pavimentos, adicionando o grupo de pavimento semi - rígido.

#### 2.1.1 Pavimentos flexíveis

Segundo Souza (1980), o pavimento flexível é formado por um conjunto de camadas, constituídas por revestimento, base, sub-base, reforço de subleito, e subleito. Sendo que as últimas correspondem ao terreno de fundação. De acordo com o autor, devem ser definidas as espessuras de cada camada, levando em consideração a capacidade de suporte dos materiais constituintes e o volume de tráfego, para dimensionamento de um pavimento deste tipo.

Na avaliação de Senço (1997), o pavimento flexível se caracteriza pela possibilidade de limitada deformação sem acarretar danos estruturais. Além disso, são dimensionados para resistir à tração e compressão na flexão proveniente da carga aplicada sobre o pavimento, no entanto, podem apresentar deformação permanente e possível rompimento por fadiga.

Figura 1 - Pavimento flexível



Fonte: Balbo, 2007.

Segundo Yoder e Witczak (1975, apud D'AGOSTIN, 2008), nos pavimentos flexíveis existe uma carga pontual oriunda dos esforços nos pontos de aplicação das cargas, ou seja, as tensões são distribuídas em uma área relativamente pequena. Diferente do pavimento rígido, pois as tensões são distribuídas por uma grande área, sendo mais nas camadas de base e sub-base, gerando uma proteção maior no subleito em relação a esses esforços gerados pelas cargas.

### 2.1.2 Pavimentos semi-rígido

Para o DNIT – 2006 (manual de pavimentação), esse pavimento é caracterizado por uma base cimentada por algum aglomerante com propriedades cimentícias (estabilização química). É o caso de uma camada de solo-cimento revestida por asfalto.

Figura 2 - Pavimento semi - rígido



Fonte: Balbo, 2007



## 2.2 Constituição do pavimento

Segundo Medina e Motta (2005), a camada do revestimento é que se destina a resistir às ações do tráfego e transmiti-las de forma distribuída para as camadas inferiores. As camadas de subleito, reforço do subleito, sub-base e base tem grande importância de resistir essas ações. Elas são responsáveis por restringir as tensões e deformações na estrutura do pavimento. A combinação dos materiais e a espessura das camadas que é responsável por esta dissipação.

Figura 3 - Constituição do pavimento



Fonte: Balbo, 2007

### 2.2.1 Subleito

Conforme Souza (1980) é considerado e estudado até as profundidades onde vão atuar as cargas impostas pelo tráfego, estas profundidades das camadas devem estar num intervalo de 0,60 a 1,50 m.

Segundo Senço (1997), terreno de fundação do pavimento, com características geométricas definidas onde se considerada apenas a camada mais próxima da superfície.

Consta na NBR 11170 (TB 372) – (1990), o subleito é definido como um composto de terra firme, unido e infinito (teoricamente), definido como fundação para um pavimento.

### 2.2.2 Regularização do subleito

A regularização do subleito deve dar à superfície executada as características geométricas do pavimento acabado (Senço 1997).

Segundo o DNIT 137/2010, Operação que consiste em dar forma à superfície do subleito, conforme perfil de uma seção transversal, obedecendo às larguras e cotas do projeto, e de acordo com o material apropriado. Sendo estes cortes ou aterros até 20 cm de espessura e compactação.

#### 2.2.2.1 *Reforço do subleito*

Conforme o DNIT 137/2010, o reforço do subleito tem como o efeito a capacidade de suporte superior à do subleito executada com o objetivo de diminuir a espessura da camada de sub-base. Podendo ou não existir, solicitada conforme a necessidade do projeto, de acordo com as características dos materiais utilizados e o volume de veículos dimensionado em projeto e entre outros fatores, relacionado com base na capacidade de suporte da estrutura.

Segundo Senço (2008), é uma camada de espessura constante, construída acima da regularização, quando for necessário, serve como reforço da camada superior, ou seja, a sub-base, complementando a sub-base, com características superiores à da regularização e inferior à da sub-base.

#### 2.2.3 *Sub-base*

Segundo Senço (2008), sub-base é a camada complementar à base, indicada quando, em condições técnicas e econômicas, não for prudente construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito.

Pinto (2002) define a sub-base como sendo aquela camada acima do reforço ou regularização do subleito e abaixo da base do pavimento. É bastante usada em rodovias importante, no qual suportam tráfegos pesados, se o solo de subleito é de boa qualidade, a sub-base torna-se desnecessário. Com exceção da função estrutural ao pavimento, a sub-base tem outras características, tais como: Se o material tiver qualidades granulométricas que facilitem a drenagem, podem prevenir o acúmulo de água livre no pavimento; prevenir a intrusão do solo do subleito na base, ocasionando a destruição do pavimento. Em geral indica que o material da sub-base deve ter características tecnológicas superiores às do material de reforço.

#### 2.2.4 *Base*

Conforme Senço (1997) e a camada destinada a resistir os esforços verticais oriundos do tráfego e fazer sua distribuição. Na verdade, o pavimento pode ser considerado em sua composição de base e revestimento, havendo ou não necessidade de complemento de sub-base ou reforço do subleito.

### 2.3 Solo e sua definição

Para Vargas (1977), solo em uma visão puramente técnica são materiais da crosta terrestre que servem de suporte, são arrimados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras de Engenharia Civil.

Segundo Das (2007), a definição de solo seria um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquido e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas. Conforme as áreas profissionais, a palavra solo pode adquirir várias definições. No geral quer dizer superfície do chão. A palavra solo em mecânica do solo tem o significado voltado para a Engenharia.

Solo é o detrito que cobre rochas ou minerais a serem explorados. A forma, o tamanho e a composição mineralógica das partículas são fatores que afetam a estrutura do solo. Em geral os solos classificam-se em dois grandes grupos: coesivos e não coesivos. (Brady 1989)

#### 2.3.1.1 *Solos do tipo coesivos*

Segundo Vargas (1977) os grãos desse solo são comumente não notados a olho nu, pois são bem finos. Para entender a estrutura básica de solos coesivos, a necessidade primeira de conhecer os tipos de forças que agem sobre as partículas de argila suspensas em água. Essas partículas podem sedimentar muito vagarosamente ou continuar em suspensão.

#### 2.3.1.2 *Solos não coesivos*

Solos não coesivos de acordo as estruturas encontradas podem ser divididas principalmente em duas características: grãos isolados e alveolares. A densidade do

agrupamento é influenciada pela forma e distribuição dos tamanhos das partículas dos solos e sua posição relativa, os espaços vazios de intervalo são aumentados. Portanto, solos com estrutura alveolar apresentam elevado índice de vazios e consequentemente, aumentando a possibilidade de recalque quando expostos as cargas elevadas, (Das 2007).

### 2.3.2 Índices físicos

Segundo Caputo (1996), no estudo das propriedades dos solos os índices e as relações, desempenham um importante papel, sendo que dependem dos seus constituintes e das relativas proporções, são eles:

- ✓ Umidade: determinado pela divisão da água extraída de uma quantidade de solo úmido por seu peso seco;
- ✓ Peso específico aparente: divisão do peso total pelo volume da amostra;
- ✓ Peso específico aparente seco: correspondentes relacionados pela amostra seca e o peso total do volume;
- ✓ Índice de vazios: é a razão entre o volume de vazios e o volume ocupado pela parte sólida do solo;
- ✓ Grau de compactação: estado natural de um solo não coesivo definido por um grau de densidade relativa;
- ✓ Porosidade: é o percentual da divisão do volume de vazios pelo total da amostra do solo;
- ✓ Grau de saturação: percentual de água nos vazios contidos em uma amostra de solo;
- ✓ Peso específico aparente saturado: peso do solo que pode ficar saturado, não ocorrendo mudança no volume;
- ✓ Peso específico aparente submerso: quando mergulhado em água é correspondente ao peso natural da amostra menos o específico da água.

### 2.3.3 Análise da granulometria

Conforme as dimensões das partículas dos solos, e dentro de determinados limites convencionais, as frações constituintes recebem designações próprias, que se identificam de acordo com termos usuais. E de acordo com a escala granulométrica brasileira, na Associação

Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são: pedregulho - conjunto de partículas cujos diâmetros equivalentes estão entre as medidas de 76 e 4,8 mm; areia com grãos entre 4,8 e 0,05 mm; silte, partículas entre 0,05 e 0,005 mm; argila, inferiores a 0,005 mm (CAPUTO, 1996). É muito variável, a dimensão da partícula do solo, sendo assim divididas por suas frações: pedregulho, areia, silte e argila, conforme o tamanho predominante de seus grãos (Das, 2007).

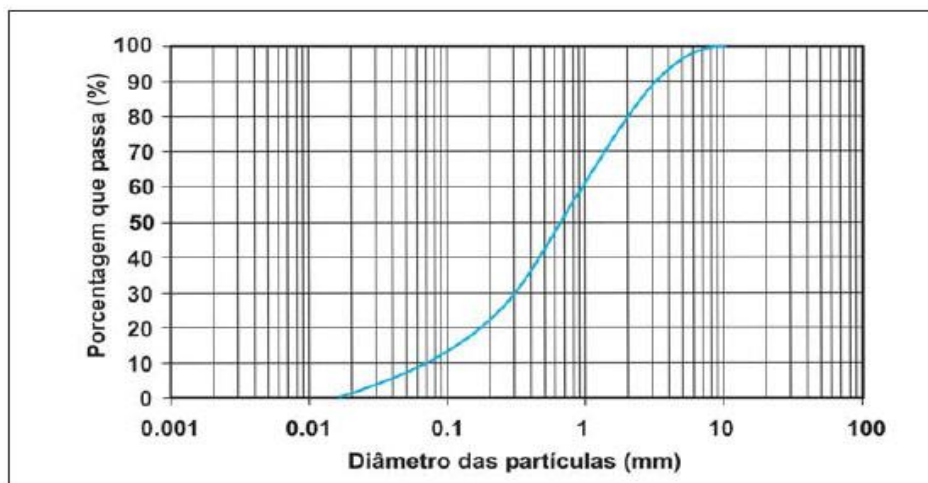
Figura 4 - Tabela granulometria

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

Fonte: DNIT. Manual de Pavimentação

No Brasil estes ensaios são padronizados pelo NBR 7181 (1984), a curva de distribuição granulométrica podendo utilizar assim para a determinação de parâmetros do solo, tais índices são: diâmetro efetivo; coeficiente de uniformidade; coeficiente de curvatura; coeficiente de segregação.

Figura 5 - Curva granulométrica



Fonte: Pinto, 2006.

Na curva de distribuição representada na Figura 5, no eixo X são marcados os logarítmicos das dimensões das partículas e sobre o Y as porcentagens em massa, dos grãos de diâmetros inferiores aos da abscissa correspondente. A classificação granulométrica de um solo deve ser feita pelo comportamento do solo e não pela quantidade de grãos ou de um tamanho específico. Para auxiliar a identificação das características de uniformidade e graduação dos solos.

#### 2.3.4 *Ensaio de peneiramento*

O ensaio é composto por um jogo de peneiras, estas peneiras são de malhas quadradas com fios ondulados de bronze ou latão com aberturas constantes e são dispostas de acordo com o tamanho que é definido pelas aberturas nominais que variam em fração de polegadas até o termino com fundo fechado, onde é feito a coleta do material após passar a peneira mais fina Senço (1997).

Segundo Caputo (1996), a análise granulométrica é feita pelo processo comum do peneiramento de um solo cujas partículas têm dimensões maiores que 0,074 mm (peneira n 200 da A. S. T. M.).

Conforme a NBR-7181 (1984), a aparelhagem e materiais necessários para a execução do ensaio de peneiramento são:

- ✓ Estufa
- ✓ Balança
- ✓ Aparelho de dispersão;
- ✓ Capsulas para determina umidade;
- ✓ Proveta de vidro;
- ✓ Densímetro graduado de bulbo simétrico;
- ✓ Termômetro graduado;
- ✓ Cronômetro;
- ✓ Béquer de vidro;
- ✓ Proveta graduada de vidro;
- ✓ Peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm;
- ✓ Escova com cerdas metálicas;
- ✓ Agitador mecânico de peneiras;
- ✓ Baqueta de vidro;

Figura 6 - Sequência de ensaio de granulometria



Fonte: <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php>

#### 2.3.4.1 *Preparo das amostras*

Conforme NBR-6457 (1986), após o recebimento da amostra prepara-se a amostra seguindo o procedimento:

- Secar uma determinada quantidade de solo ao ar.
- Desmanchar os torrões e, em seguida, homogeneizar o material.
- Com o auxílio do repartidor de amostra, ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.
- Peneirar o material coletado e seco ao ambiente na peneira 10 (2,00mm), desmanchando os possíveis torrões que ficou na amostra assegurando que fique retido na #10 só os grãos maiores
- O material retido na peneira 10 (2,00mm) é utilizado no peneiramento grosso do solo.
- Do material que passa na peneira10 retira a quantidade suficiente de solo para o peneiramento fino, para a determinação do peso específico dos sólidos e a determinação do teor de umidade do solo, com ensaio de sedimentação.

#### 2.3.5 *Ensaio de consistência*

Segundo Senço (1997), a influência dos solos finos não pode ser apenas definida pelo ensaio de granulometria, não dando uma noção exata do comportamento das partículas do solo. Atterberg estudou os diferentes estados do solo em presença de água, definindo os

limites de consistência de acordo com os seguintes estados, em ordem decrescente, temos: estado líquido, estado plástico, estado semi - sólido e estado sólido.

#### 2.3.5.1 *Limite de liquidez (LL)*

Para Senço (1997) o limite de liquidez, transição entre os estados de consistência plástica e líquida com teor de umidade crescente.

Conforme a NBR-6459 (1984), aparelhagem e materiais usados na execução do ensaio da determinação do limite de liquidez são: estufa; cápsula de porcelana; espátula de lâmina flexível; cinzel; balanças; recipientes para guardar a amostra sem perda de umidade; esfera de aço com 8 mm de diâmetro; cronômetro.

Para realizar o ensaio de limite de liquidez utiliza-se o aparelho de Casagrande (figura 8), definido como um prato de latão com formato de concha, fixado em um suporte. Assim por meio de um excêntrico e deferido golpes repetidos a uma altura de 1 cm em intensidade constante (Caputo, 1996).

