

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE E CONTROLE  
TECNOLÓGICO DE EXECUÇÃO DA CAMADA FINAL DE  
TERRAPLENAGEM UTILIZANDO O PENETRÔMETRO  
DINÂMICO DE CONE**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ENGENHARIA CIVIL

ANELISE BEATRIZ CARDOSO ALVES

Florianópolis, 22 de março de 2002.

# **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE E CONTROLE TECNOLÓGICO DE EXECUÇÃO DA CAMADA FINAL DE TERRAPLENAGEM UTILIZANDO O PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE**

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil.

---

Prof. Dr. Glicério Trichês (Orientador)

---

Prof. Dr. Jucilei Cordini (Coordenador do Curso)

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. PhD. Marciano Maccarini (UFSC)

---

Prof. Dr. Glaci Trevisan Santos (UFSC)

---

Dr. Nilton Valle (DER/SC)

***Aos meus pais Alfredo e Clarice***

---

## AGRADECIMENTOS

*Meus agradecimentos, sobretudo a Deus, por ter me concedido a graça de ter acesso aos estudos e me guiado para atingir este objetivo.*

*Aos meus pais Alfredo e Clarice, pelo carinho, apoio e incentivo sempre cedido, e com quem sempre posso contar.*

*Ao meu marido Cassio, pelo amor e estímulo, e principalmente pela compreensão e paciência de me esperar, para a conclusão deste trabalho.*

*Ao meu orientador Professor Glicério Trichês, pela excelente orientação e pelos ensinamentos e estímulo para que este trabalho obtivesse êxito e, também pela paciência.*

*As professoras Glaci Trevisan Santos e Regina Davison Dias e os Professores Marciano Maccarini e Antônio Fortunato Marcon, que desde o início da minha graduação, me estimularam e me fizeram tomar gosto pela pesquisa, e colaboraram para o meu aperfeiçoamento.*

*À empresa IGUATEMI Consultoria e Projetos de Engenharia, a qual tive prazer e tenho orgulho de ter feito parte do corpo técnico, pelo incentivo e disposição de cooperação à pesquisa, propiciando a execução dos ensaios e o acesso aos dados coletados na rodovia BR-101/SC. Agradecimento especial para todos os amigos que lá fiz, que guardarei com carinho para sempre na lembrança.*

*Ao 16º Distrito Rodoviário do DNER/SC, por também permitido a execução dos ensaios e disponibilizado os dados da BR-101/SC.*

*Ao Laboratório de Pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por realizar o ensaio triaxial de carga repetida.*

*A minhas amigas e colegas de estudo Clarissa, Ivy, Daniela Gutstein, Milene, Lilian, Patrícia, Daniela Fischer e ao amigo Assis, pelo apoio e vários momentos de carinho e descontração.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTAS DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>SIMBOLOGIA.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. MÉTODOS EXISTENTES DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO.....	4
2.2. PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE.....	6
2.2.1. Histórico.....	6
2.2.2. O Equipamento e o Ensaio.....	8
2.2.3. Interpretação dos Resultados .....	11
2.2.4. Modelos Matemáticos.....	13
2.2.5. Correlações Existentes .....	15
<b>3. METODOLOGIA DE CONDUÇÃO DA PESQUISA E TRECHO ESTUDADO.....</b>	<b>21</b>
3.1. METODOLOGIA DE CAMPO.....	21
3.2. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO.....	23
3.3. TRECHO ESTUDADO.....	26
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO, COMPACTAÇÃO E CBR.....	30

4.2. RELACIONAMENTO ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E OS ÍNDICES FÍSICOS.....	36
4.2.1. Variação do DN com o Teor de Umidade.....	36
4.2.2. Variação do DN com A Massa Específica Aparente Seca.....	38
4.3. CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E O ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR).....	39
4.3.1. Correlação Grupo 1.....	40
4.3.2. Correlação Grupo 2.....	46
4.3.3. Correlação Grupo 3.....	51
4.3.4. Correlação Grupo 4.....	56
4.3.5. Correlação Grupo 5.....	61
4.3.6. Correlação dos Dados em Conjunto.....	66
4.4. CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E O MÓDULO RESILIENTE (MR).....	74
4.4.1 Retroanálise.....	75
4.4.2 Correlação entre DN e MR.....	77
4.4.3 Caracterização do Comportamento Mecânico das Amostras através de Ensaio Triaxiais.....	80
<b>5. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO COM O EMPREGO DO CONE.....</b>	<b>85</b>
5.1. METODOLOGIA PROPOSTA .....	85
5.1.1. Objetivo.....	85
5.1.2. O Equipamento.....	86
5.1.3. Procedimento de Ensaio.....	86
5.1.4. Obtenção da Curva de Calibração do Solo.....	88
5.1.5. Definição do DN de Referência.....	89
5.1.6. Controle da Camada Final de Terraplenagem.....	91

5.1.7. Interpretação das Curvas DCP Obtidas.....	91
5.1.8. Critério para Aceitação ou Rejeição do Serviço.....	93
5.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	95
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>97</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE A - RESULTADOS DO ENSAIO DCP EM CAMPO.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE B - DEFLEXÕES OBTIDAS COM A VIGA BENKELMAN E RESULTADOS DAS RETROANÁLISES.....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE C - RESULTADO DO ENSAIO TRIAXIAL.....</b>	<b>170</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1</b> – Métodos de controle de compactação de camadas de aterro e regularização do subleito.....	5
<b>TABELA 4.1</b> – Resumo das características geotecnicas das amostras analisadas.....	31
<b>TABELA 4.2</b> – Divisão das amostras segundo a classificação HRB.....	40
<b>TABELA 4.3</b> – Resultado de ensaios do Grupo 1 (A-4).....	41
<b>TABELA 4.4</b> – Resultado de ensaios do Grupo 2 (A-7-5).....	46
<b>TABELA 4.5</b> – Resultado de ensaios do Grupo 3 (A-7-6).....	51
<b>TABELA 4.6</b> – Resultado de ensaios do Grupo 4 (A-2-7).....	56
<b>TABELA 4.7</b> – Resultado de ensaios do Grupo 5 (A-2-4).....	61
<b>TABELA 4.8</b> – Resumo das correlações obtidas entre DN e CBR.....	70
<b>TABELA 4.9</b> – Características da amostra comparadas com as obtidas para o ensaio triaxial.....	81
<b>TABELA 5.1</b> – Resultados dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão...	89



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b> – Penetrômetro Dinâmico de Cone.....	9
<b>FIGURA 2.2</b> – Ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) em campo.....	9
<b>FIGURA 2.3</b> – Curva DCP.....	11
<b>FIGURA 2.4</b> – Diagrama Estrutural.....	11
<b>FIGURA 2.5</b> – Curva de Balanço Estrutural.....	12
<b>FIGURA 2.6</b> – Gráfico de Argus Heyn (DER-PR).....	17
<b>FIGURA 2.7</b> – Gráfico do Professor Stepan Emery (África do Sul).....	18
<b>FIGURA 2.8</b> – Correlações existentes entre DN x CBR.....	19
<b>FIGURA 3.1</b> – Ensaio para verificação do peso específico.....	22
<b>FIGURA 3.2</b> – Ensaio deflectométrico, com a Viga Benkelman.....	23
<b>FIGURA 3.3</b> – Ensaio de DCP realizado em laboratório.....	25
<b>FIGURA 3.4</b> – Corpos-de-prova já ensaiados.....	26
<b>FIGURA 3.5</b> – Mapa de situação do trecho em estudo.....	27
<b>FIGURA 3.6</b> - Estrutura do pavimento do lote 7.....	28
<b>FIGURA 3.7</b> - Estrutura do pavimento do lote 8.....	28
<b>FIGURA 4.1</b> – Curvas granulométricas das amostras analisadas.....	32
<b>FIGURA 4.2</b> - Curvas de compactação das amostras analisadas.....	33
<b>FIGURA 4.3</b> – Curvas de CBR das amostras analisadas (sem imersão).....	34
<b>FIGURA 4.4</b> – Curvas de CBR das amostras analisadas (com imersão).....	35
<b>FIGURA 4.5</b> – Curvas de expansão das amostras analisadas.....	36
<b>FIGURA 4.6</b> – Variação entre o Teor de umidade e o DN (ambos sem imersão).....	37
<b>FIGURA 4.7</b> – Variação do DN com a Massa Especifica Aparente Seca .....	38
<b>FIGURA 4.8</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-4).....	42
<b>FIGURA 4.9</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-4 e Harison).....	42
<b>FIGURA 4.10</b> – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-4.....	44
<b>FIGURA 4.11</b> – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-4.....	45
<b>FIGURA 4.12</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-5).....	47
<b>FIGURA 4.13</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-5 e Harison).....	47
<b>FIGURA 4.14</b> – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-7-5.....	49
<b>FIGURA 4.15</b> – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-7-5.....	50

<b>FIGURA 4.16</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-6).....	52
<b>FIGURA 4.17</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-6 e Harison).....	52
<b>FIGURA 4.18</b> – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-7-6.....	54
<b>FIGURA 4.19</b> – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-7-6.....	55
<b>FIGURA 4.20</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-7).....	57
<b>FIGURA 4.21</b> – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-7 e Harison).....	57
<b>FIGURA 4.22</b> – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-2-7.....	59
<b>FIGURA 4.23</b> – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-2-7.....	60
<b>FIGURA 4.24</b> – Correlação entre o DN E CBR (Grupo A-2-4).....	62
<b>FIGURA 4.25</b> – Correlação entre o DN E CBR (Grupo A-2-4 e Harison).....	62
<b>FIGURA 4.26</b> – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-2-4.....	64
<b>FIGURA 4.27</b> – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-2-4.....	65
<b>FIGURA 4.28</b> – Correlação entre o DN e CBR (dados em conjunto).....	66
<b>FIGURA 4.29</b> – Correlação entre o DN e CBR (dados em conjunto e Harison).....	67
<b>FIGURA 4.30</b> – Gráfico DCP (Projeto) para os Dados em Conjunto.....	68
<b>FIGURA 4.31</b> – Gráfico DCP (in situ) para os Dados em Conjunto.....	69
<b>FIGURA 4.32</b> – Correlação entre DN e CBR “Projeto”, para Todos os Grupos.....	70
<b>FIGURA 4.33</b> – Correlação entre DN e CBR “in situ”, para Todos os Grupos.....	71
<b>FIGURA 4.34</b> – Curvas entre DN e Erro Relativo para as Correlações de “Projeto” ...	72
<b>FIGURA 4.35</b> – Curvas entre DN e Erro Relativo para as Correlações de “in situ”.....	72
<b>FIGURA 4.36</b> – Esquema simplificado dos dados de entrada do programa Elsym5...	77
<b>FIGURA 4.37</b> – Correlação entre o índice de penetração (DN) e o módulo resiliente (MR).....	80
<b>FIGURA 4.38</b> – Corpo-de-prova sendo preparado para ensaio triaxial.....	82
<b>FIGURA 4.39</b> – Ensaio triaxial sendo realizado.....	82
<b>FIGURA 4.40</b> – Comportamento resiliente da amostra da estaca 2060.....	84
<b>FIGURA 5.1</b> – Planilha de registro dos resultados do ensaio.....	87
<b>FIGURA 5.2</b> – Curva de calibração para o grupo A-4.....	90
<b>FIGURA 5.3</b> - Curvas de DCP típicas que poderão ser obtidas.....	92
<b>FIGURA 5.4</b> - Fluxograma da sistemática da metodologia.....	94
<b>FIGURA 5.5</b> - Curva de calibração do solo.....	95
<b>FIGURA 5.6</b> - Índice de Penetração (DN) ao longo de um sub-trecho da pista esquerda.....	96

## SIMBOLOGIA

<b>BN</b> - Número de Balanço Estrutural.....	(%)
<b>CBR</b> - Índice de Suporte Califórnia.....	(%)
<b>CBR<sub>projeto</sub></b> - Índice de Suporte Califórnia de projeto.....	(%)
<b>D<sub>cs</sub></b> - Deflexão característica superior.....	(mm)
<b>D<sub>ci</sub></b> - Deflexão característica inferior.....	(mm)
<b>D<sub>m</sub></b> - Deflexão média.....	(mm)
<b>D<sub>i</sub></b> - Deflexão individual.....	(mm)
<b>DCP</b> - Penetrômetro Dinâmico de Cone.....	(adimensional)
<b>DN</b> - Índice de Penetração do DCP.....	(mm/golpe)
<b>DN<sub>i</sub></b> - Índice de Penetração do DCP individual.....	(mm/golpe)
<b>DN<sub>máx</sub></b> - Índice de Penetração do DCP máximo.....	(mm/golpe)
<b>DN<sub>ref</sub></b> - Índice de Penetração do DCP de referência.....	(mm/golpe)
<b>DN<sub>S</sub></b> - Grupo de valores de Índices de Penetração do DCP.....	(adimensional)
<b>DSN</b> - Número Estrutural DCP.....	(golpes)
<b>Exp.</b> - Expansão.....	(%)
<b>H</b> - Teor de Umidade.....	(%)
<b>H<sub>campo</sub></b> - Teor de umidade em campo.....	(%)
<b>h<sub>ot</sub></b> - Umidade ótima.....	(%)
<b>HRB</b> - Classificação Highway Research Board.....	(adimensional)
<b>IP</b> - Índice de Plasticidade.....	(%)
<b>IG</b> - Índice de Grupo.....	(adimensional)
<b>K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> e K<sub>4</sub></b> - Parâmetros de regressão derivados dos ensaios triaxiais realizados em Laboratório .....	(adimensional)
<b>LL</b> - Limite de Liquidez.....	(%)
<b>LP</b> - Limite de Plasticidade.....	(%)
<b>MEAS<sub>máx</sub></b> - Massa Específica Aparente Seco Máxima.....	(g/cm <sup>3</sup> )
<b>MR</b> - Módulo Resiliente.....	(MPa)
<b>n</b> - Número de deflexões.....	(adimensional)
<b>P<sub>200</sub></b> - Porcentagem de material passante na peneira n <sup>o</sup> 200.....	(%)
<b>R<sup>2</sup></b> - Índice de Correlação.....	(adimensional)
<b>RCC</b> - Resistência de Compressão Não Confinada.....	(KPa)

<b>USC</b> - Sistema de Classificação Unificada (Unified Soil Classification System).....	(adimensional)
$\varepsilon_r$ - Deformação elástica ou resiliente correspondente a um certo número de aplicações da tensão desvio repetida.....	(mm)
$\mu$ - Coeficiente de <i>Poisson</i> .....	(adimensional)
$\sigma$ - Desvio Padrão das deflexões.....	(adimensional)
$\sigma_{d.e.}$ - Desvio Padrão dos Erros da Correlação.....	(adimensional)
$\sigma_d$ - Tensão desvio repetida .....	(MPa)
$\sigma_1$ - Tensão principal maior de compressão.....	(MPa)
$\sigma_3$ - Tensão principal menor de compressão.....	(MPa)

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma nova metodologia para o controle de execução de camadas de aterro e subleito de rodovias executadas através do ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (Dynamic Cone Penetration - DCP). O DCP é um equipamento muito estudado e utilizado por vários órgãos do mundo, pelas suas vantagens de não destruir a estrutura do pavimento e de ser um ensaio rápido, fácil e de baixo custo. Para desenvolvimento da sistemática proposta, estabeleceu-se correlações de campo e laboratório entre os valores obtidos no ensaio DCP, o peso específico aparente seco e o teor de umidade do solo ensaiado, bem como entre os resultados do DCP e parâmetros de resistência como o Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio - CBR) da camada ensaiada e Módulo Resiliente (MR) do material da camada. Os resultados demonstraram que a metodologia é de aplicação simples e prática, principalmente para pavimentos de baixo a médio volume de tráfego. O DCP é um equipamento que, além de baixos custos de aquisição e operação, permite realizar uma grande quantidade de ensaios, e com isso obtém uma melhor homogeneidade das camadas e com baixo coeficiente de variação.

## **ABSTRACT**

This research presents a new methodology to control the execution of subgrade of pavements using the Dynamic Cone Penetration (DCP). The DCP equipment is studied and used a lot in all the world due to its advantages of being non-destructive and a quick, easy and low cost test. To develop this methodology was established correlation in situ and in laboratory between the DCP's values and the density and moisture content, and between the DCP's results and the resistance parameters such as the California Bearing Ratio (CBR) and Deformity Modulus. The results showed that the methodology proposals are of excellent use, especially for pavements with low to medium traffic volume. The DCP is a equipment then low cost of acquisition and operation, permits carry out many testes, and thus obtain a better uniform of subgrade of pavements and with low variation of results.

## 1. INTRODUÇÃO

O ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (Dynamic Cone Penetration - DCP), há muito tempo, vem sendo utilizado e estudado, por vários países como África do Sul, Israel, Argentina e Austrália. E a utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone, nestes países, tem fornecido bons resultados.

A simplicidade e a mobilidade do DCP permite realizar uma grande quantidade de ensaios, e, assim, avaliar melhor a homogeneidade das camadas do aterro, além do fato do DCP apresentar baixos custos de aquisição e operação. Por isso, torna-se viável a aplicação do DCP em prefeituras de pequeno porte para controle de obras viárias.

Este ensaio não requer grandes escavações ou perfurações, por isso é caracterizado como um ensaio semi não-destrutivo, sendo assim, uma forma econômica de investigar o pavimento, além de não interferir no tráfego dos veículos.

No Brasil, a capacidade de suporte dos materiais das camadas inferiores dos pavimentos, representada pelo Índice de Suporte Califórnia ou CBR (California Bearing Ratio), ainda é a mais adotada em diversos métodos de dimensionamento de pavimentos (Oliveira L. E., 1998). O ensaio de CBR, entretanto, apresenta grande dispersão nos resultados. O coeficiente de variação de resultados de ensaios feitos repetidamente por um mesmo laboratório mostraram valores de até 40%. Considerando-se  $C_v$  de 20% e o CBR médio de 5%, poder-se-á ter valores de CBR entre 4 e 6%, o que pode representar uma diferença de espessura do pavimento pelo método do DNER de cerca de 10 cm ou 5 cm da média a um extremo (Medina, 1989). Portanto, em tais casos, o ensaio de penetração com seu baixo coeficiente de variação, é mais indicado (Livneh e Ishai, 1988; Smith e Pratt, 1983).

Outro aspecto importante está associado ao fato do ensaio de CBR "in situ" permitir apenas uma avaliação pontual da resistência da camada, enquanto o DCP possibilita uma análise global da distribuição de resistência na estrutura do pavimento (Oliveira e Vertamati, 1998 - a e b). Por isso, o ensaio DCP se destaca na detecção de anomalias em uma ou mais camadas uma vez construídas; no acompanhamento do

comportamento estrutural da estrada e análise da influência de solicitação tais como tráfego e clima; e na identificação de trechos homogêneos com características estruturais similares (Angelone et. al., 1991).

O Penetrômetro Dinâmico de Cone, também permite outras aplicações, das quais se destacam: campanhas rápidas de reconhecimento do tipo de solo, controle de execução de terraplenagem, controle de camadas estabilizadas, verificação da eficiência dos equipamentos de compactação utilizados em obra e avaliação de pavimentos existentes.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone, já é adotado em alguns países para investigação e controle de execução de camadas compactadas. O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina (DER-SC) já exige a utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) em sua especificação de serviço para controle de compactação de camadas de regularização do subleito e de bases de solos estabilizados. Porém, ainda não há um método de ensaio, o que vêm gerando dificuldades e falta de sensibilidade na interpretação de seus resultados, para os profissionais do meio rodoviário catarinense.

Nos países onde o DCP vem sendo utilizado, já existem várias correlações de calibração entre o DCP e outros parâmetros do solo. Porém, o Brasil, por ser um país de clima tropical e subtropical, onde há abundância de chuvas, altas temperaturas e um intemperismo químico intenso, possui solos de características, horizontes e comportamentos diferentes. Então há necessidade de se estabelecer correlações específicas para os solos brasileiros, como vem sendo feito nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo.



## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

A Universidade Federal de Santa Catarina e a empresa IGUATEMI começaram esta pesquisa no início de 1997, através da realização de ensaios em laboratório e nas obras de duplicação da BR-101/SC, e tendo como objetivos específicos estabelecer modelos de correlação entre os resultados obtidos com o DCP e:

- a massa específica aparente seca do solo,
- o teor de umidade do solo ensaiado,
- o Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio - CBR) da camada compactada, e
- Módulo Resiliente (MR) do material da camada.

## **1.3 OBJETIVO PRINCIPAL**

Com base nos modelos de correlação obtidos, o objetivo principal deste trabalho é sugerir ao meio rodoviário brasileiro, uma nova sistemática para controle tecnológico de execução de aterros rodoviários e camadas de infra-estrutura de pavimentos, assim como uma metodologia de avaliação de pavimentos para baixo volume de tráfego através do emprego do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A execução de camadas de aterro, camadas finais de terraplenagem e de bases de solo estabilizado merecem maiores cuidados a serem tomados no emprego correto das técnicas e procedimentos recomendados, pois a má execução desse trabalho tem sempre conseqüências desagradáveis e onerosas ao construtor e ao usuário das obras.

O maior problema ocorre quando a compactação desejável para a camada não for obtida em todo o maciço de solo. As falhas cometidas refletem-se, às vezes, decorrido muito tempo após a construção. São elas: deformações permanentes excessivas, que originam a trilha de roda, escorregamentos de saia de aterro e erosão rápida devido à ação das chuvas. Por isso o controle tecnológico de execução destes serviços deve ser feito seguindo as especificações técnica; com intuito de fornecer uma obra de engenharia de boa qualidade, com maior segurança e economia ao usuário.

