

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CAIO VINÍCIUS SCHLOGEL

**USO DO DCP PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE  
UM SOLO NA REGIÃO OESTE DE CURITIBA- PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

CAIO VINÍCIUS SCHLOGEL

**USO DO DCP PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE UM SOLO  
NA REGIÃO OESTE DE CURITIBA- PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomatação do curso superior de Engenharia de Produção Civil do Departamento de Construção Civil –DACOC- da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR- como requisito para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. D.Sc. Ronaldo Luis S.Izzo

CURITIBA

2015

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### **USO DO DCP PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE UM SOLO NA REGIÃO OESTE DE CURITIBA-PR.**

Por

**CAIO V. SCHLOGEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil/ Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 13 de Julho de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

---

Prof. Orientador – Ronaldo Luis S. Izzo, Dr.  
UTFPR

---

Profa. Amanda Dalla Rosa Johann, Dra.  
UTFPR

---

Prof. Rogério Francisco Kuster Puppi, Dr.  
UTFPR

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de aproveitar este espaço para agradecer aos amigos e a família que influenciaram na minha caminhada e também na execução deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos do ensino médio, aos meus amigos da faculdade, aos meus amigos que encontrei em outras curvas da vida.

Agradeço a minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por me influenciarem e encorajarem de todas as maneiras.

Ninguém faz nada sozinho.

## RESUMO

SCHLOGEL, C.V. **Uso do DCP para avaliação do grau de compactação de um solo na região oeste de Curitiba-PR.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

Este trabalho apresenta uma nova metodologia para a determinação do grau de compactação (GC) por meio do uso do Dynamic Cone Penetrometer (DCP), ou mais comumente conhecido, Penetrômetro Sul-Africano. O DCP é um equipamento que vem sendo muito estudado em vários países, principalmente por ser um ensaio rápido e de baixo custo. Os estudos do DCP visam substituição do ensaio California Bearing Ratio (CBR), atualmente o principal ensaio utilizado para dimensionamento de pavimentos. Este trabalho, entretanto, resolveu focar na determinação de um valor estimado para o grau de compactação. Para o desenvolvimento deste trabalho obtiveram-se correlações entre os valores obtidos para o ensaio de compactação proctor e DCP, levando em conta à influência da umidade. Este trabalho também confirma a praticidade do equipamento devido o fato de ter conseguido se realizar vários ensaios DCP em campo. Com base nisso, conclui-se que o método proposto é simples e pode muito bem substituir o frasco de areia na estimativa do grau de compactação do solo.

**Palavra Chave:** DCP, Penetrômetro, Grau de Compactação

## ABSTRACT

SCHLOGEL, C.V. **Use of the DCP for assessing the degree of compaction of a soil in the West side of Curitiba-PR.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

The purpose of this study was to develop a different method for assessing the degree of compaction (DC) based on the results of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). The DCP has been undergone studies for year in many countries, especially because the test procedure is considered to be easy, fast and inexpensive. The studies on the DCP try to correlate its results to the California Bearing Ratio (CBR) results, aiming the substitution of the CBR which is a worldwide known method for pavement designing. This project, though, focused on assessing the degree of compaction (DC) based on the correlations of penetration resistance, dry unit weight and moisture content of a soil. This study confirms how practical the methodology of the DCP test is, due to the fact that many test were done. The results achieved on this project shows that the method proposed is simple and the DCP can be used to assess the degree of compaction of a soil.

**Keywords:** DCP, Penetrometer, Degree of Compaction

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Curva de compactação típica.....	17
Figura 2- Teoria de Hogentogler .....	18
Figura 3-Equipamento DCP .....	25
Figura 4-Curva DCP.....	28
Figura 5- Características das curvas DCP .....	28
Figura 6- Diagrama estrutural DCP .....	29
Figura 7- Campus Ecoville UTFPR Curitiba .....	33
Figura 8- Campus Ecoville UTFPR Curitiba .....	33
Figura 9- Locação área de estudo.....	34
Figura 10- Estacionamento sede Ecoville UTFPR Curitiba .....	35
Figura 11- Cápsulas com solo para determinação do Teor de Umidade.....	36
Figura 12- Peneiras para ensaio de granulometria .....	37
Figura 13- Materiais para ensaio de sedimentação.....	37
Figura 14- Materiais para ensaio dos Limites de Atterberg .....	38
Figura 15- Ensaio de densidade real dos grãos .....	38
Figura 16- Ensaio de compactação de solo .....	39
Figura 17- Ensaio DCP laboratorial.....	40
Figura 18- Pontos de realização do DCP. ....	41
Figura 19- Cava realizada .....	42
Figura 20- Ensaio DCP <i>in situ</i> .....	43
Figura 21- Ensaio frasco de areia .....	44
Figura 22-Metodologia para obtenção da curva GC (%) X DN (cm/golpe).....	45
Figura 23- Análise granulométrica.....	47
Figura 24- Gráfico de compactação .....	49
Figura 25- Gráfico DCP laboratorial .....	51
Figura 26- Correlação Umidade X DN.....	52
Figura 27- Correlação MEAS X DN .....	53
Figura 28- Gráfico DNref X DN <i>in situ</i> .....	54
Figura 29- Gráfico DN (cm/golpe) X GC(%) .....	56
Figura 30- Gráfico de calibração GC X DN .....	57
Figura 31- Mapa de compactação área de estudo .....	59

Figura 32- Pontos de realização do frasco de areia .....	60
Figura 33- Solos encontrados na área de estudo.....	62



**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1- Correlações CBR vs. DCP estabelecidas .....	31
Tabela 2- Percentagem passante por peneira .....	48
Tabela 3- Limites de Atterberg .....	49
Tabela 4- Resultados Umidade, MEAS e DN .....	50
Tabela 5- Resultado GC calib .....	55
Tabela 6- Valores de GC nos pontos do DCP .....	58
Tabela 7- Resultados dos ensaios de frasco de areia.....	60
Tabela 8- Comparativa GC (%) X GC**(%) .....	61

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	14
1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 COMPATAÇÃO DOS SOLOS.....	16
2.1.1 GRAU DE COMPACTAÇÃO.....	19
2.2 CBR ou <i>CALIFORNIA BEARING RATIO</i> .....	19
2.2.1 ÍNDICE DE SUPORTE DO SOLO.....	21
2.3 CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA.....	22
2.3.1 MÉTODO DE ENSAIO.....	25
2.3.2 PROCEDIMENTO DO DCP.....	26
2.3.3 CORRELAÇÕES DO DCP COM OUTROS MÉTODOS.....	30
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	32
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	32
3.2 METODOLOGIA LABORATORIAL.....	35
3.3 METODOLOGIA <i>IN SITU</i> .....	40
3.4 FLUXOGRAMA PARA OBTENÇÃO DO GC POR MEIO DO DN.....	44
4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	47
4.1 ANÁLISE DE RESULTADOS LABORATORIAIS.....	47
4.2 ANÁLISE DE RESULTADOS <i>IN SITU</i> .....	54
4.3 RELAÇÃO DE RESULTADOS LABORATORIAIS E <i>IN SITU</i> .....	55
5 CONCLUSÃO.....	63
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÊNDICE A.....	71

APÊNDICE B.....75

## SIMBOLOGIA

CBR (%) - Índice de Suporte Califórnia

DCP - Cone de Penetração Dinâmica

DN (cm/golpe) - Índice de Penetração do DCP

DNref (cm/golpe) - Índice de Penetração do DCP referência

GC (%) - Grau de Compactação

$GC_{calib}$  (%) - Grau de Compactação de Calibração

H (%) - Teor de Umidade

Hot (%) - Teor de Umidade Ótima

IP - Índice de Plasticidade

LL (%) - Limite de Liquidez

LP (%) - Limite de Plasticidade

MEAS (g/cm<sup>3</sup>) - Massa Específica Aparente Seca

$MEAS_{max}$  (g/cm<sup>3</sup>) - Massa Específica Aparente Seca Máxima

USCS - *Unified Soil Classification System*

SCUS - Sistema de Classificação Unificada de Solos

## 1. INTRODUÇÃO

A análise do solo prévia à execução de uma obra é de vital importância. As características geomecânicas do solo, obtidas através de ensaios, são propriedades que poderão influenciar drasticamente no resultado final da obra. Características como: deformabilidade, permeabilidade, resistência ao cisalhamento, resistência à erosão, expansão, contração e capacidade de suporte regem o comportamento mecânico do solo.

Para que obras de habitação e pavimentação não percam a qualidade, uma análise qualitativa da área deve ser feita, principalmente, com relação à propriedade de capacidade de suporte do solo. Cidades de menor porte tendem a deixar estudos prévios à execução da obra de lado, influenciando muito o resultado final do projeto. Geralmente, o alto custo dos ensaios geotécnicos e o curto tempo de execução da obra são as justificativas para que o controle de qualidade, previamente e durante à execução, não sejam realizados.

A fim de que este controle de qualidade seja feito, existem diferentes métodos popularmente conhecidos por projetistas geotécnicos, são eles: Ensaio a Percussão (SPT), Ensaio de Cone (CPT), Ensaio Pressiômetro (PMT), Ensaio Dilatômetro (DMT) e *California Bearing Ratio* (CBR) e o *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Cada um deles possui características que determinarão seu uso, bem como as informações fornecidas por cada ensaio, tais como: peso específico *in situ*, peso específico seco, teor de umidade, coesão, ângulo de atrito, grau de compactação, entre outras.

O ensaio de Penetração Dinâmica (DCP) foi criado em 1956 na Austrália, modificado em 1969 na África do Sul, e vem sendo cada vez mais utilizado no Brasil. O DCP é muito utilizado em países Europeus e da América do Norte no âmbito de projeto rodoviários por ser fácil de utilizar, transportar, mais barato que os outros métodos, mais simples e não sofrer influência do operador que realizará o teste. O DCP é um ensaio empírico que permite avaliar o grau de compactação do solo, através da avaliação de sua resistência à penetração e estima, dessa maneira, o módulo de deformabilidade da camada compactada. O Penetrômetro Sul Africano, também como é conhecido o DCP, permite uma caracterização bem definida não apenas de solos naturais, mas também de solos mais moles até camadas de solo

britado. O relatório de resultados fornece uma relação da resistência à penetração pela profundidade da camada.

Este trabalho apresenta uma metodologia detalhada de execução do ensaio DCP *in situ*, mostra os resultados obtidos na área experimental estudada e compara com os resultados obtidos em laboratório. É apresentado graficamente o grau de compactação da área estudada.

### **1.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar a utilização do DCP para estimativa do grau de compactação de um solo na região Oeste da cidade de Curitiba- PR, onde será feita uma pavimentação.

### **1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS**

- Comparar os valores do Índice DCP (DN) analisado *in situ* e os valores do Índice DCP analisado em laboratório.
- Determinar grau de compactação (GC) através da formação de uma equação que envolva o Índice DCP (DN), umidade (h) e massa específica aparente seca.
- Representar graficamente o Grau de Compactação da área estudada.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização do Ensaio de Cone Penetração Dinâmica (DCP) já é bastante difundida em países Europeus, além de África do Sul e Austrália. Ele é um método de execução simples, de fácil transporte, menos custoso, não sofre grande influência da mão de obra que o opera e apresenta resultados precisos e confiáveis. Apesar disso, o ensaio CBR (Índice de Suporte Califórnia) ainda é o ensaio mais utilizado no controle de compactação de subleitos para pavimentação do Departamento de Estrada e Rodagens do Paraná (DER-PR), ao invés do DCP. Diferentemente do ensaio DCP, o CBR é mais lento, e apresenta disparidade de valores para um mesmo solo, encarecendo, assim, o valor final da obra.

Abitante (1977) sugere que o estudo natural dos solos utilizando ensaios *in situ* traz resultados mais expressivos, portanto então o uso do DCP. Além de tudo, segundo Barroso (2002), o CBR hierarquiza os solos por granulometria e plasticidade, tornando-se não adequado a solos tropicais. Pela apresentação de variados tipos de solo e pela facilidade de realização de ensaios, o método de Cone de Penetração possibilita o maior número de análises das amostras.

Tais características do ensaio DCP devem ser levadas em conta para a maior utilização dele na análise prévia de compactação de subleitos e a construção de pavimentos tanto por empresas públicas quanto privadas no Brasil.

Os ensaios realizados neste trabalho foram feitos no estacionamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Curitiba. O estacionamento foi feito com material britado e mal compactado. Devido a isso, em dias de chuva há criação de poças da água e barro. Nos dias de sol há levantamento de poeira, e pela má compactação, o solo possui vários buracos que atrapalham a circulação de todos que utilizam o local.

Devido a estes motivos, há planos de ser feito uma futura pavimentação do estacionamento, portanto este trabalho auxiliaria na execução deste serviço na universidade.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção do trabalho serão descritos os termos que possuem vital importância na compreensão do trabalho. Além disso, o método de realização do ensaio DCP está contido nesta seção por ser baseado em normas internacionais. Portanto, um maior detalhamento será dado a ele.

### 2.1 COMPATAÇÃO DOS SOLOS

Compactação é o processo no qual as partículas de solo são artificialmente reagrupadas e empacotadas de maneira a aumentar a densidade através da aplicação de uma energia mecânica (KIM; PREZZI; SALGADO, 2010). De acordo com os mesmos autores, a compactação aumenta a concentração de sólidos do solo, e assim, diminui o índice de vazios.

Seguindo este pensamento, Pinto (2000) completa dizendo que o comportamento do maciço de solo depende, dentre outras, do movimento das partículas sólidas e da interação entre si. Segundo Milléo (2012), a interação citada refere-se à resposta do maciço de solo quando submetido a um carregamento aplicado sobre o solo, e desta forma, gerando um acréscimo de tensões.

Souza Junior (2005) cita, entre os principais benefícios da compactação, aumento da densidade, da resistência ao cisalhamento e da capacidade de suporte retratada através do CBR, além da redução do índice de vazios, a permeabilidade, a contração e compressibilidade.

De acordo com Kim; Prezzi e Salgado (2010), por volta de 1920, a compactação do solo era feita com base no erro e acerto. Depois disso, Proctor (1933) desenvolveu estudos e apresentou o efeito da compactação do solo na resistência ao cisalhamento e permeabilidade. Ele também contribuiu para estabelecer o ensaio conhecido como Proctor, o qual demonstra a relação entre massa específica aparente seca, teor de umidade do solo e energia de compactação.

Pinto (2000) cita em seu trabalho que Proctor observou que a massa específica, resultante da aplicação de uma determinada energia de compactação, é função do teor de umidade do solo, durante o processo de compactação.



Dependendo desse teor de umidade, obtém-se uma maior ou menor eficiência do efeito de compactação na densidade do solo, devida essencialmente à influência da umidade em relação ao atrito existente entre as partículas. Na figura 1 observa-se uma típica curva de compactação obtida pelo método de Proctor.

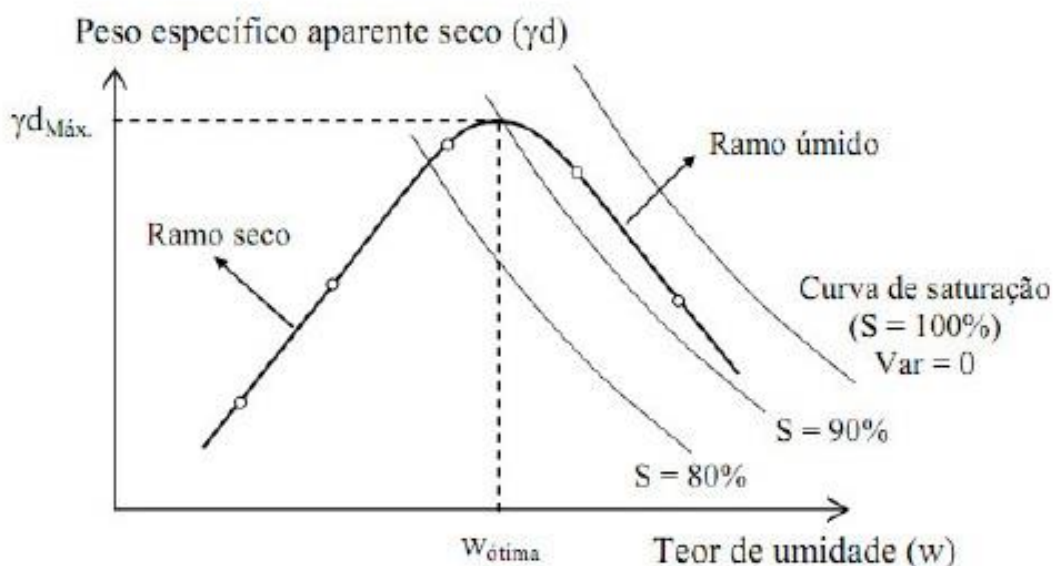


Figura 1-Curva de compactação típica

Fonte: Milléo (2012) (apud Soares et al., 2006)

Ainda de acordo com Pinto (2000), a adição de água ao solo reduz as forças capilares e a resistência ao atrito e ao cisalhamento do solo. Para umidades muito baixas, o atrito é alto e prejudica a redução de vazios. À medida que se aumenta o teor de umidade, verifica-se um maior efeito de lubrificação entre grãos, o que facilita a saída do ar que se encontra no solo, em forma de canalículos intercomunicados. Essa lubrificação favorece uma aproximação entre as partículas, principalmente em função da eliminação de ar dos vazios.

Souza Junior (2005) afirma que segundo Proctor, a partir de um determinado teor de umidade, a água impede a expulsão do ar, não reduz o atrito e nem influencia no rearranjo das partículas do solo.