Figura 7 - Aparelho de Casagrande



Fonte: <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php>

#### 2.3.5.2 *Ensaio do limite de liquidez*

Na NBR-6459 (1986), a preparação da amostra por secagem prévia, obedece ao seguinte procedimento: a amostra é posta na cápsula de porcelana, coloca-se em pequenas quantidades água destilada, misturando bem continua e vigorosamente com a espátula até encontrar uma massa homogênea usando aproximadamente trinta e cinco golpes fechando a ranhura; colocar uma porção na concha espalhando no centro com dez milímetros de



espessura; dividindo a pasta de solo em dois usando o cinzel de modo ficar em simétrico ao aparelho; Recolocar, com cuidado, a concha no aparelho e no girar da manivela fazendo com que ocorram quedas livres coordenadas na razão de duas voltas por segundo, isto determina uma série de golpes, da concha contra a base. Anotar o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13mm de comprimento, aproximadamente; pegar uma pequena quantidade e obter o teor de umidade; colocar o restante na capsula de porcelana; misturar por três minutos adicionando água a amostra; dividir para o ensaio utilizando de trinta a quinze golpes no mínimo em três partes;

Figura 8 - Ensaio amostra antes e depois



Fonte: DNER- ME 122/94

Segundo a norma DNER-ME 122 (1994), a umidade é encontrada através da fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad [01]$$

Sendo:

h - teor de umidade, em percentagem;

$P_h$  - massa do solo úmido (g);

$P_s$  - massa do solo seco estufa a 105°C - 110°C, até constância de massa (g).

Pesar é em seguida levar a estufa (105°C), encontrar o teor de umidade (atender mais ou menos 0,01g). O Limite de Liquidez dado pela formula:

Formula 02: Limite de Liquidez

$$LL = h \left( \frac{N}{25} \right) * 0,156 \quad [02]$$

Ou

$$LL = h \times K_{(N)}$$

$$K_{(N)} = \left(\frac{N}{25}\right) * 0,156 \quad [03]$$

Sendo:

h - Teor de umidade (%) corresponde a N golpes;

N - Número de golpes na determinação de um ponto do ensaio;

LL - Limite de liquidez (%).

$K_{(N)}$  – coeficiente

### 2.3.5.3 Limite de plasticidade (LP)

A transição do estado semi - sólido para o estado de consistência plástica (umidade crescente) e é expresso em %. No ensaio, é expresso pelo menor teor de umidade com que o cilindro de solo com cerca de dez centímetros de comprimento e rolado, rompendo-se ao atingir 3 mm de diâmetro. Fisicamente ocorre o rompimento da película de umidade que envolve os grãos e provoca o atrito direto grão a grão, segundo Senço (1997).

Figura 9 - Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php>

De acordo com a NBR-7180 (1984), materiais e aparelhagem utilizados são: Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C e de 105° a 110°; Cápsula de porcelana; Espátula de lâmina flexível; Recipientes adequados, tais como pares de vidros de relógio com grampo, que evitem a perda de umidade da amostra; Balança; Gabarito cilíndrico para comparação, com diâmetro de três e comprimento de cem milímetros; Placa de vidro de superfície esmerilhada, com cerca de 30 cm de lado.

A preparação da amostra segue o procedimento após secagem: Coloca-se a amostra na cápsula e se junta água destilada em quantidade suficiente para se obter massa plástica. Deve-se adicionar água aos poucos, misturando-se continuamente até completa homogeneização da massa; separam-se cerca de 20g da massa obtida como descrito na alínea a, modelando-a na forma elipsoidal. Rola-se esta massa entre os dedos e a face esmerilhada da placa de vidro, com pressão suficiente, a fim de moldá-la na forma de um cilindro uniforme. O número de rolagem deverá estar compreendido entre 80 e 90 por minuto, considerando-se uma rolagem como movimento da mão para frente e para trás retornando ao ponto de partida.

Ao se fragmentar o cilindro, transferem-se imediatamente os seus pedaços para o recipiente e determine-se o teor de umidade, o limite de plasticidade é expresso pela média dos teores obtidos.

#### 2.3.5.4 *Índice de plasticidade (IP)*

É o resultado da diferença entre os limites de liquidez e plasticidade de uma amostra de solo. O ponto em que o terreno se encontra no estado plástico, índice máximo para as argilas e nulo em solos arenosos, fundamental para se medir a característica argilosa de um solo segundo Caputo 1988. Assim quanto maior o IP, o solo se tornara mais plástico, descrito na formula abaixo:

Formula 04: Índice de plasticidade

$$IP = LL - LP \quad [04]$$

Onde:

IP - Índice de Plasticidade

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

#### 2.3.6 *Compactação dos solos*

Segundo Caputo (1996) compactação de um solo e o processo manual ou mecânico, para diminuir os espaços vazios, aumentando a resistência, deixando o solo mais estável. Visa

melhorar os aspectos como permeabilidade, compressibilidade e absorção de água, e não para o aumento das características de resistência.

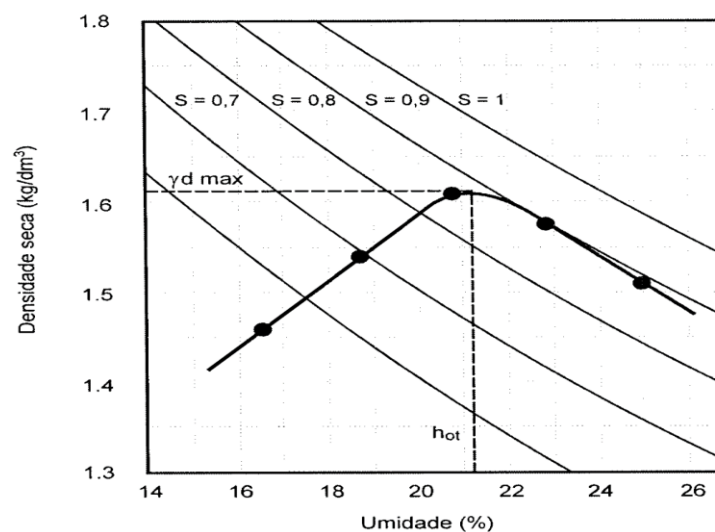
De acordo com Senço (1977) que a partir da aplicação de uma energia mecânica, encontra-se a maior massa específica aparente possível, obtendo assim a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, o que resulta em aumentar a resistência desse solo. Ralph R. Proctor na Califórnia em 1933 analisou que a densidade atingida na operação de compactação dependia de dois fatores, da umidade e da compactação do solo. Essa observação serviu de embasamento para a construção de toda a técnica de compactação e a prévia determinação de qual a umidade mais conveniente, para obter um máximo de compactação com a aplicação de certa energia, este ensaio de compactação surgiu a partir das publicações de Proctor, onde foi padronizado no mundo inteiro como ensaio de Proctor.

### 2.3.6.1 Curva de compactação.

Para Senço (1996), e de grande importância a aplicação de uma energia variada aplicada na compactação para atender as expectativas de pavimentação de estradas.

Dizendo que o traçado da curva de compactação é fundamentado nos dados obtidos pelo ensaio de compactação, nos diferentes teores de umidade. O peso específico máximo e a umidade ótima são extraídos através desta curva (Caputo, 1983).

Figura 10 - Curva de Compactação



Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT, 2006.

De acordo com PINTO (2002), quando se compacta com umidade baixa, o atrito entre as partículas é muito alto e não se consegue uma significativa redução dos vazios. Em umidades mais elevadas, a água provoca certo efeito de lubrificação entre as partículas, que deslizam entre si, amoldando-se num arranjo mais compacto.

### 2.3.6.2 *Ensaio de compactação.*

Para Senço (2008), a aplicação de alguma forma de energia, seja ela impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica, é chamada de compactação. A sua aplicação atribui ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

A norma do DNIT 164/2013-ME, materiais e aparelhagem para realizar os ensaios são: molde metálico cilíndrico; disco espaçador metálico; soquete metálico cilíndrico; extrator de amostra do molde; estufa; balanças com capacidade de 20 Kg para 1g e 1 Kg para 0,1g; almofariz e mão de gral; aparelho de dividir amostra de 500 mm de abertura; régua de aço biselada, rija; peneira de 50 mm, 19 mm e 4,8 mm; cápsulas de material adequado, que possa impedir a perda de umidade na pesagem; filtro de papel; proveta graduada; bandeja, espátula e colher de pedreiro.

Nota: Os corpos de prova moldados (conjunto cilindro + solo úmido compactado) deverão ser utilizados nos ensaios de expansão e penetração, para determinação do Índice de Suporte Califórnia - CBR.

Figura 11 - Molda do corpo de prova



Fonte: <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.ph>.

### 2.3.6.3 *Ensaio de Proctor intermediário*

Este ensaio consiste em compactar o solo com acréscimo de umidade percentualmente no molde cilíndrico de dimensões específicas. A compactação é feita em camadas, sendo três camadas iguais golpeadas por um soquete dimensões peso e altura de queda com vários percentuais de acréscimo de umidades (SENÇO, 1997).

Segundo DAS (2007) no ensaio de Proctor, se pega um molde com volume 944 cm<sup>3</sup> (1/30 ft<sup>3</sup>) e diâmetro de 101,6mm (4in).

### 2.3.6.4 *Índice de suporte Califórnia – ISC*

No final da década de 30 o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou Califórnia Bering Ratio (CBR), foi realizado por O.J Porter, diretor da Divisão de Materiais do Califórnia Highway Department, com a finalidade de definir a resistência dos materiais granulares empregados nos serviços de pavimentação.

Para Senço (1997), a definição de CBR é a relação do percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar de maneira controlada, um pistão num corpo de prova conforme foi preparado e a pressão para penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada, ou material equivalente, exigindo à pressão de 1.000 psi a penetração de 0,1” ou 1.500 psi para penetração dois.

De acordo com a norma brasileira do DNIT-ME 172/16, apresenta os seguintes procedimentos para a execução do ensaio de ISC.

Preparo do corpo de prova: o solo que foi passado na peneira  $\frac{3}{4}$  e compactado na massa específica e umidade ótima de projeto, em um cilindro que tem um anel de 50 mm de altura, provido de uma altura de 125 mm e um diâmetro de 150 mm;

Imersão do Corpo de Prova: Se dá em colocar os corpos de provas já compactados, submersos em água por um período de 96 horas, onde são realizadas medidas de expansão;

Penetração do corpo de prova: é feita através do puncionamento na face superior da amostra por um pistão com aproximadamente 50 mm de diâmetro, sob uma velocidade de penetração de 1,25mm/min.. Anotam-se, ou registram-se no caso de equipamento automatizado, as pressões do pistão e os deslocamentos correspondentes, de forma a possibilitar a plotagem de uma curva pressão-penetração, na qual se definem os valores de pressão correspondentes a 2,54mm (P 0,1”) e 5,08mm (P 0,2”).

Segundo (DNER, 1981), as exigências quanto ao limite do ISC e da expansão impostas por esse método de dimensionamento são as seguintes:

Os materiais do subleito devem apresentar  $ISC \geq 2\%$  e expansão  $\leq 2\%$ ;

Os materiais para reforço do subleito devem apresentar ISC maior que o do subleito e expansão  $\leq 2\%$ ;

Os materiais para reforço do subleito devem apresentar ISC maior que o do subleito e expansão  $< 1\%$ ;

Os materiais para sub-base deverão apresentar  $CBR \geq 20\%$  e expansão  $\leq 1,0\%$ .

Os materiais a serem utilizados nas bases deverão apresentar  $CBR \geq 80\%$ , para  $N > 5 \times 10^6$ , expansão  $\leq 0,5\%$ ; Limite de Liquidez (LL) igual ou inferior a 25%; Índice de Plasticidade (IP) igual ou inferior a 6%. Para casos onde  $N \leq 5 \times 10^6$  poderá ser empregado  $CBR \geq 60\%$  e as faixas granulométricas E e F.

## 2.4 Estabilização de solos.

Entende-se por melhoria ou reforço de solo a utilização de estabilização Mecânica ou físico-química, visando melhorar as condições de resistir a deformações e ruptura do solo. Estabilizar um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir e suportar as cargas e os esforços induzidos pelo tráfego normalmente aplicados sobre o pavimento e também às ações erosivas de agentes naturais sob as condições mais adversas de solicitação consideradas no seu dimensionamento, Marques 2009.

Segundo Batista (1976), estabilizar o solo é tratar os solos sem aditivos ou com eles, de modo que se tenham os subleitos, as sub-bases e bases, capazes de suportar, durante a sua vida útil, as cargas do tráfego normalmente aplicadas sobre o pavimento, sem deslocamento aplicáveis, desgaste excessivos e desagregação devido as entenderes.

### 2.4.1 Estabilização mecânica

Segundo (Silva, 2007 apud Santos, 2008) estabilizar mecanicamente o solo não é por si só, indicador de melhoria das condições de suas propriedades, podendo ser necessários outros métodos de estabilização. Identificar as propriedades do solo em que se quer melhorar, é primordial para a aplicação de qualquer método de estabilização. De acordo com Marques

(2005) podem ser descritos alguns métodos de estabilização dos solos, sendo elas: mecânica, granulométrica, química, elétrica e térmica.

#### 2.4.2 Estabilização química

Segundo Teixeira (2010), a estabilização química consiste em uma técnica de melhoramento permanente, com a incorporação de materiais ao solo natural. Os mais aplicados no âmbito da pavimentação é o aglomerante cimento em maior proporção e a cal hidratada, onde por meio de reações químicas entre os grãos do solo e o material estabilizante resulta uma mistura com requisitos necessários para seu emprego.

Para Corteleti (2013). É muito importante a obtenção de uma estabilização eficiente o conhecimento do princípio de atuação da substância adicionada e das características do solo a ser tratado, pois a interação entre as partículas e o aditivo é distinta para cada procedimento, seja por cimentação, modificação mineralógica, troca de íons, precipitação, dentre outros.

#### 2.5 Fator da Cal.

A cal é um aglomerante que resulta da calcinação de rochas carbonadas, oriundas principalmente de carbonato de cálcio, carbonato de cálcio e magnésio, composta de oxido de cálcio – CaO e cálcio-magnésio CaO – MgO, dito genericamente cal virgem. A cal hidratada é um pó seco obtido pela hidratação da cal virgem constituída essencialmente por hidróxido de cálcio ou de uma mistura composta pelos hidróxidos de cálcio e magnésio e ou com a adição de oxido de magnésio, DNER-ME 181/94.

A estabilização com a adição de cal para solos de baixa resistência e uma das técnicas mais antigas usadas pelo homem. Encontrado indícios ao sul da Itália, na via Apia, na Capena-Capua-Brindisi, dada de 312 a.C., e um trecho da muralha da china datado de 220 a.C., baseado na inter-relação dos elementos do sol, do meio ambiente e da cal, são efeitos físico-químicos que ocasionam alterações junto às propriedades dos solos com as da cal, NBR 7175.

Azevedo (1998) define que a mistura de solo-cal como sendo uma mistura íntima de solo, cal e água em proporções determinadas através de ensaios laboratoriais. Segundo os autores a aplicação dessa técnica é fundamentada em reações químicas e físico-químicas que ocorrem entre a cal e os constituintes do solo, principalmente com a fração argila.