### **2.1 MÉTODOS EXISTENTES DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO**

O controle tecnológico da construção de camadas de aterros e subleitos dos 6.360Km de rodovias estaduais e aproximadamente 1.865Km de rodovias federais que cortam o Estado de Santa Catarina, foram realizados seguindo as especificações de obras implantadas pelos órgãos rodoviários, do DER (Departamento de Estradas de Rodagem) e DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem).

Com o desenvolvimento científico e tecnológico, algumas especificações e métodos de ensaio utilizados foram discutidos e questionados por pesquisadores e profissionais da área rodoviária, pois alguns métodos eram lentos, de custo elevado e forneciam resultados com grande variabilidade. As especificações do DER/92 e DNER/97, para controle de compactação de camadas de regularização do subleito, já apresentam incorporações de avanços tecnológicos, conforme consta da tabela 2.1, na página seguinte.

**TABELA 2.1 - Métodos de controle de compactação de camadas de aterro e regularização do subleito.**

<b>Ensaio</b>	<b>DER-SC-ES-P-01/92</b>	<b>DNER-ES 299/97</b>
Caracterização	Espaçamento máximo de 500 m. É realizado ensaio de granulometria para controle da homogeneidade dos solos de jazida e para futuras comprovações e pesquisas.	Deverá ser coletada uma amostra a cada 300 m de pista, ou por jornada diária de trabalho. A frequência poderá ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000 m de extensão, caso o material seja homogêneo.
Compactação	Na energia especificada em projeto, e serão coletadas amostras a cada 100 m de pista, ou mais, desde que se verifique homogeneidade do material.	Pelo método DNER-ME 129 (método A), será coletada uma amostras a cada 300 m de pista, ou por jornada diária de trabalho. A frequência poderá ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000 m de extensão, caso o material seja homogêneo.
Índice de Suporte Califórnia	Na energia especificada em projeto, serão coletadas amostras no espaçamento máximo de 500 m.	Pelo método DNER-ME 049, será coletada uma amostra a cada 300 m de pista, ou por jornada diária de trabalho. A frequência poderá ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000 m de extensão, caso o material seja homogêneo.
Umidade Higroscópica	A umidade de compactação deverá estar situada dentro da faixa especificada pela curva ISC x Teor de umidade	Imediatamente antes da compactação, será coletada uma amostras a cada 100 m de pista. Utilizando os métodos Speedy (DNER-ME 052/94) ou o expedito com álcool (DNER-ME 088/94). As tolerâncias admitidas são de $\pm 2\%$ em torno do valor da umidade ótima.
Peso Específico Aparente "in situ"	Pelo Método do Frasco de Areia, com espaçamento máximo de 100 m, e com no mínimo, três (3) determinações por segmento. O teor de umidade para a compactação deve se situar na faixa fixada através da curva CBR x Umidade, de forma a se obter um valor de CBR no mínimo igual ao obtido no ensaio de compactação.	Em locais escolhidos aleatoriamente, por camada, distribuídas regularmente ao longo do segmento. Utilizando os métodos do Frasco de Areia (DNER-ME 092/94) ou com emprego do balão de borracha (DNER-ME 036/94). Pistas com extensão limitada (volumes máximo de 1250 m <sup>3</sup> de solo), deverão ser feitos, no mínimo, 5 ensaios para cálculo do grau de compactação.
Grau de Compactação (GC)	GC $\geq$ 100%	
Resistência à penetração "in situ"	Através do emprego do DCP, aproximadamente, nos mesmos lugares onde é determinada a Massa Específica Aparente "in situ" e nas estacas mais próximas.	-
Medidas de deflexões recuperáveis	Através da viga Benkelman, a cada 20 m, na posição correspondente à futura trilha de roda externa, em cada uma das faixas de tráfego.	-

No final da década de 90, a Viga Benkelman já começava a ser empregada no controle tecnológico de execução de camadas em obras catarinenses. As especificações do DER/SC, desde de 92, contemplam o emprego do DCP e da Viga Benkelman, para controle de compactação de camadas de regularização do subleito. E a partir de 1998, estes dois equipamentos começaram a ser utilizados nas obras de duplicação da BR-101/SC (lotes 05, 06, 07 e 08).

## **2.2 PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE**

O Penetrômetro Dinâmico de Cone (Dynamic Cone Penetration - DCP) é um instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica no solo em seu estado natural e em estruturas de pavimentos cujas camadas são levemente cimentadas e solos.

### **2.2.1 Histórico**

Segundo Ponce et. al. (1991), o uso do Penetrômetro Dinâmico de Cone (Dynamic Cone Penetration - DCP) foi iniciado em 1956 por Scala na Austrália. Ele desenvolveu um DCP portátil que se chamou Scala penetrômetro. Desde então, devido a sua simplicidade e a sua mobilidade, este equipamento vem sendo utilizado por vários países.

Em 1969, Van Vuuren, no Zimbábue, modificou o Scala penetrômetro e obteve uma correlação notável entre o DCP e o CBR "in situ".

Em 1976, Kindermans utilizou um equipamento similar em seus estudos na Bélgica e obteve excelentes resultados de correlação com o CBR.

Posteriormente, foi sendo extensivamente utilizado, por Kleyn et. al. (1982), na África do Sul, por Harison (1986) na Indonésia, e por Livneh e Isahai (1988) em Israel.

Na África do Sul, desde 1973, na Província de Transvaal, o DCP tem sido extensivamente aplicado para medições rápidas de resistência “in situ” de camadas de pavimentos pelo Departamento de Estradas desta província.

Em Israel, os estudos com o DCP começaram nos princípios de 1984, com vários trabalhos de investigação de substratos e avaliação da capacidade de suporte de pavimentos como foi o caso de Aeroporto de Ben Gurion.

No Reino Unido (Transport e Road Reserch Laboratory - TRRL), iniciou-se uma clara tendência para preferir o uso deste instrumento sobre vários outros ensaios não-destrutivos.

Na África do Sul, Kleyn et. al. (1988) e Angelone et. al. (1991); na Argentina, vêm-se realizando estudos para introduzir um método de projeto de pavimentos de baixo volume de tráfego, com base nas informações obtidas com o DCP.

No Brasil, este aparelho tem sido estudado, pelo DER-PR (Heyn, 1986), pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP, por Rohn e Nogueira (1990), pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), por Oliveira e Vertamati (1997), no estado da Paraíba por Rodrigues e Lucena (1991) e Santana et. al. (1998) e, em Santa Catarina, por Cardoso e Trichês (1998 a e b, 1999 e 2000) na BR-101/SC.

Os sul-africanos (De Beer, Kleyn e Savage, 1988) desenvolveram um método empírico que permite avaliar a capacidade de suporte de um pavimento, obtida após penetrá-lo com o aparelho. Com valores obtidos, pode-se programar o necessário recapeamento.

Os pavimentos de vias secundárias, geralmente, não são considerados suficientemente importantes para justificar o número e os custos de ensaios para obter a capacidade do substrato, necessária para a execução do projeto. O ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone é capaz de medir a capacidade de suporte do solo de fundação “in situ” com um baixo custo e fácil operação (Ponce et. al., 1991).

Segundo Nogami e Villibor (1995), a faixa de trabalho deste aparelho é bastante ampla: desde solos moles ou pouco consistentes, correspondente a suporte de apenas algumas unidades percentuais, até camadas de bases com mais de uma centena de porcentos, correspondentes a bases de brita graduada ou pedregulho.

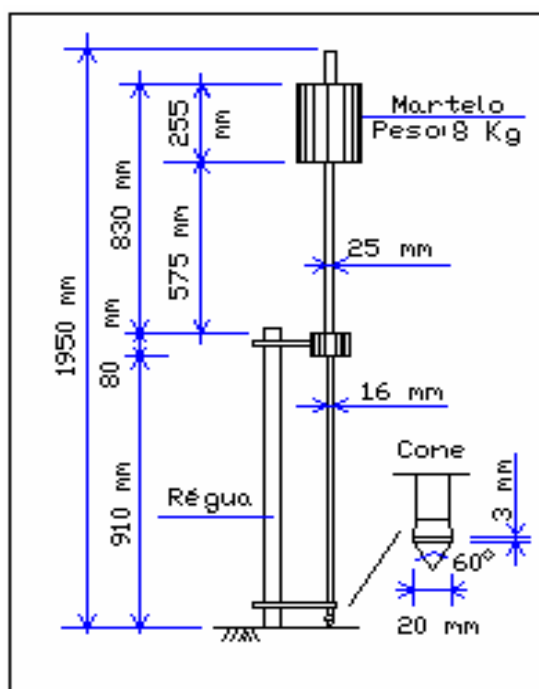
Abitante (1997) sugere, como alternativa de avaliação do comportamento real dos solos tropicais, estudá-los em seu estado natural, em campo, utilizando ensaios “in situ” como o DCP. Propõe, também, sua utilização como um ensaio alternativo de campo, substituindo intercaladamente alguns furos de sondagens. Nesses pontos coleta-se amostra somente para identificação visual e determinação da textura, evitando ensaios dispendiosos como compactação, expansão e CBR.

A heterogeneidade de um pavimento pode ser maior do que se imagina, levando a dispersões em retroanálises e previsões de vida útil. Nesse caso, o DCP torna-se ferramenta poderosa para melhor investigar o meio, pois revela a estrutura real e não a média, sendo versátil até para controle de compactação. O seu uso para previsão de vida útil, através do levantamento “in situ” da estrutura real produzida pelo processo típico das prefeituras, revela-se promissor, aliado ao fato de ser operacionalmente versátil (Oliveira e Vertamati, 1997).

Fontes (2001) em sua pesquisa, onde propõe uma nova metodologia para investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas contemplando o aproveitamento do material do corpo estradal já consolidado, demonstrou que o equipamento DCP constitui-se um instrumento tecnológico capaz de avaliar a capacidade de suporte através do uso de correlações do tipo CBR x DN.

### **2.2.2 O Equipamento e o Ensaio**

O DCP usado neste trabalho é baseado no modelo desenvolvido na Central African Standard, e modificado, em 1973, pela Transvaal Road Department. O equipamento consiste em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, a qual possui fixado na ponta um cone de aço com 20 mm de diâmetro de base e ângulo de 60°. O cone juntamente com a barra são introduzidos no solo pelo impacto de um martelo de aço, com peso de 8 Kg, que desliza por uma barra de aço de 25 mm de diâmetro, com uma altura de queda de 575 mm. A figura 2.1 mostra o equipamento descrito.



**FIGURA 2.1** - Penetrômetro Dinâmico de Cone.

O ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone se realiza, em forma expedita, com auxílio de duas pessoas, conforme mostra a figura 2.2.



**FIGURA 2.2** - Ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) em campo.

Durante o transcurso do ensaio mede-se, em uma régua, em milímetros, a penetração no solo para um número determinado de golpes que se seleciona arbitrariamente, de acordo com a resistência das camadas a serem atravessadas (Kley e Savage, 1982), isto é, quando a camada é composta por um material de maior resistência, o número de golpes necessários para alcançar uma determinada profundidade é maior do que quando a camada é composta por um solo de menor resistência. Os resultados são anotados em uma planilha padrão onde se indica, para cada série de golpes aplicados, a profundidade alcançada pelo cone de penetração.

O equipamento pode ser utilizado para penetrar até a profundidade de 800 mm através das camadas. Segundo Kley e Savage (1982), na profundidade acima de 800 mm, normalmente o tráfego tem efeito mínimo associado à performance do pavimento.

No desenvolvimento do ensaio deve-se ter alguns cuidados como: verificar se o equipamento está limpo e o bom estado do cone; durante o ensaio manter o equipamento sempre na vertical, para evitar que qualquer contato entre o peso (martelo) e a barra diminua o esforço na penetração do cone no solo; além do operador do peso ter um ritmo regular, deve cuidar, ao elevar o peso, para não bater no limite superior da altura de queda e provocar uma movimentação ascendente do aparelho; é muito importante uma vez extraído o instrumento, verificar se a ponta cônica está em bom estado.

Vários autores utilizam o DCP para materiais como solos, areias e brita graduada, restringindo somente a sua utilização para misturas de agregados com ligantes (betuminosos), os quais impossibilitariam a realização do ensaio, por ser impenetrável, além de correr o risco de danificar a ponta do cone do aparelho e obter resultados não confiáveis.

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.



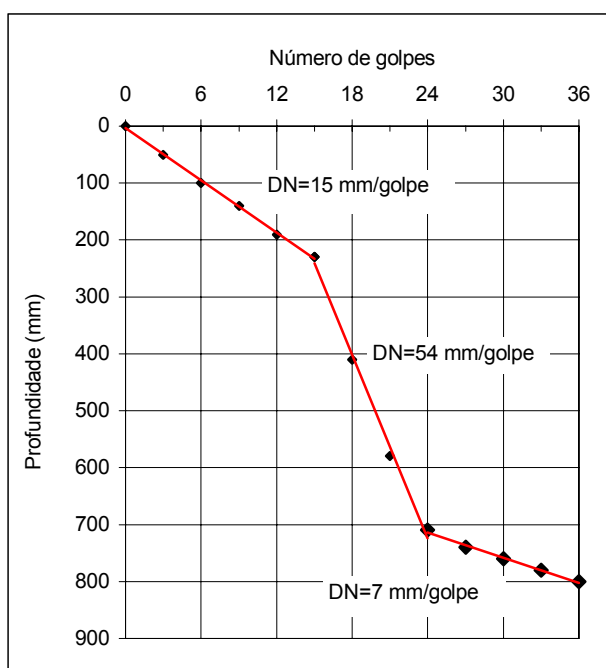
### 2.2.3 Interpretação dos Resultados

A interpretação dos resultados obtidos em campo pode ser feita com maior facilidade após o entendimento de definições de alguns conceitos citados a seguir:

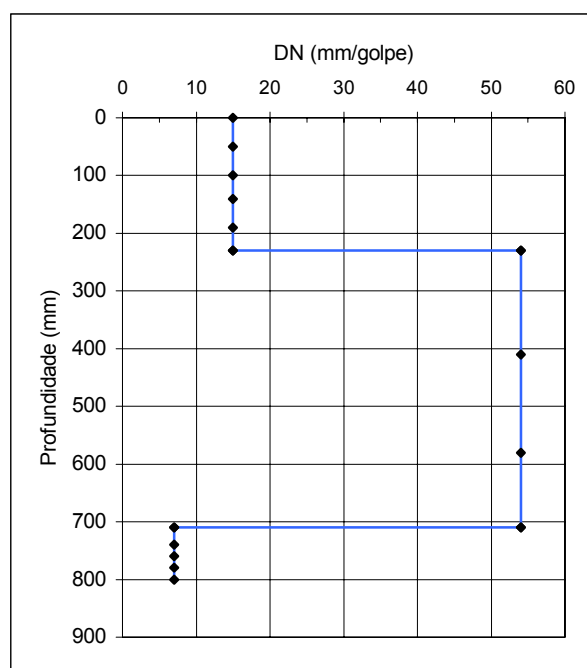
A Curva DCP consiste em uma representação do número de golpes acumulado para a penetração do equipamento com a profundidade. A figura 2.3 mostra um exemplo desta curva DCP, onde as ordenadas indicam as profundidades e, nas abscissas, o número acumulado de golpes para alcançar estas profundidades.

A inclinação das retas representa o índice de penetração (DN, em mm/golpe), o qual é obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessário para penetrar até a respectiva profundidade.

O Diagrama Estrutural, apresentado na figura 2.4, é uma representação derivada da curva DCP onde se representa o índice de penetração (DN) do DCP em função da profundidade. Nas ordenadas indica-se a profundidade e nas abscissas o valor DN. Quando é constante, significa uma uniformidade das propriedades do material. Sua variação implica numa mudança de propriedade do material (teor de umidade ou na sua massa específica aparente) ou uma mudança de camada.



**FIGURA 2.3 - Curva DCP.**



**FIGURA 2.4 - Diagrama Estrutural.**

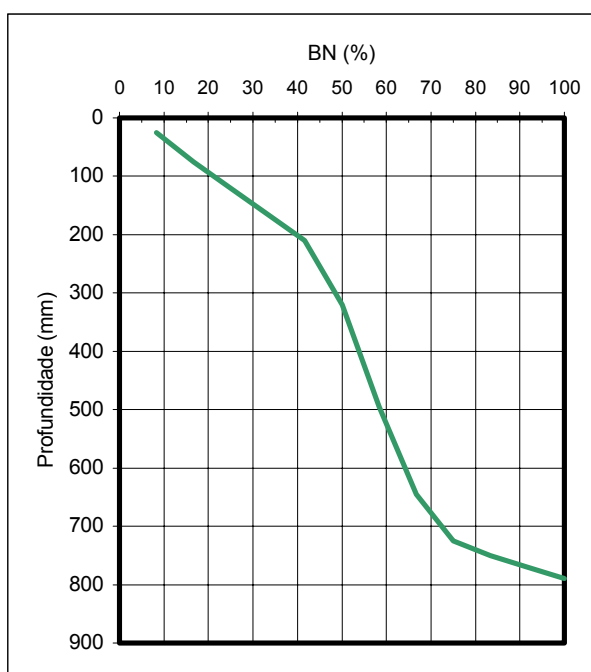
A figura 2.4 mostra o Diagrama Estrutural do pavimento analisado na figura 2.3. Nela observa-se a presença de 3 camadas bem definidas de 230 mm, 480 mm e 90 mm de espessura com DN de 15, 54 e 7 mm/golpe, respectivamente. Sendo a última camada limitada na espessura, devido ao limite de alcance da lança do equipamento.

Número Estrutural DCP (DSN) é o número de golpes necessário para penetrar uma determinada profundidade. Por exemplo,  $DSN_{800}$  corresponde ao número de golpes a uma profundidade de 800 mm.

A Curva de Balanço Estrutural, ilustrada na figura 2.5, criada por De Beer, Kleyn, e Savage (1988), é obtida através do número de balanço estrutural ( $BN_z$ ) a uma certa profundidade ( $z$ ), o qual constitui no número estrutural (DSN) na mesma profundidade ( $z$ ), expresso por uma porcentagem do número estrutural necessário para penetrar em 100% da profundidade avaliada. Por exemplo, no caso da profundidade total avaliada ser 800 mm, temos:

$$BN_z = (DSN_z / DSN_{800}) \times 100 \quad (1)$$

onde: -  $BN_z$ : Número de balanço estrutural na profundidade de  $z$  mm,  
 -  $DSN_z$ : Número estrutural na profundidade  $z$ , em mm,  
 -  $DSN_{800}$ : Número estrutural na profundidade 800 mm.



**FIGURA 2.5** - Curva de Balanço Estrutural.

Este valor do número de balanço estrutural representa a porcentagem da capacidade estrutural total que suportam os materiais existentes até uma profundidade  $z$  determinada. Por exemplo, se na profundidade 200 mm ele for igual a 40%, significa que os primeiros 200 mm da estrutura suportam 40% da capacidade estrutural total.

A distribuição de resistência normalizada de uma estrutura de pavimento é definida como a variação na resistência das camadas com profundidade. De forma geral, a resistência da camada decresce com a profundidade e, em princípio, se este decréscimo é regular e sem qualquer descontinuidade a camada é considerada equilibrada.

Este conceito de equilíbrio estrutural só começou a ser estudado pelos engenheiros rodoviários após a introdução do ensaio DCP, pois este equipamento fornece o comportamento estrutural das camadas do pavimento com o aumento da profundidade.

#### 2.2.4 Modelos Matemáticos

Segundo Ponce et. al. (1991), o modelo matemático da relação entre o Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o Índice de Penetração (DN), baseando-se na relação entre a resistência e a profundidade de penetração, pode ser obtida segundo a fórmula simplificada:

$$R = \left[ \frac{W_1 \cdot h}{D} \right] \cdot \left[ \frac{W_1 + (e^2 \cdot W_2)}{W_1 + W_2} \right] \quad (2)$$

onde: - R: é a resistência de penetração;

-  $W_1$  e  $W_2$ : são os pesos do martelo e do aparelho excluindo o martelo, respectivamente,

-  $h$ : é a altura de queda do martelo,

-  $D$ : é a profundidade de penetração e,

-  $e$ : é o coeficiente de restituição.

Considerando que o valor de resistência à penetração indica a resistência do material que está sendo ensaiado, pode-se assumir que R seja representado como uma função de parâmetros de resistência, como por exemplo o CBR. A equação (2) indica R como uma função inversa da profundidade (D) de penetração em termos de DN (mm/golpe):

$$R = A' \cdot (DN)^{-1} \quad (3)$$

com, 
$$A' = \frac{W_1 \cdot h \cdot [W_1 + (e^2 \cdot W_2)]}{(W_1 + W_2)}$$

Sendo A' uma constante, e assumindo-se o CBR como uma função de R, ter-se-á:

$$CBR = A' \cdot DN^{-1} \quad (4)$$

Esta equação assume o sistema com 100% de eficiência e considera que não há energia perdida. Com certeza, há energia perdida atribuída à compressão da barra de penetração, à compressão elástica do solo e a outros fatores. Para que esses fatores sejam levados em conta, a relação teórica foi modificada como é mostrado a seguir:

Primeiramente, 
$$CBR = A' \cdot (DN)^{-B}$$

ou,

$$\log CBR = (\log A') - B \cdot (\log DN) \quad (5)$$

e ainda,

$$CBR = A' \cdot (DN)^{-1} + B. \quad (6)$$

A equação (5) é conhecida como modelo log-log, enquanto que a equação (6) é chamada de modelo inverso.

### 2.2.5 Correlações Existentes

Várias organizações do mundo têm algum tipo particular do Penetrômetro Dinâmico de Cone, e tem estabelecido uma correlação própria entre medidas de DCP e algumas outras medidas de resistência do solo, como por exemplo, entre o DCP e o CBR.