Segundo Milléo (2012), as diferenças de comportamento do solo mediante compactação nos dois ramos podem ser explicadas de duas formas, no ramo seco, a água lubrifica as partículas facilitando o deslocamento e rearranjo, no ramo úmido,

a água amortece a compactação, devido ao aparecimento de água livre a qual absorve parte da energia de compactação.

Além das pesquisas do engenheiro americano Ralph R. Proctor, Souza Junior (2005) cita como importante também a teoria de Hogentogler (1937).

Segundo Souza Junior (2005), Hogentogler (1937) afirma que a curva de compactação passa por quatro estágios, sendo eles: hidratação, onde há a diminuição do atrito entre os grãos e aumento da massa específica do solo, lubrificação das partículas que possui melhor efeito próximo ao valor de umidade ótima. Em terceiro, inchamento, causado pelo excesso de água acima do valor de umidade ótima, reduzindo significativamente a densidade, e saturação, correspondendo à etapa na qual os vazios são completamente preenchidos por água. (HOGENTOGLER, 1937 *apud* SOUZA JUNIOR, 2005). Os estágios da avaliação de Hogentogler, 1937 podem ser vistos na Figura 2.

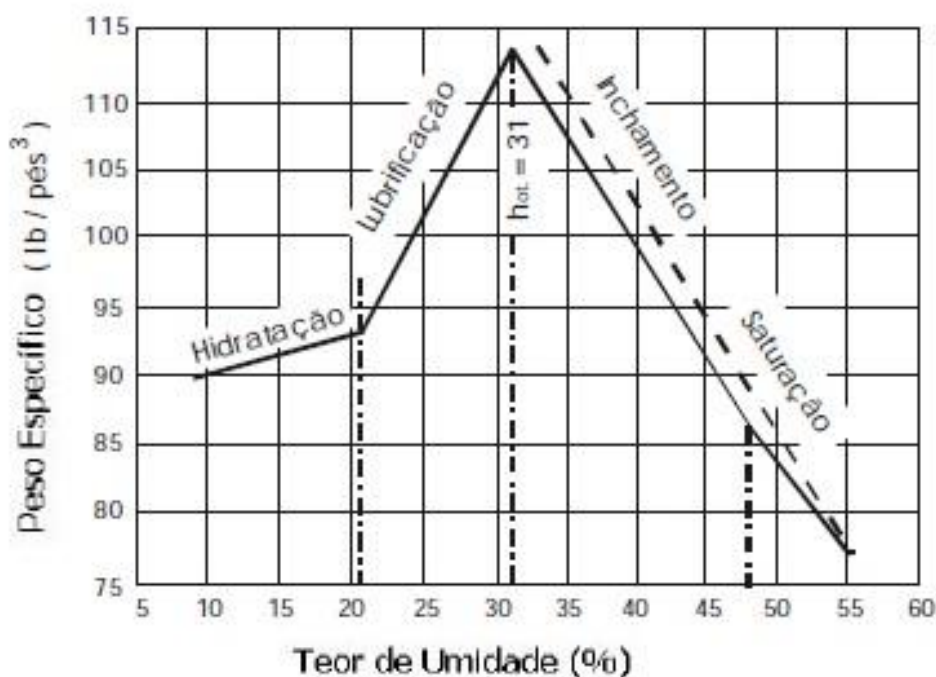


Figura 2- Teoria de Hogentogler

Fonte: Souza Junior (2005) *apud* Hogentogler (1937)

### 2.1.1 GRAU DE COMPACTAÇÃO

O Grau de Compactação (GC) é a relação entre a massa específica aparente seca de campo ( $\gamma_1$ ) e massa específica aparente máxima ( $\gamma_{max}$ ), obtida através do ensaio Proctor.

$$GC = \frac{\gamma_1}{\gamma_{max}} * 100$$

Seguindo-se a normativa do DNIT-ES 108 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES 2009), os valores de GC devem ser maiores que 100%.

### 2.2 CBR ou CALIFORNIA BEARING RATIO

De acordo com Berti (2005), o *California Bearing Ratio*, popularmente designado por CBR ou índice de suporte califórnia, foi desenvolvido em 1929 pela *California Division of Highways* para determinar as características de expansão de materiais de base, sub-base ou subleito.

Segundo Coutinho (2011), a metodologia CBR foi constituída a partir de estudos das rodovias que apresentaram falhas e rupturas no Estado norte americano. De acordo com os resultados analisados, foi constatado que os motivos dessa patologia eram: má compactação, excesso de umidade no subleito e espessura da sub-base que era insuficiente ou composta por materiais de baixa resistência.

A partir da averiguação de tais problemas, ficou evidente a necessidade de um método de dimensionamento que levasse em conta a compactação do terreno, umidade e espessura da sub-base e subleito, nascendo daí o CBR.

De acordo com Coutinho (2011), o ensaio CBR supria as dificuldades que se encontravam nos ensaios de campo e ao mesmo tempo submetia o material a condições extremas.

Fortes (2002) também diz que, o valor da resistência é dado em porcentagem, sendo que 100% é o valor correspondente à penetração em uma amostra de brita (tomada como padrão) de alta qualidade.

Barros *apud* Berti (2005) completa afirmando que, os resultados do CBR são traduzidos como sendo a relação entre uma carga unitária necessária para a penetração de um pistão e uma carga unitária padronizada necessária para obter a mesma penetração em um corpo de prova também padronizado.

$$CBR = \frac{\text{Força unitária medida no ensaio}}{\text{Força unitária padronizada}} \times 100$$

De acordo com Head (1989), os índices CBR são determinados pelas penetrações de 2,5 e 5,0 mm, e que o maior valor encontrado em porcentagem é utilizado e definido como CBR.

O autor Marson (2004) cita que, associado ao CBR foi desenvolvido um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo qual se obtém a espessura total do pavimento necessária para suprir a deficiência do solo subleito quanto à sua capacidade de suporte e leva-se em conta o tipo de tráfego (intensidade e massa dos veículos) e o valor estatístico do CBR das camadas estruturais.

Medina (1988) afirma que na década de 50 o engenheiro Murilo Lopes de Souza aperfeiçoou e fez adaptações ao método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, que utiliza o CBR, como exemplos a utilização de gráficos para o dimensionamento do pavimento e a determinação das equivalências de operação entre diferentes cargas por eixo e a carga por eixo padrão, considerando ainda os fatores climáticos. Dessa forma, em parte, foi compensado o empirismo importado, que não foi reavaliado à época com pesquisas.

O pesquisador Zupollini Neto (1994) cita que o CBR passou a ser o primeiro método nacional para determinar a capacidade de suporte do subleito e das camadas do pavimento e para dimensionar pavimentos flexíveis e semi-rígidos, oficializado e adotado por um órgão rodoviário. Esta técnica baseia-se na carga por roda e no índice de suporte CBR do subleito.

Souza (2007) cita que as normas que tratam no Brasil de CBR são: NBR 9895- Solo- Índice de Suporte Califórnia, elaborada pela Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) e a DNER- ME 049, utilizando amostras não trabalhadas, feita pelo antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atualmente Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT).

De acordo com o mesmo autor, estas normas seguem a mesma metodologia, diferindo apenas na quantidade de leituras das penetrações. Entretanto, essa diferença de execução não interfere no resultado do ensaio, visto que as leituras utilizadas para determinação do CBR são apenas duas, aquelas relacionadas a penetração de 2,54 mm e 5,08 mm, e são as mesmas nas duas normas.

Nogami e Villibor (1995) descrevem que os resultados dos ensaios de CBR levam ao encarecimento das obras rodoviárias, devido ao desempenho do solo ser frequentemente subestimados. Apesar disso, os mesmos autores salientam a importância do CBR no meio técnico, pelo fato do ensaio CBR fornecer resultados reconhecidos mundialmente, e por ser ainda o ensaio mais utilizado para o dimensionamento de pavimentos flexíveis no Brasil. Com relação às desvantagens dos ensaios, Nogami e Villibor (1995), mencionaram o alto grau de esforço físico exigido para sua execução, a grande quantidade de amostra utilizada e o tempo de saturação de quatro dias, o que torna o ensaio lento e dispendioso.

### **2.2.1 ÍNDICE DE SUPORTE DO SOLO**

Segundo (Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários *apud*. Berti (2005), os principais fatores que podem afetar a capacidade portante do solo são: tipo de solo, a textura, teor de umidade, peso específico aparente do solo seco, permeabilidade e a estrutura formada pelas partículas do solo. Além, também, do formato do corpo de prova, para um ensaio realizado em laboratório, a velocidade de um carregamento e as condições de drenagem do local onde está sendo feita a análise.

Reiterando, Rodriguez e Castillo *apud* Berti (2005), afirmam que o valor de suporte do solo depende tanto do teor de umidade como do peso específico aparente seco.

A propriedade de capacidade de suporte do solo pode ser determinada através de três tipos de ensaios: cisalhamento do solo, prova de carga e penetração. Nos dois últimos ensaios citados, há uma tensão aplicada no solo, medindo-se penetração e deflexão de várias cargas.

De acordo com Berti (2005), a diferença entre estes dois tipos de análise é a escala. O ensaio de carga utiliza equipamentos mais robustos e necessita de uma grande área *in situ* para obtenção de resultados. Em outra mão, os ensaios de penetração utilizam equipamentos menores, portáteis e áreas de ensaio de alguns cm<sup>2</sup>, contudo determinam a capacidade de suporte de apenas um ponto da massa do solo.

Em complemento, Souza (1980), afirma que as provas de carga estão ligadas a deformações elásticas e permanentes ligados ao aumento da densidade do solo. Já os ensaios de penetração estão ligados a deformações permanentes produzidas por cisalhamento do solo superficial.

O CBR é um dos principais ensaios de avaliação do índice de suporte do solo. Ele, tanto em laboratório quanto *in situ* determina a resistência do solo através da pressão de um pistão numa velocidade constante sobre o solo.

### **2.3 CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA**

*Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), ou Cone Penetração Dinâmica foi desenvolvido primeiramente na Austrália em 1956 por Scala, com o intuito de analisar subleitos (Trichês, Cardoso, 1999.). Posterior a isso foram desenvolvidas pesquisas e métodos de ensaio para avaliar a capacidade de suporte do solo, característica principal para construção de pavimentos.

Segundo Alves (2002), o DCP vem sendo utilizado desde 1973 na África do Sul para medições rápidas de resistência pelo Departamento de Estradas do país. Além disso, segundo a mesma autora, o penetrômetro sul africano foi empregado na avaliação da capacidade de suporte do substrato do Aeroporto de Ben Gurion, Israel.

De acordo com Paige e Plessis (2009), pesquisas continuaram sendo realizadas na África do Sul, mais especificamente com o uso do software *Heavy Vehicle Simulator (HVS)*. Através desse teste conseguiu-se adicionar parâmetros como: tempo de penetração, intensidade de tráfego, umidade, rachaduras, deformação e deflexão em diferentes profundidades, desenvolvendo assim uma relação entre a penetração do DCP e a expectativa de vida útil do pavimento.

Overby (1982) *apud* Dal Pai (2005) demonstra em sua pesquisa a utilização do DCP, da Viga Benkelman e do Clegg-Hammer, todos métodos de análise do solo. Comparando os resultados o pesquisador concluiu que o DCP possui melhor aplicabilidade em campo.

De acordo com Harrison (1986), o ensaio CBR é amplamente usado em projetos de pavimentos em diferentes países. A determinação *in situ* do CBR por métodos convencionais podem consumir tempo e há necessidade de equipamentos caros. Segundo o mesmo autor, há diferentes métodos para estimar o valor de CBR de um solo, no entanto, um dos mais precisos é o DCP.

No Brasil, o *Dynamic Cone Penetrometer* vem sendo estudado pelo Departamento de Estradas e Rodagens do Paraná-DER-PR (Heyn, 1986), por Rohn e Nogueira na USP de São Carlos (Escola de Engenharia de São Carlos) desde 1990. Também vem sendo desenvolvidos trabalhos por Oliveira e Vertamati (1997) no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), na Paraíba por Rodrigues e Lucena (1991) e Santana *et al.* (1998) e, em Santa Catarina por Cardoso e Trichês (1998 a 1998b, 1999, 2000) na BR- 101/SC.

O DCP possui vantagens sobre outros ensaios, principalmente devido a sua praticidade. Segundo Selig e Water *apud* Berti (2005), para a realização do ensaio há necessidade de um grupo de dois ou mais operadores. Um responsável pelo manuseio e outros pelas leituras, fazendo com que a perfuração dure em média 5 min. Para a realização do DCP não há necessidade de movimentação de terra, facilitando ainda mais o ensaio e classificando-o como ensaio não destrutivo. O DCP vem substituindo o ensaio CBR por ser ainda mais barato. Segundo Harrison (1986), o CBR é amplamente utilizado em projetos de pavimentos, entretanto, por ser um método demorado e caro para ser realizado *in situ* pode ser substituído pelo DCP, que o substitui com precisão. Ambos os ensaios podem ser relacionados, resultando em soluções mais confiáveis.

Por último, o ensaio DCP pode ser utilizado com ressalvas para determinar o grau de resistência de materiais. Segundo Oliveira e Vertamati (1997), o seu uso para previsão de vida útil, através do levantamento *in situ*, revela-se promissor além de operacionalmente versátil.

Entretanto, os resultados podem sofrer uma variação de acordo com a granulometria dos materiais, principalmente superiores a 20 mm. De acordo com

Ayers e Thompson apud Berti (2005), essas variações se dão pela natureza dos materiais finos e a densidade relativa do solo.

Segundo Melo Filho (2007), o ensaio dinâmico pode ser utilizado na estimativa de capacidade de carga em fundações diretas. Isso se dá através da correlação entre os ensaios DCP e SPT. Outra função do DCP é no controle de compactação de aterros. Como há necessidade da verificação constante e ao longo de uma área grande, prefere-se usar o DCP pelo preço e agilidade de obtenção de resultados (JAYAWICKRAMA, et al. 2000).

Apesar de várias vantagens, o ensaio criado por Scala apresenta desvantagens criadas pelo clima, intempéries e a tentativa de análise de camadas mais profundas. A influência do clima se dá pela conservação de umidade nos vazios do solo, principalmente siltosos e argilosos em países tropicais. Os solos argilosos também podem apresentar disparidade no momento da avaliação à resistência em profundidades maiores. Há possibilidade de o solo aderir-se a haste do equipamento. Para evitar esse tipo de acontecimento, lubrifica-se o equipamento com substâncias oleosas, diminuindo a possibilidade de isso ocorrer. Já em solos arenosos, de granulometria maior, com baixa coesão apresentam índices superficiais de DCP baixos, os quais aumentam no decorrer da penetração.

Concluindo, o DCP apresenta várias funções, dentre elas tem-se:

- Determinar a resistência da base de estradas não pavimentadas;
- Avaliar CBR *in situ* de materiais e solos granulares;
- Prever vida útil de camadas de pavimento através da análise de resistência em função da profundidade (BEER et al. apud Vertamatti, Oliveira, 1997);
- Controlar a qualidade da compactação, inclusive detectando solos anteriormente compactados sem destruir os localizados nas camadas superiores (Heyn, 1986);



### 2.3.1 MÉTODO DE ENSAIO

O equipamento de cone penetração, figura 3, consiste de uma haste de aço de 16 mm de diâmetro, possuindo no final da haste uma ponta cônica de aço de 60° e 20 mm de diâmetro. Há também um martelo de 8 kg, que se desloca por uma distância de 575 mm do topo da haste até a parte inferior dela. A penetração da ponta de aço é medida por uma régua posta ao lado da haste vertical. O DCP é projetado para penetrar de 800- 1.200 mm, segundo Kleyn e Savage (1982). Materiais localizados abaixo deste valor sofrem pouca influência por ação de carga de tráfego.

Existem outros tipos de mecanismo que compõe o DCP, apresentando variação na angulação da ponta cônica, 30° e 60°, e pela energia de cravação. De acordo com Kleyn e Savage (1982), a ponteira de 60° possui uma maior durabilidade de serviço e produz uma definição de pontos críticos mais correta.

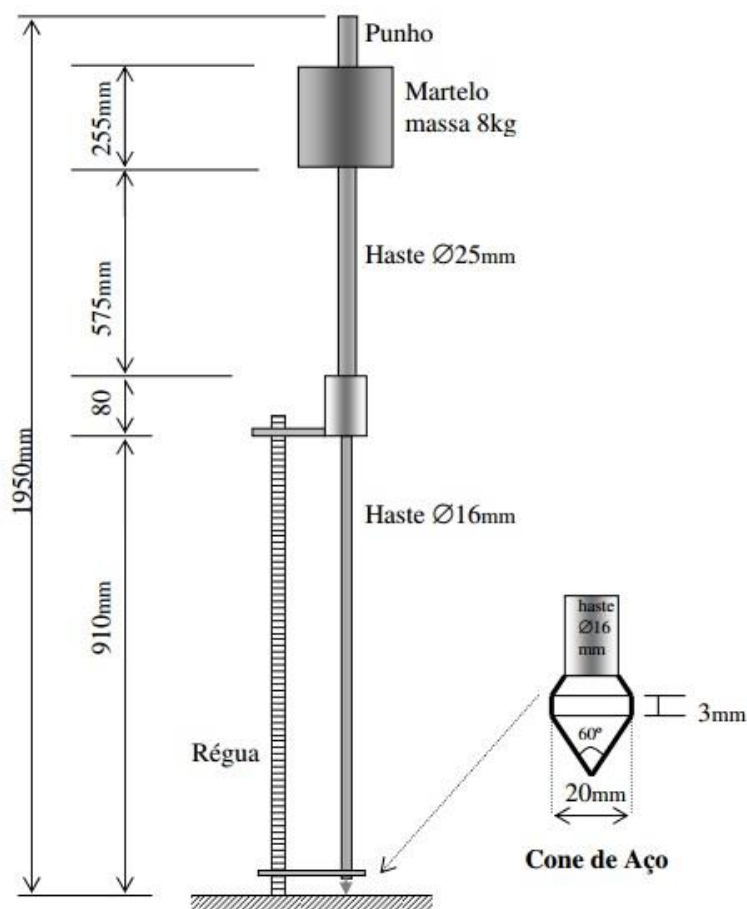


Figura 3-Equipamento DCP

FONTE: Dal Pai (2005)

O Penetrômetro Sul- Africano alterado do primeiro modelo de DCP criado por Scala na Austrália, é modelo de DCP mais utilizado no Brasil. O equipamento necessita certos cuidados para aumentar a durabilidade dele e também a qualidade das leituras que ele irá proporcionar.