### 2.5.1 *Equipamentos e materiais*

Para realização dos ensaios são necessários os seguintes equipamentos NBR 71182/16:

- ✓ Almofariz e mão de gral;
- ✓ Balanças de 1.2 kg, sensível a 0.01g; de 10 kg, sensível 0,1 g e de 15kg, sensível a 1 g;
- ✓ Bisnaga plástica de 1000 ml;
- ✓ Cápsula de alumínio;
- ✓ Colher madeira mistura a seco;
- ✓ Colher de pedreiro;
- ✓ Estufa elétrica;
- ✓ Espátula de lamina flexível;
- ✓ Luvas de borrachas;
- ✓ Máscara de proteção;
- ✓ Molde cilíndrico metálico;
- ✓ Peneiras para ensaio segundo NBR
- ✓ Placa cerâmica;
- ✓ Prensa para ruptura do corpo de prova;
- ✓ Recipiente de alumínio;
- ✓ Régua de aço biselada;
- ✓ Repartidor de amostra;
- ✓ Soquete de bronze ou latão;
- ✓ Sacos plásticos de 20 kg;
- ✓ Tabuleiro de chapa de ferro galvanizado.

#### 2.5.1.1 *Materiais e mistura*

Os materiais da mistura solo cal hidratado e água, deverá obedecer às normas e necessidades inerentes a execução. A mistura de solo-cal deve ser dosada conforme os critérios estabelecidos em projeto, onde a porcentagem de cal a ser incorporada ao solo deve sempre ser determinada em relação à massa de solo seco, e deve apresentar as seguintes características:

- $CBR \geq 60\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$  na energia intermediária, conforme DNER ME 1172/16, ou os definidos em projeto para base do pavimento;
- $CBR \geq 30\%$  e expansão  $\leq 1,0\%$  na energia intermediária, conforme DNER ME 1172/16, ou os definidos em projeto para sub-base do pavimento;
- Possuir granulometria que no mínimo 60% passe na peneira de abertura de 2,0 mm.

Para as camadas de sub-base e base, estabilizadas com solo-cal só poderá ser liberada para execução quando a camada sub do solo estiver pronta sem excesso de umidade, onde poderá ser aplicada a camada de solo estabilizado com a cal (solo-cal), durante esta execução não poderá ser submetida a águas pluviais, não sendo permitida a aplicação da mistura em dias chuvosos (NBR 7182).

Para utilizar material do próprio subleito ou material de empréstimo, seguindo fases específicas para a execução como a preparação da faixa, a pulverização e homogeneização do solo. Este material deverá ser misturado com escarificador e no mínimo 60% deste deveram ser reduzidos ao diâmetro de 4,8 mm, de acordo com NBR (7182), normas e procedimentos a serem empregados na execução.

A massa escarificada e pulverizada deverá ser preparada para a aplicação da cal em um período máximo de dois dias de serviço.

A distribuição da cal deve ser uniforme e em toda a largura da faixa seguindo processos manuais ou mecânicos, a distribuição da cal deve ser uniforme ao longo do trecho, os sacos devem ser contados e anotados para conferir o teor da cal usada na mistura.

A mistura da cal com solo, umedecida e homogeneizada, após a incorporação de água a mistura deve ser executada sem interrupção de forma que seu teor fique entre -2,0% a +1,0%, da umidade ótima de compactação na energia intermediária.

Segundo Lima (1984), que grande parcela da mistura de solo-cal, deve ao “Texas Highway Department” que a partir de 1945 com a realização de diversos estudos laboratoriais com várias pistas experimentais de solo-cal e que apesar do sucesso em um trabalho pioneiro realizado, a utilização foi mínima até a segunda guerra, segundo o autor. Que o marco do desenvolvimento da estabilização solo-cal foi a partir da segunda guerra.

Guimarães em 1971, afirmou que o uso da cal em rodovias nos Estados Unidos foi a partir de 1920, nos estados de Missouri e Iowa, com pouco sucesso. Foi na década de quarenta com um amplo programa experimental, ele se comprovou a eficiência da mistura de solo com a cal para estabilização de solos.

### 3 METODOLOGIA

Objetivo deste trabalho é uma pesquisa comparativa entre o estudo solos granulares em três jazidas no município de Palmas, Tocantins, e para realização deste estudo foi seguido as seguintes etapas descritas a seguir: mapeamento das jazidas, coleta do material (amostra de solo), após coleta realizou-se ensaio laboratorial do material coletado e da mistura solo-cal, e finalmente a análise dos resultados obtidos, fazendo um comparativo entre os resultados obtidos das amostras para discussão da melhor opção para aplicação na base e sub-base do pavimento.

O objeto de estudo foi três amostras do solo retiradas de jazidas distintas, que estão localizadas em Palmas Tocantins com seguintes coordenadas geográficas, Datum – WGS84; onde a amostra um localizada no jardim Aurenny III nas coordenadas  $10^{\circ}18'7.90''S$  e  $48^{\circ}18'49.76''O$  (JAZIDA 01), setor Janaina proximidades do CEASA nas coordenadas  $10^{\circ}21'34.89''S$  e  $8^{\circ}18'34.73''O$  (JAZIDA 02) e no final LO 23 sentido lago, nas coordenadas  $10^{\circ}14'31.09''S$  e  $48^{\circ}20'53.60''O$  (JAZIDA 03), conforme mapa extraído através de ferramenta computacional Google Maps mostrado abaixo:

Figura 12 - Mapa de localização das jazidas para coleta do material



Fonte: Google Heart

### 3.1 Materiais utilizados

#### 3.1.1 *Amostra de solos*

As amostras de solos utilizadas para o estudo foram obtidas nas jazidas I, II e III conforme localização acima citado descrita no mapa de localização, a coleta do material foi realizada conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), no qual define os passos e procedimentos, seguido na coleta deste material, a quantidade coletada destas amostras deverá atender às solicitações de quantidades necessárias para a realização dos ensaios. Este material após coletado e armazenado em sacos plásticos, rotulados para que não possa sofrer interferência do meio externo. O material coletado foi encaminhado para estudo no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) na unidade da Universidade Luterana de Palmas – CEULP ULBRA - para preparação e realização dos ensaios. Conforme fotos retiradas nos locais de coleta do material.

Figura 13 - Jazidas



Jazida 01

jazida 02

jazida 03

### 3.1.2 *A cal*

A cal é um dos produtos que podem ser utilizados para melhorar a qualidade do solo para utilização como base e sub-base estabilizadas. A cal hidráulica é o resultado da calcinação e um processo de imersão ou suspensão em água, de calcários argilosos com inferiores temperaturas a fabricação do cimento DNIT (2006). A mistura solo-cal utilizada para o comparativo do trabalho foi de 6% da massa após um período de quatro dias para a realização do ensaio, o percentual da cal hidratada poderá ser modificado conforme necessidade como consta no manual de pavimentação do DNIT 2006. Este processo de estabilização do solo ocorre pela modificação do solo, por carbonatação e por pozolanização.

### 3.1.3 *Água potável*

Para realizar os ensaios será utilizada água potável conforme especificações da norma, que será obtida no próprio Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da CEULP ULBRA, proveniente da rede de distribuição que abastece a unidade.

### 3.1.4 *Materiais necessários para coleta do material de amostra*

- Formulário e caneta para anotações;
- Sacos plásticos, para acondicionamento das amostras para análises;
- Ferramentas para retirada do material nas jazidas (cavador, enxada, pá);
- Equipamento fotográfico, para registro do procedimento.

## 3.2 *Procedimentos*

Os procedimentos da realização dos ensaios serão seguidos conforme normas técnicas, e a sequência destes serão de modo descrito a abaixo:

Estudo dos materiais usados nas camadas que compõem a base e sub-base do pavimento; coleta das amostras nas jazidas e transporte até ao Laboratório de Mecânica dos Solos, na unidade do CEULP ULBRA;

- Secar a amostra previamente, em ambiente livre de umidade;

- Peneirar as amostras de solo;
- Realização de ensaios no material sem adição e com adição da cal;
- Extrair as características do solo com os ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade;
- Ensaios de compactação – Proctor intermediário;
- Moldar os corpos de provas para realizar o ISC;
- Catalogar o índice de expansibilidade a cada vinte e quatro horas;
- Realizar o ISC (índice de suporte Califórnia).

### 3.3 *Ensaios de caracterização*

Os ensaios a ser realizado deveram seguir procedimentos pré-estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especificadas para cada ensaio característico sem mecânico ou físico conforme abaixo:

Norma e especificações de ensaios de caráter físico.

Norma DNER-ME 041/94 – solos, preparo da amostragem de caracterização;

Norma DNER-ME 051/94 – ensaios granulométricos;

Norma NBR 6459/16 – LL;

Norma NBR 7180/16 – LP;

Normas e especificações de ensaios de caráter mecânico.

Norma DNIT-ME 164/13 – ensaios de compactação;

Norma DNIT-ME 049/14 – ensaios de expansão e de Índice Suporte Califórnia.

#### 3.3.1 *Preparo da amostra de solo natural*

É necessária a preparação do material granulométrico a ser analisado, que é realizada a partir da norma do DNER-ME 041/94. O material coletado nas jazidas será acondicionado em sacos plásticos e encaminhado ao laboratório (LMS), onde serão desterroados no almofariz com o auxílio da Mao de gral e peneirados na peneira de espessura de 4,8 mm para tirar o pedregulho (porcentagem grossa do solo). Após este procedimento, o material foi embalado e etiquetado, para execução dos ensaios.

### 3.3.2 *Análise granulométrica por peneiramento - NBR 7181/84*

O ensaio de granulometria é empregado nas amostras de solo natural com nas amostras de cal-solo. As amostras depois de secas são submetidas ao peneiramento mecânico, por meio de um agitador, onde passarão pelas peneiras de 25,4 - 19,1 - 9,5 - 4,8 - 2,09 - 0,60 - 0,42 - 0,30 - 0,15 e 0,075 milímetros, onde a soma do material retido em cada peneira é utilizado para encontrar o percentual das frações constituídas, não excedendo a cinco por cento a amostra inicial seca, refazer o ensaio. A determinação do diâmetro máximo característico da amostra, bem como o módulo de finura do solo com mais ou menos 0,01 mm. De acordo com as diretrizes do DNER – ME 051/94.

### 3.3.3 *Limite de liquidez*

Conforme recomendação da norma DNER-ME 122/94, todas as etapas do ensaio de Limite de Liquidez serão realizadas nas duas amostras, tanto no solo natural como no solo melhorado com a adição da cal. Após peneiramento na peneira de número quarenta (0,42 mm), adicionar a amostra água em pequenas porções até alcançar uma pasta homogênea, na sequência, colocará a amostra no aparelho de casa grande que, com a aplicação de determinado número de golpes obtém-se o teor de umidade. Para cada amostra será realizado uma média de no mínimo três ensaios, e a quantidade de água utilizada terá que ser correspondente em todas as amostras que serão submetidas aos ensaios. Da amostra homogênea será tirada uma porção da mistura e levada a estufa para determinar a umidade ótima, sendo possível determinar graficamente as umidades para retirar o valor do limite de liquidez pela umidade correspondente a vinte e cinco golpes.

### 3.3.4 *Limite de plasticidade*

As recomendações da norma NBR 7180/16, especifica que: tal como utilizado no ensaio de LL, utiliza-se a porção de solo passante na peneira de número 40 (0,42 mm), para realizar o ensaio de Limite de Plasticidade, adicionar água até homogeneizar a mistura, a mesma quantidade de água deverá ser utilizada nas outras amostras. O procedimento do ensaio será moldar, conforme molde, uma amostra de solo conforme dimensões de 3mm de

diâmetro por 100 mm de comprimento, fazendo a rolagem da amostra sobre um Vidro fosco. Repetir sequencialmente até quando promover a apresentação das fissuras no molde cilíndrico. Colocar o mesmo na capsula para pesagem e sequencialmente levar para a estufa fazendo a secagem da amostra. Utilizar a média de três ensaios para obter o resultado do Limite de Plasticidade, estes valores deveram se manter superior à média de cinco por cento, possibilitando a determinação da umidade.

### 3.3.5 *Ensaio mecânico de compactação*

Conforme norma NBR 7182/86, para a realização do ensaio de compactação, as amostras coletadas serão destorroadas, com a utilização do almofariz, obtendo um volume de cinco quilogramas em seu estado natural. Em seguida passar pelo processo de peneiramento na peneira 4,8 mm, em seguida adicionar água a mistura até encontrar uma massa homogênea alcançando uma umidade adequada. O objetivo deste ensaio é obter o teor de umidade ótima para ser usado no ensaio de Índice de Suporte Califórnia - ISC. Para realizar a compactação, coloca-se a amostra em um molde cilíndrico e metálico, dividido em três camadas iguais, aplicando a cada camada 26 golpes com um soquete, este a uma altura de mais ou menos 45 cm. O ensaio de compactação será realizado para as três amostras naturais coletadas em jazidas distintas, e também nas amostras com o material já estabilizado com a cal.

Após a etapa de compactação faz-se a retirada do cilindro complementar após escarificar, com auxílio de uma espátula, o material em contato com a parede, retirar o excesso de no máximo 10 mm com uma régua biselada. Próximo passo é pesar o cilindro com o material, em seguida com um extrator retirar do cilindro a amostra compactada.

Após a obtenção dos valores de peso específico seco e o teor de umidade através do ensaio de compactação, construindo a curva de compactação, onde se pode determinar o peso específico seco máximo e a umidade ótima da amostra, de acordo com as recomendações da norma 7182/86.

Conseguindo assim os valores de peso específico seco e umidade obtida no ensaio, traçando a curva de compactação, na qual determina o peso específico seco máximo e a umidade ótima. Conforme a recomendação da norma (NBR 7182, 1986).