Kleyn e Savage (1982) através dos resultados de ensaios realizados nas rodovias da África do Sul chegou à seguinte correlação:

$$\text{Log (CBR)} = 2,60 - 1,26 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = \text{não fornecido} \quad (7)$$

onde: - DN: é o índice de penetração, que vem a ser a relação entre profundidade de penetração (mm) e o número de golpes necessário para penetrar e,

- CBR: é o índice de suporte califórnia, corresponde a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo conveniente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, de um amostra de uma brita graduada padrão, e

-  $R^2$ : Índice de correlação.

Na Argentina Angelone et. al. (1991), chegaram à seguinte correlação:

$$\text{CBR} = 450 \cdot (\text{DN})^{-1,05} \quad R^2 = \text{não fornecido} \quad (8)$$

Harison (1987), da Indonésia, formulou correlações para solos argilosos, areia e pedrisco graduados. Obteve, também, uma correlação com os dados combinados com um desvio de  $\pm 10\%$  das demais, atendendo a todos os materiais ensaiados. As correlações obtidas foram as seguintes:

$$\text{Log (CBR)} = 2,56 - 1,16 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = 0,97 \quad \text{para solos argilosos} \quad (9)$$

$$\text{Log (CBR)} = 3,03 - 1,51 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = 0,92 \quad \text{para solos arenosos} \quad (10)$$

$$\text{Log (CBR)} = 2,55 - 0,96 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = 0,96 \quad \text{para solos pedregulhosos} \quad (11)$$

$$\text{Log (CBR)} = 2,81 - 1,32 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = 0,98 \quad \text{para todos tipos de solos} \quad (12)$$

Os estudos feitos por Ponce H. et. al. (1991), no Chile, concluíram que, para solos finos, o CBR pode ser obtido a partir do índice de penetração (DN), por intermédio da seguinte correlação:

$$\text{Log (CBR)} = 2,89 - 1,46 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2=0,95 \quad (13)$$

No Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em estudos com solos transicionais em rodovias de São Paulo, Oliveira e Vertamatti (1997), chegaram à seguinte correlação:

$$\text{Log (CBR)} = 2,490 - 1,057 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2=0,96 \quad (14)$$

Fontes (2001), no município de São José, em Santa Catarina, em investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas, obteve a correlação:

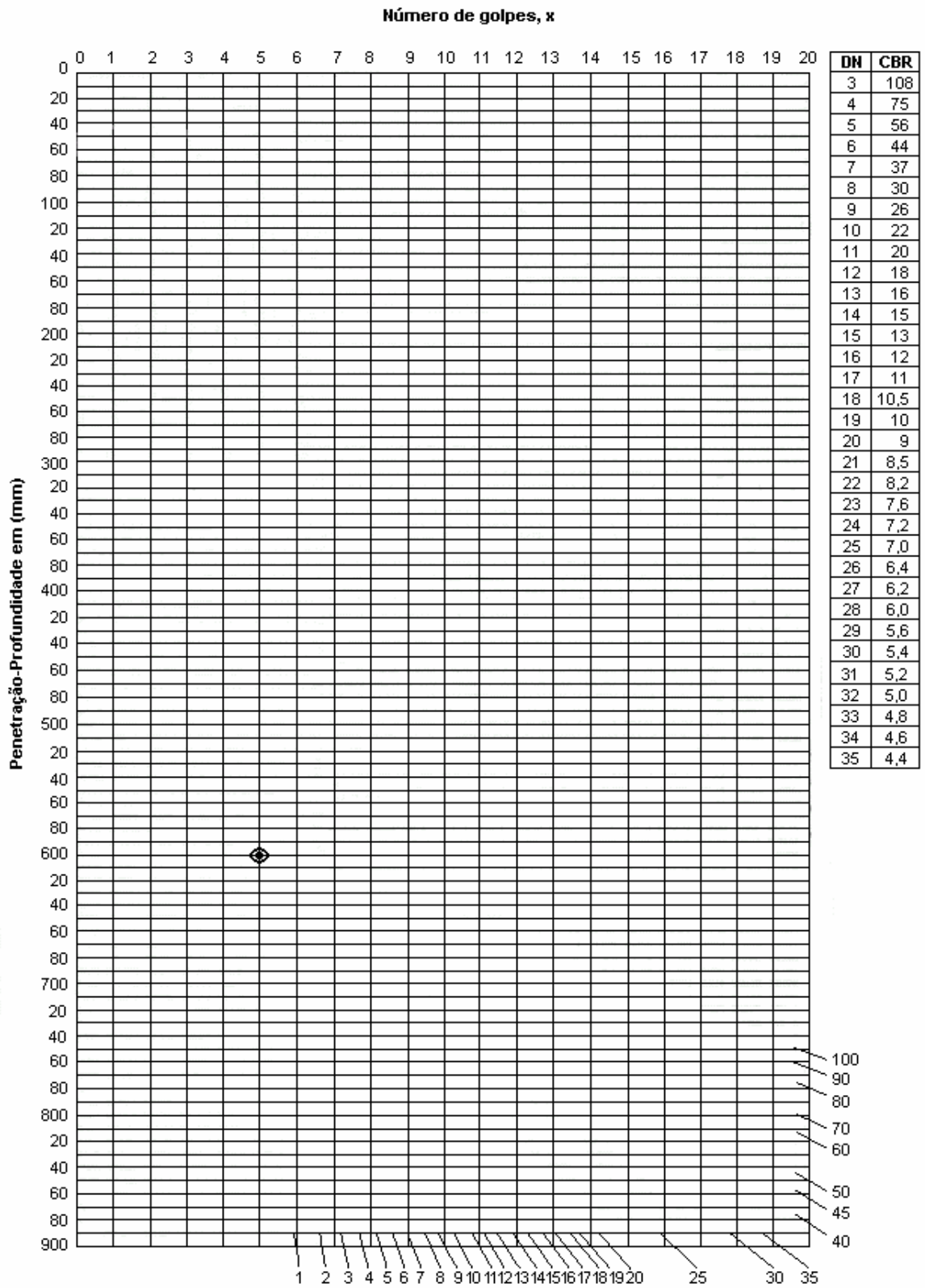
$$\text{CBR} = 467,20 \cdot (\text{DN})^{-1,41} \quad R^2=0,95 \quad (15)$$

No Brasil, Heyn (1986) em seus estudos com o DCP realizados em rodovias no estado do Paraná, obteve a seguinte correlação:

$$\text{CBR} = 443,45 \cdot (\text{DN})^{-1,30} \quad R^2= \text{não fornecido} \quad (16)$$

Heyn (1986) criou também um gráfico, apresentado na figura 2.6, onde ao se registrar as profundidades alcançadas e os respectivos números de golpes, obtinha-se uma reta, e ao se traçar uma paralela a esta reta até o ponto em destaque obtinha-se o valor do CBR no eixo inferior.

Mais recentemente, Emery (2000) seguindo um raciocínio semelhante, criou o gráfico, e o designou de “DCP *chart*”, o qual em função da profundidade e do número de golpes acumulados, é possível obter o valor do CBR, como é apresentado na figura 2.7.



**FIGURA 2.6 - Gráfico de Argus Heyn (DER-PR).**

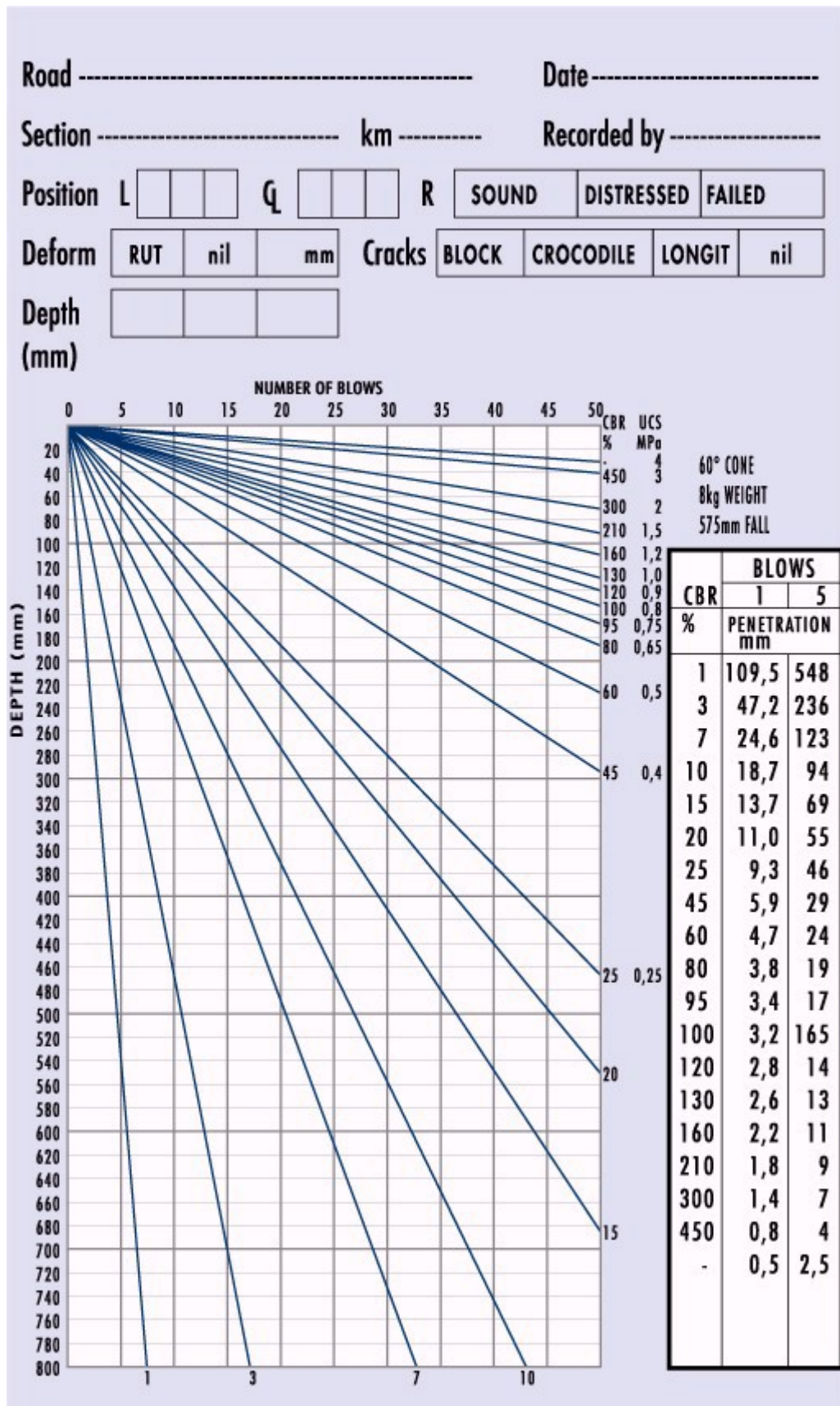
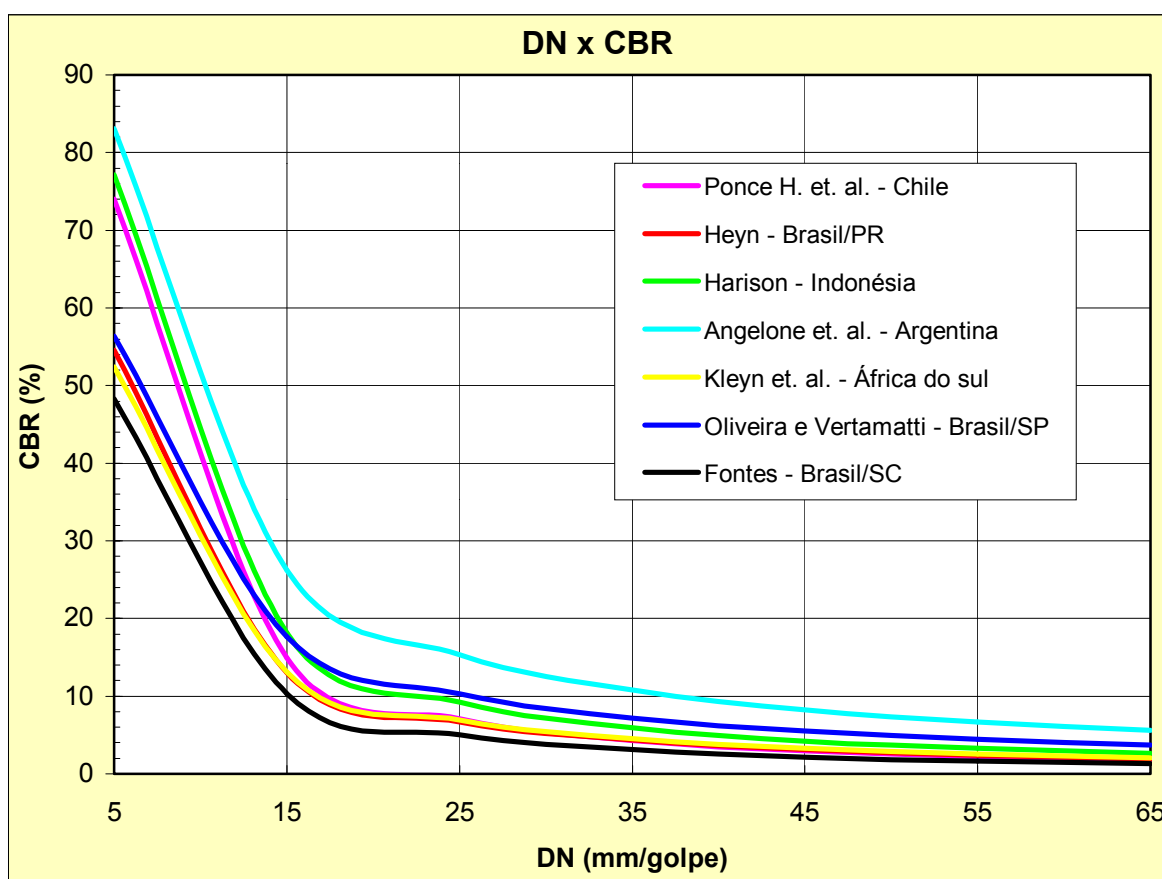


FIGURA 2.7 - Gráfico do Professor Stepan Emery (África do Sul).



No gráfico apresentado na figura 2.8, são mostradas as diversas correlações encontradas na literatura técnica.

Na figura pode-se observar que as correlações do Brasil, Indonésia, Chile e África do Sul, apresentam-se muito próximas para valores baixos de CBR (<7%); para valores altos de CBR (>30%) as correlações do Chile e da Indonésia, também apresentam pouca variação. E a correlação do Brasil apresenta-se muito próxima à da África do Sul.



**FIGURA 2.8** - Correlações existentes entre DN x CBR.

Além das correlações apresentadas, outras correlações entre o DCP e outros parâmetros também foram estudadas, tais como entre o DCP e o ensaio de compressão não confinada; e entre o DCP e o Módulo Resiliente (MR) do solo. Como

exemplo do primeiro grupo, tem-se a utilizada pela província de Transvaal (África do Sul), que é a seguinte:

$$\text{Log (RCC)} = 3,119 - 1,078 \cdot \text{Log (DN)} \quad R^2 = \text{não fornecido} \quad (17)$$

onde: - RCC: é o valor da resistência de compressão não confinada em KPa,  
 - DN: é o índice de penetração em mm/golpe.

Como exemplo do segundo grupo, pode-se citar Chua (1987), De Beer, Horak e Visser (1988) e Angelone et. al. (1991). Sendo que o último, obteve, através de ensaios em uma rodovia nacional na região litorânea da Argentina, composta por solos finos classificados como A-4 e A-6, a seguinte correlação:

$$\text{MR} = 201 \cdot (\text{DN})^{-0.44}, \quad \text{com } (\sigma_d = 46) \quad (18)$$

onde: - MR : Módulo Resiliente em MPa,  
 - DN : Índice de Penetração em mm/golpe e,  
 -  $\sigma_{d.e.}$  : Desvio Padrão dos erros da correlação.

Conforme apresentado neste capítulo, e relataram os autores Kleyn et. al. (1982), Van Vuuren (1969), e Smith e Prant (1983), as relações entre CBR e DCP tem conduzido à obtenção de bons resultados, além do fato do DCP ser um equipamento que apresenta grande simplicidade e mobilidade, resultando em baixos custos de aquisição e operação.

O estabelecimento da relação entre o DCP e o CBR é importante porque permite, dentre outros aspectos, efetuar-se uma melhor interpretação da distribuição de resistência na estrutura do pavimento.

Além disso, como o ensaio DCP é pouco utilizado no Brasil, a relação entre o DCP e o CBR, aliada a uma metodologia de ensaio bem definida, facilitará a interpretação dos resultados para os profissionais que ainda não tem intimidade com o equipamento.

### **3. METODOLOGIA DE CONDUÇÃO DA PESQUISA E TRECHO ESTUDADO**

O trabalho foi conduzido em duas frentes: uma de campo e outra de laboratório. A metodologia de campo consiste, além dos ensaios tradicionais para a determinação do peso específico e teor de umidade do solo da camada, também a execução dos ensaios de penetração com o Penetrômetro Dinâmico de Cone, e leituras deflectométricas com a viga Benkelman. A partir dos resultados da metodologia de campo é que será determinado a correlação entre o Índice de penetração do DCP (DN) e o módulo resiliente (MR).

A metodologia de laboratório corresponde aos ensaios de caracterização do solo, como ensaio de compactação, determinação do Índice de Suporte Califórnia, ensaio de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, além do ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone. Estes resultados irão fornecer as correlações entre o DN e, o peso específico aparente seco do solo, o teor de umidade do solo ensaiado, e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) da camada compactada.

#### **3.1 METODOLOGIA DE CAMPO**

A metodologia adotada para controle tecnológico de execução das camadas compactadas do subleito do trecho onde se desenvolveu a pesquisa, é semelhante àquela constante das Especificações Gerais do DER/SC, editadas em 1992, apresentada, de forma resumida, na tabela 2.1 do Capítulo 2. Embora as especificações tenham sido editadas em 1992, somente a partir do final da década de 90 é que efetivamente elas começaram a ser implantadas no campo, detalhados a seguir:

- Ensaio de Frasco de Areia (DNER-ME 92/94 e NBR 7185 - MB 238), ilustrado na figura 3.1. Este ensaio consiste na determinação do peso específico aparente seco da camada compactada. Para isso faz-se um furo na camada que se deseja conhecer o peso específico aparente seco, e pesa-se o solo retirado deste furo. Depois pesa-se um frasco cheio de uma areia padrão e preenche-se o furo na camada como essa areia

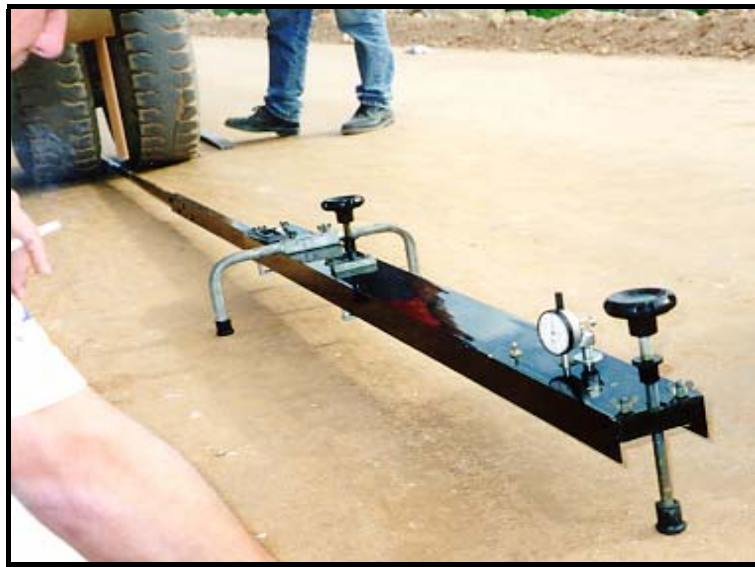
padrão, com a diferença de peso (franco + areia) antes e depois de preencher o furo, tem-se o peso da areia que ficou no furo. Como o peso específico desta areia já é conhecido tem-se o volume do furo. Desta forma, com o peso do solo que foi retirado do furo, e o volume do mesmo furo, calcula-se então, o peso específico aparente seco da camada. O teor de umidade do solo é determinado pelo método da frigideira (DNER-ME 52/44 e DNER-ME 88-94). O ensaio é realizado com espaçamento máximo de 100 metros, nos pontos onde forem coletadas as amostras para os ensaios de compactação.



**FIGURA 3.1** - Ensaio para verificação do peso específico.

- Ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP), já descrito no item 2.2.2, e visto na figura 2.2. O ensaio é realizado nos mesmos pontos onde é determinado o peso específico aparente seco. O procedimento adotado para a determinação do DN é aquele descrito no referido item.
- Ensaio deflectométrico com a Viga Benkelman (DNER-ME 24/78 e NBR 8547 - MB 1922). Este ensaio mede as deflexões recuperáveis causadas no pavimento pela aplicação uma carga. A Viga Benkelman é composta, basicamente, de uma parte fixa (suporte) e uma viga móvel (haste), articulada e apoiada em um suporte metálico, adotado de três pés, sendo um deles regulável. Um extensômetro com sensibilidade de centésimo de milímetro, ou mais, é fixado no suporte e apoiado em uma das

extremidades da haste. O ponto de articulação divide a haste em duas partes proporcionais. No ensaio, a extremidade da haste maior contém a ponta de prova, que é inserida entre as rodas do eixo simples traseiro de um caminhão com 8,2 tf. Nesta posição, é feita a leitura inicial no extensômetro. Em seguida, desloca-se o caminhão lentamente para frente até que sua referência atinja as proximidades das leituras intermediárias. A leitura final corresponde ao deslocamento de pelo menos 10 m para frente do caminhão. A figura 3.2. apresenta uma ilustração do ensaio. As leituras são realizadas a cada 40 metros, na posição correspondente a trilha de roda externa, em cada uma das faixas de tráfego.