De acordo com metodologia canadense de execução do DCP, *Saskatchewan Highways and Transportation*, o instrumento apresenta fácil montagem e desmontagem, entretanto ao montá-lo é necessário verificar a junta entre a bigorna e a haste superior para que ela não afrouxe. Caso isso aconteça, a durabilidade do aparelho será reduzida.

O cone, peça responsável pela penetração no solo, é produzida em aço. De acordo com o uso do equipamento, a peça vai sofrendo desgaste e deve ser trocada no momento em que o diâmetro sofrer redução de 10% do valor inicial. O método mais simples de verificação da qualidade da peça é visual, bastando então compará-la a uma peça nova. Outro cuidado necessário com o equipamento é o posicionamento dele no momento do ensaio. A haste deve estar alinhada verticalmente durante o ensaio, caso haja contato entre a haste inferior e as paredes do buraco o resultado pode destoar do verdadeiro. Caso esta falha ocorra, é recomendado que o procedimento do ensaio seja repetido.

### **2.3.2 PROCEDIMENTO DO DCP**

O primeiro passo do ensaio é realizar a leitura inicial na escala no momento que o penetrômetro é posto na vertical. Seguinte a isso, deve elevar o martelo até o topo da haste deslizante de 575 mm, e deixar o corpo de massa de 8 kg cair. Esta queda deve ser livre de qualquer influência de força externa, tal como o movimento da mão do operador.

Segundo Silva Júnior (2005), na execução do ensaio DCP não é possível alcançar uma velocidade constante de penetração, tal como não é necessário aplicar forças contínuas. É aplicada uma força cinética conhecida, causando a penetração do cone, a qual depende da resistência à penetração no solo.

De acordo com Trichês e Cardoso (1999), "(...) a primeira leitura de penetração do DCP é sempre desconsiderada, pois, no primeiro golpe, a superfície

de contato entre o cone e o solo não é a mesma dos golpes posteriores, face à distribuição de pressões induzida pelo ensaio”. Conforme Oliveira e Vertamatti (1998), no cálculo da razão de penetração não deve-se levar em consideração o deslocamento do cone correspondente ao primeiro golpe.

Seguindo orientações de Heyn (1986), o desenvolvimento do ensaio se dá pela aplicação de três golpes com o equipamento, seguido então da medição de penetração do cone e anotando-a; assim sucessivamente até atingir a espessura desejada de análise. Já o *Saskatchewan Highways and Transportation* (1992), indica a leitura a cada batida do martelo. Entretanto, as leituras podem ser alteradas se a penetração que vem sendo apresentada é menor que 20 mm/ golpe:

- Uma leitura a cada dois golpes caso leituras estejam entre 10-20mm
- Uma leitura a cada cinco golpes caso leituras estejam entre 5- 9mm
- Uma leitura a cada dez golpes caso leituras estejam entre 2-4mm

Após leitura das penetrações, é preenchida uma ficha de controle. Através dos valores obtidos no equipamento mais o número de golpes é plotado em um gráfico de: penetração, no eixo vertical, versus número de golpes, no eixo horizontal. Trichês e Cardoso apud Berti (2005), a curva DCP obtida indica o número de golpes para se alcançar uma dada profundidade.

Citado por Herrick e Jones (2001), as medidas do cone de penetração podem ser expressas como o número de golpes por milímetro de penetração ou como a resistência média do solo por profundidade do solo penetrado. De acordo com Trichês e Cardoso (1999), e como pode ser visto na figura 4, a inclinação da reta obtida pelo gráfico “golpes versus penetração” indica a resistência do solo e é denominado índice DCP, também denominado DN. Quando verticalizada, os materiais apresentam menor capacidade de carga, todavia, quando mais horizontalizadas, os materiais apresentam maior capacidade de carga.

Dando continuidade a esta análise, segundo Alves (2002), quando há uma alteração na inclinação das retas, há um indicativo de que uma camada de material foi atravessada, variação do teor de umidade, ou ainda, variação da massa específica aparente.

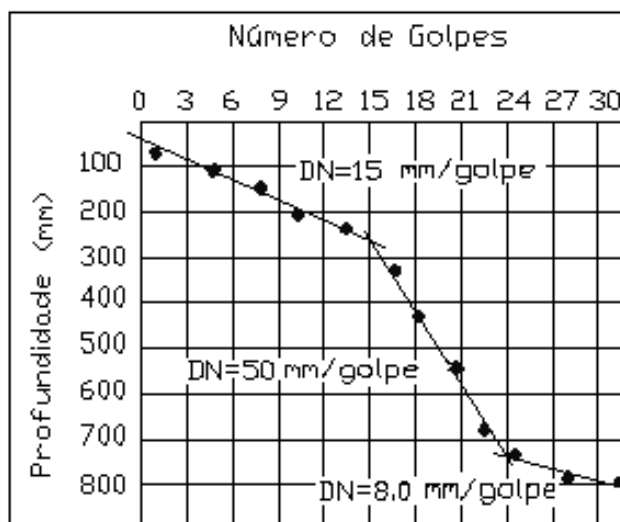


Figura 4-Curva DCP.

FONTE: Dal Pai (2005) apud Cardoso, Trichês (1999)

O índice DCP, ou DN, representa a resistência do material, é obtida através da fórmula:

$$DN = DCP = \frac{\textit{profundidade}}{\textit{número de golpes}}$$

Com base no índice de DCP e características das curvas do ensaio, representadas na figura 5, podem ser feitas algumas interpretações.

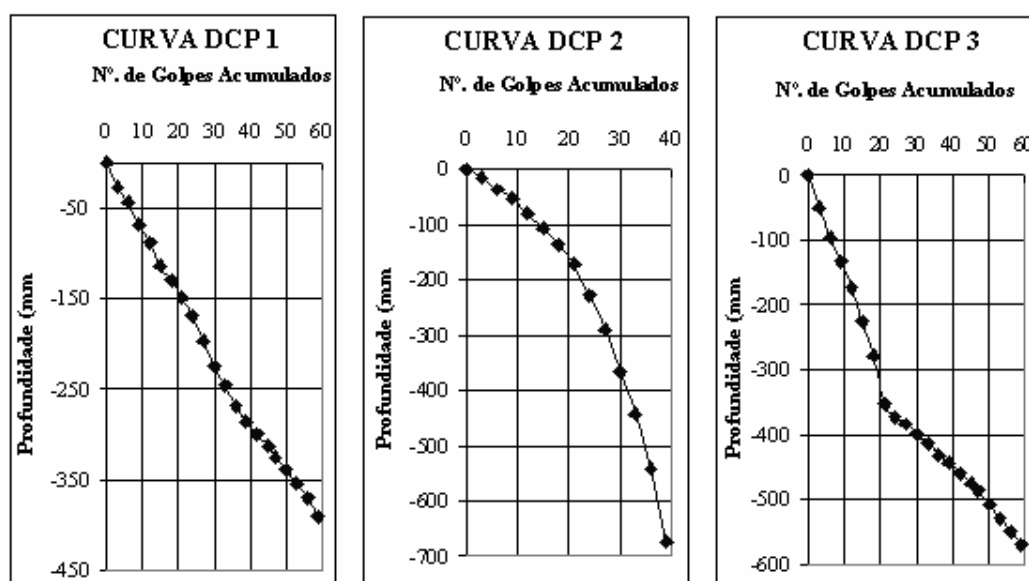


Figura 5- Características das curvas DCP

FONTE: Alves, Trichês, (2002)

De acordo com a curva DCP 1, da figura 5, pode-se interpretar que o solo está compactado homogeneamente de acordo com a profundidade, mostrando assim um eficiente controle de compactação. A curva DCP 2, indica que a parte superior da camada está compactada com um grau de compactação maior que a parte inferior. Esta curva pode indicar que há um gasto desnecessário de energia para compactação, ou o equipamento utilizado não é adequado para a operação, ou ainda que a camada seja muito espessa. Por último, a curva DCP 3, indica que a parte superior da camada apresenta um grau de compactação ruim em relação a parte inferior a cota -400 mm, portanto, há uma necessidade de recompactação (ALVES e TRICHÊS, 2002).

Alves e Trichês (2002) ainda demonstraram outra maneira de representação gráfica da curva DCP. Desta vez, como pode ser visto na figura 6, o eixo das abscissas representa o índice DCP (DN), e o eixo das ordenadas, a profundidade. Segundo os autores, o Diagrama Estrutural, auxilia na compreensão de algumas características do material, como: teor de umidade ou massa específica aparente. O Diagrama Estrutural também auxilia na visualização da mudança de camada de material.

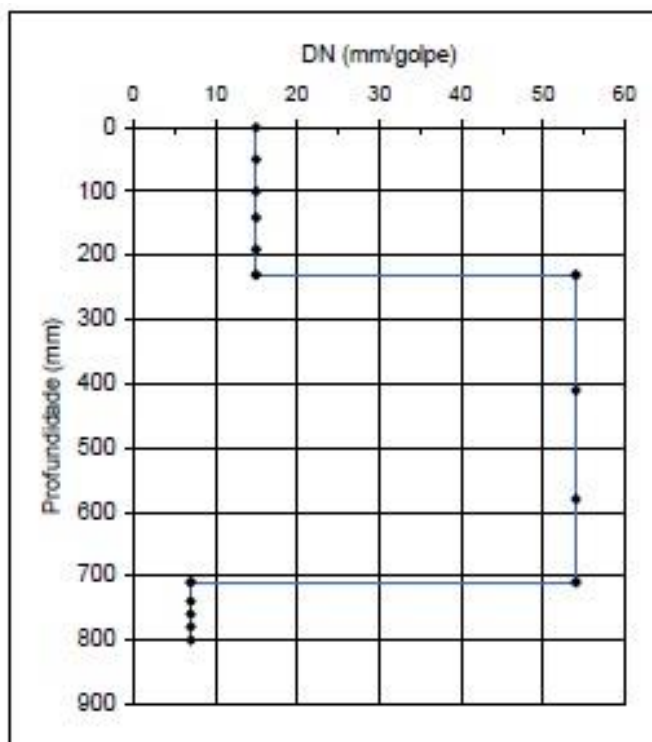


Figura 6- Diagrama estrutural DCP

FONTE: Alves (2002)

Quando o diagrama apresenta uma constância da curva plotada, há uma indicação de que não há alteração das características do material em estudo. O Número Estrutural DCP (DSN), representado pelo Diagrama Estrutural, representa o número de golpes necessários para a penetração de uma profundidade de camada.

### **2.3.3 CORRELAÇÕES DO DCP COM OUTROS MÉTODOS**

Por existirem ensaios mais utilizados que outros, as correlações existentes são desejáveis para facilitar a compreensão dos resultados obtidos. Além disso, segundo Alves (2002), como há algumas diferenças entre penetrômetros utilizados no mundo, faz-se a correlação com um ensaio comum, no caso o CBR, que possui uma normativa comum a todos.

De acordo com Berti (2005), há várias pesquisas sendo realizadas tanto no Brasil quanto no Mundo a respeito das correlações do ensaio. A correlação é baseada na relação entre o valor de resistência à penetração DCP (mm/ golpe) e a medida CBR (%). Os valores de correlação variam de acordo com algumas características: umidade do solo, massa específica aparente seca, energia de compactação, ângulo da ponta cônica do DCP, além do local de realização do ensaio, laboratório ou campo.

Berti (2005) cita que há algumas diferenças em valores de correlação quando o material estudado apresenta granulometria fina (baixos valores de CBR). Para tais correlações o valor dependerá do estado do material e haverá necessidade de outros valores de correlação. Para obtenção destes valores é necessário calibrar o DCP de acordo com o material estudado.

De acordo com Schmitz (2002), para que o DCP possa ser utilizado no Brasil, correlações apropriadas devem ser feitas aos tipos de solo que são presentes aqui, devido as características peculiares que eles possuem.

Karunaprema e Edirisinghe (2002) citam em seu trabalho a existência de uma relação inversa entre o DCP e o CBR para o ensaio de solos. Os dados podem ser analisados através de modelos lineares, logarítmicos, exponenciais ou bi-logarítmicos (Log x Log). Segundo os autores, a versão Log x Log é a que melhor descreve a relação e segue a seguinte forma:

$$\log(CBR) = a + b \cdot \log(DCP)$$

Sendo:

- CBR: valor fornecido em porcentagem
- a e b: constantes obtidas através da análise de regressão
- DCP: valor obtido em mm/ golpe

Berti e Paiva (2006) publicaram em seu trabalho uma síntese das correlações presentes na literatura, as quais podem ser analisadas na tabela 1:

**Tabela 1- Correlações CBR vs. DCP estabelecidas**

Equações de Regressão	Inclinação da reta (Graus)	Locais ou Materiais	Condições de Ensaio
$CBR = 443,45 \cdot DCP^{-1,3}$	52	Rodovias do Paraná	Não detalhada
$\log(CBR) = 2,490 - 1,057 \cdot \log(DCP)$	47	Solos Transicionais	Laboratório- corpos de prova sob vários teores de umidade
$CBR = 512,64 \cdot DCP^{-1,25}$	51	Solos: A-7-6, A-4 e A-4-2	Laboratório- corpos de prova saturadas e não saturadas
$CBR = 151,58 \cdot DCP^{-1,03}$	46	Solos: A-7-6, A-4 e A-4-2	Laboratório- corpos de prova para DCP não-saturadas e para CBR saturados
$\log(CBR) = 2,809 - 1,288 \cdot \log(DCP)$	52	Solos Transicionais e Lateríticos	Laboratório- corpos de prova sob vários teores de umidade
$\log(CBR) = 2,55 - 1,26 \cdot \log(DCP)$	52	Solos Lateríticos (LA'- LG')	"In situ" e Laboratório- corpos de prova não-saturados moldados de acordo com campo
		Solos Lateríticos	Laboratório- corpos de prova saturados moldados

$\log(CBR) = 2,01 - 1,01.\log(DCP)$	45	(LA' - LG')	de acordo com campo
$\log(CBR) = 2,60 - 1,26.\log(DCP)$	52	Rodovias no Sul da África	Não detalhada
$\log(CBR) = 2,81 - 1,32.\log(DCP)$	53	Solos Argiloso, Areia bem-graduada e Cascalho bem-graduado	Laboratório- corpos de prova
$\log(CBR) = 2,48 - 1,057.\log(DCP)$	47	Não Classificado	Não detalhada
$\log(CBR) = 1,966 - 0,667.\log(DCP)$	34	Cascalho, Areia e Solo Fino	Laboratório- corpos de prova não-saturados
$\log(CBR) = 2,56 - 1,16.\log(DCP)$	49	Materiais coesivos e granulares	Não detalhada
$CBR = 567.DCP^{-1,4}$	54	Solos Tropicais	Não detalhada

Fonte: Berti e Paiva (2006)

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo tem o enfoque de destacar a área na qual foram realizados os ensaios, a metodologia de pesquisa utilizada e também as normativas brasileiras que foram empregadas para obtenção de resultados.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná é uma das duas universidades federais da capital do estado do Paraná, Curitiba. A UTFPR possui dois campus na cidade, um localizado no bairro Centro e outro, recentemente construído, localizado no bairro Ecoville, extremo oeste da capital. A localização desta sede pode ser vista, por um ponto vermelho, na Figura 7.



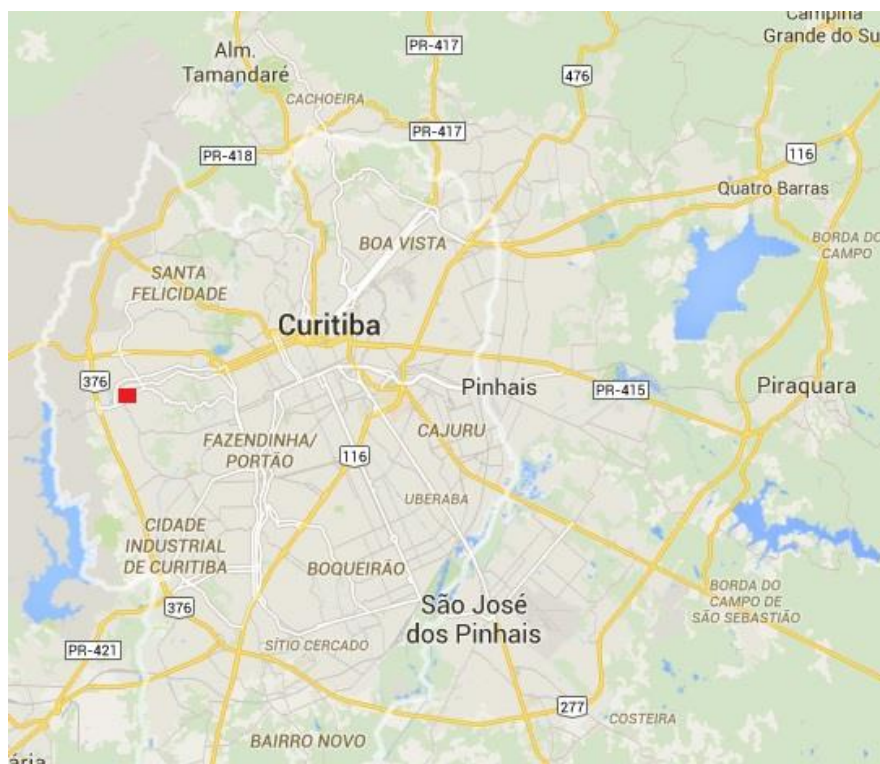


Figura 7- Campus Ecoville UTFPR Curitiba.