### 3.3.6 *Ensaio mecânico de Índice de Suporte Califórnia*

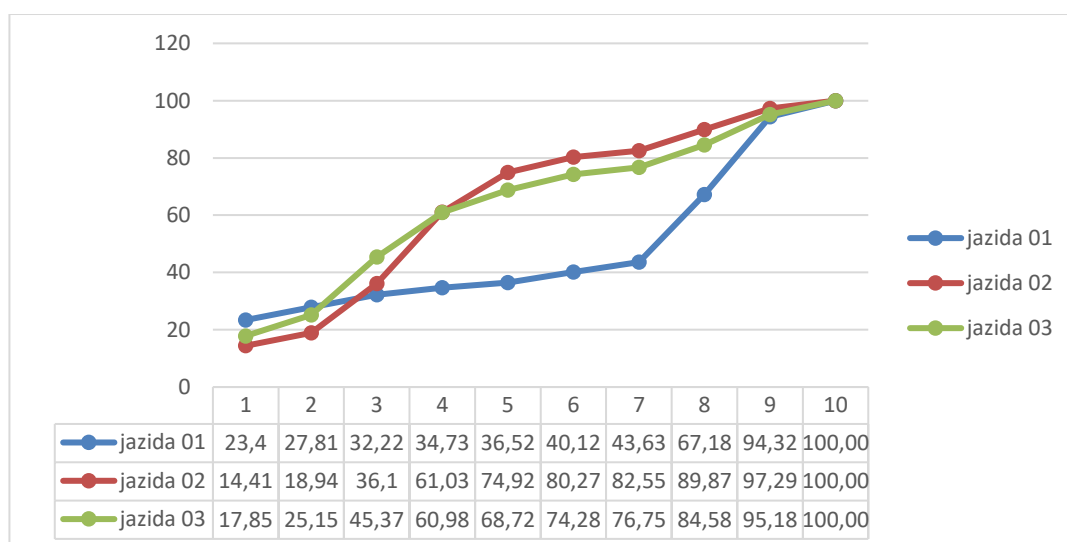
Realizou-se nas amostras de solo natural e de solo melhorado com a adição da cal hidratada, o ensaio de Índice Suporte Califórnia, na sequência dos ensaios de compactação. Para tanto, os corpos de prova após serem moldados, aplicando uma energia de compactação intermediária, sendo que para cada amostra será dividida em três partes iguais, onde aplicará vinte e seis golpes, com um soquete de grande, em cada porção de amostra, finalizando e nivelando o corpo de prova, com a régua biselada. Em seguida, colocar os extensômetros nas amostras, com função de medir a expansão do material. Estes corpos de prova deverão ser referenciados a cada vinte e quatro horas. Eles deverão ficar submersos em água por um período de noventa e seis horas, fazendo as análises e conferindo a expansão do material a cada 24h. Logo após retirar os mesmos, dos tanques onde permaneceram submersos, e deixar escorrer por um período de quinze minutos, em seguida pesa-se. Após o término os corpos estarão prontos para penetração. Em seguida levar os corpos de provas para serem submetidos à penetração do pistão na prensa, onde será anotado todo procedimento retirando a leitura de penetração por tempo para cada amostra submetida ao teste. De posse desses valores obtidos, fazer a correlação conforme descrito no item seis da norma DNER-ME 049/14, a fim de encontrar o ISC, e será adotado na execução o de maior frequência em todas as amostras, para cada tipo do solo natural ou estabilizado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os tópicos inseridos na metodologia descrita neste trabalho, a discussão dos resultados seguirá uma ordem cronológica conforme apresentado abaixo, a discussão destes resultados é um comparativo entre resultados encontrados nas análises em laboratório e as normas que foram citadas a cima no trabalho para descobrir a relevância dos mesmos.

### 4.1 Análise granulométrica

Figura 14 - Gráfico granulometria



A análise granulométrica das jazidas após a realização dos ensaios conforme NBR 7181/84, obteve os resultados conforme planilha J1, J2, J3 e gráfico da curva granulométrica no apêndice neste trabalho, onde as faixas granulométricas das jazidas se compreendem em: jazida01 faixa granulométrica D, jazida02 faixa granulométrica F e jazida03 faixa granulométrica F, a análise do material conforme o manual de pavimentação do DNIT para pavimentos em vias urbanas, as jazidas não mostraram as características necessárias para o uso como material de base e sub-base das vias, com ressalva da jazida 01, enquadrando faixas granulométricas onde a fração que passa na peneira 200 e inferior a 2/3 da peneira 40. No gráfico abaixo mostra a diferença entre as curvas granulométricas onde a jazida 01 o parâmetro D (entre 10 e 25), no gráfico abaixo podemos diferenciar as jazidas por suas curvas granulométricas tendo em vista que cada ponto representa um diâmetro de cada peneira usada:

ponto 1: peneira 0,075mm; ponto 2: peneira 0,15mm; ponto 3: peneira 0,25mm; ponto 4: peneira 0,42mm; ponto 5: peneira 0,59mm; ponto 6: peneira 1,19mm; ponto 7: peneira 2,00mm; ponto 8: peneira 4,8mm; ponto 9: peneira 9,5; ponto 10: peneira 19,00mm. Podendo observar todas as variações das curvas granulométricas e visualizar na figura19 o percentual de passante das peneiras, obtidos dos resultados dos ensaios. Conforme amostra do material na figura.

Figura 15 - Material



#### 4.2 Análises dos limites

Figura 16 - Limites

	jazida 01	jazida 02	jazida 03
Limite de Liquidez (LL)	31,13	16,38	27,85
Limite de Plasticidade (LP)	35,84	NP	30,24
Índice de Plasticidade (IP)	4,71	-----	2,387

Os limites de liquidez e limites de plasticidade encontrados nas jazidas, de acordo com os ensaios realizados no laboratório, apresentaram algumas diferenciações em relação os índices exigidos em normas, os solos das jazidas embora terem sido coletadas de fundo de caixa de empréstimo, onde já foram retirados materiais para a utilização em serviços de

terraplanagem. O solo da jazida 02 não apresentou limite de plasticidade, em virtude desta análise não se obteve o índice de plasticidade da mesma, as demais análises foram realizadas todos os cálculos e os índices de plasticidade foram obtidos como descritos nas planilhas encontradas no apêndice deste trabalho, onde estes índices foram inferiores a 6% que é o estabelecido em norma.

Figura 17 - Ensaios



### 4.3 Compactação

#### 4.3.1 *Curva de compactação*

As curvas de compactação encontrada nos gráficos dos resultados dos ensaios de compactação mostram a diferença dos solos com adição da cal hidratada para os solos naturais, mostrando que a curva de compactação tende a aumentar com a estabilização, mostra também que os resultados dos ensaios delimitam uma curva próxima a curva da umidade ótima do material, os gráficos e os resultados dos ensaios estão no apêndice deste trabalho.

#### 4.3.2 *Energia de compactação*

A energia de compactação usada para os ensaios foi a intermediária devido à faixa granulométrica obtida nos ensaios de granulometria, onde se classificou as jazidas entre D e F conforme mostrado nas tabelas encontradas no apêndice deste trabalho.

#### 4.3.3 Densidade e umidade de compactação

Figura 18 - Densidades e umidade de compactação

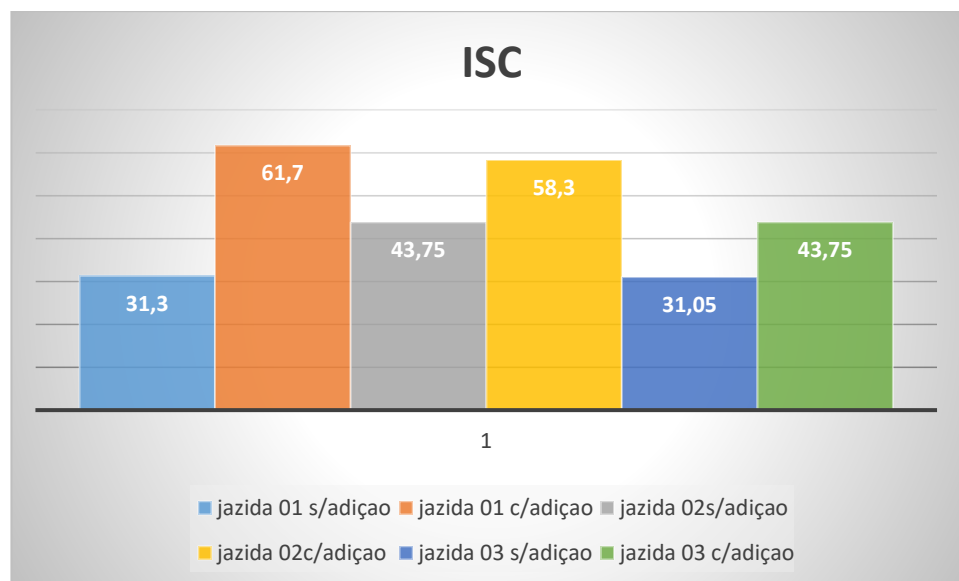
	Jazida 01 s/adiação	Jazida 01 c/adiação	Jazida 02 s/adiação	Jazida 02 c/adiação	Jazida 03 s/adiação	Jazida 03 c/adiação
$\gamma_{s,max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.904	1.932	1.934	1.972	1.867	1.905
$W_{ótima}$ (%)	17.11	18.5	11.1	14.7	14.6	15.1

A densidade encontrada nos ensaios de compactação observa-se um ganho de densidade no material com a adição da cal hidratada em relação ao material natural das jazidas.

O teor de umidade encontrada através do ensaio demonstra que para as amostras das jazidas naturais, apresenta um teor de umidade inferior ao das jazidas estabilizadas com a adição da cal hidratada. A figura 21 mostra as densidades e umidades ótimas de cada jazida.

#### 4.4 Análises ISC (índice de suporte califórnia)

Figura 19 - Gráfico ISC



A análise do índice de suporte califórnia, realizado nas três jazidas com o material com e sem adição, o material com a adição da cal hidratada apresentou um ganho no ISC (CBR) em relação aos solos naturais e também uma variação em sua expansibilidade para melhor, ou seja, com o uso da cal a expansibilidade tende a diminuir e o suporte a melhorar. Tendo em vista que as análises realizadas nas jazidas com e sem a adição da cal hidratada mostraram uma diferenciação nos resultados obtidos para melhor. Os índices encontrados nos ensaios, embora mostrando uma melhora aparente nos resultados, alguns não estão de acordo os limites da norma para as classificações, visualizando que a jazida 02 e jazida 03 não se enquadraram nos limites, como mostra o gráfico abaixo, sendo que as médias dos ISC destas jazidas ficaram abaixo do 60% para utilização na base do pavimento, mas porem podendo ser utilizado para outro fim como se descreve no manual de pavimentação do DNIT/06, sendo assim apenas a jazida 01 apresentou ganhos significativos, mostrando que a adição da cal hidratada melhora suas características enquadrando o material para as características de uso como base e sub-base de pavimentos em vias urbanas.

Figura 20 - Ensaios ISC



## 5 CONCLUSÃO

A busca por materiais para camadas de base e sub-base de pavimentos que atendam as regulamentações vigentes tem sido um grande desafio para os órgãos rodoviários do Brasil. Dessa forma, procuram-se materiais alternativos que sejam aceitos nas legislações nacionais e, para isso, são necessárias o uso de técnicas de estabilização que atendam às características imprescindíveis dos projetos rodoviários. Uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para obtenção da estabilidade ou melhoria de solos instáveis é a adição de cal (Guimarães 2002). O uso da adição da cal acrescenta características estabilizantes aos solos, tornando-o de grande interesse à pavimentação e garantindo-lhes maior resistência às cargas dinâmicas.

Conforme os resultados obtidos, pode-se concluir que a adição da cal hidratada para estabilização de solos, aumenta a sua resistência e diminui sua expansibilidade do solo. Após coleta do material, retirado do fundo de caixa de empréstimo em jazidas localizadas no município de Palmas - TO, observando as propriedades dos materiais e caracterizando-os através dos ensaios realizados, para os solos encontrados apenas o da jazida 01 está em conformidade para uso de acordo com as normas que constam do manual de pavimentação do DNIT, tendo ainda a necessidade de utilizar a estabilização com a cal hidratada para atingir os índices de suporte califórnia (ISC), conforme parâmetros da norma, para o seu uso como base e sub-base dos pavimentos das vias. O material analisado das outras jazidas apesar de apresentarem ganhos nos índices de suporte califórnia e diminuído sua expansibilidade, não foram suficientes para se enquadrarem nos parâmetros de uso, de acordo com o manual de pavimentação do DNIT, isto ocorreu devido o material obtido da retirada do fundo de caixa de empréstimo ter características de solos muito plásticos, pouco coesivos e de alta expansibilidade, encontrados na jazida 02 e jazida 03.

Este material coletado após a análise demonstra que a caixa de empréstimo, embora já ter sido utilizada, não possui característica adequada para o uso em base e sub-base das vias, para tanto a jazida 01 se realizado a estabilização deste solo com a cal hidratada, o material poderá ser utilizado nas camadas que antecede o pavimento, conforme os índices descritos no manual de pavimentação do DNIT.

Contudo o trabalho alcançou seu objetivo proposto, que era determinar através das análises dos solos com adição da cal hidratada e solos naturais, obtidos da coleta do fundo de caixa de empréstimo os índices determinados em normas e compara-los verificando os possíveis ganhos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, A. L. C.; JÚNIOR, A. O.; PEDROSA, R. A. A.; RAMALHO, R. W. (1998) **Estabilização de Solos com Adição de Cal**. *Revista Vias Gerais*, Publicação do Centro de Transferência de Tecnologia do PIH/IPC – DER/MG, Minas Gerais, n. 2, p. 47-56.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: material, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- BAPTISTA, C. de F. N. **Pavimentação. Compactação de Solos no Campo**; Camadas de Base; Estabilização de Solos. Tomo II, 2. ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1976.
- BERNUCCI, Liedibariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008.
- BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. Ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1989.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: Caracterização, 1988.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996.
- CORTELETI, ESTEVO JOSE BARALD. **Melhoramento do solo residual de lajeado com adição de cal**, UNIVATÉS Lajeado RS, 2013.
- D'AGOSTIN, FRANCINI GIASSI. **Dimensionamento de pavimento flexível e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização** e uma proposta de reconstrução da SC-446 – Rodovia Governador Jorge Lacerda. Monografia (Graduação). Universidade Do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, SC: 2010. Disponível em: <[www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D34.pdf](http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D34.pdf)> Acesso em: 02/abril/2017.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomsom Learning, 2007. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de estradas e Rodagens.
- DNER ME 041/94. **Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização: Método de ensaio**. 1994. 4 p.
- DNER ME 172/16. **Solos – Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas: Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014. 17 p.
- DNER ME 051/94. **Solos – Análise granulométrica: Método de ensaio**. 1994. 12 p.
- DNER ME 122/94. **Solos - determinação do estado de limite de liquidez** – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994<sup>a</sup>. 7 p.
- DNIT 137/2010- ES - **Regularização do subleito** - Especificação de serviço



DNER ME 081/98. **Agregados – Determinação da absorção e da densidade do agregado gráudo**: Método de ensaio. 1998. 6 p.

DNER ME 082/94. **Solos – Determinação do limite de plasticidade: Método de ensaio**. 1994. 3 p.

DNER ME 181/94. **Solos – Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada**: Método de ensaio. 1994. 3 p.

DNIT 164/13 ME. **Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas**: Método de ensaio. 2013. 7 p.

DNIT IPR – 719 **Manual de pavimentação**. 3. ed.– Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ.,719).

GOOGLE EARTH. **Programa de Imagens por Satélite. Versão 4.0.209 (beta)**, acessado em 19/04/2017.

GUIMARÃES, J. E. P. Estabilização de Solos – **Nova e importante aplicação da cal** – Seus conceitos e suas vantagens. Boletim nº 1 São Paulo: ABPC, 1971.

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

<http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php>.

LIMA, D. C. **Estabilização Solo-Cal**. In: 19º REGIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1984, Rio de Janeiro.

MEDINA, J, 1997, **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ.

MEDINA, J. e MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

NBR6457/84 - **Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**.

NBR 11170 /1990 – **Serviços de Pavimentação**. Rio de Janeiro,1990.