**FIGURA 3.2** - Ensaio deflectométrico, com a Viga Benkelman.

### **3.2 METODOLOGIA DE LABORATÓRIO**

Nos locais onde foi aplicada a metodologia de campo, para o controle de execução, coletou-se amostras, até a profundidade da camada ensaiada, para realizar os seguintes ensaios em laboratório:

- Ensaio de Compactação (DNER-ME 47/64 e NBR 7182 - MB 33): busca-se determinar o teor de umidade no qual um solo apresenta seu maior peso específico aparente seco perante uma determinada energia de compactação. A amostra é coletada num espaçamento máximo de 100 metros, obedecendo à

ordem bordo direito, eixo, bordo esquerdo, eixo, bordo direito, etc., a 60 cm do bordo da pista.

A expansão é medida, em porcentagem, pela variação da altura de corpos de prova compactados quando imersos em tanques d'água por um período de quatro dias.

- Determinação do Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio-CBR) (DNER-ME 49/94 e NBR 9895 - MB 2545): determina a relação, em porcentagem, entre a pressão necessária a uma determinada penetração de um cilindro padrão em um corpo-de-prova compactado com a pressão necessária à mesma penetração em um corpo-de-prova compactado de um brita graduada padrão. A amostra é coletada num espaçamento máximo de 500 metros de pista, e no mínimo, um ensaio a cada dois dias.
- Ensaio de Granulometria (DNER-ME 80/94 e NBR 7181 - MB 32): a análise granulométrica é feita por peneiramento para partículas com diâmetro superior a 0,075 mm (peneira 200, divisa entre silte e argila, silte  $0,05 < \phi < 0,002$ ). A amostra é coletada num espaçamento máximo de 250 metros, e no mínimo, dois ensaios por dias.
- Limite de Plasticidade (LP) (DNER-ME 82/94 e NBR 7180 - MB 31): é o teor de umidade no qual o solo começa a fraturar quando se tenta moldar um cilindro 3 mm de diâmetro. A amostra é coletada num espaçamento máximo de 250 metros, e no mínimo, dois ensaios por dias.
- Limite de Liquidez (LL) (DNER-ME 44/64 e NBR 6459 - MB 30 ): é determinado com o aparelho de Casagrande, e corresponde ao teor de umidade para o qual o solo apresenta uma resistência não drenada de 2,5 KPa. A amostra é coletada num espaçamento máximo de 250 metros, e no mínimo, dois ensaios por dias. O Índice de Plasticidade ( $IP=LL-LP$ ) indica o comportamento plástico do solo, sendo tanto maior quanto mais plástico o solo.
- Penetrômetro Dinâmico de Cone: segundo a metodologia descrita a seguir:

Durante o ensaio de compactação, para correlacionar o valor do CBR com o índice de penetração (DN) do DCP, aplicou-se a metodologia proposta por Harison (1987), que consiste em se realizar o ensaio de compactação, moldando-se dois corpos-de-prova, com mesmas características de umidade e compactação. No primeiro corpo-de-prova, realiza-se o ensaio de CBR sem imersão. Após, posiciona-se o penetrômetro no centro do círculo vazado da sobrecarga do ensaio de CBR e realiza-se o ensaio DCP, conforme mostram as figuras 3.3 e 3.4. No segundo, realiza-se os mesmos procedimentos de ensaio do primeiro corpo-de-prova, só que imerso durante 4 dias.

Ressalta-se que nesta pesquisa, realizou-se o ensaio do penetrômetro em campo fazendo-se uma leitura de penetração a cada três golpes, enquanto que em laboratório, devido à pequena altura dos corpos-de-prova, fez-se uma leitura para cada golpe.



**FIGURA 3.3** - Ensaio de DCP realizado em laboratório.



**FIGURA 3.4** - Corpos-de-prova já ensaiados.

### **3.3 TRECHO ESTUDADO**

O trecho rodoviário DIVISA PR/SC-DIVISA SC/RS da BR-101/SC é o principal elo de ligação entre os Estados da Região Sul com o restante do país. Através dessa rodovia escoam grande parte de produção agrícola e industrial destes estados, direcionando aos centros desenvolvidos do Sudeste brasileiro, e também para países da América do Sul, notadamente os do MERCOSUL.

O segmento rodoviário onde se desenvolveu a pesquisa inicia-se no km 164+556, e estende-se até o km 216+552, e constituem os lotes 7 e 8 das obras de duplicação da BR-101/SC, com 52 kms de extensão, conforme mostra o mapa da figura 3.5.

Ele se desenvolve através dos municípios de Tijucas e Governador Celso Ramos e os centros urbanos de Biguaçu, São José e Palhoça, os três últimos pertencentes ao Aglomerado Urbano de Florianópolis, onde o tráfego de longa distância adiciona-se a todos os fluxos da região, contribuindo para um elevado volume de trânsito da ordem de 25.000 ou mais veículos/dia, com percentual aproximado de 50% de tráfego comercial.



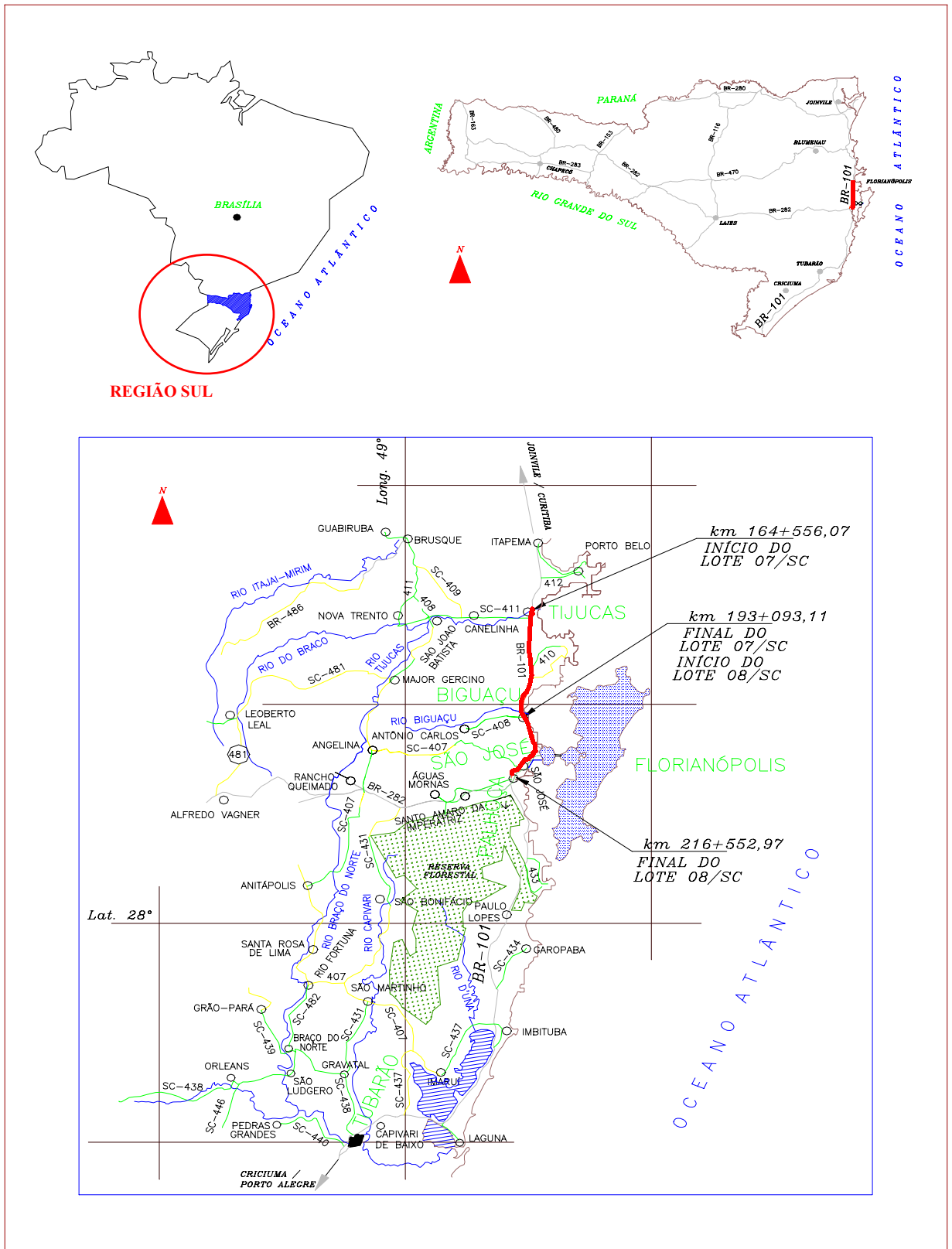
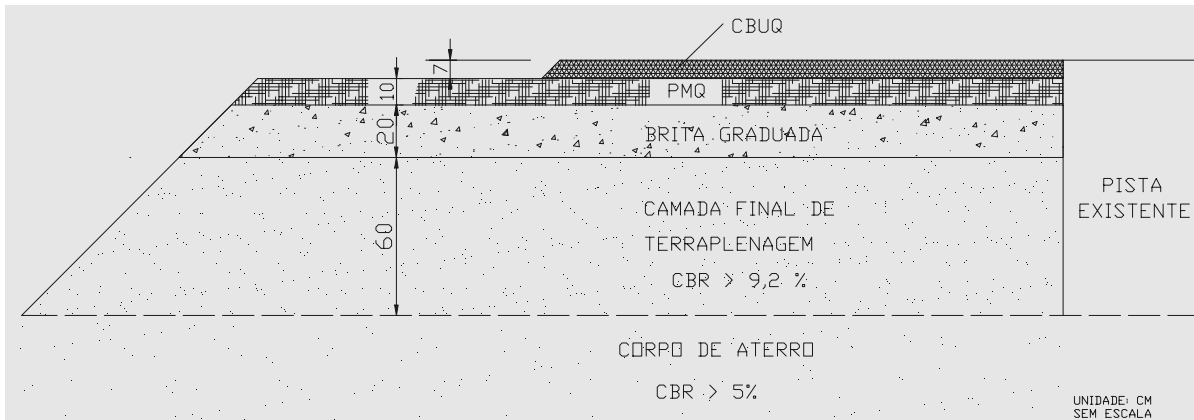
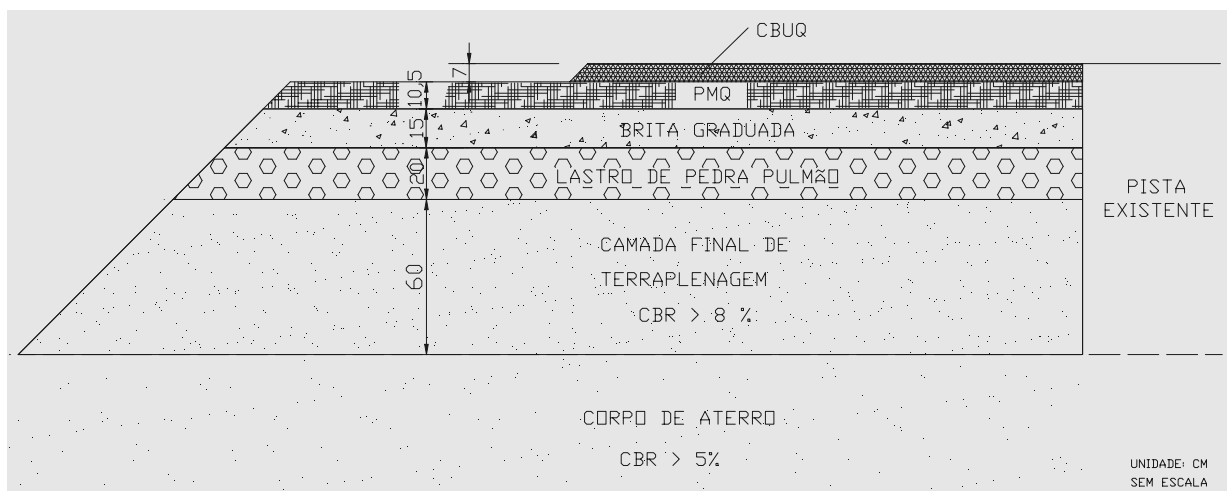


FIGURA 3.5 - Mapa de situação do trecho em estudo (Fonte: IGUATEMI).

A plataforma existente da rodovia possui mais de 25 anos de consolidação e as estruturas básicas dos pavimentos da obra de duplicação, para os lotes 7 e 8, encontram-se, respectivamente, apresentada nas figuras 3.6 e 3.7.



**FIGURA 3.6 - Estrutura do pavimento do lote 7.**



**FIGURA 3.7 - Estrutura do pavimento do lote 8.**

Segundo os relatórios de projeto (DNER - PROJETO BÁSICO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA BR-101/SC - 1995 e DNER - ALTERAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA EM FASE DE OBRAS DA BR-101/SC - 1997), as jazidas exploradas para material de subleito são formadas de solos residuais de granito, principalmente do granito Pedra Grande, descritas a seguir:

Como trata-se de um granito homogêneo e isótropo, o solo residual tende a um comportamento semelhante.

O horizonte C tem tendência a apresentar uma granulometria areno-argilo-siltosa, podendo ocorrer grandes variações em cada uma destas frações, o que dependerá do grau de intemperização. Já o horizonte B, por ser um solo mais maduro, portanto mais intemperizado, tenderá a apresentar como predominante a fração argilosa, com uma granulometria argilo-areno-siltosa.

O tipo de solo mais encontrado no horizonte C de Granito é o A-1-b, com CBR variando entre 10 e 40% , seguindo com CBR entre 5 e 25%. A expansividade se situa entre 0,2 e 0,8%.

No horizonte B ocorre a predominância de solos A-7-5 e A-4, com CBR situado entre 6 e 12% e expansividade variando de 0,5 a 2,0%.

Portanto, o horizonte C é de grande interesse como material a ser utilizado em pavimentação, quando seu CBR for elevado e a expansividade for baixa. Porém problemas ligados à resiliência destes solos são fatores negativos para o seu emprego. Daí, as restrições quanto ao seu uso em pavimentação.

Os solos classificados como A-1-b apresentam resiliência moderada e podem ser considerados com comportamento bom quando passíveis de utilização em pavimentos, isto se forem bem graduados e apresentarem  $LL < 45$ ,  $IP < 14$ ,  $CBR > 20\%$  e expansão menor que 0,5%. Os solos classificados como A-2-4, mesmo mal graduados, quando apresentam características similares às registradas, em termos de LL, IP, CBR e expansão, apresentam resiliência pequena e seu comportamento em camadas inferiores é muito bom.

Solos A-4 e A-2-4, quando não plásticos, com CBR menor de 10% e expansão relativamente elevada, que é como se apresentam grande parte dos solos da região destes lotes de construção, com granulometria intermediária e uniforme, apresentam resiliência elevada. Possuem muita mica e são muito ruins mesmo quando componentes do subleito.

De qualquer forma, sua utilização como camadas constituintes dos terraplenos é perfeitamente aceitável, ou até mesmo recomendável, em face da inexistência de opções na região, a não ser as areias tipo A-3, mas estas situadas a grandes distâncias de transporte.

## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados primeiramente os resultados obtidos em laboratório, que consistem nos ensaios de caracterização, compactação e CBR das amostras analisadas.

Em seguida apresenta-se a relação entre os parâmetros de teor de umidade e massa específica aparente seca da camada, com o índice de penetração (DN) do DCP, sendo este último também obtido em laboratório. Além dessas relações, estabeleceu-se também correlações entre o índice de penetração (DN) do DCP e o Índice de Suporte Califórnia (CBR).

E finalmente serão apresentados os resultados obtidos em campo, com a apresentação da correlação entre o DN e o módulo resiliente (MR) da camada ensaiada.

### **4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO, COMPACTAÇÃO E CBR**

Ao longo dos dois trechos em estudo, foram coletadas um total de 10 amostras, sendo 2 no lote 7 e as demais no lote 8. A tabela 4.1 apresenta um resumo das características geotécnicas das amostras coletadas.

Conforme a classificação HRB (*Highway Research Board*), a qual reúne os solos em grupos e subgrupos em função da granulometria e plasticidade, apenas três amostras foram classificadas como solos granulares (Estacas 1446, 1458 e 2380). São as amostras que possuem menor quantidade de material passante (< 35%) na peneira n<sup>o</sup> 200 (0,074 mm), como se pode ser visto nas curvas granulométricas na figura 4.1.

As amostras das estacas 1446 e 1458, por serem classificadas como A-2-7, consistem em areias argilosas, e a amostra da estaca 2380, por ser A-2-4, consiste em um material com um pouco mais de pedregulhos.

**TABELA 4.1 – Resumo das características geotécnicas das amostras analisadas.**

Lote	Estaca - Pista/Bordo	MEAS <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	h <sub>ot</sub> (%)	Exp. (%)	CBR (%) c/ imersões	CBR (%) s/ imersão	Granulometria (%) *				LL (%)	LP (%)	IP (%)	IG	HRB	USC
							Pedreg.	Ar. grossa	Ar. Fina	P <sub>200</sub>						
7	930-PE/EX	1,578	23,40	0,26	-	19,50	6,3	21,4	11,3	61,0	65,50	44,50	21,00	12	A-7-5	OH
	1050-EX PE	1,649	19,00	0,54	5,80	22,00	22,6	21,4	10,7	45,3	54,90	38,40	16,50	5	A-7-5	SC
8	1446-PD/BD	1,739	16,23	0,10	7,20	9,50	19,0	32,6	14,8	33,6	48,70	33,00	15,70	1	A-2-7	SC
	1458-PE/BE	1,784	14,45	0,15	11,00	15,80	21,5	29,6	15,5	33,4	43,2	28,3	14,90	1	A-2-7	SC
	2074-PE/EX	1,689	18,20	0,20	11,00	15,20	23,3	25,1	12,0	39,6	40,70	29,90	10,80	1	A-7-6	SC
	2159-PD/BE	1,686	18,40	0,76	8,50	19,00	10,4	27,0	17,3	45,3	NP	NP	NP	2	A-4	SC
	2303-PE/BE	1,820	13,30	0,46	15,50	26,00	19,4	24,7	18,7	37,2	35,40	30,70	4,70	0	A-4	SC
	2362-PD/EX	1,849	14,00	0,30	10,50	-	19,4	27,4	12,5	40,7	39,30	31,00	8,30	1	A-4	SC
	2380-PD/BE	1,853	13,70	0,10	16,00	18,20	30,1	27,7	12,7	29,5	NP	NP	NP	0	A-2-4	SC
	2592-PE/EX	1,869	13,20	0,30	15,90	20,60	19,9	30,8	13,5	35,8	34,40	26,10	8,30	0	A-4	SC

Onde: MEAS<sub>máx</sub> : Massa específica aparente seca máxima (g/cm<sup>3</sup>);

h<sub>ot</sub>: Umidade ótima (%);

Exp.: Expansão (%);

CBR: Índice de Suporte Califórnia (%);

Pedreg.: Porcentagem de material passante na peneira # 7,6 mm e retido na peneira n<sup>o</sup> 10 (# 2,0 mm);

Ar. Grossa: Porcentagem de material passante na peneira n<sup>o</sup> 10 (# 2,0 mm) e retido na peneira n<sup>o</sup> 40 (# 0,42 mm);

Ar. Fina: Porcentagem de material passante na peneira n<sup>o</sup> 40 (# 0,42 mm) e retido na peneira n<sup>o</sup> 200 (# 0,074 mm);

P<sub>200</sub>: Porcentagem de material passante na peneira n<sup>o</sup> 200 (# 0,074mm), material fino (silte + argila);

LL: Limite de Liquidez;

LP: Limite de Plasticidade;

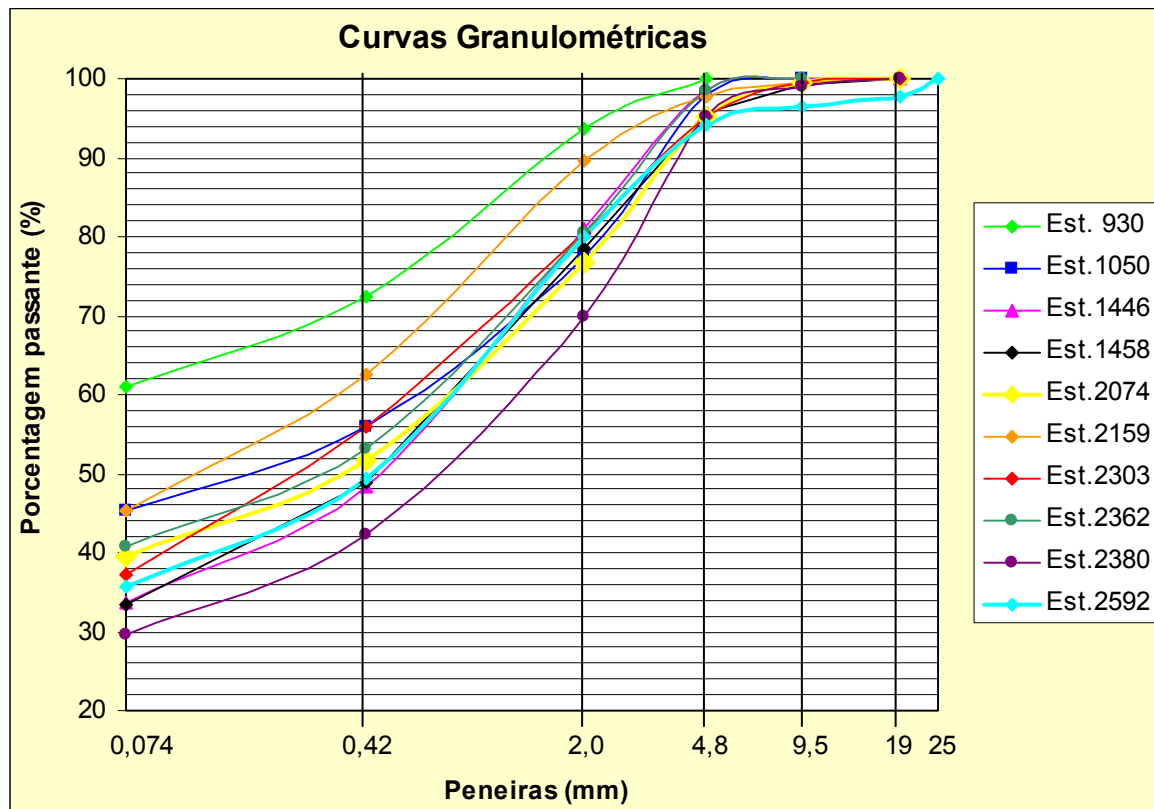
IP: Índice de Plasticidade;

IG: Índice de Grupo;

HRB: Classificação HRB (Highway Research Board).