FONTE: Google (2014)

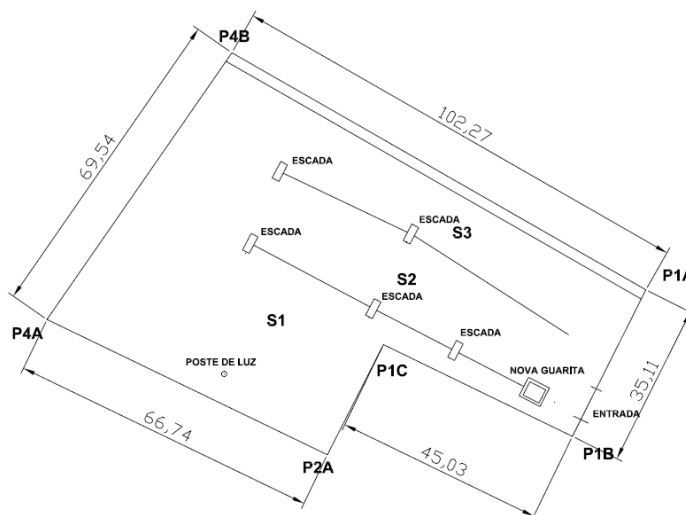
A área da sede da UTFPR pode ser mais bem vista na figura 8.



Figura 8- Campus Ecoville UTFPR Curitiba

FONTE: Google (2014)

A área de estudo é representada pela Figura 9, a qual demonstra as medidas do estacionamento, tal como a locação de escadas, guarita e poste de luz lá existente.



**Figura 9- Locação área de estudo**

**Fonte: Autoria própria**

A área do estacionamento, representada pela figura 9, foi feito com material britado e mal compactado. Devido a isso, em dias de chuva há criação de poças da água e barro. Nos dias de sol há levantamento de poeira, e pela má compactação, o solo possui vários buracos que atrapalham a circulação de todos que utilizam o local. O estacionamento possui em torno de 5.700 m<sup>2</sup>.

A figura 10 mostra mais claramente o material britado utilizado na compactação do estacionamento, além dos três setores nos quais o estacionamento foi dividido.



**Figura 10- Estacionamento sede Ecoville UTFPR Curitiba**

**Fonte: Autoria própria**

Devido a estes motivos, a direção da universidade possui planos, futuros, de pavimentação da área sendo assim, este trabalho tem o enfoque de desenvolver uma análise através da qual se consiga estimar o grau de compactação da área de estudo, facilitando desta maneira a execução da pavimentação do local.

### **3.2 METODOLOGIA LABORATORIAL**

O estudo laboratorial teve início com a retirada de amostra do solo no momento em que foi feita a cava. A partir desta amostra levada a laboratório foram feitos os seguintes ensaios: Teor de Umidade, Limites de Atterberg, Densidade real da amostra, Peneiramento, Compactação Proctor normal em diferentes umidades e DCP. Os ensaios de laboratório foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos da própria Universidade em Curitiba.

Como não há normativa brasileira para o ensaio DCP, foi utilizada a norma do departamento canadense de transporte do estado de Saskatchewan (*Saskatchewan Highways and Transportation, 1992*), como base para realização do ensaio em laboratório e posteriormente em campo.

O primeiro ensaio a ser realizado foi o normatizado pelo procedimento técnico DNER-ME 213/94, o qual continua vigente e diz respeito ao teor de umidade

(FIGURA 11). Durante a execução da cava no estacionamento foram coletadas pequenas porções das amostras de solo. As porções foram postas em recipientes e então colocadas na estufa por 16h, tal como descrito na normativa. Vale ressaltar que as amostras assim que colocadas em cápsulas foram tampadas, para que dessa maneira não perdessem nenhuma umidade para o meio.



Figura 11- Cápsulas com solo para determinação do Teor de Umidade

Fonte: Autoria própria

Seguido do ensaio de Teor de Umidade foram realizados ensaios de caracterização de solos. Para realização destes ensaios foram seguidos os procedimentos prescritos na NBR-6457 e DNER-ME 41/94, os quais dizem respeito a preparação de amostras de solo para ensaios de compactação, limites de Atterberg, massa específica, granulometria, entre outros.

O primeiro ensaio de caracterização realizado é de análise granulométrica. Para realização dele foram seguidos os procedimentos citados na NBR -7181. Cada amostra recolhida foi submetida ao procedimento a fim de observar uma constância nos resultados obtidos (FIGURA 12).



**Figura 12- Peneiras para ensaio de granulometria**

**Fonte: Autoria própria**

Com o material passado na peneira de número 2,0 mm, porção fina da amostra, foi realizado o ensaio de sedimentação (FIGURA 13). O procedimento está contido na continuação da norma NBR-7181 do ensaio granulométrico.



**Figura 13- Materiais para ensaio de sedimentação**

**Fonte: Berti (2005)**

Em seguida, foram realizados os ensaios dos Limites de Atterberg. Os limites de Atterberg são compostos pelo Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP). O ensaio de determinação do Limite de Liquidez segue procedimentos descritos nas normativas NBR-6459 e DNER-ME 122/94. O ensaio de determinação do Limite de Plasticidade segue normativas NBR- 7180 e DNER-

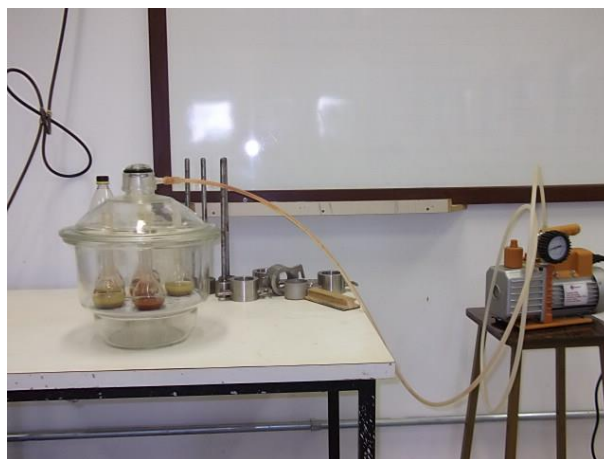
ME 82/94. Ambos têm a função de auxiliar na determinação do valor do Índice de Plasticidade (IP), o qual foi obtido algebricamente. A figura 14 mostra os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios de limite de Atterberg.



**Figura 14- Materiais para ensaio dos Limites de Atterberg**

**Fonte: Autoria Própria**

Por último, o solo recolhido da área de estacionamento passou pelo procedimento de análise de densidade real dos grãos (FIGURA 15). Este procedimento segue norma técnica DNER-ME 93/94.



**Figura 15- Ensaio de densidade real dos grãos**

**Fonte: Autoria Própria**

Após os ensaios de caracterização de solo coletado, foi feita a primeira análise de caracterização mecânica, o ensaio de compactação baseada no método Próctor normal. Seguindo as normativas NBR-7182 e DNER-ME 162/94, o ensaio

possui o objetivo de criar uma relação de teor de umidade com a massa específica aparente seca (FIGURA 16).

O solo utilizado para a confecção dos corpos de prova submetidos a compactação não foram previamente utilizados, ou seja, são solos não provenientes de reuso e foram devidamente preparados de acordo com a norma que o rege.



**Figura 16- Ensaio de compactação de solo**

**Fonte: Autoria própria**

O ensaio de penetração foi realizado seguindo normativa do departamento canadense de transporte do estado de Saskatchewan (*Saskatchewan Highways and Transportation, 1992*) (FIGURA 17).

Com base nos resultados obtidos no ensaio de compactação é possível se obter um grau de compactação de calibração ( $GC_{calib}$ ). O valor de  $GC_{calib}$  sai da razão entre a massa específica seca (MEAS) de cada corpo de prova pela massa específica seca máxima ( $MEAS_{max}$ ).

A cravação com o DCP foi realizada no centro de cada corpo de prova, e as leituras da penetração no corpo de prova foram feitas a cada golpe. O ensaio é dado como terminado no momento em que não há mais penetração na mostra, quando a ponta cônica chega ao fundo do molde ou então quando se percebe que ao realizar-se mais um golpe a ponta cônica de ferro alcançaria o fundo do molde, desta maneira causando prejuízo ao equipamento.

O cruzamento dos resultados obtidos pelo ensaio de compactação e do DCP resulta em alguns gráficos. A partir destes gráficos é possível se estimar e compreender algumas características do solo.



Figura 17- Ensaio DCP laboratorial

Fonte: Autoria própria

### 3.3 METODOLOGIA *IN SITU*

Em seguida aos ensaios laboratoriais, deu-se continuação aos ensaios de campo. Dentre os ensaios realizados no estacionamento estão o ensaios de Frasco de Areia, com o objetivo de determinar a massa específica aparente do material e ensaios DCP em diferentes pontos da área de estudo com o intuito de determinar o valor de DN e a partir deste valor estimar o GC da área de estudo.

Para a análise da capacidade de suporte do solo *in situ*, foi realizado 01 ensaio de penetração a cada 10 m de distância no estacionamento que possui em torno de 5700 m<sup>2</sup>, tal como pode ser visto na Figura 18. No primeiro ponto de ensaio foi realizada uma cava de 50 cm x 50 cm, representado pela Figura 19. A cava foi







**Figura 19- Cava realizada**

**Fonte: Autoria própria**

O DCP utilizado para as análises pertence ao Departamento de Construção Civil (DACOC) da UTFPR e possui a ponteira de aço cônica com angulação de  $60^\circ$ . Como é descrito pela *Saskatchewan Highways and Transportation* do Canadá, o ensaio *in situ* foi feito utilizando duas pessoas. Uma responsável pelo alinhamento do aparato e pelo controle da carga e a outra pelas leituras. Foram obtidos dessa maneira, uma série de valores que estão expostos nesse trabalho.

Como pode ser visto na Figura 20, foi cavado um buraco para realização do DCP devido ao fato do estacionamento possuir um material graúdo espalhado por toda a área. A execução do buraco tem o objetivo de retirar toda esta camada de material graúdo, evitando a danificação do equipamento DCP e influências no resultado do ensaio. Esse processo aumentou o tempo de ciclo de execução do ensaio, entretanto, em média eram realizados 24 ensaios a cada 4 horas, provando, desta maneira, a simplicidade e praticidade do equipamento.



Figura 20- Ensaio DCP *in situ*

Fonte: Autoria Própria

Optou-se por cravar o DCP até a marcação de 40 cm de profundidade, ou então 15 golpes. Em alguns casos alcançou-se a profundidade antes da execução de 15 golpes. Por outro lado, houve vezes que não foi alcançado 40 cm de profundidade mesmo tendo sido realizado 15 golpes. Quando uma leitura ficava abaixo de 1 cm de penetração a cada golpe, realizava-se 3 golpes para uma leitura. Estes golpes são somados e utilizados para posterior cálculo do DN (cm/golpe).

Após o ensaio de cravação do cone, foi feito o ensaio do Frasco de Areia. Esse ensaio tem o objetivo de determinar a massa específica aparente seca da camada de solo compactada e foi amparado pelo procedimento descrito na norma da DNER-ME 92/94. Essa norma técnica apresenta o procedimento detalhado da realização do Frasco de Areia especificamente *in situ* (FIGURA 21).



**Figura 21- Ensaio frasco de areia**

**Fonte: Aatoria própria**

A umidade da amostra é obtida através do ensaio utilizando uma estufa. O ensaio é normatizado pela DNER-ME 213/94.

### **3.4 FLUXOGRAMA PARA OBTENÇÃO DO GC POR MEIO DO DN**

Com base na proposta deste trabalho, é possível criar uma metodologia para determinar o grau de compactação de outras áreas de estudo. Como foi demonstrado, o DCP é mais prático e rápido que os métodos atualmente utilizados. O emprego do DCP em substituição ao frasco de areia resulta em uma análise mais completa do grau de compactação do solo devido o número de ensaios que podem ser feitos danificando muito pouco o solo.

De acordo com o que foi estudado e realizado neste trabalho, a metodologia para obtenção dos valores de GC em função de DN está exposta no fluxograma representado pela Figura 22.

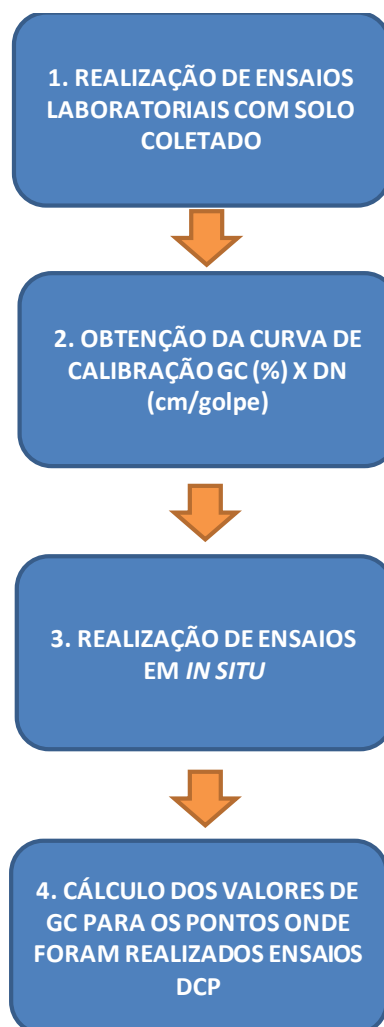


Figura 22-Metodologia para obtenção da curva GC (%) X DN (cm/golpe)

Fonte: Autoria própria

- PASSO 1: Realização dos ensaios de caracterização e também do ensaio de compactação proctor do solo onde pretende ser obtido o grau de compactação. Nos corpos de prova onde foram realizados os ensaios de compactação aplicar o DCP.
- PASSO 2: Obtenção da curva  $GC_{calib}$  (%) em função dos valores de DN (cm/golpe) em cada corpo de prova. Determinar o trecho da curva de estudo e com base nela, a equação de correlação.
- PASSO 3: Haja em vista que o solo é totalmente homogêneo, aplicar o DCP por toda a superfície da área de estudo.

- PASSO 4: Com base nos valores obtidos pelo ensaio DCP, aplicá-los na fórmula de correlação do GC com DN.

Por meio destes valores cálculos de GC (%) é possível gerar um mapa do grau de compactação, auxiliando dessa maneira na execução de pavimentações ou calçamento em pequenas e grandes áreas.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao longo do trabalho foram realizados ensaios no laboratório e também *in situ*, como explicado na metodologia. Neste capítulo, os resultados de alguns destes experimentos serão apresentados e discutidos. Alguns dos outros resultados, não citados nesta sessão estão localizados no apêndice A e apêndice B do trabalho.

### 4.1 ANÁLISE DE RESULTADOS LABORATORIAIS

Os primeiros ensaios realizados neste trabalho foram os ensaios de caracterização do solo trabalhado.

O primeiro ensaio realizado foi para obter a curva granulométrica do solo coletado. O procedimento seguiu a NBR-7181, resultando na obtenção da curva representada na Figura 23.

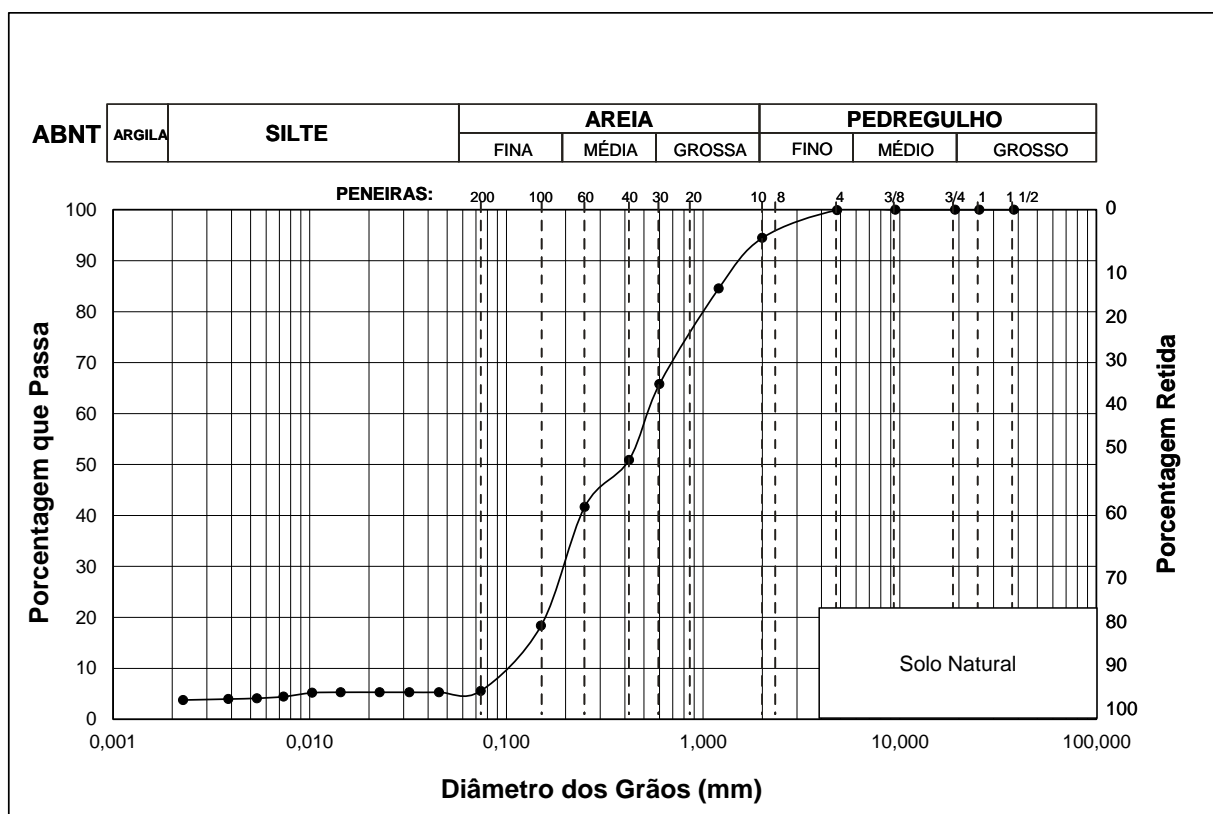


Figura 23- Análise granulométrica

Fonte: Autoria própria

O método utilizado para classificar o solo estudado foi o *Unified Soil Classification System (USCS)*, criado por Casagrande em conjunto com as forças armadas dos Estados Unidos da América. A parte inicial do método consiste na classificação da graduação grossa do solo, divididos assim em graduação grossa, materiais que apresentam 50% ou mais retidos na peneira de 0,075mm; graduação fina, materiais que apresentam 50% ou mais de grãos que passam a peneira de mesma abertura; e por último, solos orgânicos.