NBR 6459 /2016 – **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

NBR 6490 – **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

NBR-7180: **Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

NBR-7181/2016: **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

NBR-7182: **Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 2.ed São Paulo, 2002

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**: volume 2. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**: volume 2. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008. 671 p.fBer.

SOUZA, M.L (1980). **Pesquisa sobre métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis**. Pavimentação Rodoviária. 2 ed rio de Janeiro –RJ : LTC Editora,

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos solos**. São Paulo: Editora McGraw – Hill, 1977.

TEIXEIRA, Cidália Conceição Rocha. **Avaliação do potencial de ligantes à base de sódio e cinzas volantes na estabilização de solos** – comparação com soluções tradicionais. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil.

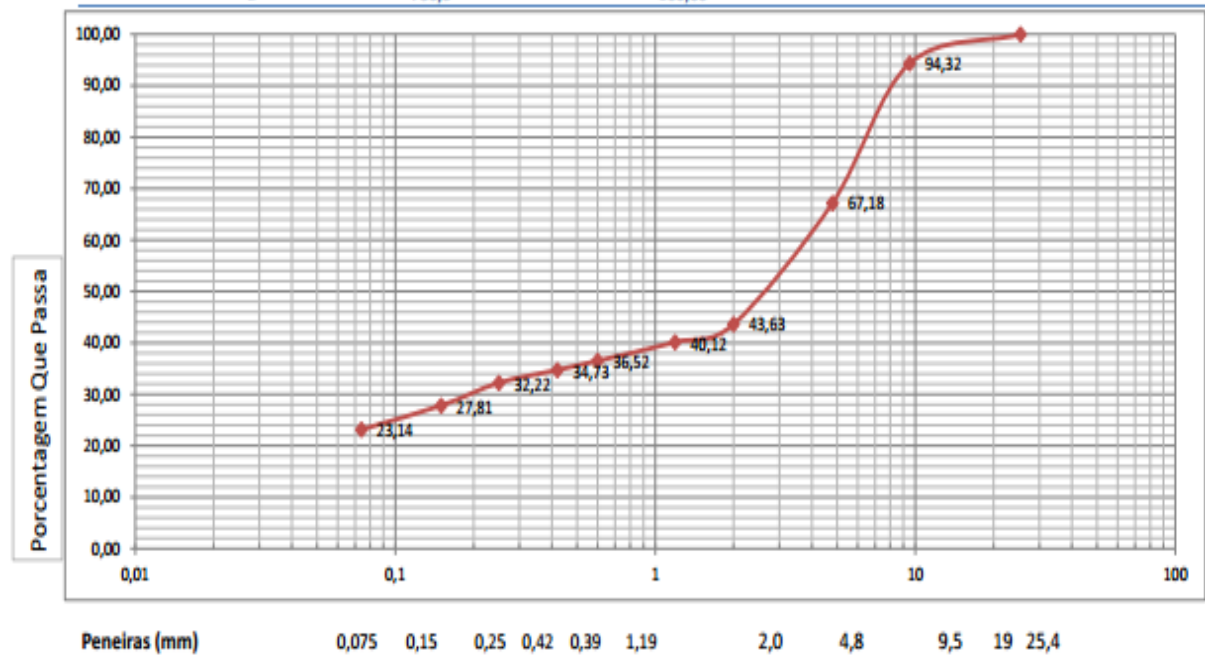
**APÊNDICE A**

(Planilhas dos ensaios em laboratório)

## Planilha A1 – Análise granulométrica da Jazida 01

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>	
SOLICITANTE:	FONE:
MATERIAL: Solo	DATA:
TRECHO: JAZIDA 01	MUNICÍPIO: PALMAS
<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181</b>	

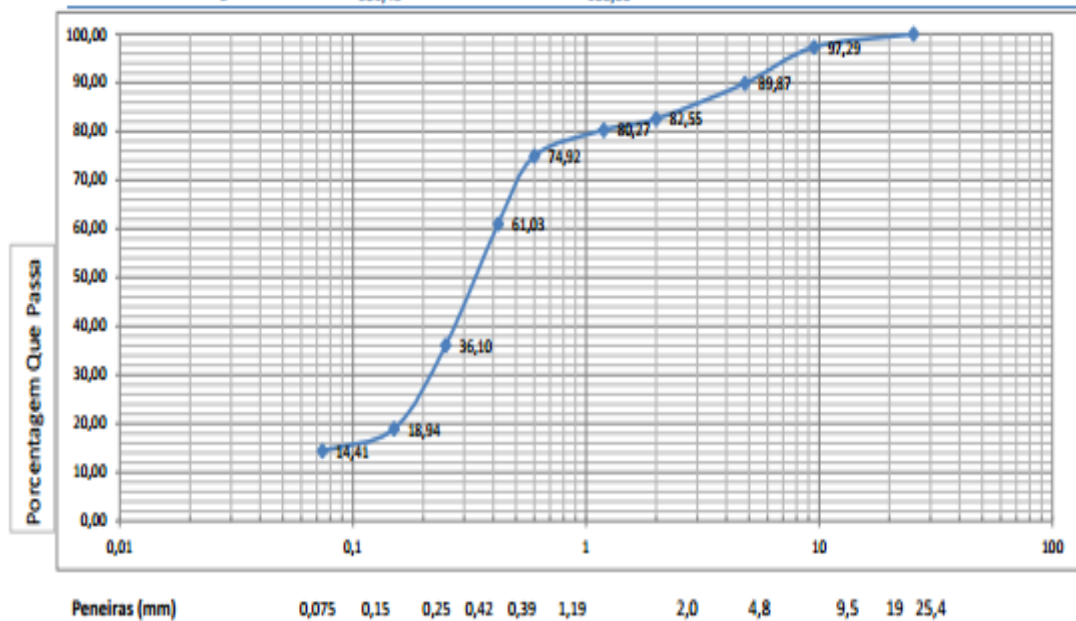
Ø peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	0	0,00	0,00	100,00
9,5	41,8	5,68	5,68	94,32
4,8	199,6	27,14	32,82	67,18
2	173,2	23,55	56,37	43,63
1,19	59,1	8,04	64,41	40,12
0,6	60,8	8,27	72,67	36,52
0,42	30,1	4,09	76,76	34,73
0,25	42,2	5,74	82,50	32,22
0,15	74,5	10,13	92,63	27,81
0,074	54,2	7,37	100,00	23,14
Fundo	0	0,00	100,00	0,00
Σ	735,5	100,00		



## Planilha A1 – Análise granulométrica da Jazida 02

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 05/02/2000 - D.O.U. nº 100 de 07/02/2000</small>	
SOLICITANTE:	FONE:
MATERIAL:	DATA:
TRECHO: Jazida 02	MUNICÍPIO: Palmas Tocantins
<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181</b>	

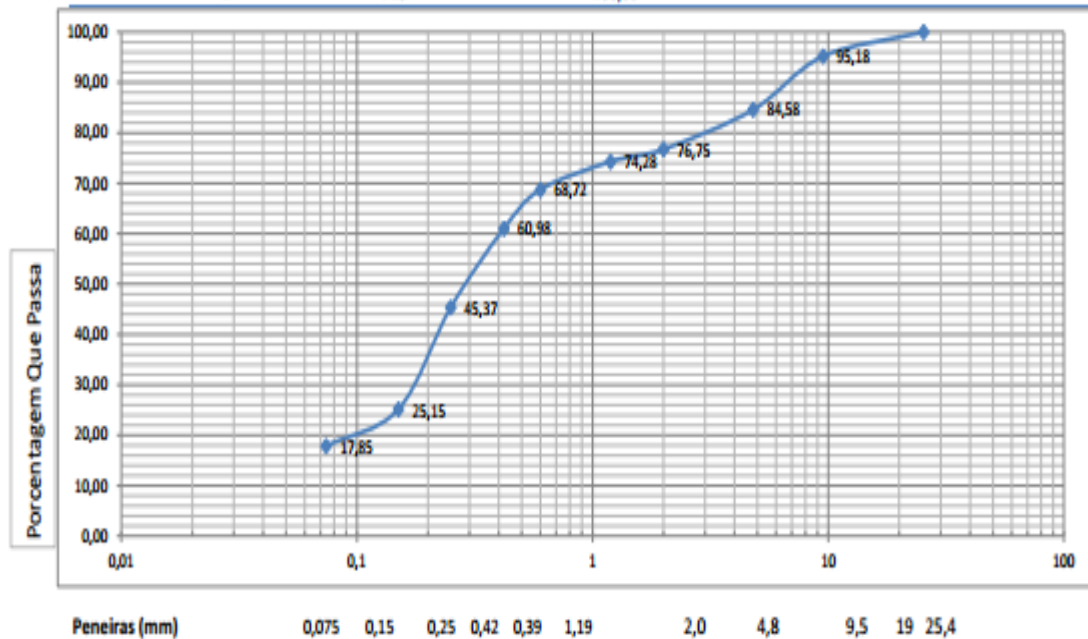
Ø peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	0	0,00	0,00	100,00
9,5	18,9	3,14	3,14	97,29
4,8	95,9	15,94	19,09	89,87
2	90,6	15,06	34,15	82,55
1,19	32,5	5,40	39,55	80,27
0,6	42,7	7,10	46,65	74,92
0,42	74,5	12,39	59,04	61,03
0,25	162,24	26,97	86,02	36,10
0,15	56,1	9,33	95,34	18,94
0,074	28,01	4,66	100,00	14,41
Fundo	0	0,00	100,00	0,00
$\Sigma$	601,45	100,00		





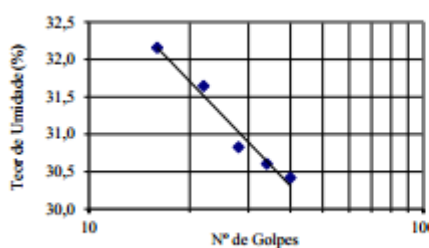
## Planilha A1 – Análise granulométrica da Jazida 03

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COALIZAÇÃO EMBLEMÁTICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2009 - L. C. U. nº 100 de 07/07/2000</small>	
SOLICITANTE:	FONE:
MATERIAL:	DATA:
TRECHO: Jazida 03	MUNICÍPIO: Palmas Tocantins
<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181</b>	



Ø peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	0	0,00	0,00	100,00
9,5	34,5	4,82	4,82	95,18
4,8	75,9	10,60	15,42	84,58
2	56,1	7,84	23,25	76,75
1,19	23	3,21	26,47	74,28
0,6	51,9	7,25	33,72	68,72
0,42	72,2	10,08	43,80	60,98
0,25	145,6	20,34	64,13	45,37
0,15	188,7	26,35	90,49	25,15
0,074	68,1	9,51	100,00	17,85
Fundo	0	0,00	100,00	0,00
Σ	716	100,00		



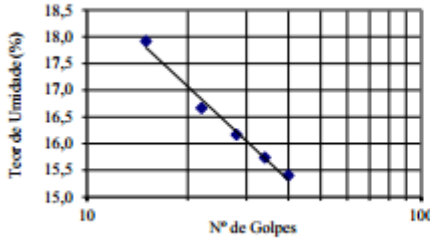
## Planilha A2 – Limites Jazida 01

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>								
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>								
Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____						
Descrição: <u>JAZIDA 01</u>	Estaca: _____	Reg. N°: _____						
Trecho: _____	Prof (m): _____	Amostra: _____						
Obs: _____								
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#		2	3	4	7		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	50,90	55,70	52,30	49,10	50,80		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	42,90	47,10	44,10	41,60	42,60		
Massa da Cápsula	(g)	16,60	19,00	17,50	17,90	17,10		
Massa da Água	(g)	8,00	8,60	8,20	7,50	8,20		
Massa Solo Seco	(g)	26,30	28,10	26,60	23,70	25,50		
Teor de Umidade	(%)	30,42	30,60	30,83	31,65	32,16		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	9,30	9,30	9,40	9,00	9,60		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,00	9,00	9,00	8,40	9,20		
Massa da Cápsula	(g)	8,00	8,10	7,80	7,10	8,10		
Massa da Água	(g)	0,30	0,30	0,40	0,60	0,40		
Massa Solo Seco	(g)	1,00	0,90	1,20	1,30	1,10		
Teor de Umidade	(%)	30,00	33,33	33,33	46,15	36,36		
		<b>CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (LP)</b>						
#	LP	0,95.LP	1,05.LP	N Serve				
1	35,84	34,04	37,63	2				
2	36,46	34,64	38,29					
<b>Limite de Liquidez (LL)</b>		31,1						
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>		35,8						
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>		4,7						

## Planilha A2 – Limites Jazida 02

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>								
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>								
Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____						
Descrição: JAZIDA 02	Estaca: _____	Reg. N°: _____						
Trecho: _____	Prof (m): _____	Amostra: _____						
Obs: _____								
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	53,30	53,70	56,40	52,90	52,60		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	47,80	48,90	51,00	47,80	47,10		
Massa da Cápsula	(g)	12,10	18,40	17,60	17,20	16,40		
Massa da Água	(g)	5,50	4,80	5,40	5,10	5,50		
Massa Solo Seco	(g)	35,70	30,50	33,40	30,60	30,70		
Teor de Umidade	(%)	15,41	15,74	16,17	16,67	17,92		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	15		
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Massa da Cápsula	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Massa da Água	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Massa Solo Seco	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Teor de Umidade	(%)	NP	NP	NP	NP	NP		



Teor de Umidade (%)

Nº de Golpes



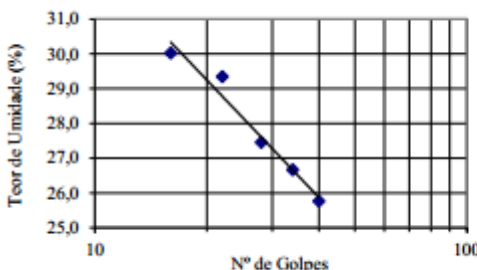
<b>CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (LP)</b>				
#	LP	0,95 LP	1,05 LP	N Serve
1	NP	NP	NP	2
2	NP	NP	NP	



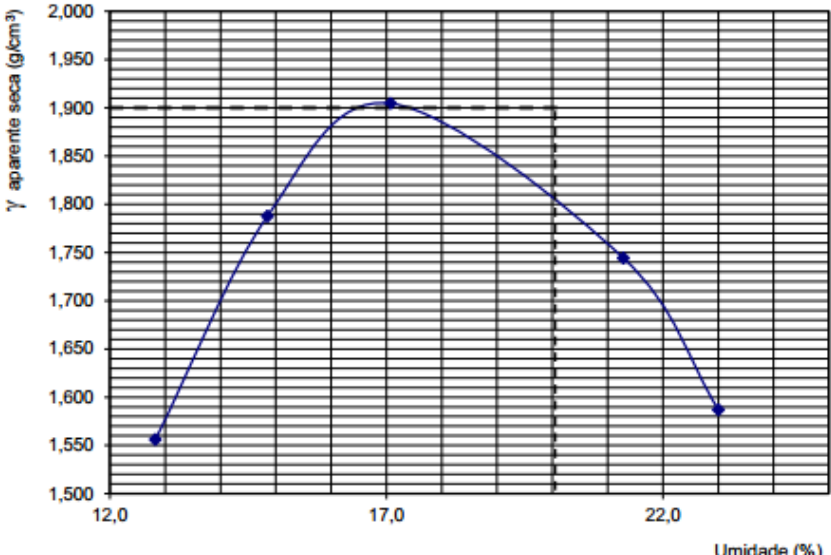
<b>Limite de Liquidez (LL)</b>	16,4
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>	NP
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>	#####