USC: Sistema de Classificação Unificada (Unifield Soil Classification System)

\* Escala Granulométrica da AASHO



**FIGURA 4.1** – Curvas granulométricas das amostras analisadas.

As amostras das estacas 930, 1050 e 2074, foram classificadas como A-7-5 e A-7-6, conforme a tabela 4.1, consistem em solos argilosos. E as amostras das estacas 2159, 2303, 2362 e 2592, foram classificadas como A-4, então consistem em solos siltosos.

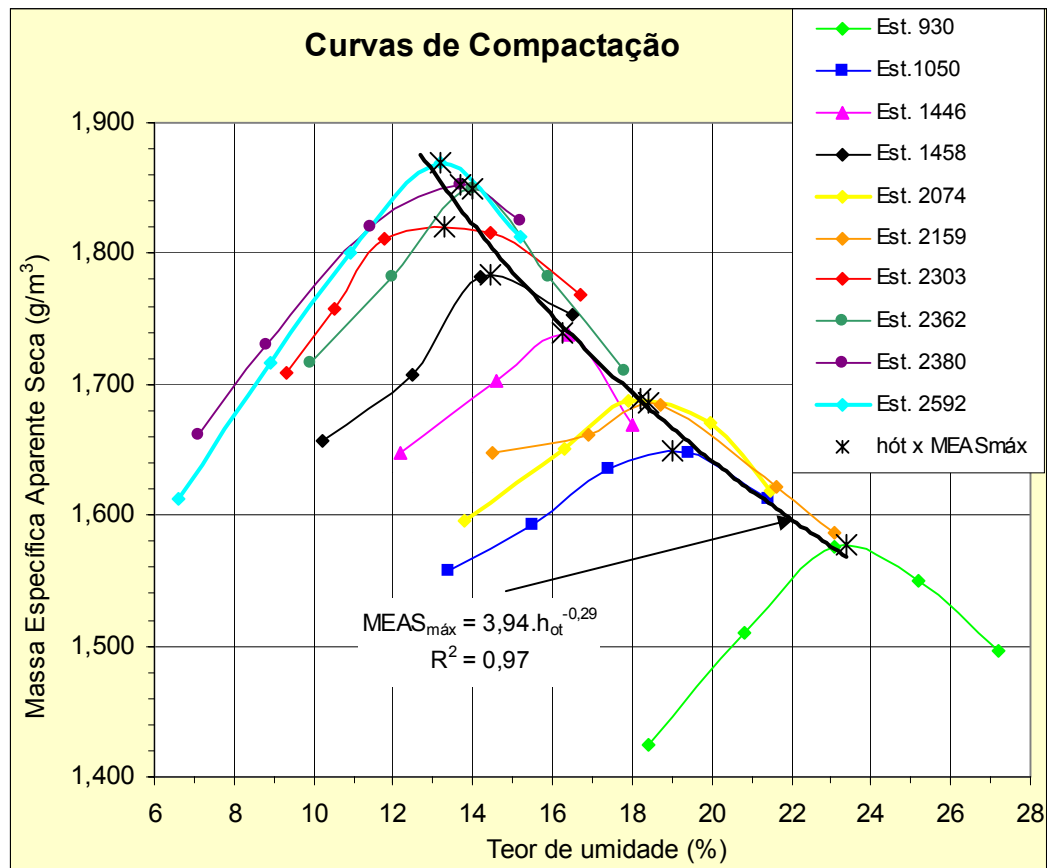
No Sistema de Classificação Unificada (USC - *Unified Soil Classification System*), baseado na classificação de Casagrande pelo *U. S. Corps of Engineers*, os solos são primeiramente classificados em três grupos, os de graduação grossa, que são os que apresentam 50% ou mais de grãos retidos na peneira n<sup>o</sup> 200; os de graduação fina, que são os que apresentam 50% ou mais de grãos passando na peneira n<sup>o</sup> 200; e por último os solos altamente orgânicos, que são as turfas ou similares.

Baseando neste sistema de classificação, dentre as amostras analisadas, somente a amostra da estaca 930, é classificada como solo de graduação fina. E através do gráfico de plasticidade de Casagrande, e com os dados de limite de liquidez (LL) e Índice de plasticidade (IP), apresentados na tabela 4.1, temos que esta amostra é classificada como uma argila orgânica com alta compressibilidade (OH).

As demais amostras são classificadas como solos de graduação grossa, e como apresentam mais de 50% da graduação grosseira passando pela peneira nº 4 (4,8 mm), e mais de 10% de seus grãos passando pela peneira no. 200, são classificadas como areias argilosas (SC).

Na figura 4.2 estão apresentadas as curvas de compactação das amostras analisadas, as quais foram obtidas com os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de CBR e DCP, conforme a metodologia descrita no capítulo 3.2. Verifica-se que a forma das curvas foi bastante similar, isto é, paralelismo entre os ramos secos e úmidos.

Esta figura apresenta também os pontos de umidade ótima ( $h_{ót}$ ) e massa específica aparente seca máxima ( $MEAS_{máx}$ ) para cada curva de compactação, esses pontos deram origem a uma linha de tendência, e gerou uma correlação entre esses dois parâmetros, apresentada na figura, onde o índice de correlação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,97.

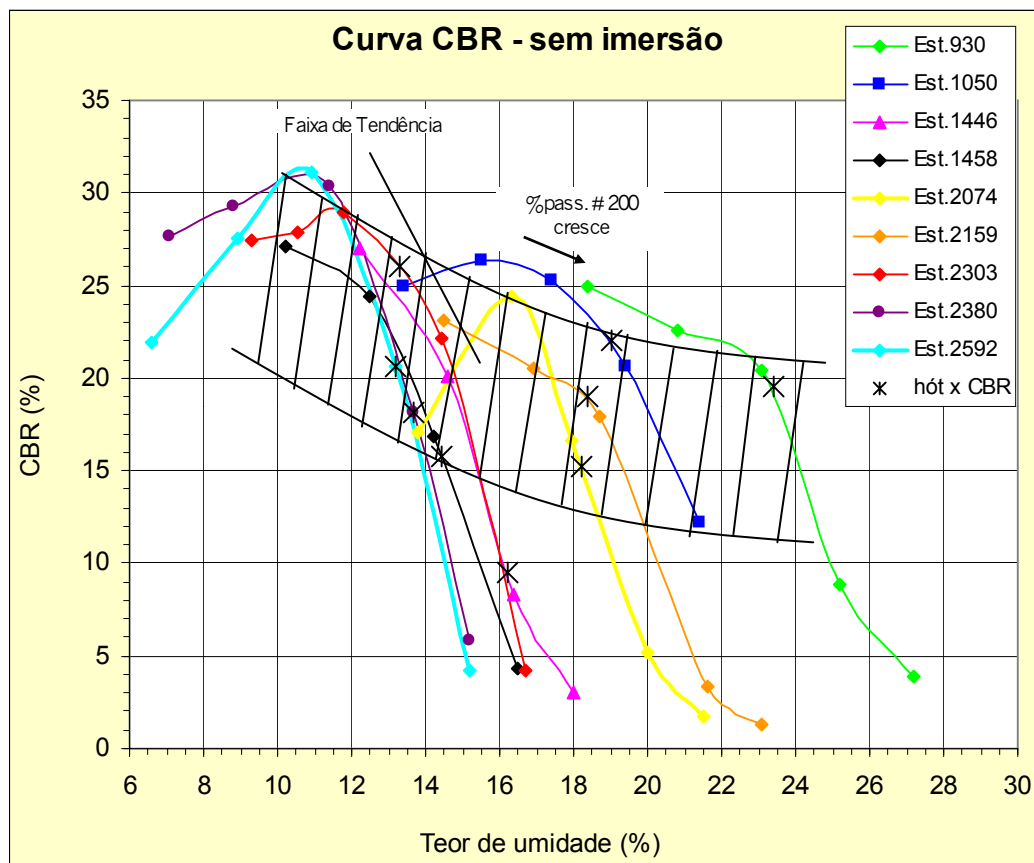


**Figura 4.2 –** Curvas de compactação das amostras analisadas.

As figuras 4.3 e 4.4 apresentam, respectivamente, as curvas de CBR sem e com imersão, para o grupo de amostras analisadas. Por motivo de perda de material das amostras, a figura 4.3 não apresenta a amostra da estaca 2362, e a figura 4.4 não apresenta a amostra da estaca 930, por isso que ambos os gráficos apresentam somente nove amostras.

Em cada curva está localizado o ponto de umidade ótima ( $h_{ót}$ ) e CBR, nelas pode-se notar uma acentuada perda da capacidade de suporte entre os ensaios realizados nas condições sem e com imersão, principalmente sobre os corpos-de-prova moldados com teores de umidade inferiores aos valores ótimos.

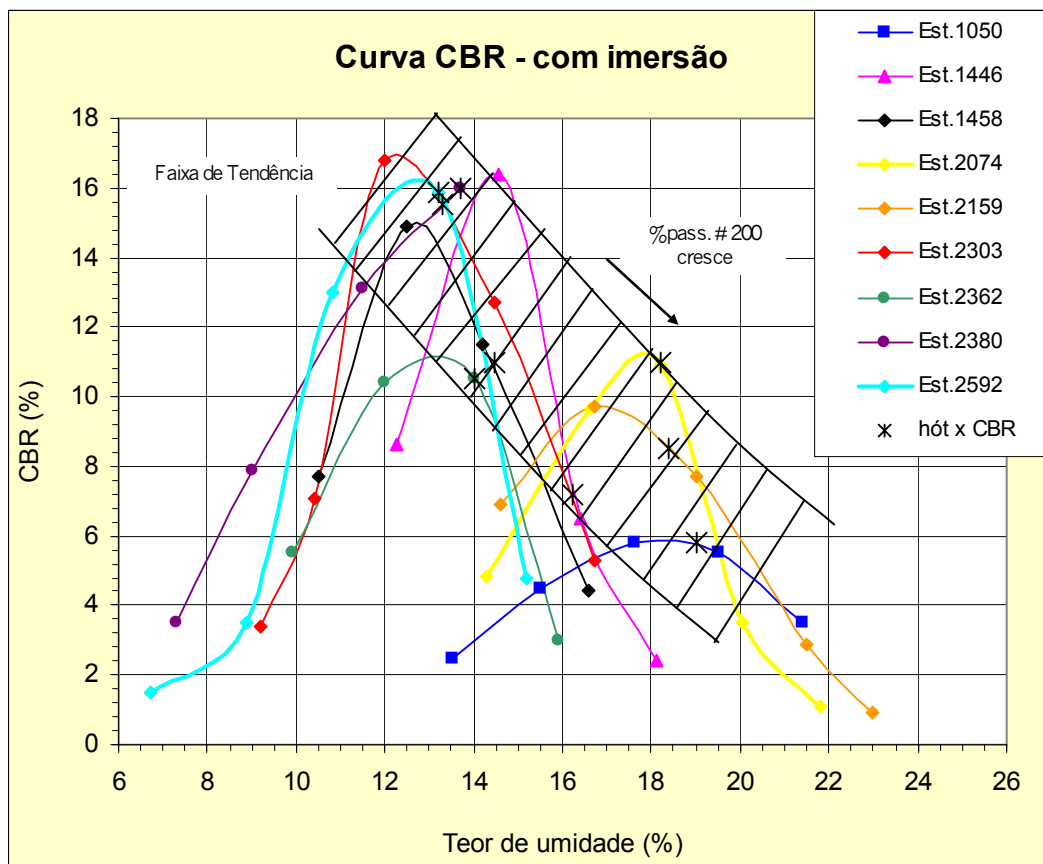
Esse fato indica a necessidade de se executar um eficiente sistema de drenagem e se realizar um rigoroso controle do teor de umidade de compactação no campo, de forma a mantê-lo próximo das condições ótimas, assegurando-se assim uma menor queda da capacidade de suporte em decorrência de um eventual aumento no grau de saturação das camadas inferiores do pavimento.



**FIGURA 4.3** – Curvas de CBR das amostras analisadas (sem imersão).

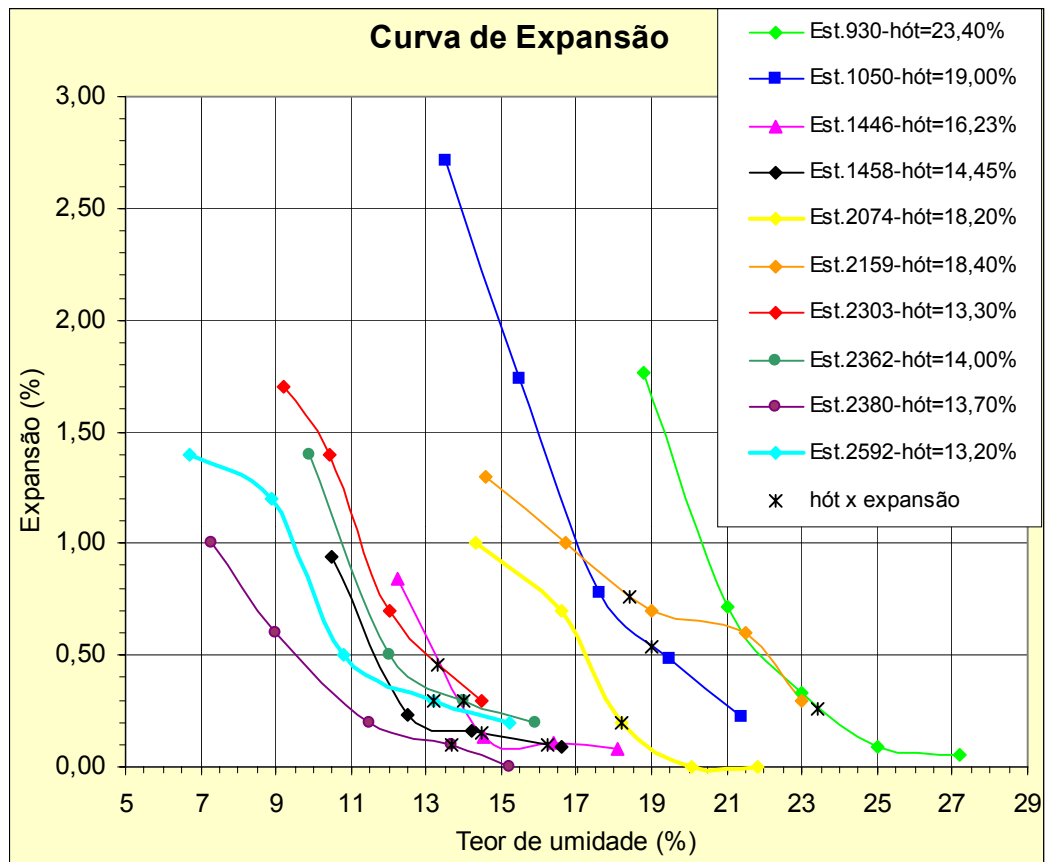


As figuras 4.3 e 4.4 mostram, também, uma faixa de tendência que acompanha os picos das curvas de compactação, isto é, enquanto o valor de CBR e a percentagem de material passante na peneira de 200 mm, decrescem, o valor da umidade ótima aumenta. Para os ensaios realizados com imersão, esta faixa de tendência é mais inclinada, isto é, o valor do CBR decresce mais rapidamente.



**FIGURA 4.4 –** Curvas de CBR das amostras analisadas (com imersão).

Na figura 4.5, apresenta as curvas de expansão das amostras analisadas, além dos pontos de umidade ótima ( $h_{ót}$ ) e sua respectiva expansão. Observa-se que compactando-se os solos em condições de umidade acima dos valores ótimos obtêm-se baixos valores de expansão. Entretanto, tal fato acarreta a redução da capacidade de suporte, conforme indicado nas figuras 4.3 e 4.4.



**FIGURA 4.5 –** Curvas de expansão das amostras analisadas.

## 4.2 RELACIONAMENTO ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E OS ÍNDICES FÍSICOS

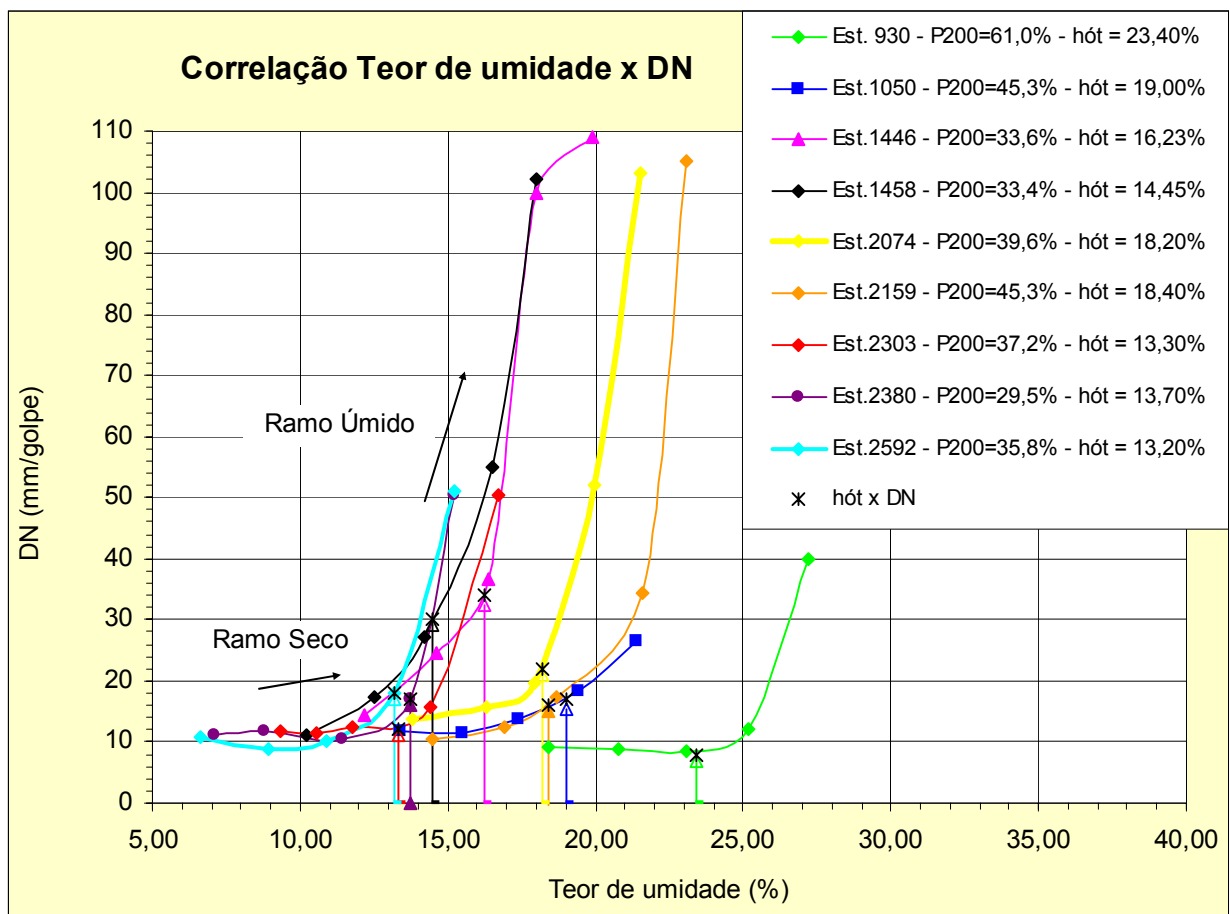
Como os métodos de controle tecnológico de camadas compactadas utilizados no Brasil utilizam como parâmetros decisórios o teor de umidade e o grau de compactação da camada, este último obtido através da massa específica aparente seca da camada, então procurou-se estabelecer alguma relação entre esses parâmetros e o índice de penetração (DN) do DCP.

### 4.2.1 Variação do DN com o Teor de Umidade

A figura 4.6 apresenta as curvas de variação do DN com o teor de umidade, para cada amostra estudada, com exceção da amostra da Estaca 2362, por motivo de perda de

material. Tanto o DN como o teor de umidade, foram obtidos nos corpos-de-prova durante o ensaio de compactação, antes da imersão.

Esta figura apresenta os pontos de umidade ótima ( $h_{ót}$ ) e seu respectivo índice de penetração (DN), os valores de DN em condições de umidade ótima situam-se na faixa compreendida entre 8 a 34 mm/golpe. Observa-se, também, que, para os solos estudados, nos pontos abaixo da umidade ótima (ramo seco), os valores de DN tendem a um valor médio e quase constante de, aproximadamente, 12 mm/golpe. Isto indicaria, então, que se o solo estiver com teor de umidade abaixo da ótima, o DN obtido não será capaz de avaliar se o material estaria ou não com o grau de compactação aceitável. Contudo, há um ponto de inflexão, acima do qual, a capacidade de suporte decresce bruscamente, observado pelo crescimento do valor DN. Este ponto de inflexão corresponde ao ponto de teor de umidade ótima.