Baseado neste sistema de classificação, a maioria do solo ensaiado se caracteriza como solo de granulometria grossa, mais especificamente areia. Entretanto, de acordo com o *USCS*, a porcentagem passante da peneira 0,075mm apresentou porcentagem maior de 5%, havendo então material fino. Com base nesta classificação, o solo coletado e no qual foram realizados os ensaios é classificado como areia siltosa mal graduada (SP-SM). Os valores de porcentagem passada de acordo com a abertura das peneiras encontram-se na tabela 2.

**Tabela 2- Porcentagem passante por peneira**

Peneiras # (mm)	Percentual passante (%)	Classificação
50	100,00%	PEDREGULHO
38	100,00%	
25	100,00%	
19	100,00%	
9,5	100,00%	
4,8	99,92%	
2	94,39%	
1,2	89,48%	AREIA
0,6	69,63%	
0,42	53,86%	
0,25	44,12%	
0,15	19,44%	
0,075	5,89%	
Fundo	0,00%	ARGILA E SILTE

Fonte: Autoria própria

A tabela 3 mostra os resultados obtidos para os ensaios de Limite de Atterberg. Percebe-se que há influência do silte no solo coletado devido aos valores relativamente altos de índice de plasticidade.



Tabela 3- Limites de Atterberg

ENSAIO	RESULTADO
LIMITE DE LIQUIDEZ	48,94
LIMITE DE PLASTICIDADE	28,93
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	20,02

Fonte: Autoria própria

Outro ensaio realizado em laboratório foi de compactação de próctor, de acordo com a NBR- 7182. O gráfico obtido através dos ensaios está demonstrado na Figura 24. O ensaio foi executado apenas com energia de compactação normal.

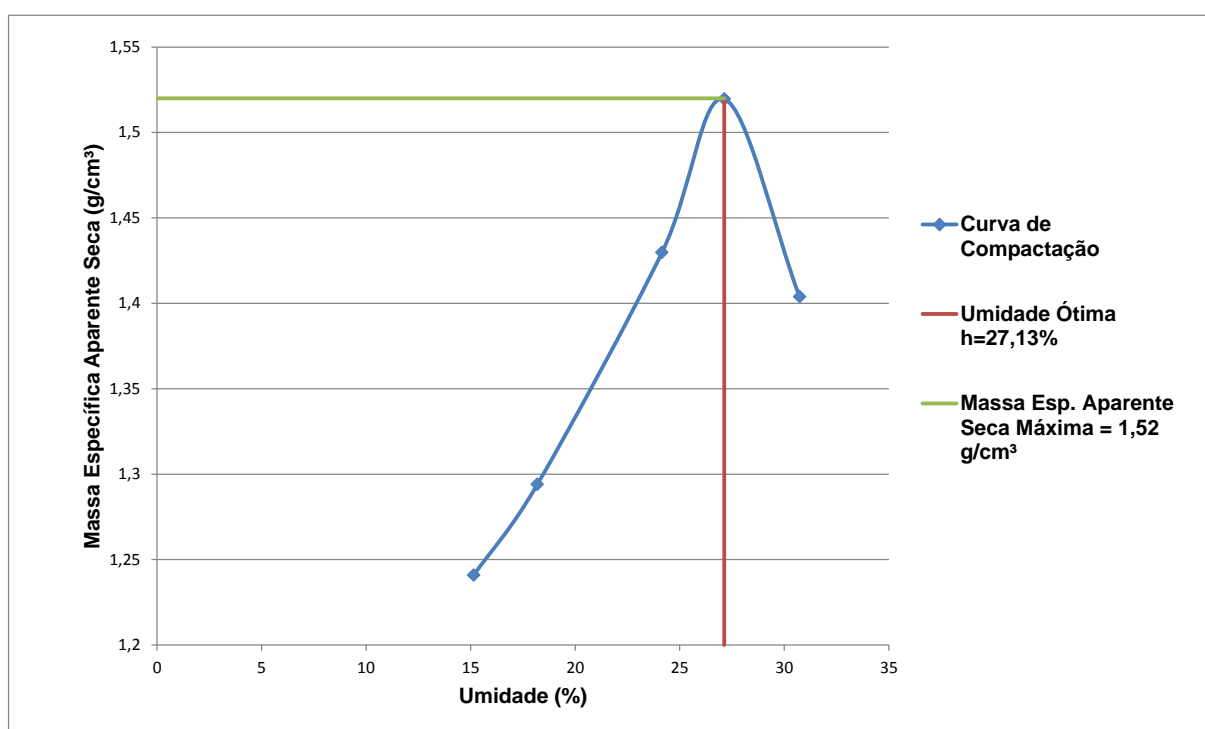


Figura 24- Gráfico de compactação

Fonte: Autoria própria

Observa-se na Figura 24 o ponto de umidade ótima para obtenção da massa específica aparente seca máxima para este solo, os valores correspondem respectivamente a 27,13% e  $1,52 \text{ g/cm}^3$ .

Logo após a compactação, o corpo de prova foi submetido ao ensaio DCP. Dessa maneira foram obtidos diferentes valores de DN (cm/golpe) para cada diferente ponto de umidade, expostos na tabela 4 juntamente com os valores de massa específica aparente seca.

O corpo de prova cinco (CP5) foi moldado apresentando umidade ótima, portanto o DN apresentado por ele é denominado de DNref (DN referência), e foi obtido uma importância de 3,3cm/golpe. Na Figura 25 observam-se as curvas obtidas após o ensaio DCP em cada corpo de prova.

**Tabela 4- Resultados Umidade, MEAS e DN**

CP	1	2	7	5	6
UMIDADE (%)	15,14%	18,19%	24,15%	27,13%	30,73%
MASSA ESP. APARENTE SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1,24	1,29	1,43	1,52	1,40
DN (cm/golpe)	1,88	0,90	1,57	3,30	8,10

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto da tabela 4, os corpos de prova com teor de umidade abaixo da umidade ótima, ou seja, no ramo seco CP (1,2,7), obtiveram taxas de penetração (DN), menores se comparados aos valores obtidos para os outros corpos de prova CP (5,6).

Os corpos de prova CP3 e CP4 foram eliminados da análise por ter havido erros no momento da execução do ensaio de compactação, desta maneira não sendo representativos nos resultados expostos nesta seção.

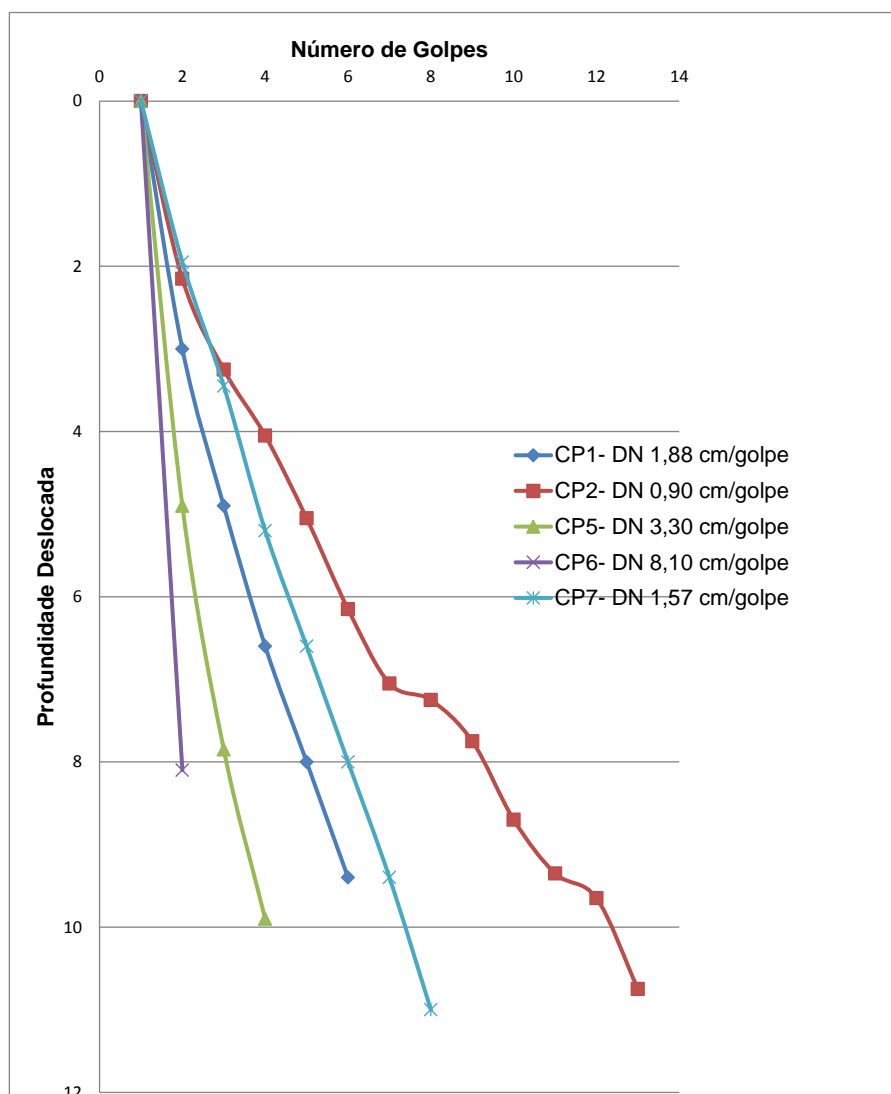


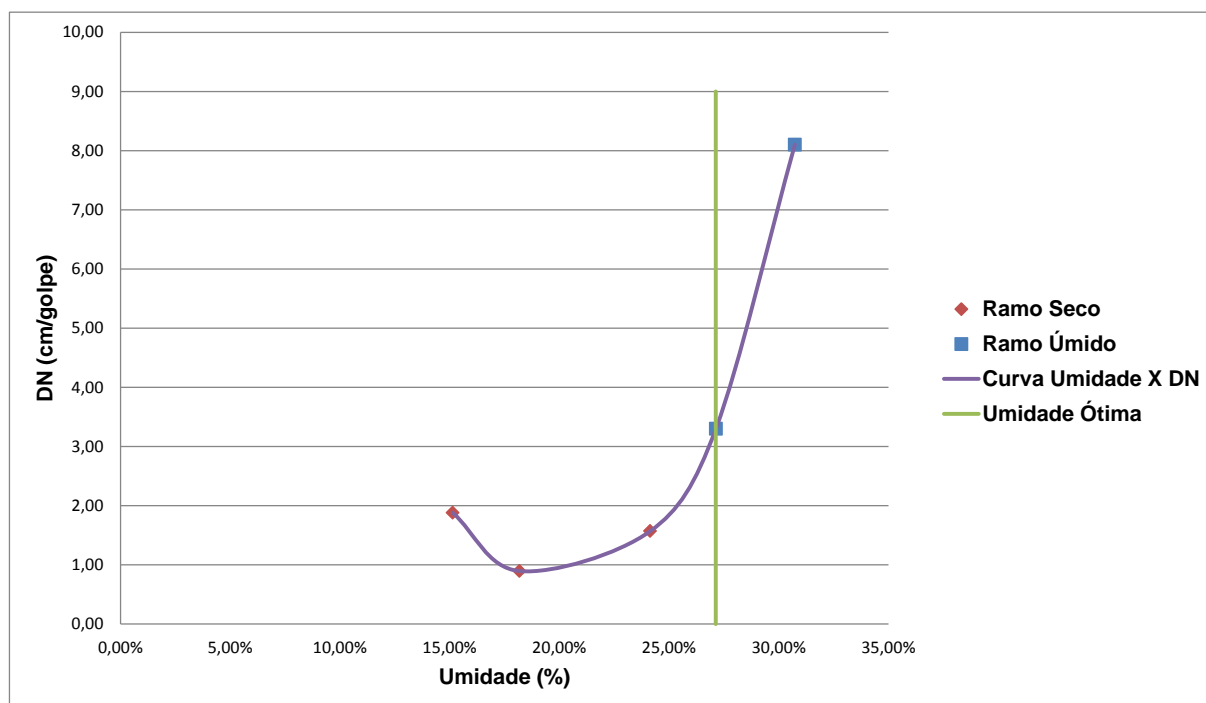
Figura 25- Gráfico DCP laboratorial

Fonte: Autorial Própria

Na tabela 4, é possível observar a pequena variação existente no valor de DN para os corpos de prova ensaiados no ramo seco. Observando somente a variação de DN, poder-se-ia concluir que o ponto representado pelo CP2 estaria próximo da melhor condição de compactação, o que não traduz o que foi observado através da Curva de Compactação. Isto ocorre, pois o DN é influenciado, dentre outros fatores, fortemente pelo teor de umidade do solo. Portanto, devido a esta razão, não se pode correlacionar friamente o valor do DN com o Grau de Compactação de um solo sem levar em conta seu teor de umidade.

Essa verificação foi também notada pela pesquisadora Alves (2002). Contudo, como a mesma pesquisadora salientou, há um ponto nesta curva de correlação o qual apresenta uma grande variação de DN, este ponto é o ponto de

umidade ótima. Essa relação pode ser mais bem compreendida através do gráfico exposto na Figura 26.



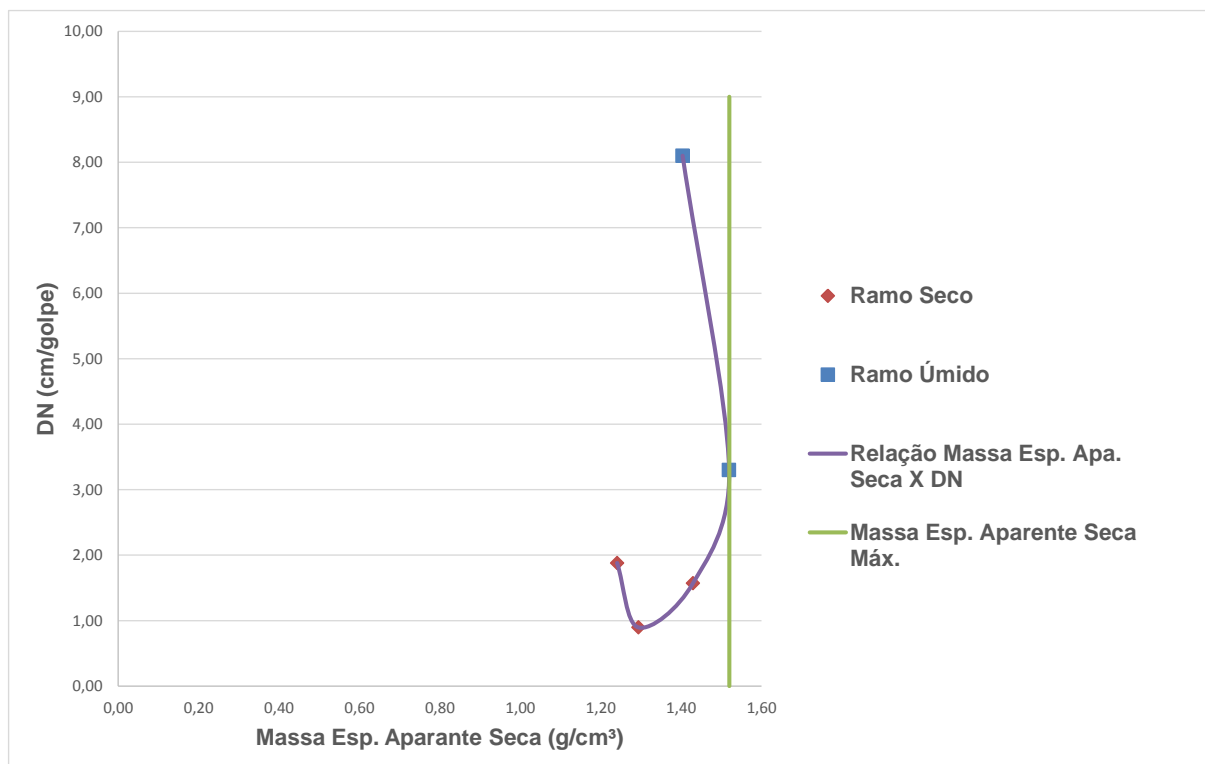
**Figura 26- Correlação Umidade X DN**

Fonte: Autoria própria

Os pontos abaixo da umidade ótima, representados na cor vermelha apresentaram um valor de DN variando entre 0,9 cm/golpe e 2 cm/golpe. Variação relativamente pequena se comparado com os pontos ensaiados acima da umidade ótima, representados pela coloração azul. De acordo com o ensaio, estes pontos azuis apresentaram variação de 3 cm/golpe até 8 cm/golpe.