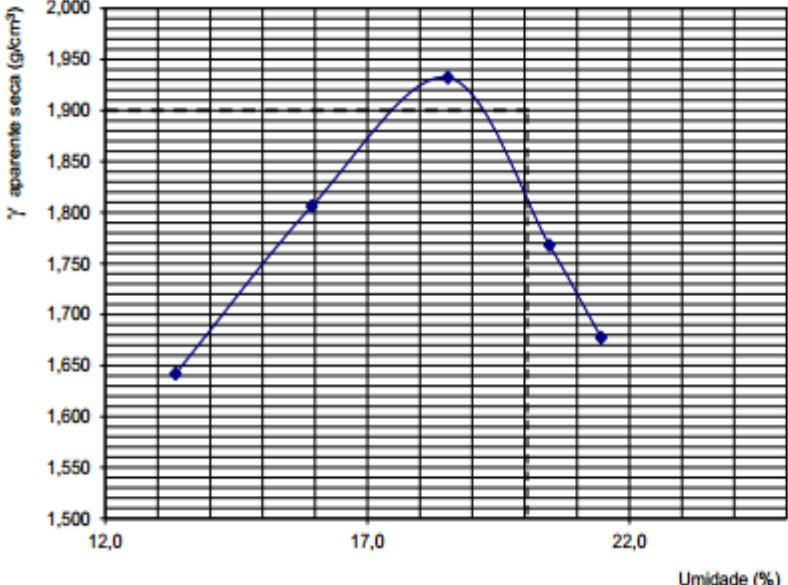
## Planilha A2 – Limites Jazida 03

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000								
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>								
Solicitante: _____	Fone: _____	Data: _____						
Descrição: JAZIDA 03	Estaca: _____	Reg. N°: _____						
Trecho: _____	Prof (m): _____	Amostra: _____						
Obs: _____								
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	64,50	61,50	61,30	63,20	66,90		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	55,20	52,30	51,80	52,90	55,40		
Massa da Cápsula	(g)	19,10	17,80	17,20	17,80	17,10		
Massa da Água	(g)	9,30	9,20	9,50	10,30	11,50		
Massa Solo Seco	(g)	36,10	34,50	34,60	35,10	38,30		
Teor de Umidade	(%)	25,76	26,67	27,46	29,34	30,03		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180</b>								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	10,00	9,80	9,80	9,90	9,60		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,80	9,40	9,30	9,70	9,20		
Massa da Cápsula	(g)	8,70	8,30	8,00	8,60	8,20		
Massa da Água	(g)	0,20	0,40	0,50	0,20	0,40		
Massa Solo Seco	(g)	1,10	1,10	1,30	1,10	1,00		
Teor de Umidade	(%)	18,18	36,36	38,46	18,18	40,00		
		<b>CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (<math>\bar{LP}</math>)</b>						
#	LP	0,95.LP	1,05.LP	N Serve				
1	30,24	28,73	31,75	2				
2	28,71	27,27	30,14					
<b>Limite de Liquidez (LL)</b>		27,9						
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>		30,2						
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>		2,4						



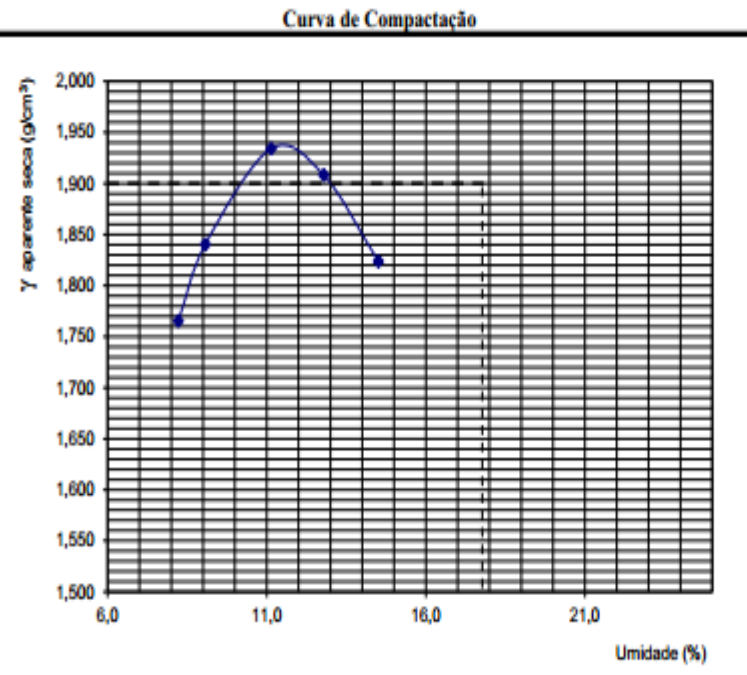
## Planilha A3 – Compactação jazida 01 s/adição

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>													
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS													
Solicitante: _____			Fone: _____			Data: _____			Reg. N°: _____				
Descrição: _____			Estaca: _____			Prof (m): _____			Amostra: 1				
Trecho: JAZIDA 01 SEM ADÇÃO DA CAL			N° Golpes: 26			Soquete: Grande			Molde: Grande				
Energia: Proctor Intermediário			N° Golpes: 26			Soquete: Grande			Molde: Grande				
COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade													
N° Cápsula	#	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	1	2
C + S + A	(g)	121,9	121,9	91,8	91,8	109,4	109,4	96,8	96,8	122,0	122,0	582,7	659,7
C + S	(g)	110,0	110,0	82,0	82,0	96,0	96,0	82,9	82,9	102,4	102,4	562,0	628,8
C - Cápsula	(g)	17,2	17,2	16,0	16,0	19,0	19,0	17,6	17,6	17,2	17,2	153,3	102,3
A - Água	(g)	11,9	11,9	9,8	9,8	13,4	12,9	13,9	13,9	19,6	19,6	20,7	30,9
S - Solo	C	92,8	92,8	66,0	66,0	77,0	77,0	65,3	65,3	85,2	85,2	408,7	526,5
w - Umidade	(%)	12,8	12,8	14,8	14,8	17,4	16,8	21,3	21,3	23,0	23,0	5,1	5,9
Umidade Média	(%)	12,8		14,8		17,1		21,3		23,0		5,5	
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada		
Água Adic.	(g)	200		300		400		500		600		CP para Homogeneização	
% Água Adic.	(%)	4,0		6,0		8,0		10,0		12,0		M <sub>úmida</sub> (g)	6000
Umidade Calc.	(%)	12,8		14,8		17,1		21,3		23,0		N°	Altura
N° do Molde	#	2		5		4		3		1		#	(cm)
M + S + A	(g)	9300		9610		9920		9840		9440		25	2087
M - Molde	(g)	5636		5340		5280		5440		5370		24	2080
S + A	(g)	3664		4270		4640		4400		4070		6	2081
γ úmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1,756		2,053		2,230		2,115		1,952		18	2080
γ seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1,556		1,787		1,904		1,744		1,587		23	2085
Curva de Compactação											Resumo		
											γ <sub>s,max</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,904	
											W <sub>ótima</sub> (%)	17,1	
Observações Gerais:													
											Visto		



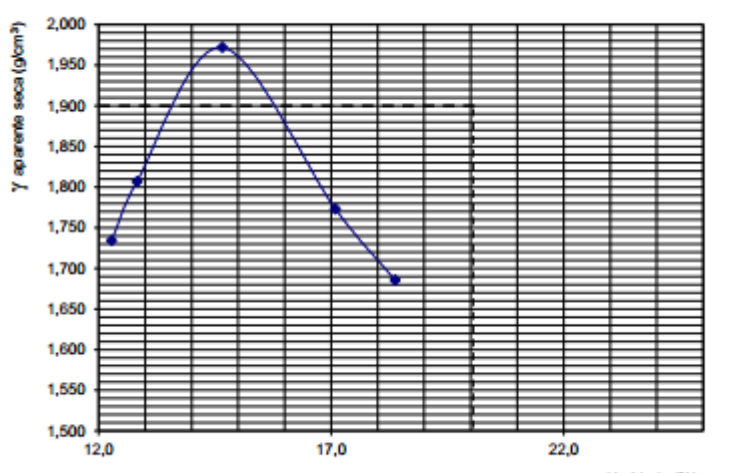
## Planilha A3 – Compactação jazida 01 c/adição

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>													
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>													
Solicitante: _____				Fone: _____				Data: _____					
Descrição: _____				Estaca: _____				Reg. Nº: _____					
Trecho: JAZIDA 01 COM ADIÇÃO DA CAL				Prof (m): _____				Amostra: 2					
Energia: Proctor Intermediário				Nº Golpes: 26				Soquete: Grande					
Moide: Grande													
<b>COMPACTAÇÃO - NBR-7182</b>											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade													
Nº Cápsula	#	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	1	2
C + S + A	(g)	114,7	114,7	130,3	130,3	134,0	134,0	134,3	134,3	130,4	130,4		
C + S	(g)	103,2	103,2	115,0	115,0	115,8	115,8	114,4	114,4	110,4	110,4		
C - Cápsula	(g)	17,0	17,0	19,0	19,0	17,6	17,6	17,2	17,2	17,2	17,2		
A - Agua	(g)	11,5	11,5	15,3	15,3	18,2	18,2	19,9	19,9	20,0	20,0		
S - Solo	C	86,2	86,2	96,0	96,0	98,2	98,2	97,2	97,2	93,2	93,2		
w - Umidade	(%)	13,3	13,3	15,9	15,9	18,5	18,5	20,5	20,5	21,5	21,5		
Umidade Média	(%)	13,3		15,9		18,5		20,5		21,5			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Agua Adic.	(g)	250	350	450	550	650							
% Agua Adic.	(%)	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	M <sub>úmida</sub> (g)	6000					
Umidade Calc.	(%)	13,3	15,9	18,5	20,5	21,5	Nº	Altura	Volume				
Nº do Molde	#	1	2	3	4	5	(cm)	(cm <sup>3</sup> )					
M + S + A	(g)	9280	9470	9880	9780	9760	1	2085					
M - Molde	(g)	5400	5100	5100	5350	5500	2	2087					
S + A	(g)	3880	4370	4780	4430	4260	3	2087					
$\gamma$ úmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1,861	2,094	2,290	2,130	2,037	4	2080					
$\gamma$ seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1,642	1,806	1,932	1,768	1,677	5	2091					
Curva de Compactação											Resumo		
											$\gamma_{s,max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,932	
											$W_{ótima}$ (%)	18,5	
											Observações Gerais:		
											Visto		



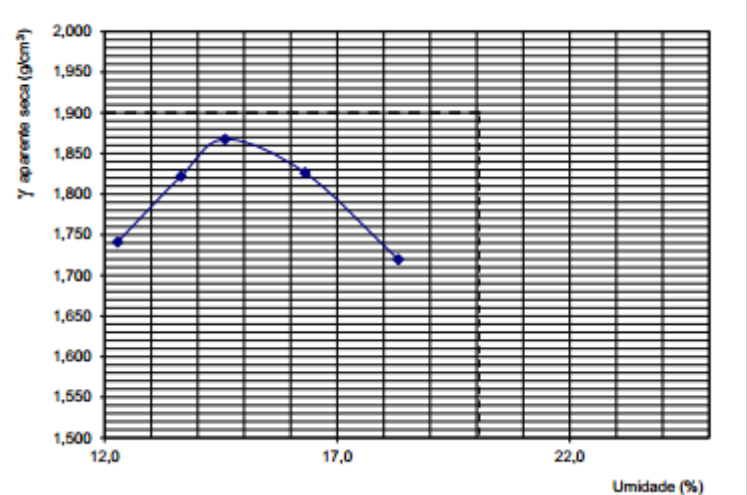
## Planilha A3 – Compactação jazida 02 s/adição

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000													
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>													
Solicitante: _____		Fone: _____											
Descrição: _____		Estaca: _____											
Trecho: JAZIDA 02 SEM ADIÇÃO DA CAL		Prof (m): _____											
Energia: Proctor Intermediário		Nº Golpes: 26											
		Soquete: Grande											
		Moide: Grande											
<b>COMPACTAÇÃO - NBR-7182</b>			Umidade Higroscópica										
Teor de Umidade													
Nº Cápsula	#	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2		
C + S + A	(g)	123,0	123,0	112,8	112,8	102,0	102,0	117,5	117,5	133,3	133,3		
C + S	(g)	115,0	115,0	105,0	105,0	93,5	93,5	106,6	106,6	118,5	118,5		
C - Cápsula	(g)	17,7	17,7	19,0	19,0	17,2	17,2	19,0	19,0	16,5	16,5		
A - Água	(g)	8,0	8,0	7,8	7,8	8,5	8,5	10,9	10,9	11,4	14,8		
S - Solo	C	97,3	97,3	86,0	86,0	76,3	76,3	87,6	87,6	102,0	102,0		
w - Umidade	(%)	8,2	8,2	9,1	9,1	11,1	11,1	12,4	13,1	14,5	14,5		
Umidade Média (%)		8,2		9,1		11,1		12,8		14,5			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova			Material Usado em Cada CP para Homogeneização										
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600	M <sub>úmida</sub> (g)		6000				
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	Nº		Altura				
Umidade Calc.	(%)	8,2	9,1	11,1	12,8	14,5	#		Volume				
Nº do Molde	#	6	7	8	9	10	#		(cm <sup>3</sup> )				
M + S + A	(g)	9370	9510	9690	10050	9920	6		2087				
M - Molde	(g)	5383	5333	5240	5554	5560	7		2081				
S + A	(g)	3987	4177	4450	4496	4360	8		2070				
$\gamma$ úmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1,910	2,007	2,150	2,152	2,088	9		2089				
$\gamma$ seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1,765	1,840	1,934	1,908	1,824	10		2088				
Curva de Compactação			Resumo										
			$\gamma_{s,max}$ (g/cm <sup>3</sup> )		1,934								
			$w_{ótima}$ (%)		11,1								
<p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Visto</p>			Observações Gerais:										
			<p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Visto</p>										