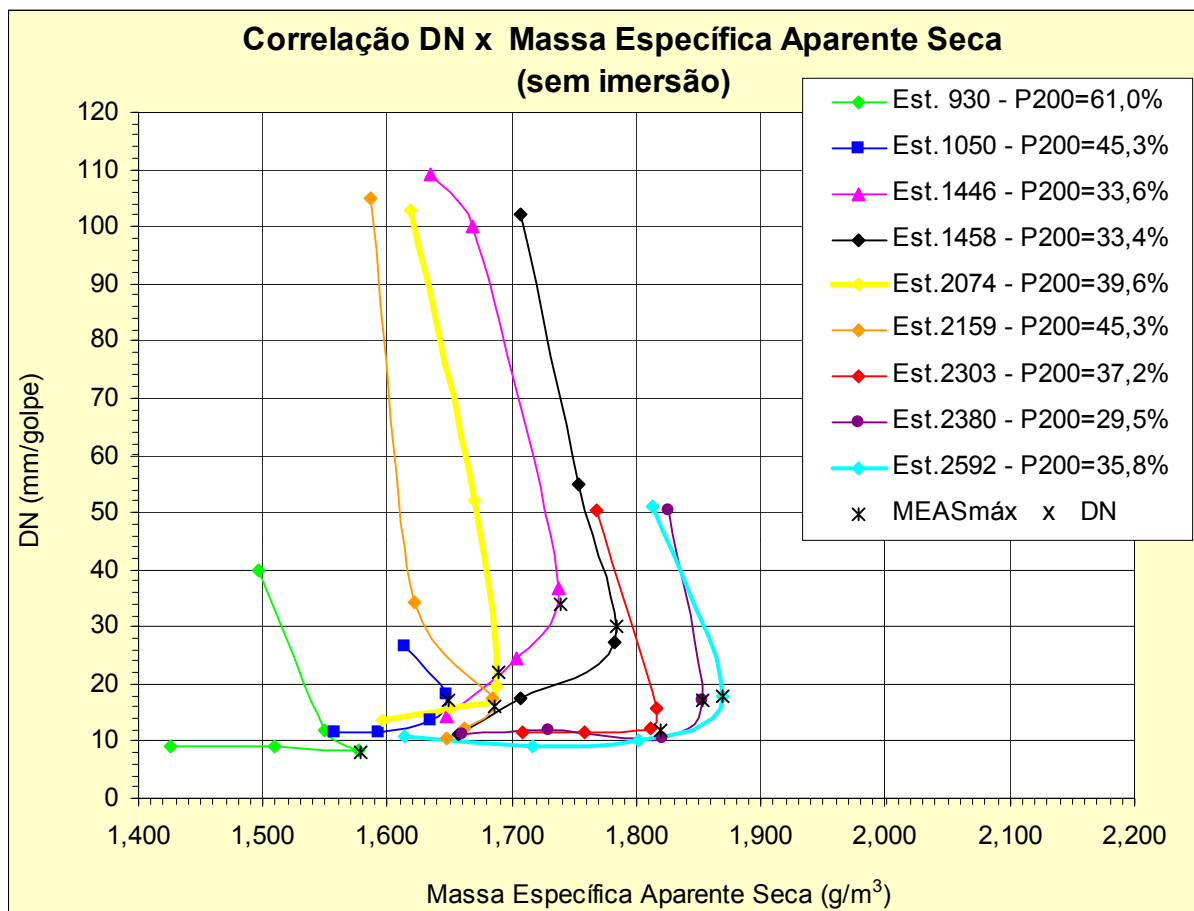


**FIGURA 4.6** – Variação entre o teor de umidade e o DN (ambos sem imersão).

#### 4.2.2 Variação do DN com a Massa Específica Aparente Seca

Na figura 4.7, observa-se a variação entre o índice de penetração (DN) e a massa específica aparente seca, para os corpos-de-prova sem imersão, com exceção da amostra da Estaca 2362. Nos pontos abaixo da umidade ótima, os valores de DN tendem a um valor constante em torno de 12 mm/golpe.

Deste modo, ao se fixar um DN a ser controlado no campo, caso o valor obtido no campo for maior que o fixado, indicaria má compactação. Porém se a umidade for baixa, poder-se-ia estar aceitando uma compactação com problemas. Assim, para se obter um controle tecnológico mais adequado de uma camada seria necessário determinar em campo, além do índice de penetração (DN), também o teor de umidade da camada.



**FIGURA 4.7** – Variação do DN com a Massa Específica Aparente Seca.

### 4.3 CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E O ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

No Brasil, a capacidade de suporte dos materiais das camadas inferiores dos pavimentos, representada pelo Índice de Suporte Califórnia (CBR), ainda é muito adotada em diversos métodos de dimensionamento, embora existam critérios que se baseiam em parâmetros de deformabilidade dos materiais, citando-se por exemplo, o método de resiliência, da AASHTO (1986).

O valor do CBR utilizado é obtido após imersão em água durante quatro dias. Este processo é feito para simular uma condição de saturação que ocorre com o degelo, em países de clima frio. No Brasil, país de clima tropical e subtropical, isso não ocorre; contudo tem-se saturação em seções transversais de corte, que podem ser evitadas com a execução de drenos.

Por isso, ao se correlacionar os parâmetros DN e CBR, obtidos em corpos-de-prova do ensaio de compactação realizado em laboratório, procurou-se fazer dois tipos de correlação: a primeira chamada “in situ”, a qual relaciona o DN com o respectivo valor de CBR, ambos obtidos em um mesmo teor de umidade. E a segunda correlação, chamada “Projeto”, relaciona o DN **sem imersão** com o respectivo CBR **após imersão**. Exemplificando, o ensaio do DCP realizado em campo, em uma camada com teor de umidade *in situ*, forneceria o valor do CBR obtido após a imersão em água por 4 dias, no estado de saturação, que vem a ser o valor do CBR utilizado para o dimensionamento do pavimento.

Esta segunda condição representa o que se passa no campo quando há o controle de execução, isto é, determina-se o DN na condição de umidade “in situ”, mas se quer avaliar o CBR na condição saturada, isto é, se o CBR obtido está de acordo com o CBR de projeto.

Para esta análise, as amostras foram separadas em grupos conforme a classificação HRB (Highway Research Board), a qual reúne os solos em grupos e subgrupos, em função da granulometria e plasticidade.

Os “solos granulares” compreendem os grupos A-1, A-2 e A-3, os “solos finos” os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais são divididos em subgrupos. A tabela 4.2, apresenta a divisão das amostras em grupos.

**TABELA 4.2** - Divisão das amostras segundo a classificação HRB.

GRUPO	HRB	ESTACA – PISTA/BORDO
1	A-4	2159 – PD/BE
		2303 – PE/BE
		2362 – PD/EX
		2592 – PE/EX
2	A-7-5	930 – PE/EX
		1050 – PE/EX
3	A-7-6	2074 – PE/EX
4	A-2-7	1446 – PD/BD
		1458 – PE/BE
5	A-2-4	2380 – PD/BE

#### 4.3.1 Correlação Grupo 1

Este grupo é formado pelas amostras coletada nas estacas 2159 bordo esquerdo - pista direita, 2303 bordo esquerdo - pista esquerda, 2362 eixo - pista direita (somente com imersão), e 2592 eixo - pista esquerda. Este grupo é classificado como A-4, segundo a classificação HRB, sendo, portanto, materiais tipicamente siltosos. Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer a correlação podem ser vistos na tabela 4.3.

Através da análise de regressão linear dos dados (método dos mínimos quadrados), obteve-se, para este grupo de amostras, as correlações apresentadas no gráfico da figura 4.8. Conforme citado anteriormente, um modelo correlaciona o parâmetro DN com seu respectivo CBR, chamada “in situ”, e o outro, correlaciona o DN com o seu respectivo valor de CBR obtido após a imersão, chamada “Projeto”.

Ambos os modelos apresentaram um bom índice de correlação, e para valores de DN maiores que 50 mm/golpe, os valores de CBR obtidos, com ambas as correlações, tendem ser os mesmos.

**TABELA 4.3 – Resultado de ensaios do Grupo 1 (A-4).**

<b>ESTACA</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>MEAS<sub>máx</sub> (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>DN (mm/golpe)</b>	<b>Umidade após imersão (%)</b>
2159 BE PD com imersão	14,60	1,643	6,90	1,30	34,33	-
	16,70	1,663	9,70	1,00	33,67	-
	19,00	1,680	7,70	0,70	25,75	-
	21,50	1,630	2,90	0,60	49,00	-
	23,00	1,580	0,90	0,30	100,00	-
2159 BE PD sem imersão	14,50	1,647	23,10	-	10,60	-
	16,90	1,662	20,50	-	12,38	-
	18,70	1,684	17,90	-	17,33	-
	21,60	1,621	3,30	-	34,33	-
	23,10	1,586	1,30	-	105,00	-
2303 BE PE com imersão	9,20	1,695	3,40	1,70	46,00	21,50
	10,42	1,735	7,10	1,40	40,00	20,89
	12,00	1,815	16,80	0,70	20,20	20,20
	14,49	1,820	12,70	0,30	22,00	21,00
	16,70	1,785	5,30	-	49,50	22,00
2303 BE PE sem imersão	9,31	1,709	27,40	-	11,67	-
	10,53	1,758	27,90	-	11,44	-
	11,77	1,812	29,00	-	12,33	-
	14,43	1,816	22,10	-	15,57	-
	16,71	1,768	4,20	-	50,50	-
2362 EX PD com imersão	9,90	1,716	5,50	1,40	41,00	-
	12,00	1,783	10,40	0,50	25,00	-
	14,00	1,849	10,50	0,30	20,80	-
	15,90	1,783	3,00	0,20	46,50	-
2592 EX PE com imersão	6,70	1,623	1,50	1,40	206,00	-
	8,90	1,698	3,50	1,20	80,00	-
	10,80	1,807	13,00	0,50	32,00	-
	13,20	1,859	15,90	0,30	20,80	-
	15,20	1,801	4,80	0,20	50,00	-
2592 EX PE sem imersão	6,60	1,613	21,90	-	10,80	-
	8,90	1,717	27,60	-	9,00	-
	10,90	1,801	31,10	-	10,00	-
	13,20	1,869	20,60	-	18,00	-
	15,20	1,813	4,20	-	51,00	-

A figura 4.9 mostra as correlações obtidas para o grupo 1, juntamente com as obtidas por Harison (1987), o qual estabeleceu correlações para solos pedregulhosos, arenosos e argilosos, utilizando mesma metodologia, conforme capítulo 3.2.

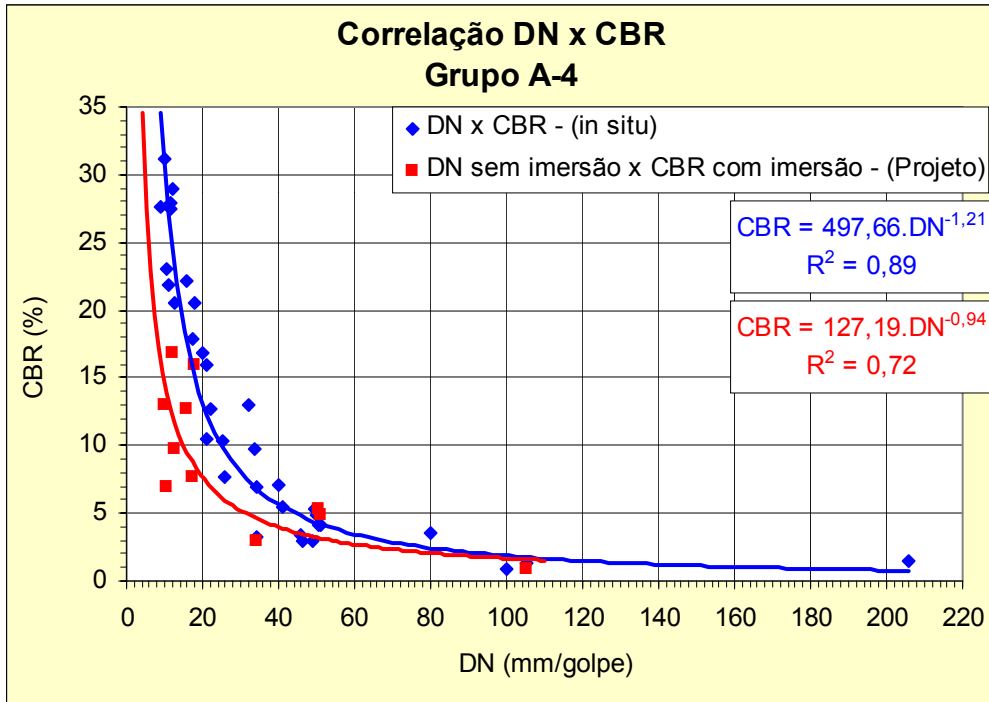


FIGURA 4.8 – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-4).

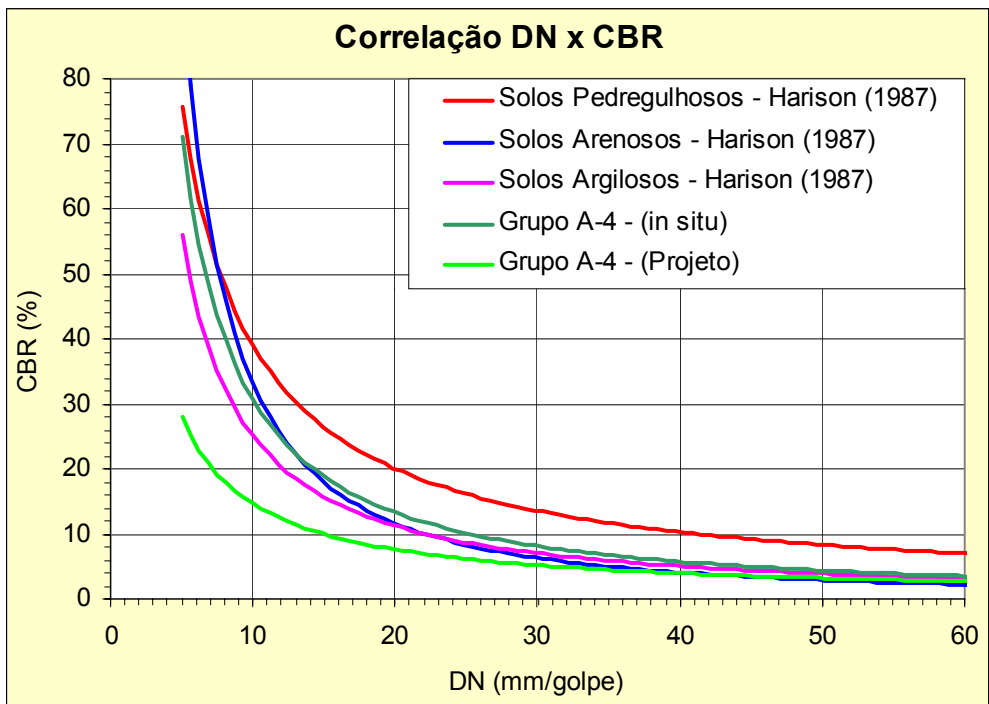


FIGURA 4.9 – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-4 e Harison).



Para os valores de DN inferiores a 13 mm/golpe, a correlação “in situ” para este grupo encontra-se intermediária entre as correlações para solos argilosos e arenosos obtidas por Harison. Para os valores de DN maiores que 13 mm/golpe, a correlação “in situ” encontra-se intermediária entre as correlações para solos arenosos e pedregulhosos obtidas por Harison, mas muito mais próxima da para solos arenosos. Contudo, mais uma vez, todas as correlações, com exceção da para solos pedregulhosos de Harison, tendem a um mesmo valor de CBR para valores de DN maiores que 50 mm/golpe.

Apesar deste grupo ser classificado como material siltoso (A-4), com porcentagem média de material fino ( $P_{200}$ ) de 39,8%, ele apresenta também, uma porcentagem média de areia grossa de 27,5%, o que justifica a proximidade entre a correlação “in situ” obtida para este grupo e a correlação de solos arenosos de Harison.

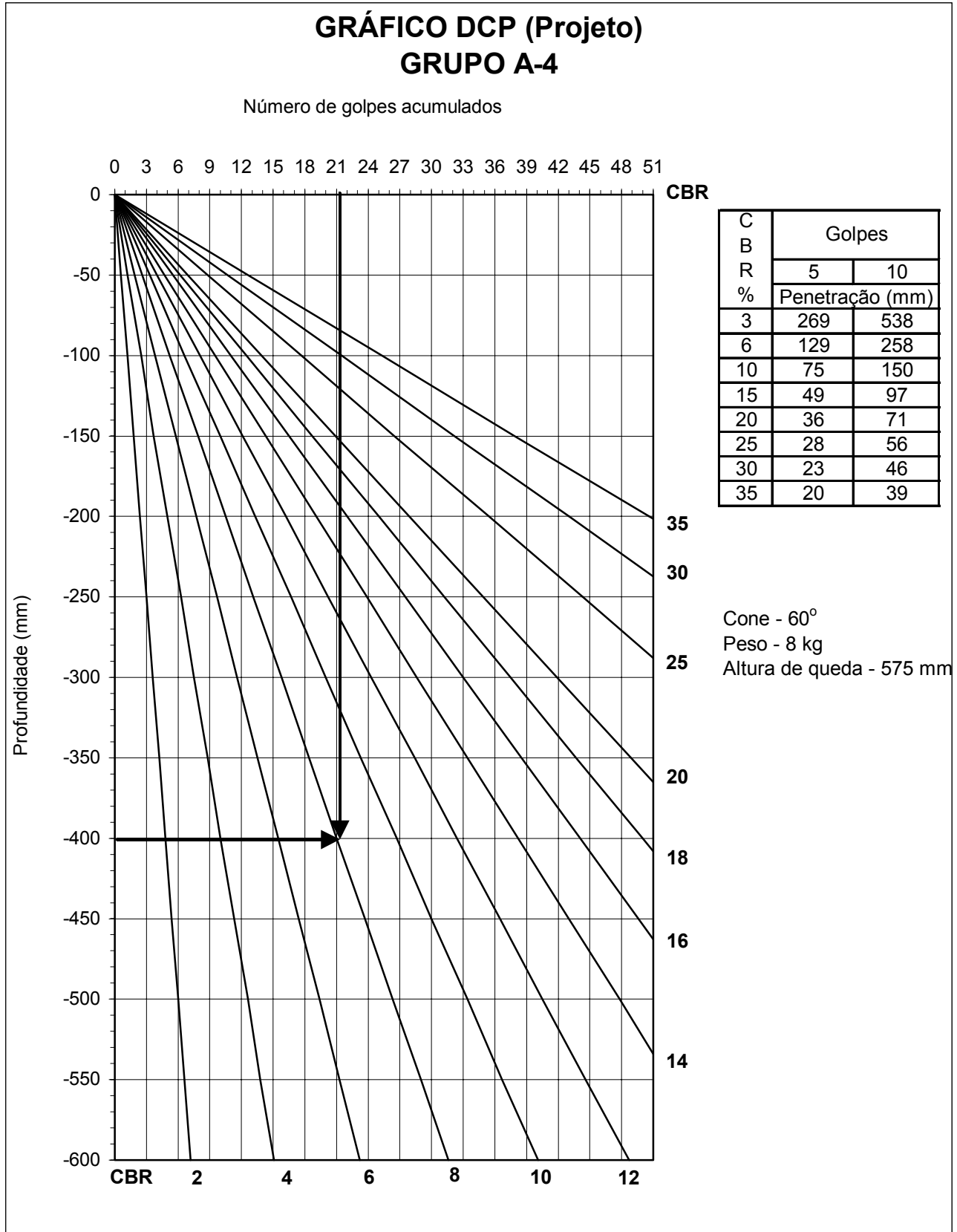
A correlação “projeto” ficou abaixo de todas, pois correlaciona o DN sem imersão com o CBR obtido após a imersão. Logo, fornece valores de CBR menores.

Seguindo-se a proposição de Emery (2000), foram estabelecidos gráficos, nos quais através da profundidade e do número de golpes acumulados, é possível obter o valor do CBR, como é apresentado nas figuras 4.10 e 4.11.