Nota-se também que o ponto de inflexão da curva coincide com o ponto de umidade ótima. Isso pode ser explicado pela água presente nos vazios do corpo de prova. A água abaixo do teor de umidade ótima não auxilia na penetração do DCP, por outro lado, acima da umidade ótima, a água funciona como um “óleo lubrificante” para o cone de penetração dinâmica, resultando dessa maneira em uma maior razão de distância penetrada por golpe executado.

Outra relação passível de ser feita é a relação massa específica aparente seca (MEAS) com os valores de DN. Esta relação pode ser vista na Figura 27.



**Figura 27- Correlação MEAS X DN**

**Fonte: Autoria própria**

Esta correlação, tal como a correlação de umidade por DN, demonstra que o aumento da MEAS dentro da ramificação seca não resulta numa variação grande de DN. Entretanto, ao entrar na ramificação úmida, de acordo com que se aumentam os valores de MEAS, há um aumento do DN.

A correlação verificada na figura 25 também foi observada pela autora Alves (2002), e segundo a pesquisadora, uma forma de se realizar um controle tecnológico em campo seria com base nos resultados de DN e também nos resultados de umidade.

De acordo com Alves (2002) e o que foi apresentado aqui, a determinação da umidade possui um papel importante no controle de compactação através do DCP. A obtenção de valores de DN baixos não necessariamente representam boas áreas compactadas, como pode ser visto no gráfico. Por isso, a determinação da umidade torna-se importante para o controle de execução.

## 4.2 ANÁLISE DE RESULTADOS *IN SITU*

Após realização dos ensaios laboratoriais passou-se para a realização de ensaios em campo. Os ensaios que compõem a metodologia *in situ* são o frasco de areia e o DCP.

Primeiramente foram realizados os ensaios DCP. O estacionamento possui três setores, cada um deles em uma cota. Com base nessa setorização criada, foram feitos os ensaios DCP. Foram realizados 24 ensaios no setor três (S3) e no setor dois (S2), e 19 ensaios no setor um (S1). Em cada um dos pontos, além da realização do DCP, foi retirada uma amostra de solo para obtenção do teor de umidade do local.

A partir disso, é possível elaborar um gráfico, representado pela Figura 28, o qual relaciona os valores de DN do estacionamento com o DNref. Na Figura 28 estão expostos os resultados de DN para o setor 1 (S1).

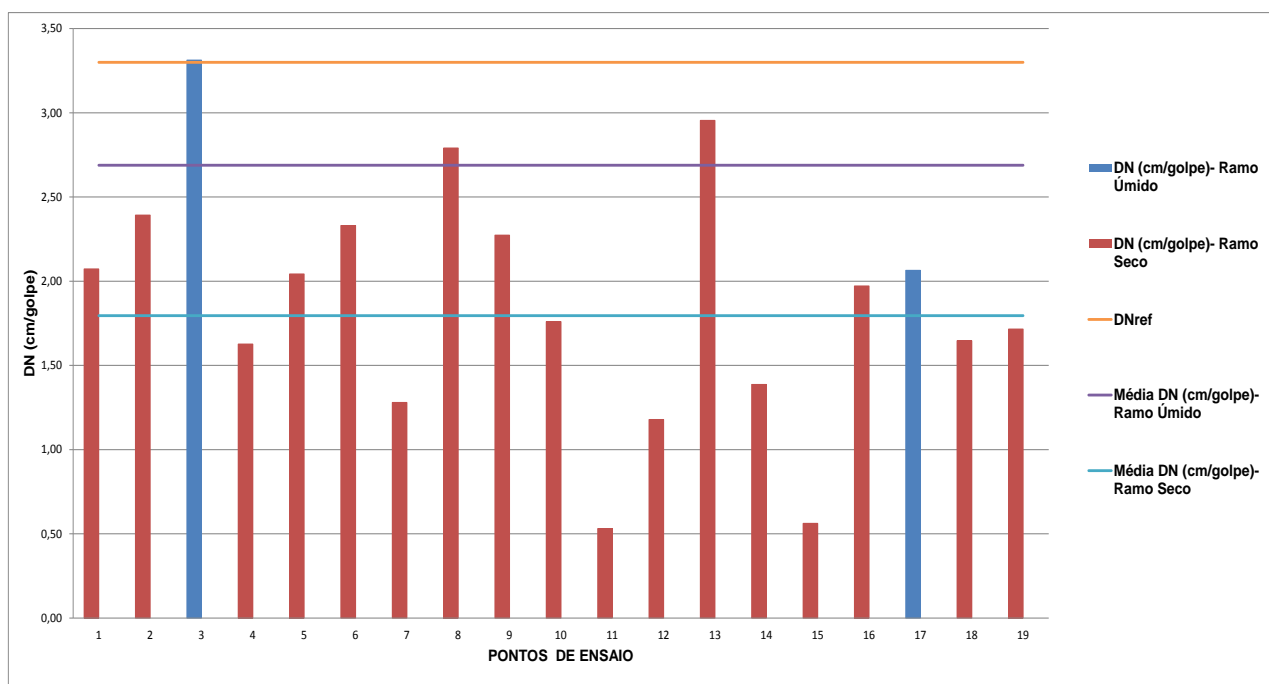


Figura 28- Gráfico DNref X DN *in situ*

Fonte: Autoria própria

Os pontos em que foi constatado umidade abaixo da umidade ótima, ou seja, na ramificação seca, estão representados em vermelho na Figura 28. Por outro lado, os pontos na ramificação úmida foram pintados de azul. Além dos resultados

singulares de cada ponto, o gráfico também possui a média dos resultados do ensaio DCP em campo separados para o ramo úmido e para o ramo seco.

De acordo com os resultados expressados no gráfico, é possível constatar que o solo seco apresentar valores de DN médios menores, tal como foi observado nos resultados laboratoriais, e demonstrado na Figura 26 e 27.

Em alguns dos pontos onde se foi realizado o ensaio de penetração também foi feito o ensaio de frasco de areia. O procedimento foi seguido conforme a norma DNER MR- 092/94. Não foram feitos ensaios em todos os pontos do ensaio DCP por não haver tempo hábil para isso neste projeto de pesquisa.

#### 4.3 RELAÇÃO DE RESULTADOS LABORATORIAIS E *IN SITU*

Com base nos valores de massa específica aparente seca calculados através do ensaio de compactação é possível se obter os valores de GC (%). Este valor de grau de compactação é adquirido através da divisão do valor de massa específica seca de cada corpo de prova pelo valor de massa específica aparente seca máxima, neste caso 1,52 g/cm<sup>3</sup>. Estes valores são designados como grau de compactação de calibração ( $GC_{calib}$ ).

A tabela 5 expõe os resultados de grau de compactação de calibração calculados.

**Tabela 5- Resultado GC calib**

CP	1	2	7	5	6
UMIDADE (%)	15,14%	18,19%	24,15%	27,13%	30,73%
MASSA ESP. APARENTE SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1,24	1,29	1,43	1,52	1,40
DN (cm/golpe)	1,88	0,90	1,57	3,30	8,10
GC calib	0,82	0,85	0,94	1,00	0,92

Fonte: Autoria própria

Partindo dos resultados de DN e  $GC_{calib}$  cria se um gráfico de correlação dos resultados, representados pela Figura 29.

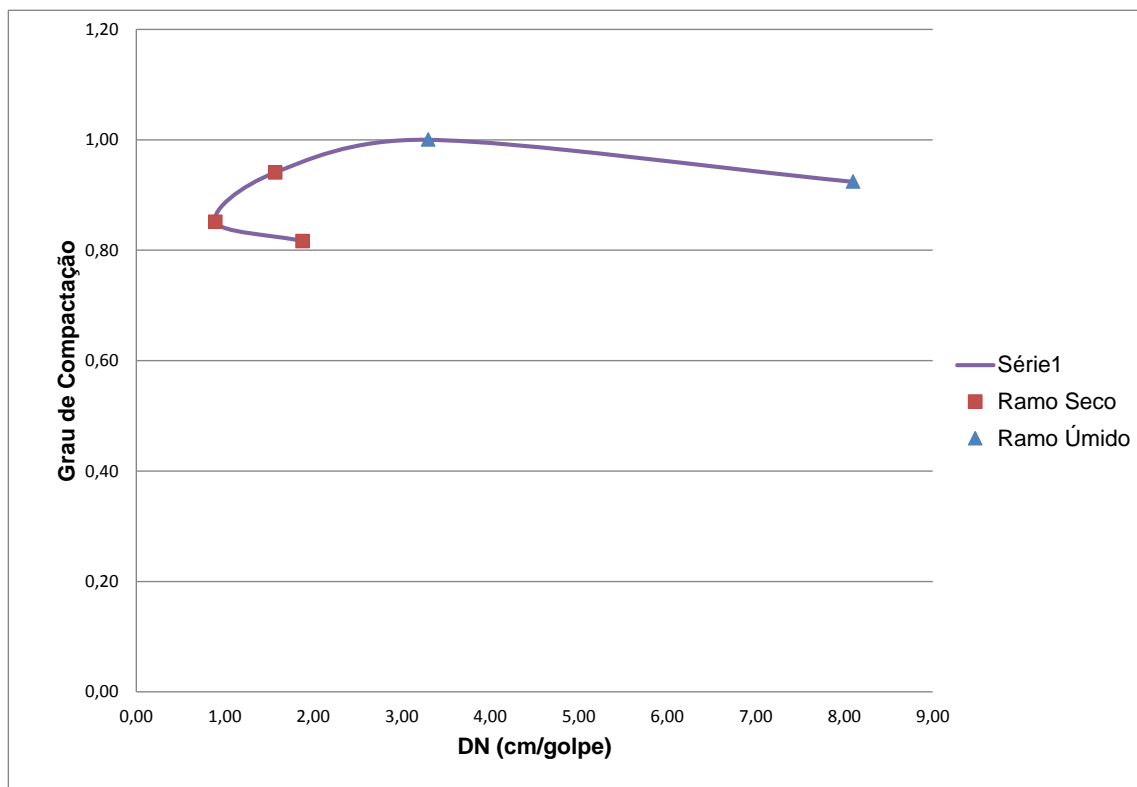


Figura 29- Gráfico DN (cm/golpe) X GC(%)

Fonte: Autoria própria

Como a média da umidade encontrada em *in situ* ficou na casa dos 26%, optou-se em determinar uma faixa de análise da curva de calibração demonstrada na Figura 29. Determinou-se que a faixa estaria compreendida entre os dois pontos de inflexão da curva sob estudo, desta forma a faixa de umidade varia entre 18,19%-27,13%. Com base nesta decisão obtém-se uma nova curva, exposta na Figura 30.



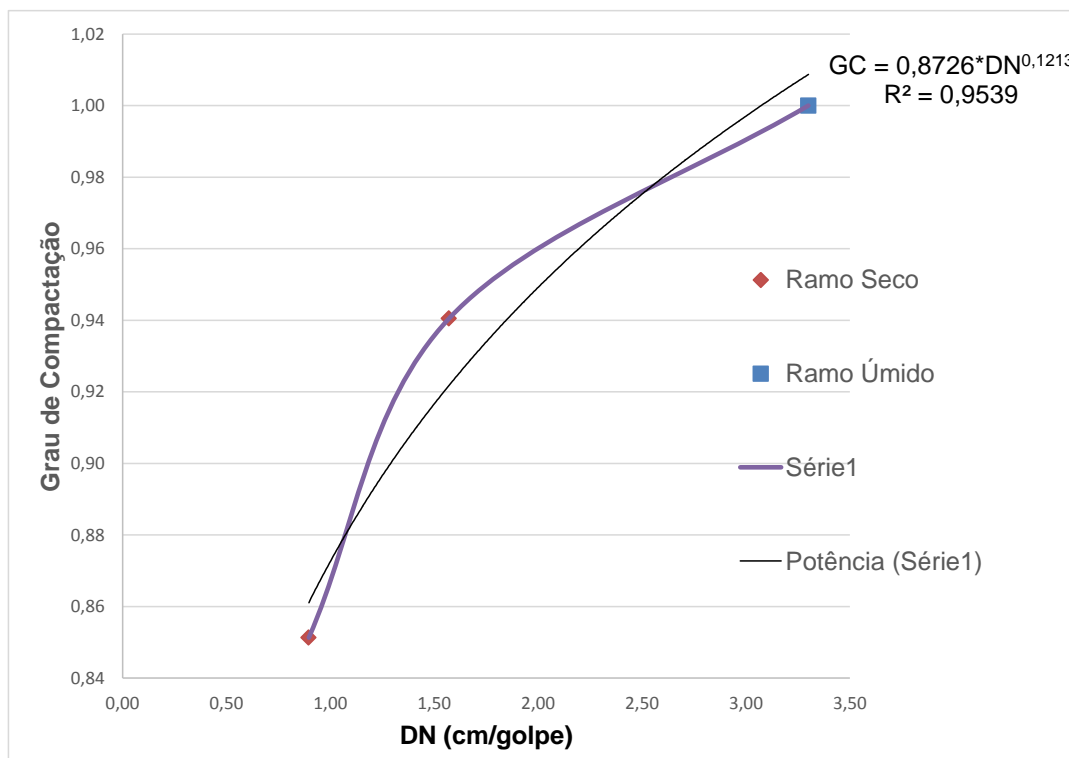


Figura 30- Gráfico de calibração GC X DN

Fonte: Autoria própria

Por meio dos pontos plotados no gráfico obtém-se uma curva de correlação. Esta curva segue uma função potencial e apresentou um grau de correlação ( $R^2$ ) satisfatório de valor 0,9539.

A curva de calibração auxilia na obtenção dos valores de GC\*\* (%) para cada ponto onde foi realizado o DCP. Optou-se por denominar GC\*\* os valores calculados através da fórmula obtida por meio do gráfico da Figura 30. Os valores obtidos por meio de cálculo são demonstrados na tabela 6.

Tabela 6- Valores de GC nos pontos do DCP

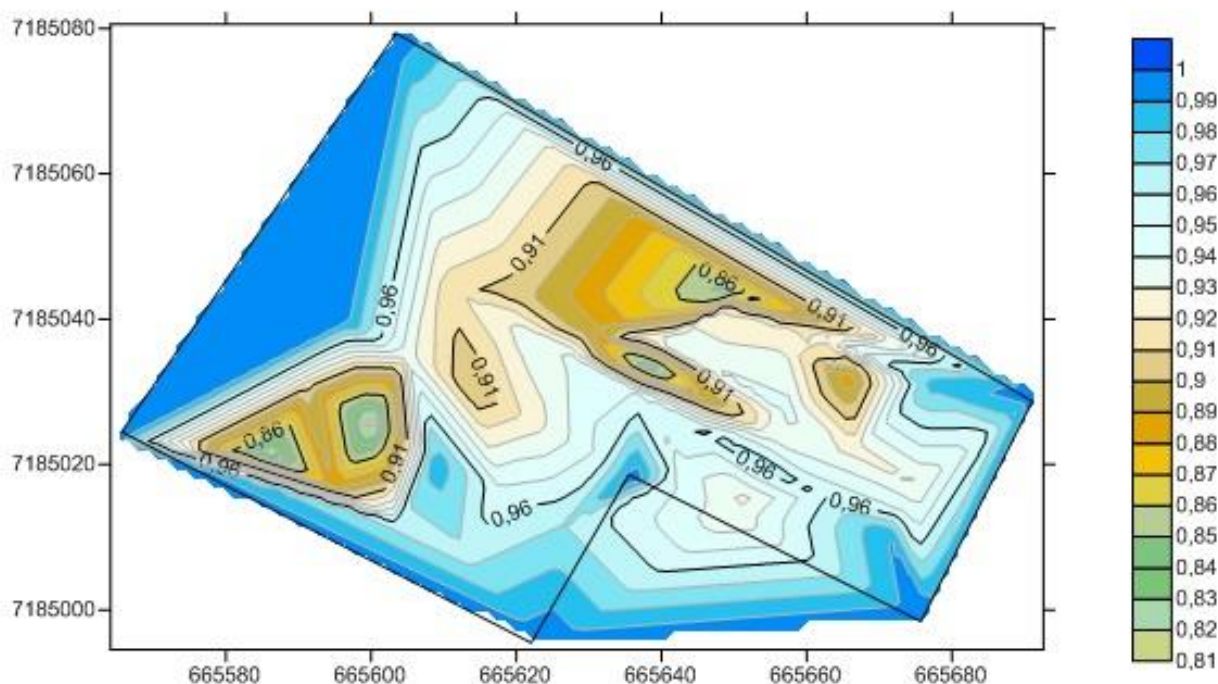
PONTOS	SETOR 1		SETOR 2		SETOR 3	
	DN	GC**(%)	DN	GC**(%)	DN	GC**(%)
1	2,07	0,953	1,67	0,928	2,49	0,975
2	2,39	0,970	1,99	0,949	2,11	0,956
3	***	0,000	2,85	0,991	***	0,000
4	1,63	0,926	1,63	0,926	2,73	0,986
5	2,04	0,952	***	0,000	***	0,000
6	2,33	0,967	2,22	0,961	***	0,000
7	1,28	0,899	1,91	0,944	***	0,000
8	2,79	0,988	1,79	0,936	1,39	0,908
9	2,27	0,964	2,32	0,966	1,07	0,880
10	1,76	0,935	1,87	0,942	***	0,000
11	0,53	0,808	1,15	0,887	1,53	0,919
12	1,18	0,890	2,24	0,962	1,65	0,927
13	2,95	0,995	1,85	0,940	***	0,000
14	1,39	0,908	0,65	0,828	0,75	0,843
15	0,56	0,814	2,02	0,950	1,52	0,918
16	1,97	0,947	***	0,000	***	0,000
17	2,06	0,953	1,22	0,894	***	0,000
18	1,65	0,927	1,89	0,943	***	0,000
19	1,72	0,932	***	0,000	***	0,000
20			1,32	0,903	***	0,000
21			1,71	0,932	***	0,000
22			***	0,000	***	0,000
23			***	0,000	***	0,000
24			1,48	0,915	***	0,000

\*\*\* valores foram eliminados da análise por estarem fora da faixa de umidade estudada, 18,19%-27,13%

Fonte: Autoria própria

A outra parte da curva, a partir da umidade 27,13%, não foi estudada por não haver sentido estimar graus de compactação para um solo acima da umidade ótima, apresentando assim uma capacidade de suporte baixa.