## Planilha A3 – Compactação jazida 02 c/adiação

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000													
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>													
Solicitante: _____		Fone: _____											
Descrição: _____		Estaca: _____											
Trecho: JAZIDA 02 COM ADIÇÃO DA CAL		Prof (m): _____											
Energia: Proctor Intermediário		Soquete: Grande											
		Data: _____											
		Reg. N°: _____											
		Amostra: 4											
		Molde: Grande											
<b>COMPACTAÇÃO - NBR-7182</b>			<b>Umidade Higroscópica</b>										
<b>Teor de Umidade</b>													
<b>N° Cápsula</b>	<b>#</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
C + S + A	(g)	114,5	114,5	120,8	120,8	114,6	114,6	121,7	121,7	122,8	122,8		
C + S	(g)	103,3	103,3	109,0	109,0	102,9	102,9	106,3	106,3	106,5	106,5		
C - Cápsula	(g)	12,1	12,1	17,0	17,0	19,0	19,0	16,2	16,2	17,8	17,8		
A - Água	(g)	11,2	11,2	11,8	11,8	11,7	12,9	15,4	15,4	16,3	16,3		
S - Solo	C	91,2	91,2	92,0	92,0	83,9	83,9	90,1	90,1	88,7	88,7		
w - Umidade	(%)	12,3	12,3	12,8	12,8	13,9	15,4	17,1	17,1	18,4	18,4		
Umidade Média	(%)	12,3		12,8		14,7		17,1		18,4			
<b>Dados de Compactação dos Corpos de Prova</b>			<b>Material Usado em Cada CP para Homogeneização</b>										
Água Adic.	(g)	200		300		400		500		600		$M_{úmida}$ (g)	
% Água Adic.	(%)	4,0		6,0		8,0		10,0		12,0		N°	
Umidade Calc.	(%)	12,3		12,8		14,7		17,1		18,4		Altura (cm)	
N° do Molde	#	11		12		13		14		15		Volume (cm <sup>3</sup> )	
M + S + A	(g)	9700		9720		9880		9630		9750		11	
M - Molde	(g)	5650		5500		5200		5312		5600		12	
S + A	(g)	4050		4220		4680		4318		4150		13	
$\gamma$ úmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1,947		2,039		2,261		2,076		1,995		14	
$\gamma$ seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1,734		1,807		1,972		1,773		1,685		15	
<b>Curva de Compactação</b>			<b>Resumo</b>										
			$\gamma_{úmida, max}$ (g/cm <sup>3</sup> )			1,972							
			$w_{ótima}$ (%)			14,7							
<p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Visto</p>			<p>Observações Gerais:</p>										

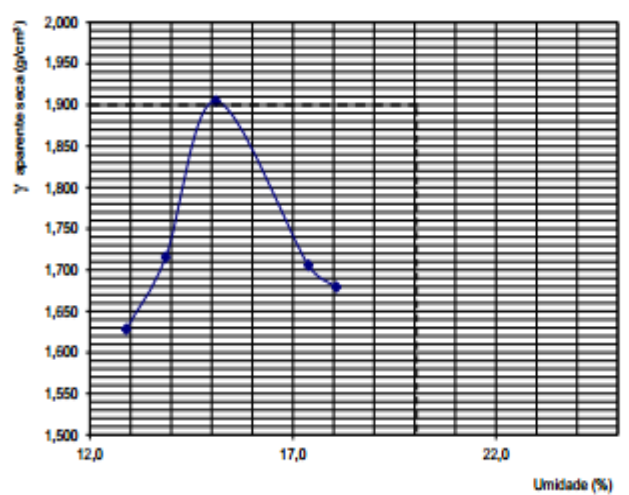
## Planilha A3 – Compactação jazida 03 s/adição

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000		 ENGENHARIA CIVIL CBL/EP - LACERDA	
<b>LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS</b>			
Solicitante: _____		Fone: _____	
Descrição: _____		Estaca: _____	
Trecho: JAZIDA 03 SEM ADIÇÃO DA CAL		Prof (m): _____	
Energia: Proctor Intermediário		Nº Golpes: 26	
		Soquete: Grande	
<b>COMPACTAÇÃO - NBR-7182</b>			<b>Umidade Higroscópica</b>
<b>Teor de Umidade</b>			<b>1</b>
<b>Nº Cápsula</b>	<b>#</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>C + S + A</b>	(g)	114,5	114,5
<b>C + S</b>	(g)	103,3	103,3
<b>C - Cápsula</b>	(g)	12,1	12,1
<b>A - Água</b>	(g)	11,2	11,2
<b>S - Solo</b>	C	91,2	91,2
<b>w - Umidade (%)</b>		12,3	12,3
<b>Umidade Média (%)</b>		12,3	12,3
<b>Dados de Compactação dos Corpos de Prova</b>			<b>2</b>
<b>Agua Adic.</b>	(g)	200	300
<b>% Agua Adic.</b>	(%)	4,0	6,0
<b>Umidade Calc.</b>	(%)	12,3	13,6
<b>Nº do Molde</b>	#	11	12
<b>M + S + A</b>	(g)	9700	9720
<b>M - Molde</b>	(g)	5620	5420
<b>S + A</b>	(g)	4080	4300
<b><math>\gamma</math> úmida</b>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,955	2,070
<b><math>\gamma</math> seca</b>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,741	1,822
			<b>Material Usado em Cada CP para Homogeneização</b>
			<b>M<sub>úmida</sub> (g)</b>
<b>Nº</b>	<b>Altura</b>	<b>Volume</b>	
#	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	
11	11	2087	
12	12	2077	
13	13	2089	
14	14	2080	
15	15	2088	
<b>Curva de Compactação</b>			<b>Resumo</b>
			<b><math>\gamma_{max}</math></b>
			1,867
			<b>W<sub>ótima</sub></b>
			14,6
			<b>Observações Gerais:</b>
			Visto

## Planilha A3 – Compactação jazida 03 c/adiação

 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS</b> <small>COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"</small> <small>Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000</small>													
LABORATÓRIO DE SOLOS E ROCHAS													
Solicitante: _____				Fone: _____				Data: _____					
Descrição: _____				Estaca: _____				Reg. N°: _____					
Trecho: JAZIDA 03 COM ADIÇÃO DA CAL				Prof (m): _____				Amostra: 6					
Energia: Proctor Intermediário				N° Golpes: 26				Soquete: Grande					
Molde: Grande													
COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade													
N° Cápsula	#	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	1	2
C + S + A	(g)	130,3	130,3	148,7	148,7	127,2	127,2	126,2	126,2	106,0	106,0		
C + S	(g)	116,8	116,8	132,6	132,6	112,1	112,1	110,0	110,0	92,5	92,5		
C - Cápsula	(g)	12,1	12,1	16,5	16,5	19,4	19,4	16,8	16,8	17,8	17,8		
A - Água	(g)	13,5	13,5	16,1	16,1	15,1	12,9	16,2	16,2	13,5	13,5		
S - Solo	C	104,7	104,7	116,1	116,1	92,7	92,7	93,2	93,2	74,7	74,7		
w - Umidade	(%)	12,9	12,9	13,9	13,9	16,3	13,9	17,4	17,4	18,1	18,1		
Umidade Média (%)		12,9		13,9		15,1		17,4		18,1			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	250		350		450		550		650		M <sub>úmida</sub> (g)	
% Água Adic.	(%)	5,0		7,0		9,0		11,0		13,0			
Umidade Calc.	(%)	12,9		13,9		15,1		17,4		18,1		N°	Volume
N° do Molde	#	11A		6A		19		34		66		#	(cm <sup>3</sup> )
M + S + A	(g)	9430		9460		9870		9450		9450		11A	2087
M - Molde	(g)	5594		5383		5310		5306		5320		6A	2087
S + A	(g)	3836		4077		4560		4144		4130		19	2080
γ <sub>úmida</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,838		1,954		2,192		2,002		1,983		34	2070
γ <sub>seca</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,628		1,716		1,905		1,705		1,679		66	2083

Curva de Compactação		Resumo	
	γ <sub>max</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,905
	W <sub>ótima</sub>	(%)	15,1
	Observações Gerais:		
_____			Visto

## Planilha A4 – ISC jazida 01 s/adição

Rodovia:	_____	Segmento:	_____
Trecho:	Jazida 01	Estaca:	_____
Subtrecho:	_____	Data:	_____
Amostra:	_____	Registro:	001
		Operador:	Miller Pereira Almeida

### ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

EXPANSÃO											
Molde (Nº)		21			20			25			
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38			
Data	Hora	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	
27/09/2004	seg	14:00	0,00		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	0,00		2,50	2,50	2,20	0,00			
Cil.+am. após embetição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico
DIN 001
Constante do anel
0,10485
Relógio comparador
EXT 001
Área do pistão (cm <sup>2</sup> )
19,3221

### PENETRAÇÃO

Tempo Min.	Penetração		Pressão Padrão	Molde Leitura mm	Pressão Kg/m <sup>2</sup>			Molde Leitura mm	04			Molde Leitura mm	03		
	mm	Pol.			Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC	Calcul.		Corrig.	%	Pressão Kg/m <sup>2</sup>		ISC	Calcul.	Corrig.
0,5	0,63	0,025	-	40	4,19			80	8,4			20	2,1		
1,0	1,27	0,050	-	70	7,34			120	12,6			40	4,2		
1,5	1,90	0,075	-	110	11,53			170	17,8			65	6,8		
2,0	2,54	0,100	70,31	170	17,82	17,8	25,4	210	22,0	22,0	31,3	90	9,4	9,4	13,4
3,0	3,81	0,150	-	230	24,12			260	27,3			125	13,1		
4,0	5,08	0,200	105,46	290	30,41	30,4	28,8	315	33,0	33,0	31,3	155	16,3	16,3	15,4
6,0	7,62	0,300	-	340	35,65			370	38,8			195	20,4		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

### Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C

The figure consists of three vertically stacked line graphs, each showing the relationship between Penetration (mm) on the x-axis and Pressure (kg/m²) on the y-axis. The x-axis for all graphs ranges from 0,00 to 10,16 mm with major ticks every 0,63 mm. The y-axis for the top graph ranges from 0,0 to 40,0 kg/m², for the middle from 0,0 to 45,0 kg/m², and for the bottom from 0,0 to 25,0 kg/m². Each graph contains a solid line with circular markers representing data points and a dashed line representing a linear fit. Key data points are labeled with their pressure values: 17,9, 25,40, 28,80 for the top graph; 31,3 for the middle graph; and 13,4, 15,4 for the bottom graph.



## Planilha A4 – ISC jazida 01 c/adição

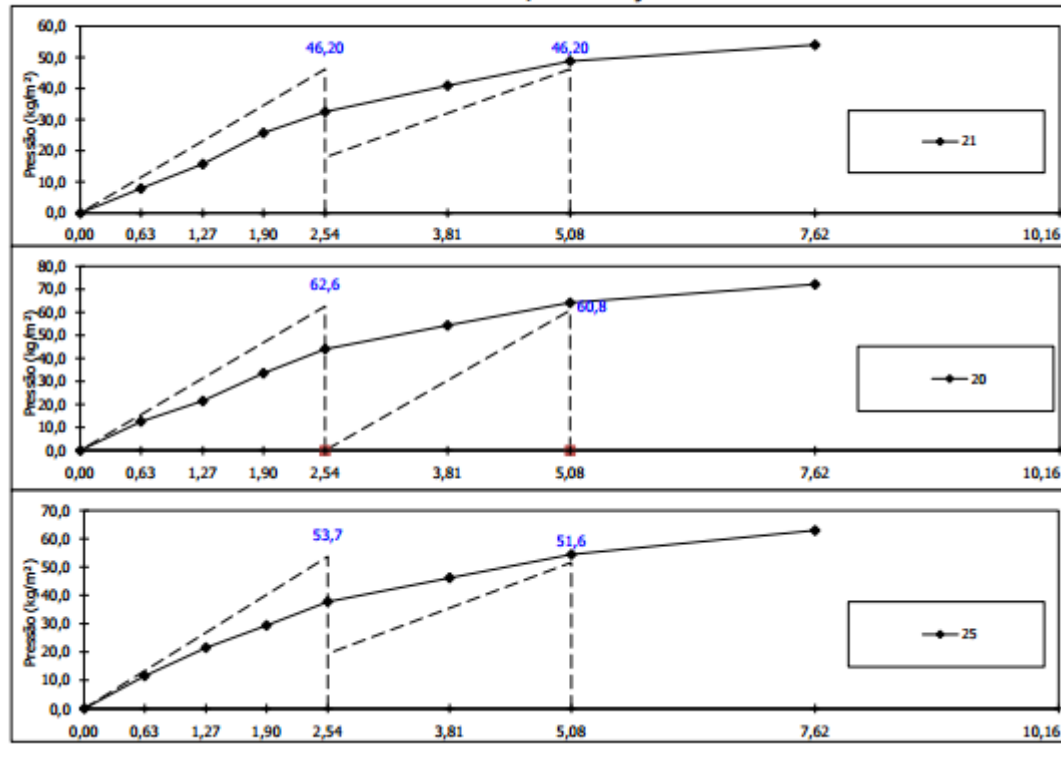
Rodovia:	_____	Segmento:	_____
Trecho:	Jazida 01 COM ADIÇÃO	Estaca:	_____
Subtrecho:	_____	Data:	_____
Amostra:	_____	Registro:	001
		Operador:	Miller Pereira Almeida

**ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA**

EXPANSÃO											
Molde (Nº)		21			20			25			
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38			Anel dinamométrico
											DIN 001
		Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Constante do anel
Data	Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	0,10485
27/09/2004	seg	14:00	0,00		0,00			0,00			Relógio comparador
28/09/2004	ter	14:00									EXT 001
29/09/2004	qua	14:00									Área do pistão (cm <sup>2</sup> )
30/09/2004	qui	14:00									19,3221
01/10/2004	sex	14:00	0,00		2,00	2,00	1,76	0,00			
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

PENETRAÇÃO															
Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde 21				Molde 20				Molde 25			
	mm	Pol.		Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC	Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC	Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC			
			mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
0,5	0,63	0,025	-	75	7,86		120	12,6			110	11,5			
1,0	1,27	0,050	-	150	15,73		205	21,5			205	21,5			
1,5	1,90	0,075	-	245	25,69		320	33,6			280	29,4			
2,0	2,54	0,100	70,31	310	32,50	32,5	420	44,0	44,0	62,6	360	37,7	37,7	53,7	
3,0	3,81	0,150	-	390	40,89		518	54,3			440	46,1			
4,0	5,08	0,200	105,46	465	48,76	48,8	612	64,2	64,2	60,8	519	54,4	54,4	51,6	
6,0	7,62	0,300	-	515	54,00		688	72,1			600	62,9			
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

## Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



## Planilha A4 – ISC jazida 02 s/adção

Rodovia: \_\_\_\_\_ Segmento: \_\_\_\_\_  
 Trecho: Jazida 02 Estaca: \_\_\_\_\_  
 Subtrecho: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_  
 Amostra: \_\_\_\_\_ Registro: 001  
 Operador: Miller Pereira Almeida

## ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

## EXPANSÃO

Molde (Nº)		21			20			25		
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38		
-	-	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data	Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
sáb	14:00	0,00			0,00			0,00		
sáb	14:00									
sáb	14:00									
sáb	14:00									
sáb	14:00	0,00			10,00	10,00	8,79	0,00		
CIL+am. após embebição										
Peso da água absorvida										

Anel dinâmométrico  
DIN 001

Constante do anel  
0,10485

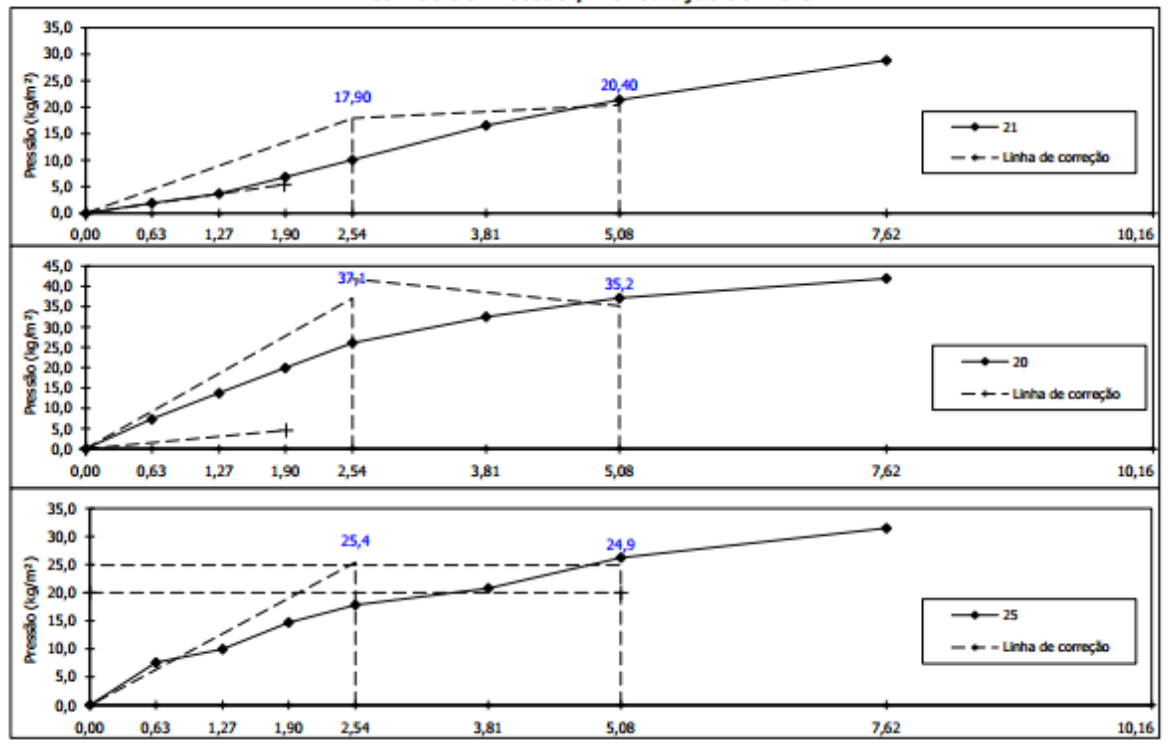
Relógio comparador  
EXT 001

Área do pistão (cm<sup>2</sup>)  
19,3221

## PENETRAÇÃO

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25		
	mm	Pol.			Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC	Pressão Kg/m <sup>2</sup>		ISC	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC				
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,5	0,63	0,025	-	18	1,89			70	7,3			72	7,5		
1,0	1,27	0,050	-	35	3,67			131	13,7			95	10,0		
1,5	1,90	0,075	-	65	6,82			190	19,9			140	14,7		
2,0	2,54	0,100	70,31	96	10,07	10,1	14,3	249	26,1	26,1	37,1	170	17,8	17,8	25,4
3,0	3,81	0,150	-	158	16,57			310	32,5			198	20,8		
4,0	5,08	0,200	105,46	204	21,39	21,4	20,3	354	37,1	37,1	35,2	250	26,2	26,2	24,9
6,0	7,62	0,300	-	275	28,83			400	41,9			300	31,5		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

## Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



## Planilha A4 – ISC jazida 02 c/adição

Rodovia:	_____	Segmento:	_____
Trecho:	Jazida 02 COM ADIÇÃO	Estaca:	_____
Subtrecho:	_____	Data:	_____
Amostra:	_____	Registro:	001
		Operador:	Miller Pereira Almeida

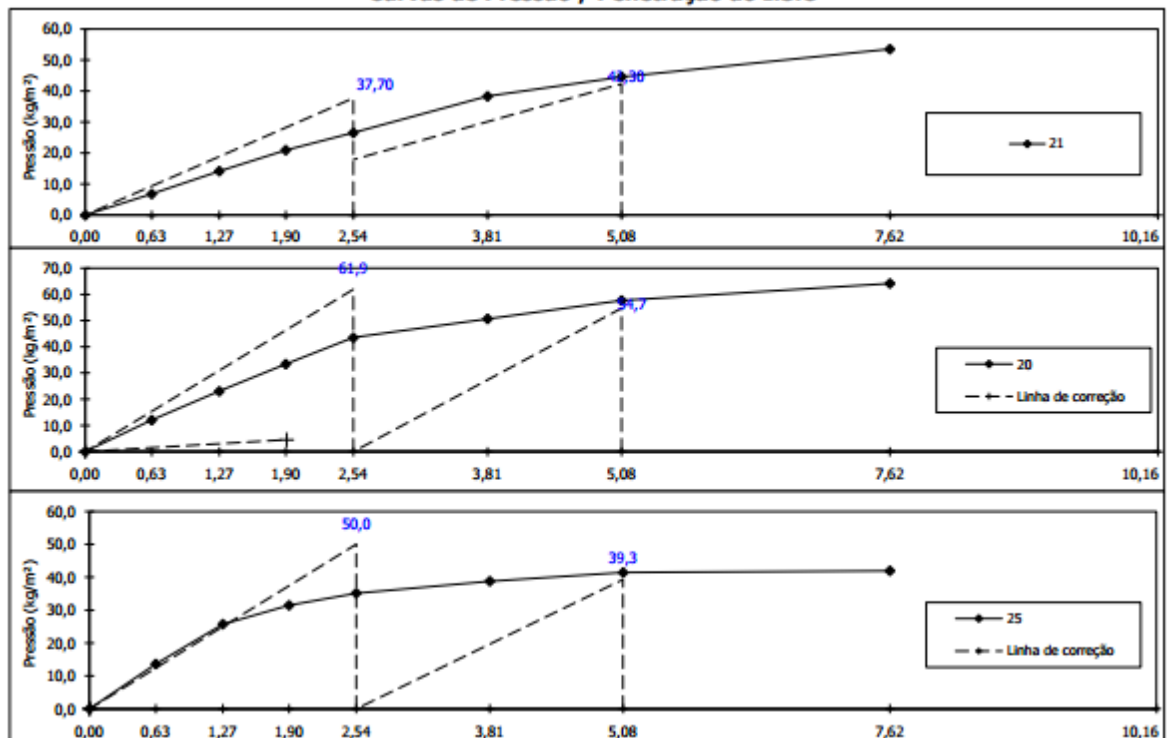
**ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA**

EXPANSÃO											
Molde (Nº)			21			20			25		
Altura do molde (cm)			11,38			11,38			11,38		
-			Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data			(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg	14:00	0,00			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	0,00			8,00	8,00	7,03	0,00		
Cil.+am. após embebição											
Peso da água absorvida											

Anel dinamométrico	DIN 001
Constante do anel	0,10485
Relógio comparador	EXT 001
Área do pistão (cm²)	19,3221

PENETRAÇÃO																				
Tempo			Molde			21			Molde			20			Molde			25		
Min.	mm	Pol.	Pressão Padrão	Leitura	Pressão Kg/m²	ISC	Leitura	Pressão Kg/m²	ISC	Leitura	Pressão Kg/m²	ISC	Leitura	Pressão Kg/m²	ISC	Leitura	Pressão Kg/m²	ISC		
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	Calcul.	Corrig.	%	Calcul.	Corrig.	%	Calcul.	Corrig.	%	Calcul.	Corrig.	%	
0,5	0,63	0,025	-	65	6,82			115	12,1				130	13,6						
1,0	1,27	0,050	-	135	14,15			220	23,1				245	25,7						
1,5	1,90	0,075	-	200	20,97			319	33,4				300	31,5						
2,0	2,54	0,100	70,31	253	26,53	26,5	37,7	415	43,5	43,5	61,9	335	35,1	35,1	50,0					
3,0	3,81	0,150	-	365	38,27			483	50,6				370	38,8						
4,0	5,08	0,200	105,46	425	44,56	44,6	42,3	550	57,7	57,7	54,7	395	41,4	41,4	39,3					
6,0	7,62	0,300	-	510	53,47			612	64,2				400	41,9						
8,0	10,16	0,400	-																	
10,0	12,70	0,500	-																	

## Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



## Planilha A4 – ISC jazida 03 s/adiação

Rodovia:	_____	Segmento:	_____
Trecho:	Jazida 03	Estaca:	_____
Subtrecho:	_____	Data:	_____
Amostra:	_____	Registro:	001
		Operador:	Miller Pereira Almeida

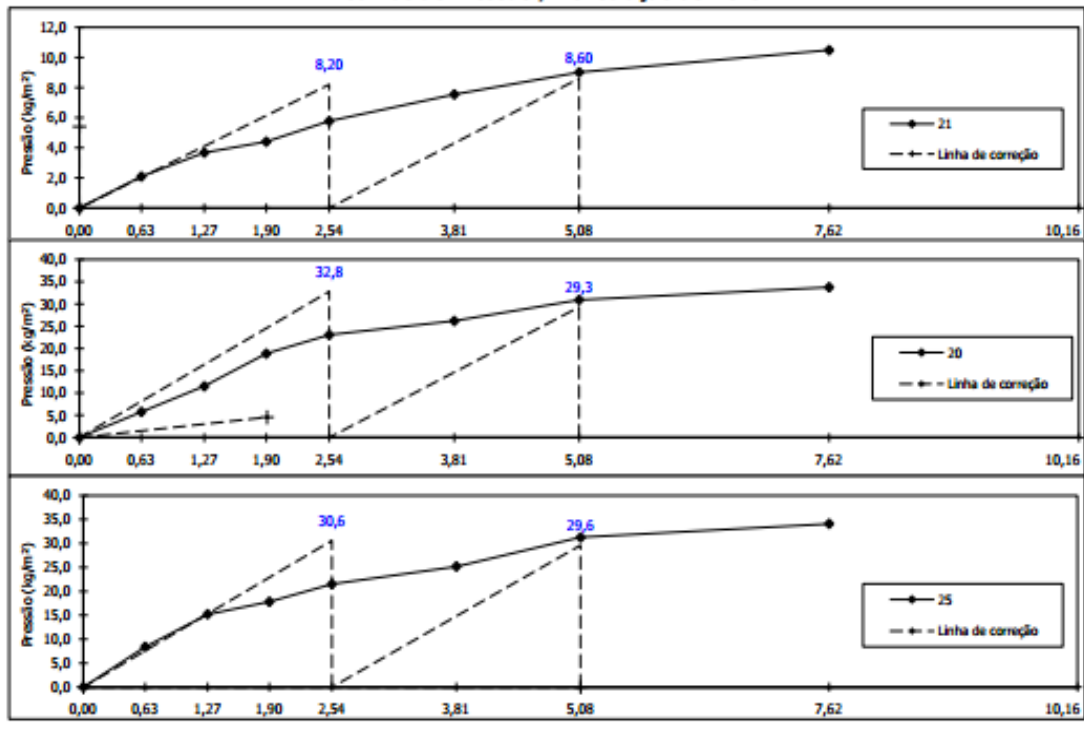
**ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA**

EXPANSÃO										
Molde (Nº)		21			20			25		
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38		
		Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data	Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg 14:00	0,00			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	0,00			10,00	10,00	8,79	0,00		
CIL.+am. após embebição										
Peso da água absorvida										

Anel dinamométrico	DIN 001
Constante do anel	0,10485
Relógio comparador	EXT 001
Área do pistão (cm <sup>2</sup> )	19,3221

PENETRAÇÃO															
Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25		
	mm	Pol.			Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC		Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC		Leitura	Pressão Kg/m <sup>2</sup>	ISC
Min.	mm	Pol.	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
0,5	0,63	0,025	-	20	2,10			55	5,8			80	8,4		
1,0	1,27	0,050	-	35	3,67			110	11,5			145	15,2		
1,5	1,90	0,075	-	42	4,40			180	18,9			170	17,8		
2,0	2,54	0,100	70,31	55	5,77	5,8	8,2	220	23,1	23,1	32,8	205	21,5	21,5	30,6
3,0	3,81	0,150	-	72	7,55			250	26,2			240	25,2		
4,0	5,08	0,200	105,46	86	9,02	9,0	8,6	295	30,9	30,9	29,3	298	31,2	31,2	29,6
6,0	7,62	0,300	-	100	10,49			322	33,8			325	34,1		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



Planilha A4 – ISC jazida 03 c/adiação

Rodovia: \_\_\_\_\_ Segmento: \_\_\_\_\_  
 Trecho: Jazida 03 COM ADICAO Estaca: \_\_\_\_\_  
 Subtrecho: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_  
 Amostra: \_\_\_\_\_ Registro: 001  
 Operador: Miller Pereira Almeida

**ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA**

**EXPANSÃO**

Molde (Nº)		21			20			25		
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38		
-	-	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.
Data	Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%
27/09/2004	seg 14:00	0,00			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	0,00			9,00	9,00	<b>7,91</b>	0,00		
CIL+am. após embebição										
Peso da água absorvida										

Anel dinamométrico  
DIN 001

Constante do anel  
0,10485

Relógio comparador  
EXT 001

Área do pistão (cm²)  
19,3221

**PENETRAÇÃO**

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	21			20			25				
	mm	Pol.			Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	ISC Corrig.	%	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	ISC Corrig.
0,5	0,63	0,025	-	45	4,72			100	10,5			70	7,3		
1,0	1,27	0,050	-	98	10,28			190	19,9			125	13,1		
1,5	1,90	0,075	-	145	15,20			260	27,3			175	18,3		
2,0	2,54	0,100	70,31	198	20,76	20,8	<b>29,5</b>	310	32,5	32,5	<b>46,2</b>	225	23,6	23,6	<b>33,6</b>
3,0	3,81	0,150	-	260	27,26			360	37,7			295	30,9		
4,0	5,08	0,200	105,46	320	33,55	33,6	<b>31,8</b>	415	43,5	43,5	<b>41,3</b>	360	37,7	37,7	<b>35,8</b>
6,0	7,62	0,300	-	470	49,28			490	51,4			415	43,5		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

**Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C**