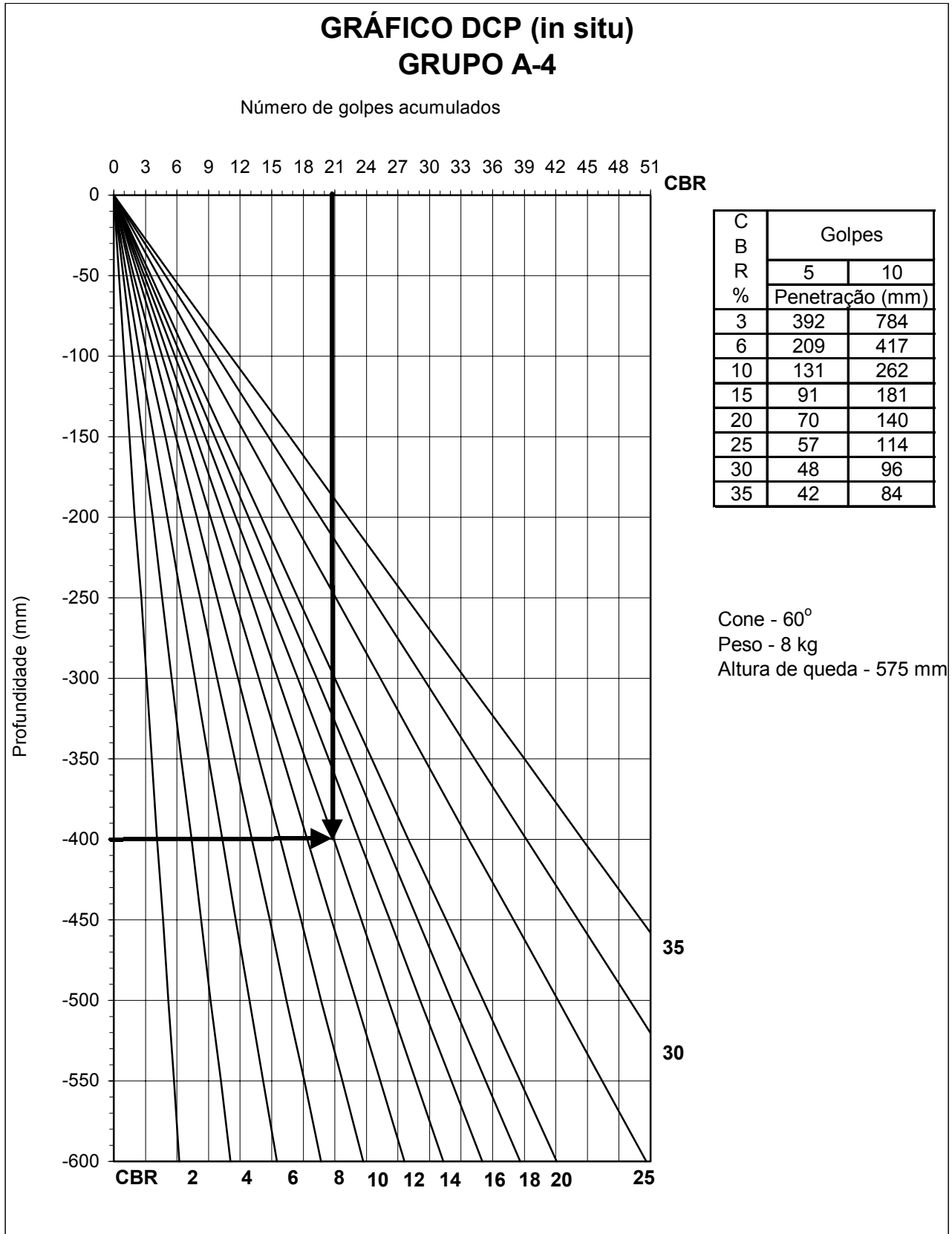
A tabela ao lado de cada gráfico apresenta os dados para montagem dos mesmos, estes dados foram obtidos através das correlações da figura 4.9.

O gráfico da figura 4.10 fornece o CBR de projeto, que vem a ser o valor do CBR obtido em laboratório após a imersão do corpo-de-prova por 4 dias, e utilizado no dimensionamento do pavimento. A figura 4.11 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo, sem saturação.

Por exemplo, ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 21 golpes e a lança alcança uma profundidade de 400 mm, considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 14% (figura 4.11). Por outro lado, esta camada quando saturada, terá sua capacidade de suporte reduzida para 8% (figura 4.10). Isto representa em uma queda de 42,8% da capacidade de suporte da camada.



**FIGURA 4.10** – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-4.



**FIGURA 4.11** – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-4.

### 4.3.2 Correlação Grupo 2

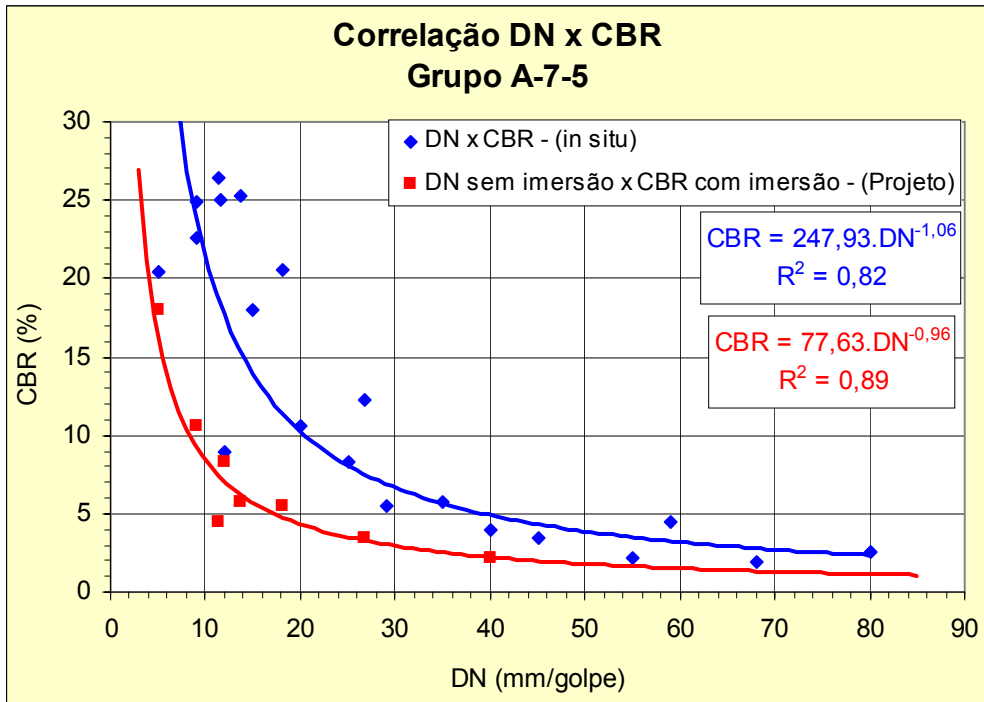
Este grupo é formado pelas amostras coletada nas estacas 930 e 1050 eixo - pista esquerda. Este grupo é classificado como A-7-5, pela classificação HRB. Portanto, materiais tipicamente argilosos. Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer a correlação podem ser vistos na tabela 4.4.

**TABELA 4.4** – Resultado de ensaios do Grupo 2 (A-7-5).

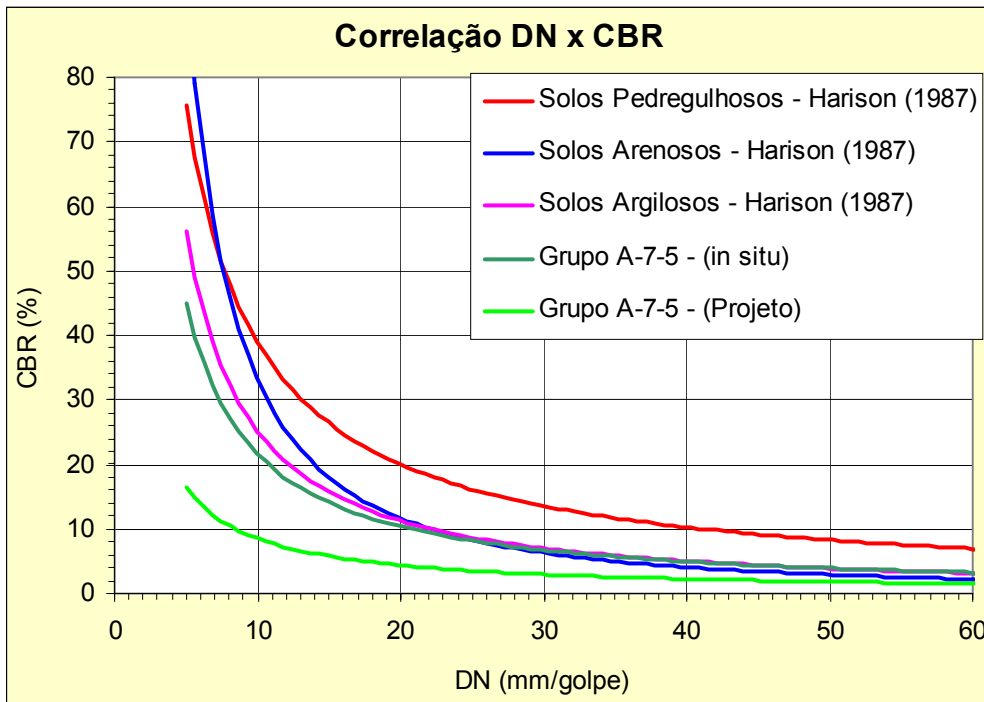
ESTACA	Umidade (%)	MEAS <sub>máx</sub> (g/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)	DN (mm/golpe)	Umidade após imersão (%)
930 EX PE com imersão	18,80	1,412	1,90	1,76	68,00	28,20
	21,00	1,511	10,60	0,72	20,00	24,30
	23,00	1,569	18,00	0,33	15,00	25,00
	25,00	1,550	8,30	0,09	25,00	25,80
	27,20	1,496	2,20	0,05	55,00	28,90
930 EX PE sem imersão	18,40	1,425	24,90	-	9,17	-
	20,80	1,510	22,60	-	9,00	-
	23,10	1,576	20,40	-	5,00	-
	25,20	1,550	8,90	-	12,00	-
	27,20	1,496	3,90	-	40,00	-
1050 EX PE com imersão	13,50	1,570	2,50	2,71	80,00	24,20
	15,50	1,606	4,50	1,74	59,00	22,40
	17,60	1,634	5,80	0,78	35,00	20,60
	19,50	1,640	5,50	0,48	29,00	20,70
	21,40	1,623	3,50	0,22	45,00	21,60
1050 EX PE sem imersão	13,40	1,558	25,00	-	11,67	-
	15,50	1,593	26,40	-	11,44	-
	17,40	1,635	25,30	-	13,71	-
	19,40	1,648	20,60	-	18,20	-
	21,40	1,613	12,20	-	26,67	-

Através de análise de regressão linear dos dados obtidos (método dos mínimos quadrados), obteve-se os modelos apresentados no gráfico da figura 4.12, ambos apresentaram um bom índice de correlação.

A figura 4.13 apresenta as correlações obtidas para o grupo 2, juntamente com as obtidas por Harison (1987). A correlação “in situ” para este grupo encontra-se muito próxima à dos solos argilosos de Harison. Esta proximidade vem confirmar a classificação deste grupo como material com características argilosas (A-7-5).



**FIGURA 4.12** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-5).

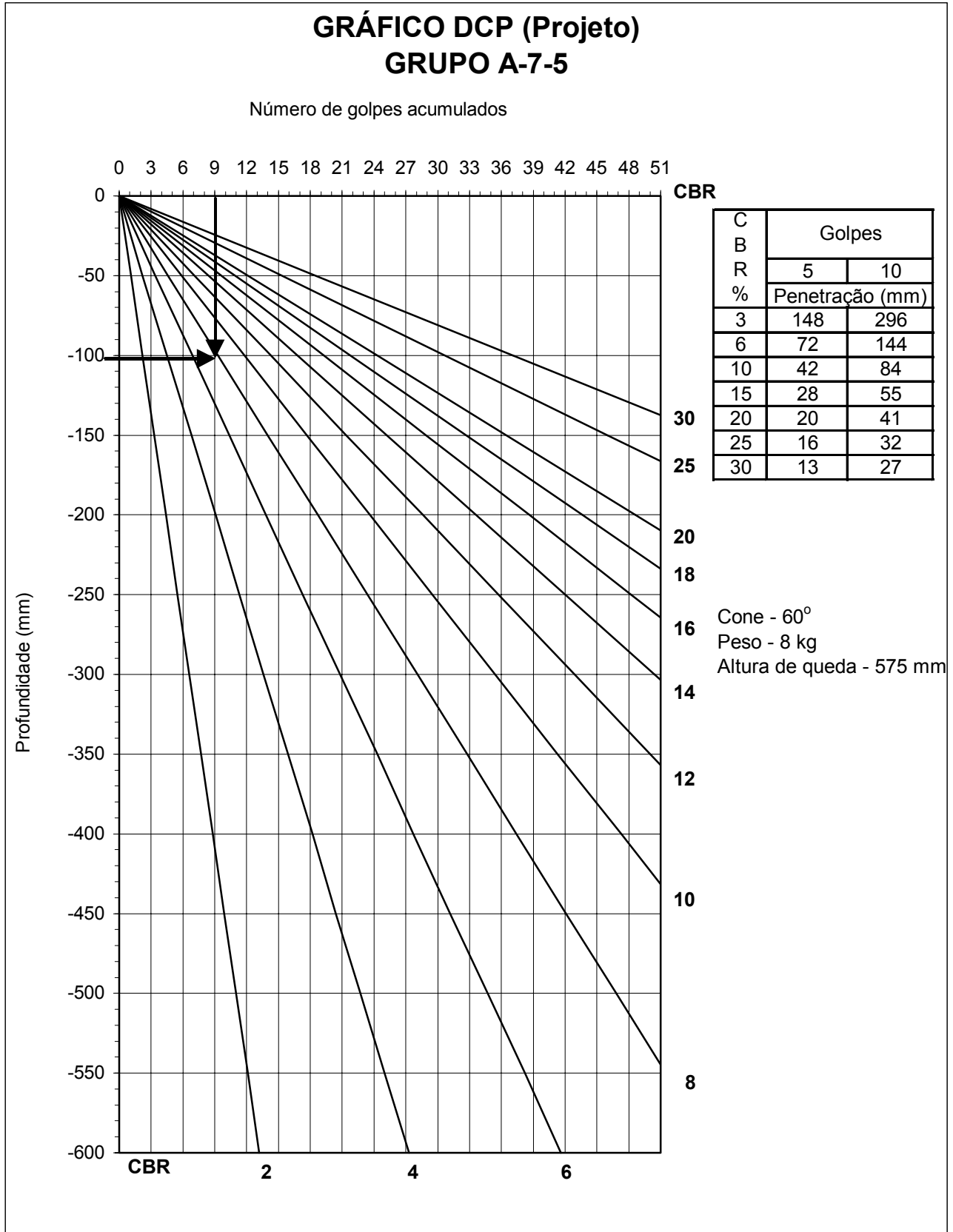


**FIGURA 4.13** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-5 e Harison).

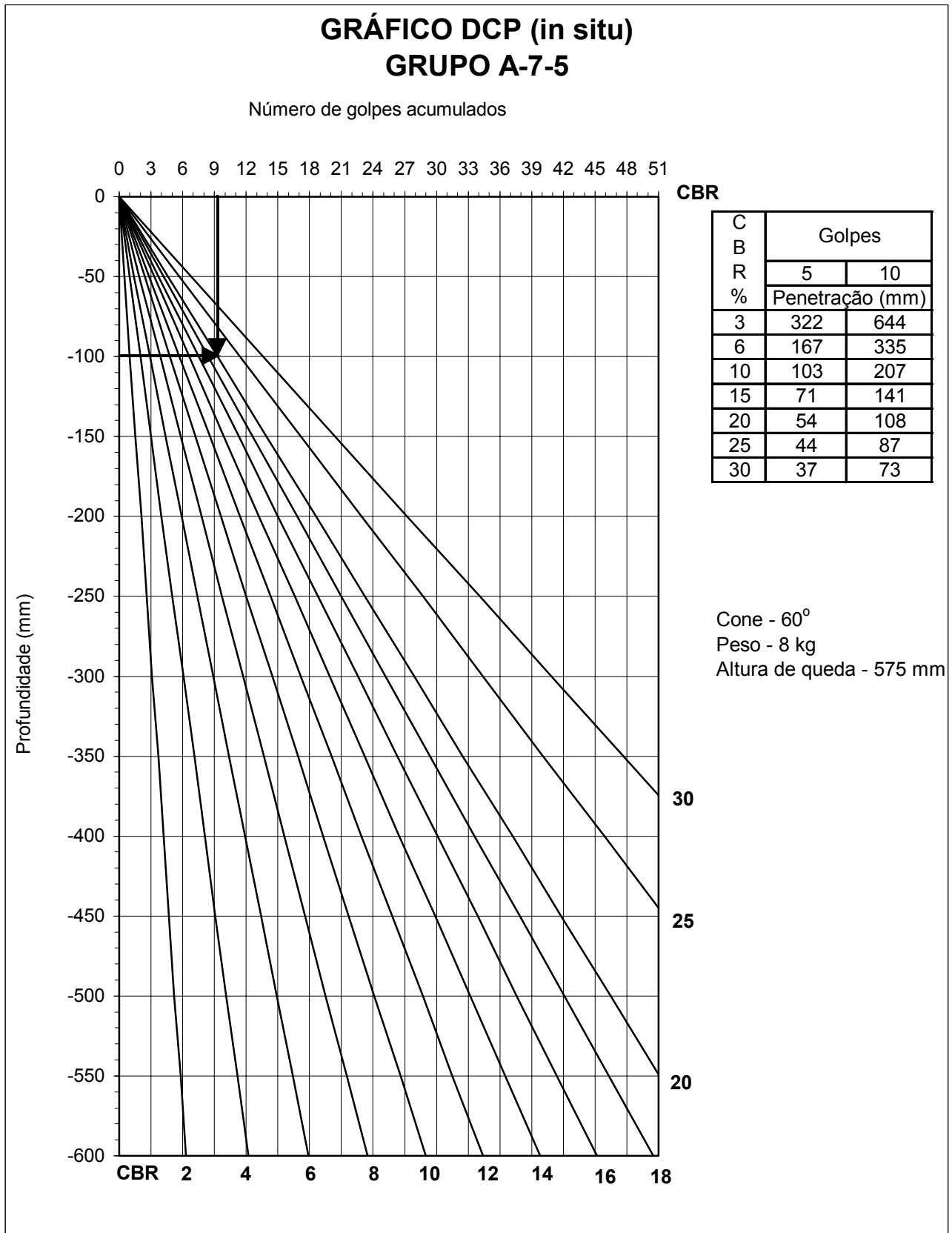
Emery (2000), estabeleceu gráficos chamados “DCP *chart*”, nos quais, em função da profundidade e do número de golpes acumulados, é possível obter o valor do CBR. Nas figuras 4.14 e 4.15, são apresentados para o grupo 2 de amostras analisadas, os gráficos seguindo esta proposição e utilizando as correlações obtidas na figura 4.12.

O gráfico da figura 4.14 fornece o CBR de projeto, que vem a ser o valor do CBR obtido em laboratório após a imersão do corpo-de-prova por 4 dias, para ser utilizado no dimensionamento do pavimento. A figura 4.15 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo, sem saturação.

Exemplificando, ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 9 golpes e a lança alcança uma profundidade de 100 mm, considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 20% (figura 4.15). Por outro lado, esta camada quando saturada, terá sua capacidade de suporte reduzida para 8% (figura 4.14). Isto representa uma queda de 60% da capacidade de suporte da camada.



**FIGURA 4.14** – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-7-5.



**FIGURA 4.15** – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-7-5.



### 4.3.3 Correlação Grupo 3

Este grupo é formado pela amostra coletada na estaca 2074 eixo - pista esquerda, e é classificado, segundo a HRB, como A-7-6. Portanto um material tipicamente argiloso. Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer a correlação podem ser vistos na tabela 4.5. Para esta amostra não foi determinado o teor de umidade após imersão.

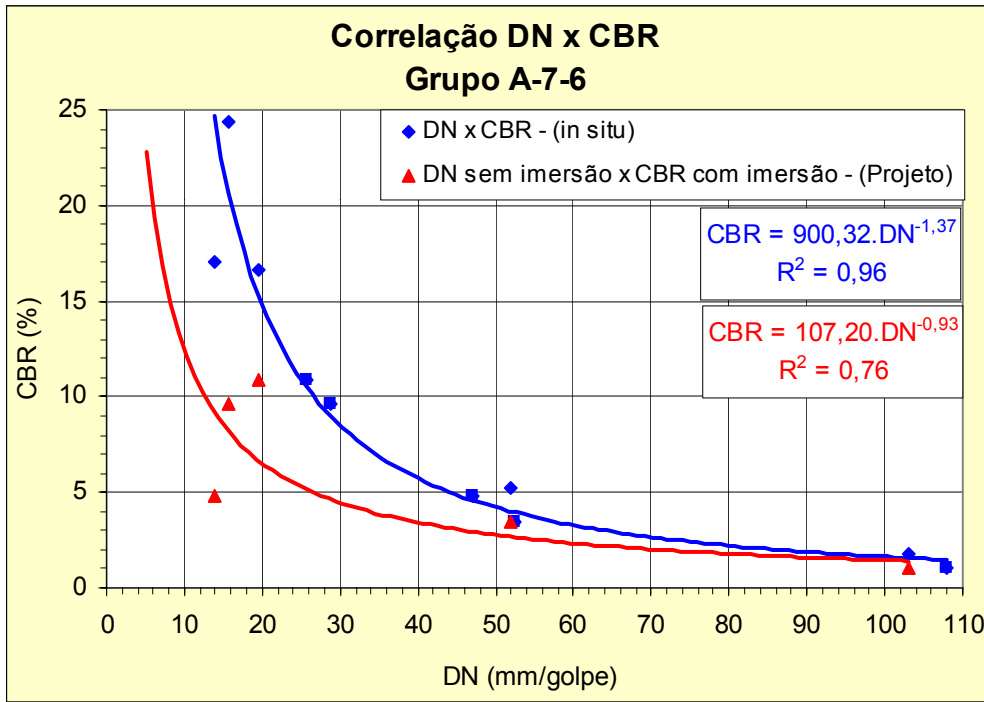
**TABELA 4.5** – Resultado de ensaios do Grupo 3 (A-7-6).