O gráfico que demonstra o grau de compactação do terreno é obtido por meio dos valores de GC\*\*, e pode ser visto na Figura 31.



**Figura 31- Mapa de compactação área de estudo**

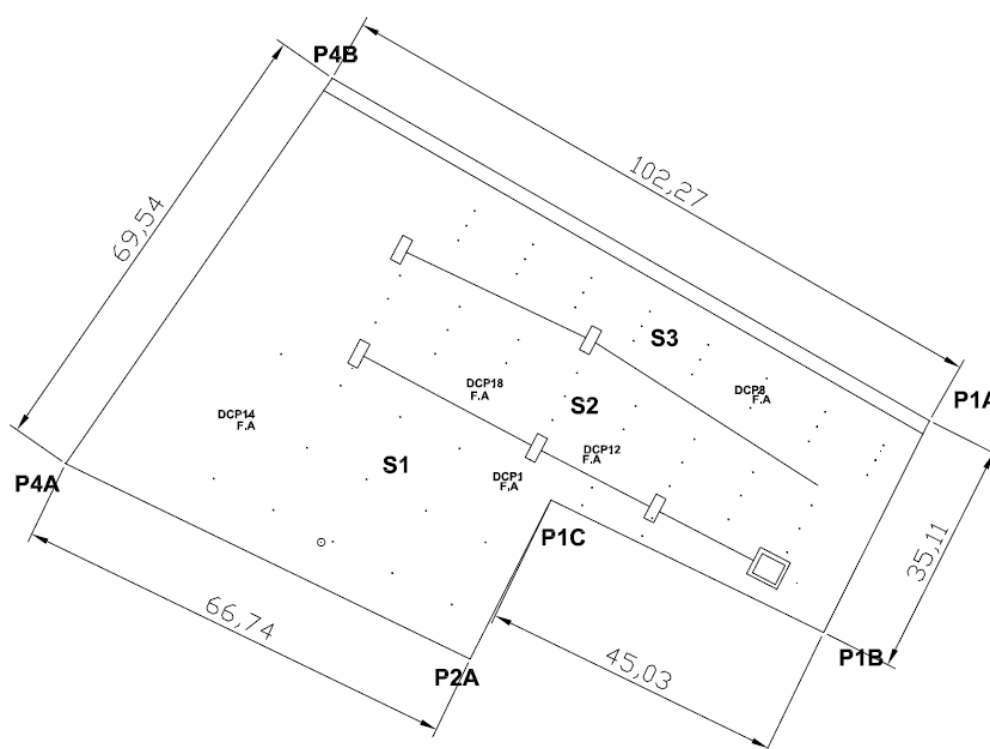
**Fonte: Autoria própria**

De acordo com a legenda da figura, os pontos mais bem compactados são representados por um azul mais escuro, enquanto os pontos menos compactados são representados por um verde claro.

Devido o software utilizado ser uma versão demo, muitas das funções são restritas, uma delas é impor o contorno da área de estudo, por causa desse motivo há indicação de compactação fora da delimitação da área do estacionamento.

O próximo passo a partir dos resultados obtidos através da fórmula foi verificá-los utilizando o ensaio de frasco de areia, a fim de calcular o grau de compactação (GC) nos pontos estudados.

Os pontos em que foram realizados os frascos de areia estão representados na Figura 32 com as letras "F.A". As massas específicas secas das areias que foram utilizadas no ensaio são de: 1,386 g/cm<sup>3</sup> e de 1,4465 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 32- Pontos de realização do frasco de areia**

Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos para os ensaios são demonstrados na tabela 7, onde os valores de umidade são representados pela letra  $h$ , a massa específica seca pelo símbolo  $\mu_3$ , o grau de compactação por GC e o valor da massa específica aparente seca da areia utilizada para este ensaio é de  $1,4465 \text{ g/cm}^3$ .

**Tabela 7- Resultados dos ensaios de frasco de areia**

ENSAIO	PONTO	SETOR	$h(\%)$	$\mu_3 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	GC (%)
F1	DCP1	1	25,46%	1,10	72,37%
F2	DCP14	1	22,76%	1,18	77,63%
F3	DCP12	2	25,17%	1,35	88,95%
F4	DCP18	2	28,50%	1,18	77,48%
F5	DCP8	3	29,36%	1,32	86,97%

Fonte: Autoria própria

Estabelecendo uma comparação entre os resultados obtidos pela fórmula elaborada neste trabalho e os valores obtidos pelo ensaio de frasco de areia, obtêm-se os valores expostos na tabela 8.

**Tabela 8- Comparativa GC (%) X GC\*\*(%)**

PONTO	SETOR	GC (%)	GC** (%)
DCP1	1	72,37%	95,33%
DCP14	1	77,63%	90,79%
DCP12	2	88,95%	96,24%
DCP18	2	77,48%	94,28%
DCP8	3	86,97%	90,84%
MÉDIA		80,68%	93,50%
DESVIO PADRÃO MÉDIO		3,14%	1,14%
ERRO TOTAL		3,14%	1,14%

Fonte: Autoria própria

Sendo os valores representados por GC\*\*(%) obtidos pela fórmula proposta neste trabalho, e os valores representados por GC(%) os valores obtidos pelo ensaio de frasco de areia, observa-se que os valores obtidos pela fórmula tendem a ser maiores, dessa forma, passando uma falsa ideia de que o solo está em um nível de compactação próxima do ideal.

Apesar disto, os resultados obtidos pelo ensaio de frasco de areia apresentam uma variação de resultados maiores, como pode ser visto de acordo com o valor do erro total calculado. Em compensação, o valor do erro total calculado para o método proposto neste trabalho é menor, representando menor variação nas leituras. Os valores da tabela 8 mostram a inconsistência dos resultados que podem ser obtidos por meio do ensaio de frasco de areia.

Outra justificativa plausível para a disparidade do solo é a heterogeneidade do aterro feito na área de estudo. No decorrer do trabalho, foram sendo encontrados diferentes tipos de solo em pontos do terreno, influenciando dessa forma nos resultados obtidos através dos experimentos. A figura 33 mostra os tipos de solos coletados durante a execução do trabalho.



**Figura 33- Solos encontrados na área de estudo**

**Fonte: Autoria própria**

Devido a estes diferentes tipos de solos encontrados na área de estudo, valores de massa específica aparente seca são encontrados, resultando em diferentes graus de compactação. Outra influência que a heterogeneidade pode causar é na resistência a penetração, dessa forma influenciado também os resultados DCP. Ou seja, os ensaios realizados em laboratório não representam em sua totalidade a área de estudo, resultando em disparidades nos resultados obtidos.

Outro aspecto que pode ter influenciado nos resultados obtidos neste trabalho, é o fato de não se conhecer a energia utilizada para compactar o solo da área de estudo. Baseado nos resultados encontrados, pode se inferir que provavelmente a energia de compactação utilizada na área de estudo foi menor do que a energia do Proctor normal. Outro ponto importante a ser considerado é que também se desconhece o teor de umidade em que se encontrava o solo da área de estudos, quando da sua compactação.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o grau de compactação de uma área de estudo por meio do emprego do DCP. Além disso, comparar valores obtidos da resistência de penetração (DN) *in situ* e laboratorial, estimar o grau de compactação da área de estudo por meio da correlação dos valores de DN e massa específica seca e representar o grau de compactação (GC) do área estudada.

A partir dos resultados obtidos e previamente discutidos conclui-se que o DCP é um equipamento de fácil manuseio, um ensaio fácil de ser executado por duas pessoas e apresenta baixa dispersão entre os resultados. Adiciona-se a isso a alta aplicabilidade já comprovada do equipamento em substituir ensaios mais custosos e que demandam mais tempo.

A análise mais detalhada da variação do DN em corpos de prova na ramificação seca e úmida foi de grande importância para a melhor compreensão da relação existente entre os índices de umidade, massa específica aparente seca e resistência a penetração. Principalmente pela verificação da baixa variação que estes índices sofrem até chegarem a valor da umidade ótima.

Partindo dos valores obtidos em laboratório, os resultados *in situ* apenas comprovaram o que foi obtido. A resistência a penetração no ramo seco é maior em média comparado a resistência a penetração no ramo úmido.

Entende-se que houve fatores que interferiram para que os resultados de grau de compactação obtidos através da metodologia proposta por este trabalho não apresentasse resultados tão próximos aos resultados obtidos pelo frasco de areia. Apesar disso, a correlação obtida em laboratório apresentou um índice considerado bom, portanto, acredita-se que a metodologia pode ser empregada, haja vista a homogeneidade do solo estudado.

Um projeto de grau de compactação pode auxiliar na visualização e, portanto no planejamento de obras de compactação, tendo como finalidade a execução de pavimentos.

Como recomendação para futuras pesquisas alavancam-se os seguintes assuntos:

- Correlação DCP e CBR para solos da formação Guabirotuba, formação típica de Curitiba-PR.

- Correlação do DN com outros índices físicos do solo
- Criação de uma metodologia utilizando o DCP para todas as etapas da execução de uma pavimentação



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, E., **Proposta Metodológica de Mapeamento Geotécnico Com o Uso da Pedologia em Solos Tropicais Visando Obras Rodoviárias**, Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Eng. Civil - UFSC, Florianópolis, 1997.

**NBR-6457**: Amostras de Solos – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR-6459**: solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR-7180**: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR-7181**: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR-7182**: solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1988.

ALVES, Anelise Beatriz Cardoso. **Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone**. Dissertação (Mestrado) - UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 171p.

ALVES, A.B.C. e TRICHÊS, G. Metodologia de Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone. **Anais do III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul**, Geosul'2002. Joinville/SC, 2002. p.203-209.

ASTM – D-6951 Standard Test Method for use of the dynamics cone penetrometer in shallow pavement applications. **ASTM International**, 2003. 7p.

BARROSO, S. H. de **Estudos dos solos da Região metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária**. 178 p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERNUCCI, L.L.B. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego.** 1995. 237 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BERTI, Carolina. **Avaliação da capacidade de suporte de solos “in situ” em obras viárias através do cone de penetração dinâmica** – Estudo experimental. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade estadual de campinas, 2005, 122 págs. Dissertação de Mestrado.

BERTI, Carolina; PAIVA, Cassio E. L. de. **Correlações entre Índices de Penetração DCP e CBR Disponíveis na Literatura.** Trabalho V-031. V Jornada Luso- Brasileiras de Pavimentos: Políticos e Tecnologias. Recife 2006

CARDOSO, A.B.; TRICHÊS, G. Utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone no Controle Tecnológico de Camadas Finais de Aterros Rodoviários e na Avaliação da sua Capacidade de Suporte. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31.,1998, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: ABPv, 1998. p. 686-698."

CARDOSO, A.C.; TRICHÊS, G. Avaliação da Capacidade de Suporte de Aterros e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI., 1998, Brasília. **Anais...** p. 649-656."

COUTINHO, João C. P. **Dimensionamento de Pavimento Asfáltico: comparação do método do DNER com método mecanístico-empírico aplicado a um trecho.** Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Ouro Preto, 2011. 214p.

DAL PAI, M. Claudia. **Investigação Geotécnica de Vias Urbanas Empregando o Método das Pastilhas e Penetrômetro Dinâmica de Cone- DCP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 253p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - MÉTODO DE ENSAIO. **DNER-ME 213/94**. Solos – Determinação do Teor de Umidade. Rio de Janeiro.3p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - MÉTODO DE ENSAIO. **DNER-ME 93/94**. Solos – Determinação da Densidade Real. Rio de Janeiro. 4p.

FORTES R.M.; **CAPACIDADE DE SUPORTE DE SOLO CBR**, Disponível em: [http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/4\\_CAPACIDADE\\_DE\\_SUPORTE\\_CBR.pdf](http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/4_CAPACIDADE_DE_SUPORTE_CBR.pdf) , 2002 Acessado em 2015

HARRISON, J.A. **Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils**. Australian Road Research, 16(2). June, 1986. p.130-136

HEAD, K.H. **Soil Technicians' Handbook**. London: Pentech Press Limited Publishens.1989.

HEYN, A.T. Aplicações de Penetrômetro Dinâmico de Ponta Cônica na Avaliação de Estruturas de Pavimento. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 21.,1986, Salvador. **Anais...**Rio de Janeiro: ABPv, 1986. p.139-149

HERRICK, J.E., T.L. JONES. 2002. **A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance**. Soil Science Society of America Journal 66: 1320-1324

HOLTZ, R.D; KOVACS, W.D. **An introduction to Geotechnical Engineering**. Prentice-Hall. 1981

JAYAWICKRAMA, PRIYANTHA W., ARUNA L. AMARASIRI, PEDRO E. REGINO (2000): **Use of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to control compaction of granular fill**. Transportation Research Record No.1736, Journal of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp.71-80.

KARUNAPREMA, K.A.K.; EDIRISINGHE, A.G.H.J. A Laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer. In: University Peradenya, Sri Lanka. **EJGE**, 2002.

KIM, H; PREZZI, M; SALGADO, R. **Use of Dynamic Cone Penetration and Clegg Hammer Tests for Quality Control of Roadway Compaction and Construction**. Joint Transportation Research Program- Purdue University. 2010.249p

KLEYN, E.G.; SAVAGE, P.E. The Application of the Pavement DCP to Determine the Bearing Properties and Performance of Road Pavements. In: **International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields**, Trondheim, Norway, 1982.

MARSON, L.A. **Correlações entre ensaios CBR e mini-CBR para solos lateríticos de textura fina**. 139p. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica , São José dos Campos, 2004

MEDINA, J. **Notas históricas acerca da Mecânica dos Pavimentos** - In: 23ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Florianópolis, SC, 1988. V. 01 p. 330-345.

MELO FILHO, H. B. (2007). **Aplicação do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) como alternativa para fundações rasas**. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grade, 2007, 128p.

MILLÉO, I. A. de Faria. **Análise de especificações de aterro e correlações entre CBR e capacidade de carga em solos compactados**. 2012. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná- UFPR, Curitiba, 2012. 175f.

MORAES, Monique Torrano Machado. **Correlação empírica entre os ensaios de DCP e CBR para solo típico da região de Ilha Solteira** .2013. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil, Unesp, Ilha Solteira, 2013, 38p.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 188p.

OLIVEIRA, L.E.de.; VERTAMATTI, E. Utilização do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) na Avaliação Estrutural de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31.,1998, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: ABPv, 1998. p.616-628."

PEREZ, João Ricardo Teixeira. **Estudo Experimental da Repetibilidade entre os ensaios de CBR e DCP**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil, - UNESP, Ilha Solteira, 2012. 36p.

PINTO, C. S. (2000). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo, SP.

PROCTOR, R. R. (1993). **Fundamental principles of soil compaction**. *Engineering News Records*, v.111, n.10, p.286-289.

ROAD RESEARCH LABORATORY. Mecânica dos Solos para Engenheiros Rodoviários. Tradução: SILVEIRA, E.B.; SILVEIRA, A. Volume II. Inglaterra: Ed. Edgard. Blücher. p. 419-468.

RODRIGUEZ, A.R; CASTILLO, D. del. **La Ingenieria de Suelos em las Vias Terrestres – Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas**. México: Editorial Limusa, 1976.

SASKATCHEWAN HIGHWAYS AND TRANSPORTATION. Standard Test Procedures Manual. **STP 240-20**.

SCHIMTZ, C.S. **Análise do Comportamento Estrutural de Sistemas de Drenagem Viária Constituídos por Tubos Plásticos Flexíveis envolvidos com Areia**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. EPUSP, 2002.

SILVA JÚNIOR, F.A. da, **Cone de Penetração Dinâmica (DCP): Uma Alternativa ao Dimensionamento de Pavimentos Urbanos**. 109p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil)– Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande, 2005.

SOUZA JUNIOR, J. D. (2005). **O Efeito da Energia de Compactação em Propriedades dos Solos Utilizados na Pavimentação do Estado do Ceará.** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 211 fl.

SOUZA, M.L.de. Pavimentação Rodoviária. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. MT-DNER-IPT. 1980.

SOUZA, R. A. de. **Estudo Comparativo dos Ensaios de CBR e mini-CBR para solos de Uberlândia- MG.** 2007. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Uberlândia. 114p.

TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. Avaliação da Capacidade de Aterros e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone e a Viga Benkelman. In: TRANSPORTE EM TRANSFORMAÇÃO, IV. Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT – Produção Acadêmica 1999. **Anais...** Makron Books, 1999. p. 35-49."

TURNBULL, W. J.; FOSTER, C. R.; AHLVIN, R. G. **Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume**, 1962

VERTAMATTI, E.; OLIVEIRA, L.E.de. Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego Executado com Solos Transicionais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO, 1., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 326-344."

ZUPPOLINI, A. N. **Pavimentação urbana no Estado de São Paulo. Novas considerações.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos/SP, 1994.

**APÊNDICE A**

---

**RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO**

## TEOR DE UMIDADE

ENSAIO DO TEOR DE UMIDADE/ DNER-ME-213/94							
Item	Id	Tara (g)	Massa Inicial (g) TARA	Massa Inicial (g)	Massa Final (g) TARA	Massa Final (g)	Teor de Umidade (%)
1	A027	7,88	16,61	8,73	14,7	6,82	28,01
2	A024	7,88	14,06	6,18	12,51	4,63	33,48
3	A064	7,93	15,88	7,95	14,2	6,27	26,79
4	A045	6,21	12,24	6,03	10,74	4,53	33,11
5	S51-4-2	7,53	14,28	6,75	12,6	5,07	33,14
6	E001	7,86	15,08	7,22	13,33	5,47	31,99
<b>RESULTADO MÉDIO TEOR DE UMIDADE "IN SITU"</b>							<b>31,09</b>



## LIMITES DE ATTERBERG

- LIMITE DE LIQUIDEZ**

LIMITE DE LIQUIDEZ/ NBR-6459							
ITEM	TARA (g)	TARA+SOLO INICIAL(g)	Massa Inicial Solo (g)	TARA+SOLO FINAL (g)	Massa Final Solo (g)	GOLPES (qte)	UMIDADE (%)
REC2	431,43	540,74	109,31	-	-	-	-
A018	6,7	9,34	2,64	8,53	1,83	34	44,26
A063	7,97	9,67	1,7	9,14	1,17	28	45,30
A084	6,49	7,73	1,24	7,33	0,84	26	47,62
A096	7,26	9,3	2,04	8,57	1,31	16	55,73
Valor do limite de Liquidez segundo NBR- 6459						25	48,94

- LIMITE DE PLASTICIDADE**

LIMITE DE PLASTICIDADE/ NBR-7180						
ITEM	TARA (g)	TARA+SOLO (g)	Massa Inicial Solo (g)	TARA+SOLO FINAL (g)	Massa Final Solo (g)	UMIDADE (%)
REC2	412,52	493,65	81,13	-	-	-
E014	7,83	8,66	0,83	8,46	0,63	31,75
E016	6,23	6,72	0,49	6,63	0,4	22,50
E019	7,65	8,75	1,1	8,48	0,83	32,53
Valor do Limite de Plasticidade segundo NBR- 7180						28,93

- ÍNDICE DE PLASTICIDADE**

ENSAIO	RESULTADO
LIMITE DE LIQUIDEZ	48,94
LIMITE DE PLASTICIDADE	28,93
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	20,02

## DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

DENSIDADE REAL DO SOLO (Gs)/ DNER-ME 093/94										
ID	PICN. (P1)	PICN.+SOLO (P2)	PICN.+SOLO+ÁGUA FINAL (P3)	PICN.+ÁGUA (P4)	MASSA SOLO	TEMPERATURA DO BANHO (PIC+SOLO+ÁGUA)	TEMPERATURA DO BANHO (PIC+ÁGUA)	DENSIDADE REAL DO SOLO	DENSIDADE REAL DO SOLO CORRIGIDO- K=0,9989	OBSERVAÇÃO
1	74,05	84,06	179,49	172,93	10,01	24,9	24,9	2,9014	2,8983	DE ACORDO COM O ITEM 6.3 DA NORMA, OS DOIS VALORES QUE REPRESENTAM A DENSIDADE DO SOLO ESTÃO PINTADOS DE LARANJA.
3	69,14	100,92	188,04	168,08	31,78	24,9	2,6887	2,6857		
4	63,56	73,61	168,89	162,7	10,05	24,9	2,6036	2,6008		
5	70,39	93,51	183,88	169,47	23,12	24,9	2,6544	2,6515		
13	43,09	53,7	148,97	142,31	10,61	24,9	2,6861	2,6831		
<b>RESULTADO MÉDIO DA DENSIDADE REAL DO SOLO- (DNER-ME 093/94)</b>								<b>2,6874</b>	<b>2,6844</b>	

**APÊNDICE B**

---

**RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS *IN SITU***



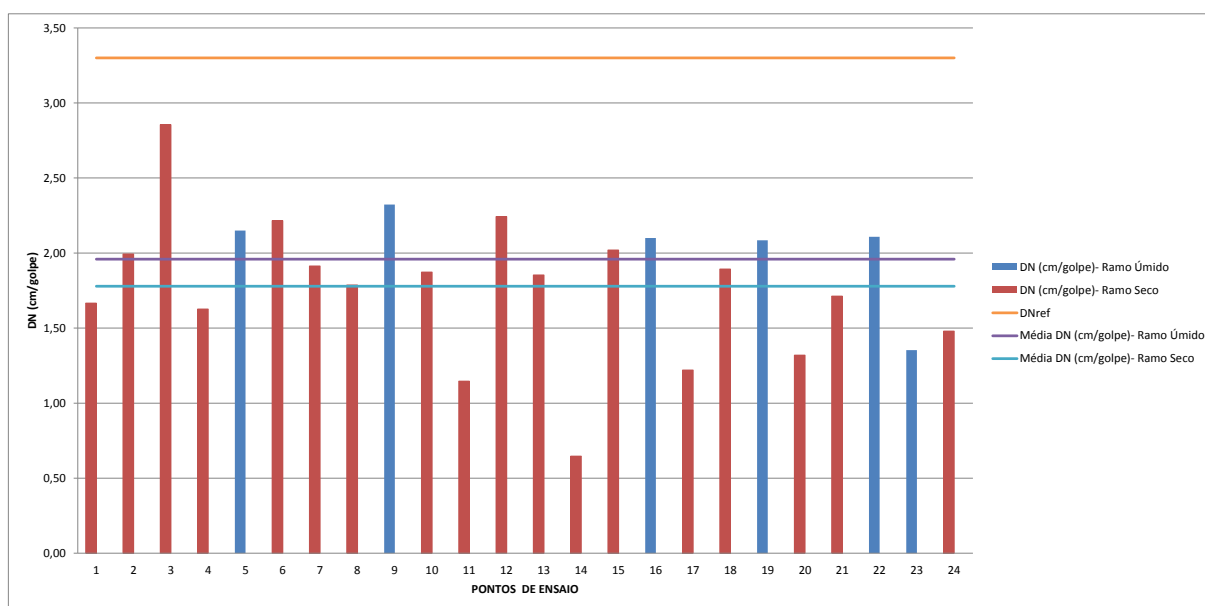
<b>LOCALIZAÇÃO X,Y DE PONTOS DO ENSAIO DCP</b>		
<b>SETOR 1</b>		
<b>PONTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	665.631,562	7.185.021,037
<b>2</b>	665.626,555	7.185.011,808
<b>3</b>	665.621,547	7.185.002,578
<b>4</b>	665.622,718	7.185.025,704
<b>5</b>	665.617,710	7.185.016,475
<b>6</b>	665.612,702	7.185.007,245
<b>7</b>	665.613,873	7.185.030,371
<b>8</b>	665.608,865	7.185.021,142
<b>9</b>	665.603,857	7.185.011,912
<b>10</b>	665.605,028	7.185.035,038
<b>11</b>	665.600,020	7.185.025,809
<b>12</b>	665.595,012	7.185.016,579
<b>13</b>	665.596,183	7.185.039,706
<b>14</b>	665.591,175	7.185.030,476
<b>15</b>	665.586,167	7.185.021,246
<b>16</b>	665.642,399	7.185.019,920
<b>17</b>	665.640,929	7.185.017,297
<b>18</b>	665.651,316	7.185.015,377
<b>19</b>	665.649,849	7.185.012,758

<b>LOCALIZAÇÃO X,Y DE PONTOS DO ENSAIO DCP</b>		
<b>SETOR 2</b>		
<b>PONTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	665.675,024	7.185.017,302
2	665.673,241	7.185.013,841
3	665.671,396	7.185.010,310
4	665.666,322	7.185.022,190
5	665.664,521	7.185.018,744
6	665.662,675	7.185.015,214
7	665.657,601	7.185.027,093
8	665.655,800	7.185.023,648
9	665.653,955	7.185.020,118
10	665.648,881	7.185.031,997
11	665.647,080	7.185.028,552
12	665.645,234	7.185.025,022
13	665.640,160	7.185.036,901
14	665.638,359	7.185.033,456
15	665.636,514	7.185.029,925
16	665.631,440	7.185.041,805
17	665.629,639	7.185.038,359
18	665.627,794	7.185.034,829
19	665.622,719	7.185.046,709
20	665.620,918	7.185.043,263
21	665.619,073	7.185.039,733
22	665.613,857	7.185.051,341
23	665.612,056	7.185.047,896
24	665.610,211	7.185.044,366

<b>LOCALIZAÇÃO X,Y DE PONTOS DO ENSAIO DCP</b>		
<b>SETOR 3</b>		
<b>PONTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	665.685,735	7.185.026,162
2	665.684,526	7.185.023,974
3	665.683,318	7.185.021,785
4	665.677,049	7.185.031,130
5	665.675,841	7.185.028,941
6	665.674,632	7.185.026,753
7	665.668,363	7.185.036,097
8	665.667,155	7.185.033,908
9	665.665,946	7.185.031,720
10	665.659,677	7.185.041,064
11	665.658,469	7.185.038,875
12	665.657,260	7.185.036,687
13	665.650,991	7.185.046,031
14	665.649,783	7.185.043,843
15	665.648,574	7.185.041,654
16	665.642,305	7.185.050,998
17	665.641,097	7.185.048,810
18	665.639,888	7.185.046,621
19	665.633,619	7.185.055,966
20	665.632,411	7.185.053,777
21	665.631,202	7.185.051,588
22	665.624,933	7.185.060,933
23	665.623,725	7.185.058,744
24	665.622,516	7.185.056,556

## ENSAIO DCP SETOR 2

DCP "IN SITU"- SETOR N°2																								
PONTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L1	2,8	1,4	2,7	2,5	2,8	3,5	1,7	1,4	2,4	1,2	1,2	2,5	1,4	1,5	3,1	2,3	1,7	2,4	4	1,8	2	2,9	2,3	1,7
L2	5	3,1	5,3	5,5	5,4	6,2	3,6	2,6	4,9	3,2	2,4	5,7	2,7	2,9	6	4,6	3,3	4,9	6,5	2,6	3,6	5,8	4,2	3,6
L3	6,9	5,1	7,9	7,2	8,1	8,9	5,7	3,6	7,3	4,8	3,5	8,7	4,4	4,4	8,5	6,6	4,7	7,2	8,8	3,6	5,1	8,2	5,9	5,4
L4	8,6	7	10,4	9,4	10,5	11,3	7,9	4,8	9,7	6,6	4,8	11,4	6,2	5,5	10,9	8,7	6	9,3	11,7	4,8	6,6	10,4	7,4	6,9
L5	10,2	9	12,9	10,2	12,8	13,6	10	6	12,5	8,4	6,3	14,1	8,1	6	13,2	10,8	7,4	11,3	13,2	6	8	12,4	8,7	8,3
L6	11,6	11	15,6	12,9	15,2	15,6	12,1	7,5	15,3	10,1	7,8	16,7	9,9	6,4	15,2	12,9	8,9	13,4	15,2	7,4	9,7	14,4	10,2	9,6
L7	13,2	13	18,5	14,6	17,3	17,7	14,4	9,7	17,6	12	9,1	19	11,6	7,6	17,2	14,9	10,2	15,4	17,2	8,7	11,5	16,5	11,5	10,9
L8	14,8	15,1	21,6	16,2	19,3	19,7	16,5	12,2	19,9	13,7	9,9	21,2	13,5	8,6	19	16,9	11,5	17,4	19	9,9	13,2	18,4	12,8	12,2
L9	16,2	17,2	14,8	17,7	21,5	21,7	18,5	14,7	22,1	15,7	10,8	23,1	15,4	10,2	20,8	19	12,9	19,1	20,8	11,3	14,9	20,3	14	13,7
L10	17,6	19,3	18,2	19,1	23,4	23,6	20,3	16,8	24,3	17,8	11,8	25	17,4	12,6	22,5	21,1	14,1	20,3	22,5	12,6	16,7	22,2	15,1	14,7
L11	19,1	21,4	31,4	20	25,4	25,7	22,1	18,8	26,3	19,8	12,7	26,6	19,3	13,6	24,1	23,2	15,3	22,5	24,1	14,1	18,6	24	16,2	16,4
L12	20,6	23,7		21,1	27	27,6	23,9	20,8	28,3	21,7	13,7	28,2	23,2	14,8	25,6	25,3	16,2	24,2	25,7	15,3	20,4	25,7	17,2	17,8
L13	22,1	25,8		22,3	28,5	28,8	25,4	22,8	30,2	23,9	14,7	29,8	24,4	16,3	27,1	27,3	16,9	25,7	27,1	16,7	22,2	27,4	18,2	19,2
L14	23,6	28		23,3	30,1		27,1	24,6		25,9	15,9	31,4	25,5	17,7	28,7	29,4	17,6	27,1		18,2	24		19,2	20,7
L15	25	29,9		24,4			28,7	26,8		28,1	17,2		27,8	19,4	30,3		18,3	28,4		19,8	25,7		20,3	22,2
L16																								
L17																								
L18																								
L19																								
L20																								
UMIDADE (%)	19,91	22,60	26,21	25,87	32,39	26,32	22,00	18,23	28,26	21,26	20,18	25,35	22,20	20,92	26,12	36,45	21,42	20,61	38,49	24,86	23,91	39,36	32,16	20,60
DN(cm/golpe)	1,67	1,99	2,85	1,63	2,15	2,22	1,91	1,79	2,32	1,87	1,15	2,24	1,85	0,65	2,02	2,10	1,22	1,89	2,08	1,32	1,71	2,11	1,35	1,48





### ENSAIO DCP SETOR 3

DCP "IN SITU"- SETOR N°3																								
PONTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L1	4	6,7	2,1	3,3	3,4	0,5	5,6	1,6	1	3,1	2	2,2	2,7	1,1	1,4	3,9	1,1	1,8	5	1,9	2,8	2,8	1,1	3
L2	8	9,2	4,5	6,4	6,3	1	9,6	3,6	2	5,7	3,9	4,4	5,1	2	3	9,3	2,3	3,5	9,5	4,1	4,6	5,7	3,2	5,4
L3	12	10,3	7	9	10,4	1,3	13,2	5,6	3,5	7,5	5,7	6,6	7,6	2,9	4,4	15,6	4,7	5,4	12,9	6,3	6,4	8,5	6,2	7,5
L4	15,3	11,2	9	12,4	14	1,6	17,9	7,3	4,5	9,7	7,6	8,8	10	3,8	6,5	19,3	7,1	7,5	15,7	8,5	8,3	11,8	8,9	9,6
L5	17,2	12,2	10,6	15,4	17,3	2	21,5	9,2	5,9	13,2	9,3	10,9	11,9	4,8	8,2	22	8,8	9,3	18,4	10,8	10	15,1	11,2	11,7
L6	18,8	13,5	12,1	18,1	20,3	2,5	24,7	10,8	7,8	16,5	10,9	13,1	14	5,8	9,9	24,5	10	11,3	20,9	12,7	11,7	18,8	13	13,5
L7	20,3	15,3	13,6	20,6	23,3	3,5	28,4	12,2	9	19,3	12,5	14,7	16,1	6,6	11,7	26,9	11,1	13,1	22,8	14,7	13,4	22,3	14,9	15,5
L8	22	17,8	15	23,2	24,8	4,7	32,4	13,1	9,8	21,5	13,9	15,9	18,1	7,2	13,7	29,1	12,3	15,1	24,7	16,5	15,1	25,9	16,5	17,1
L9	24	20,3	16,3	25,6	25,5	6	36,4	14,3	10,5	22,5	15,4	17	20,1	7,8	15,5	31,1	13,8	16,9	26,7	18	16,9	29	17,9	18,5
L10	26,2	22,6	17,6	27,8	26	7,9	15,5	11,3	23,9	16,6	18,1	22,2	8,3	17,5	15,2	18,6	28,1	19,4	18,5	33	19,2	19,7		
L11	28,4	24,6	18,9	30,3	26,5	10,9	16,7	13	26,1	18	19,7	24,3	8,8	19,4	16,4	20,4	29,6	20,6	20,4		20,5	21,1		
L12	30,4	26,3	20,2	32,8	27	12	17,7	13,9	27,9	19,3	21,7	26,2	9,3	21,4	17,6	24,6	31,3	21,8	22,3		21,7	22,3		
L13	32,4	28	21,5	27,4	13		18,7	14,5	29,4	20,5	23,2		9,8	23,3	18,8	24,9		23	24,3		23	23,7		
L14		29,6			27,9		19,5	15	30,9	21,7	24,2			24,8	19,9	27,4		24,1	26,4		24,2	25,1		
L15									32,3	22,9	24,8			25,6	20,6	29,9		25,1	28,3		25,4	26,6		
L16										33,5				26,1	21,1	31,5		26,5	29,9		26,5	27,9		
L17														26,8	21,4	32,4		27,7	31,4			27,7		
L18															27,3	21,8	33,1					29		
L19																								
L20																								
UMIDADE (%)	26,27	25,25	29,02	26,64	27,65	41,91	28,24	23,57	25,73	33,99	22,87	25,61	31,35	24,56	23,68	29,26	28,89	36,51	29,74	35,95	35,69	33,73	33,78	34,71
DN(cm/golpe)	2,49	2,11	1,65	2,73	1,99	0,42	4,04	1,39	1,07	2,09	1,53	1,65	2,18	0,75	1,52	3,46	1,21	1,84	2,61	1,63	1,85	3,30	1,61	1,74