ESTACA	Umidade (%)	MEAS <sub>máx</sub> (g/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)	DN (mm/golpe)
2074 EX PE com imersão	14,30	1,597	4,83	1,00	47,00
	16,61	1,661	9,66	0,70	28,67
	18,20	1,686	10,93	0,20	25,67
	20,06	1,673	3,50	0,00	52,50
	21,80	1,610	1,07	0,00	108,00
2074 EX PE sem imersão	13,79	1,596	10,02	-	13,75
	16,31	1,651	24,38	-	15,57
	17,92	1,688	16,67	-	19,60
	19,98	1,670	5,23	-	52,00
	21,49	1,619	1,77	-	103,00

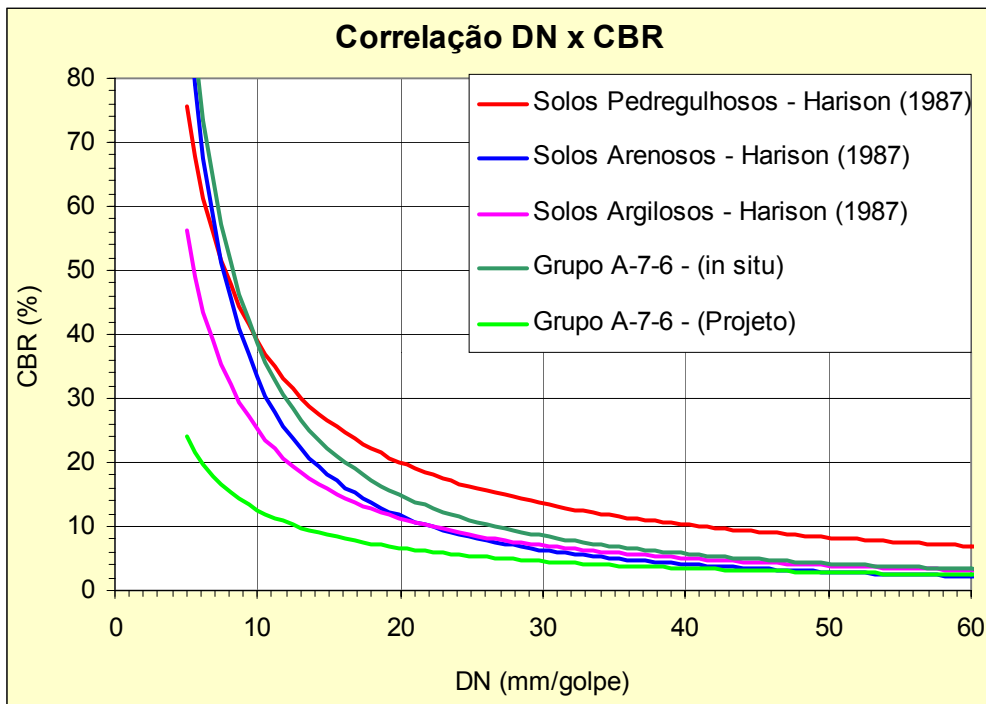
Os modelos obtidos estão apresentados no gráfico da figura 4.16, com um bom índice de correlação, e para valores de DN maiores que 60 mm/golpe, os valores de CBR obtidos, com ambos os modelos, tendem ser os mesmos.

A figura 4.17 mostra as correlações obtidas para o grupo 3, juntamente com as obtidas de Harison. A correlação “in situ” para este grupo encontra-se mais próximo a solos arenosos de Harison, contudo este grupo é considerado material argiloso, pela classificação HRB.

Analisando a granulometria desta amostra, vê-se que, apesar da amostra apresentar um grande quantidade de material fino (P<sub>200</sub>), a porcentagem média de pedregulhos nesta amostra é de 23,3%, que vem ser a segunda maior de todas as amostras coletadas, e ainda a porcentagem média de areia grossa (25,1%), faz com que este grupo apresente uma correlação próximo a de solos arenosos.



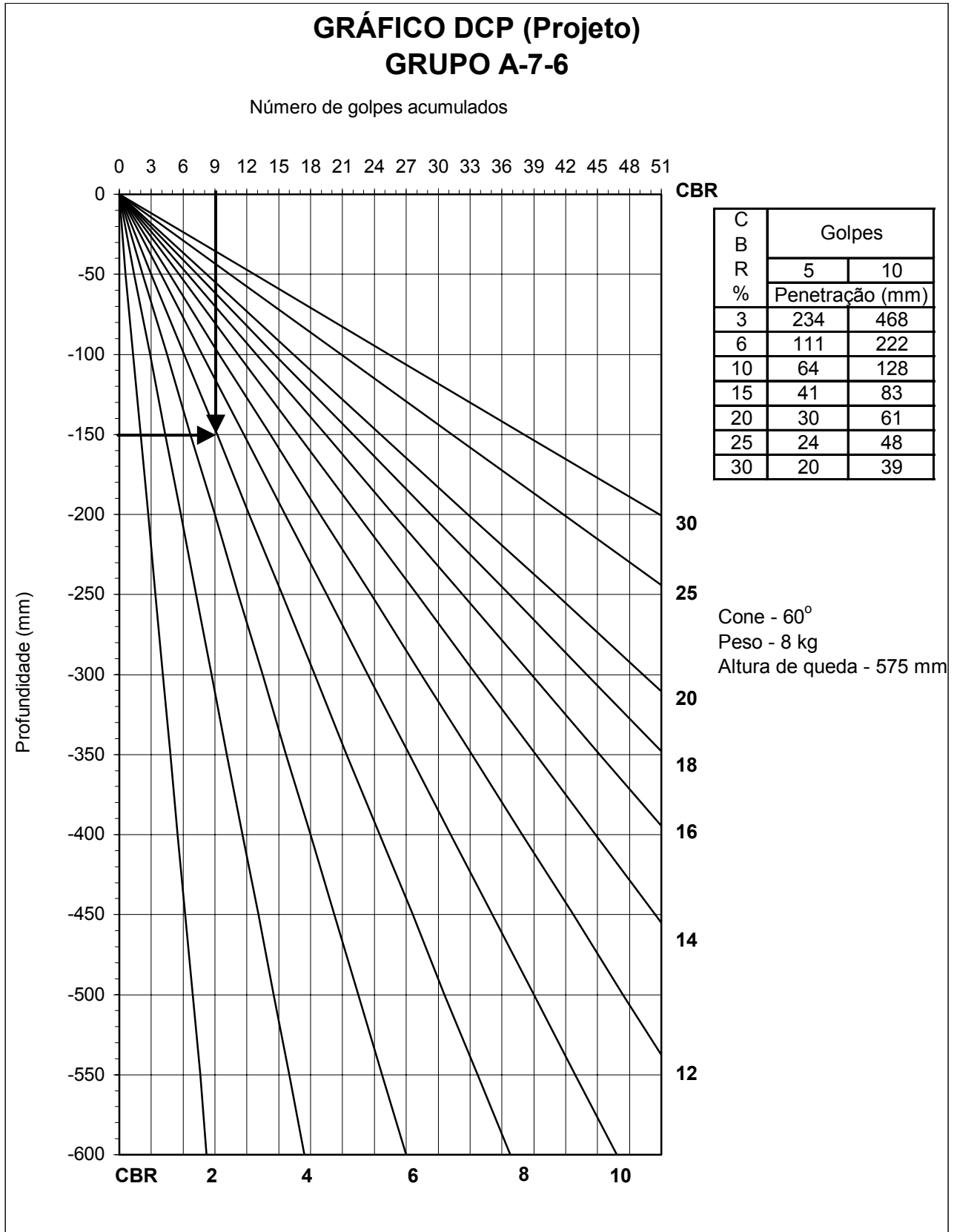
**FIGURA 4.16** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-6).



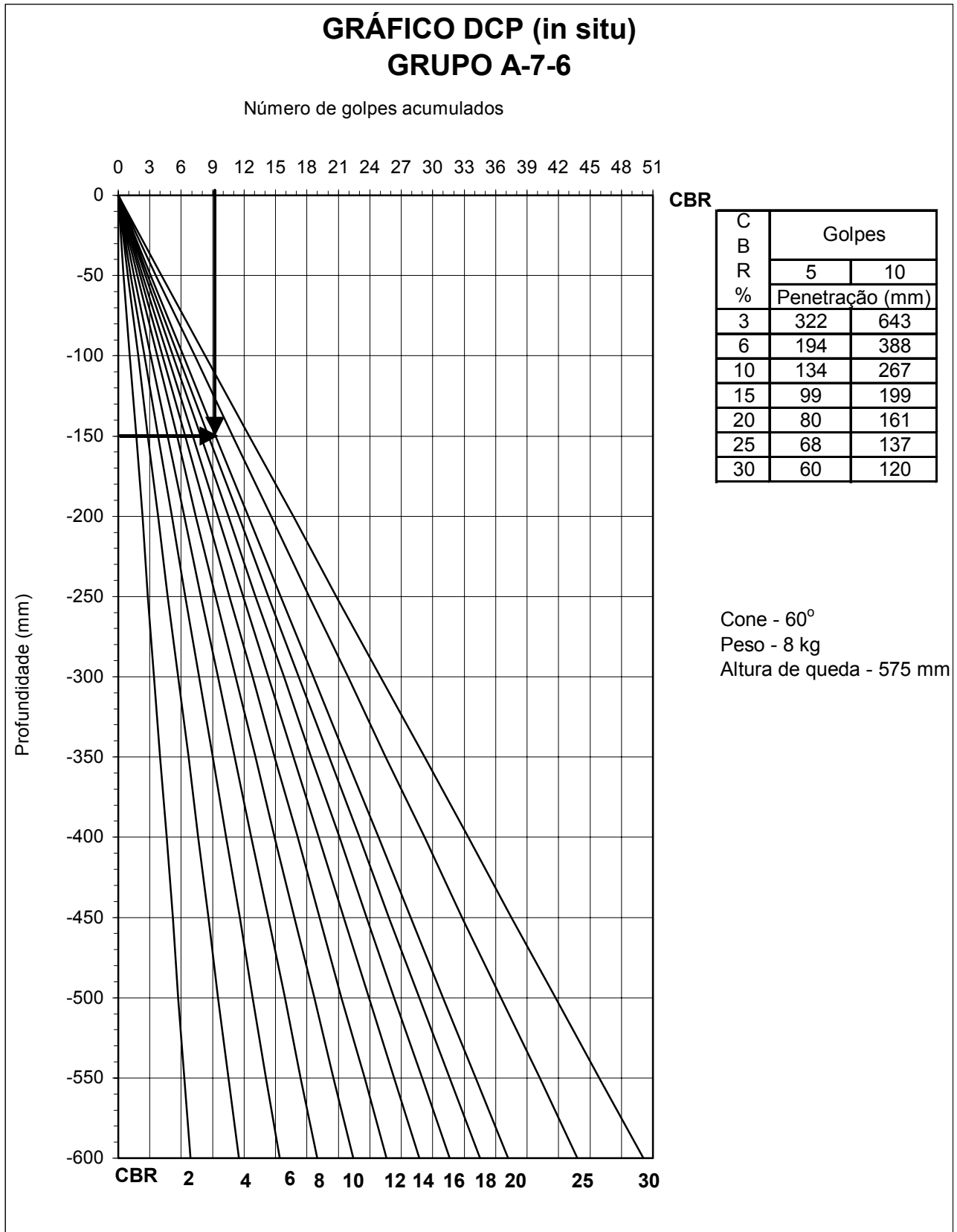
**FIGURA 4.17** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-7-6 e Harison).

Seguindo a proposição de Emery (2000) e as correlações obtidas na figura 4.16, o gráfico da figura 4.18 fornece o CBR de projeto, que vem a ser o valor do CBR obtido em laboratório após a imersão do corpo-de-prova por 4 dias, e utilizado no dimensionamento do pavimento. E a figura 4.19 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo.

Ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 9 golpes e a lança alcança uma profundidade de 150 mm, considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 20% (figura 4.19). Por outro lado, esta camada quando saturada, e sem uma drenagem eficiente, terá sua capacidade de suporte reduzida para 8% (figura 4.18). Isto representa em uma queda de 60% da capacidade de suporte da camada.



**FIGURA 4.18** – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-7-6.



**FIGURA 4.19** – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-7-6.

#### 4.3.4 Correlação Grupo 4

Este grupo é formado pelas amostras coletada nas estacas 1446 bordo direito - pista direita e 1458 bordo esquerdo - pista esquerda. Este grupo, segundo a classificação HRB, é classificado como A-2-7, sendo, portanto materiais arenosos siltosos ou arenosos argilosos. Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer a correlação podem ser vistos na tabela 4.6.

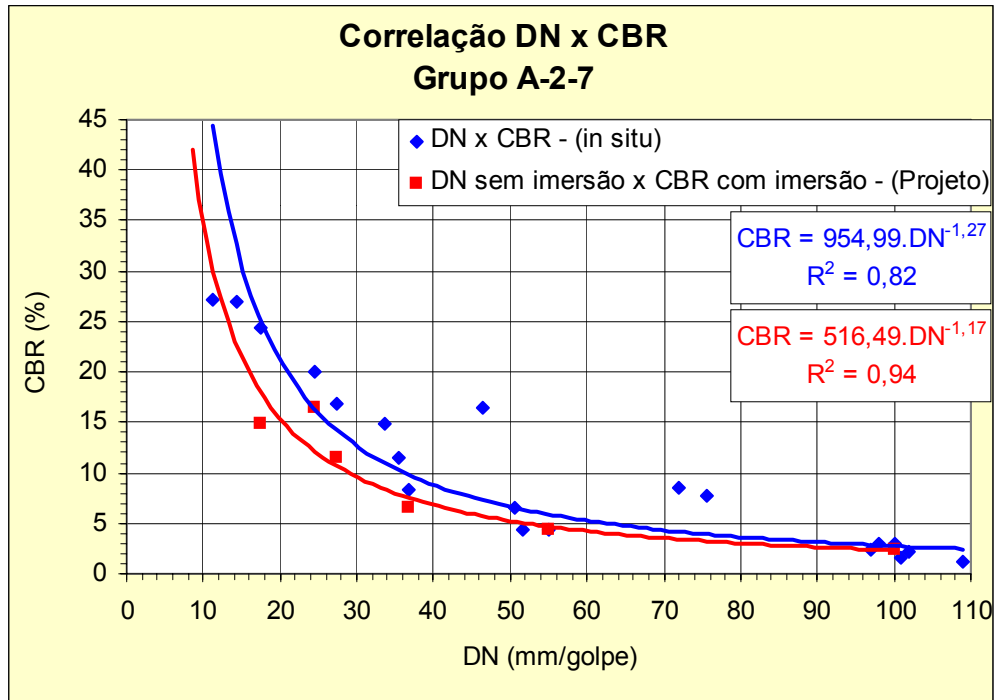
**TABELA 4.6** – Resultado de ensaios do Grupo 4 (A-2-7).

ESTACA	Umidade (%)	MEAS <sub>máx</sub> (g/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)	DN (mm/golpe)	Umidade após imersão (%)
1446 BD PD com imersão	9,80	1,533	3,00	1,00	98,00	21,00
	11,90	1,623	8,60	0,84	72,00	18,70
	14,10	1,713	16,40	0,13	46,50	17,20
	16,40	1,716	6,50	0,11	50,50	16,70
	18,40	1,698	2,40	0,08	97,00	18,50
1446 BD PD sem imersão	12,20	1,647	27,00	-	14,38	-
	14,60	1,703	20,10	-	24,50	-
	16,40	1,738	8,30	-	36,67	-
	18,00	1,669	3,00	-	100,00	-
	19,90	1,635	1,20	-	109,00	-
1458 BE PE com imersão	8,20	1,552	1,60	1,49	101,00	21,24
	10,50	1,661	7,70	0,94	75,50	20,00
	12,50	1,726	14,90	0,23	33,66	17,00
	14,20	1,768	11,50	0,16	35,33	18,00
	16,60	1,738	4,40	0,09	51,50	19,00
1458 BE PE sem imersão	10,20	1,657	27,10	-	11,20	-
	12,50	1,707	24,40	-	17,50	-
	14,50	1,782	16,90	-	27,25	-
	16,50	1,753	4,30	-	55,00	-
	18,00	1,707	2,20	-	102,00	-

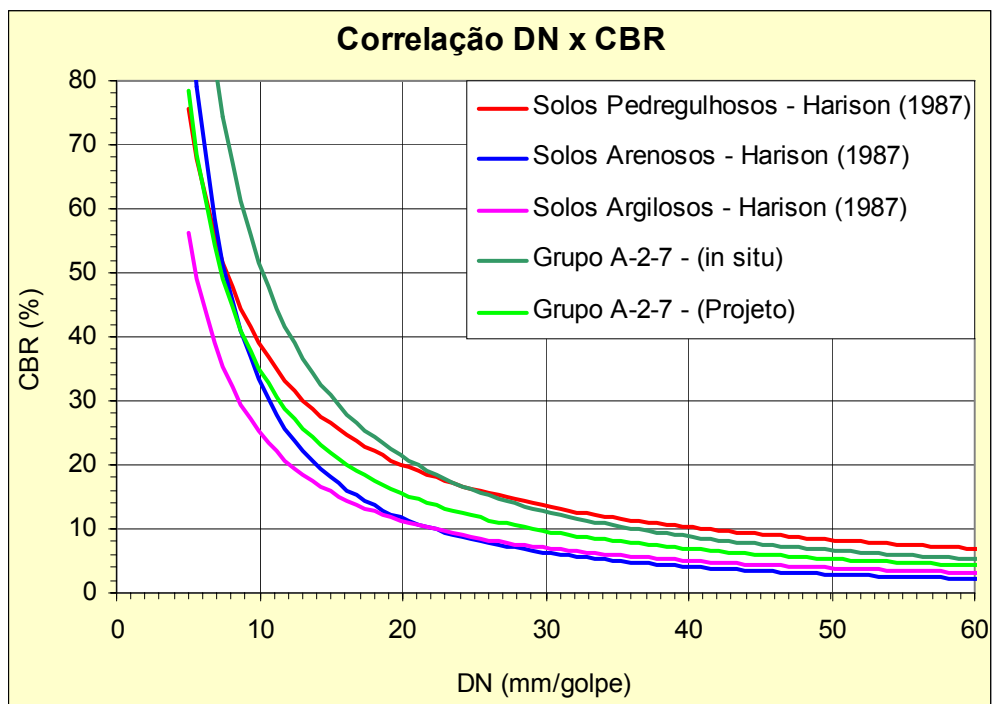
Na figura 4.20 estão apresentados os modelos para este grupo de amostras, os quais foram obtidos por meio de regressão linear (método dos mínimos quadrados) dos dados obtidos. Ambos apresentaram um bom índice de correlação, e para valores de DN maiores que 50 mm/golpe, os valores de CBR obtidos, com ambas as correlações, tendem a um valor comum.

A figura 4.21 mostra as correlações obtidas para o grupo 4, juntamente com as de Harison. A correlação “in situ” para este grupo encontra-se próxima a de solos

pedregulhos de Harison, e a correlação “projeto” ficou intermediária entre solos arenosos e pedregulhos de Harison.



**FIGURA 4.20** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-7).

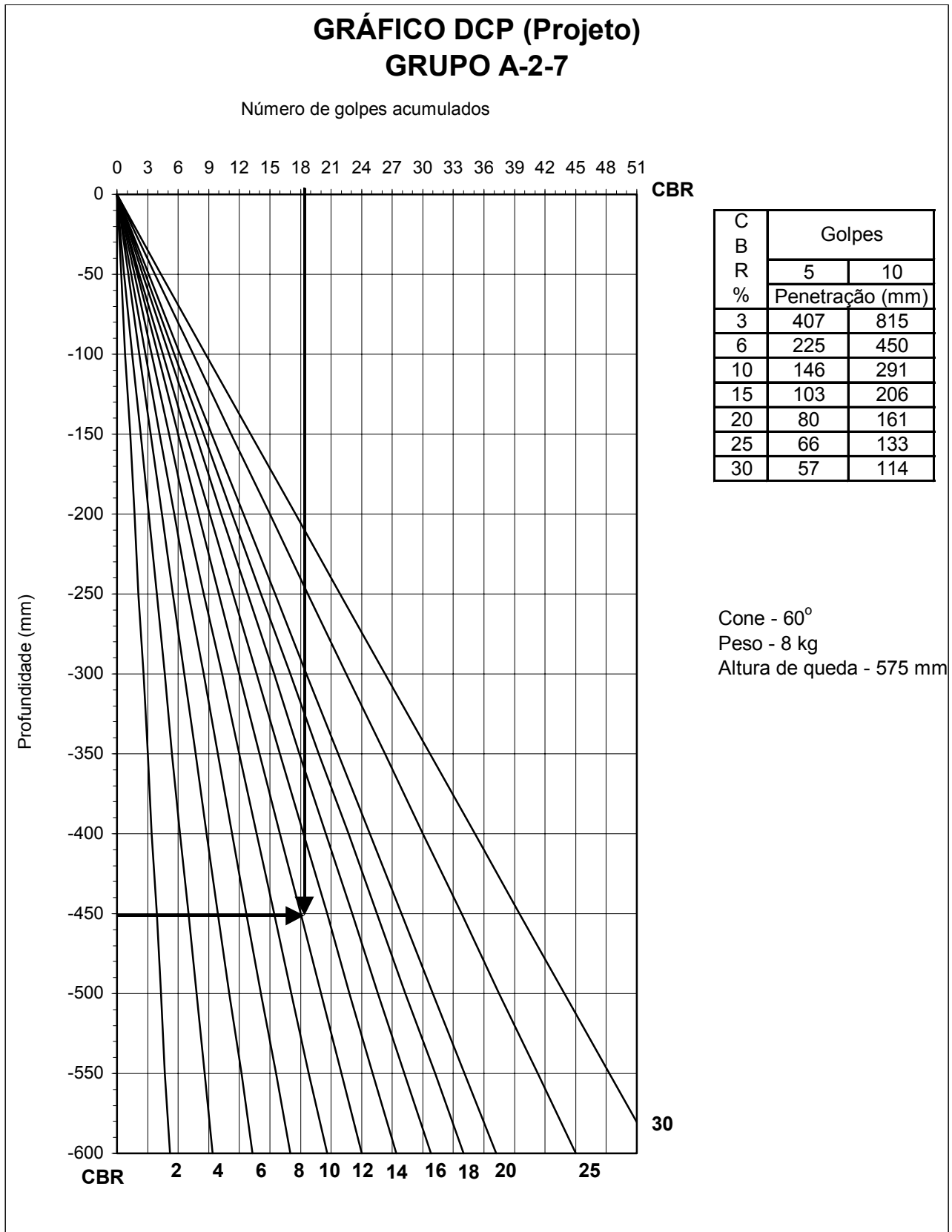


**FIGURA 4.21** – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-7 e Harison).

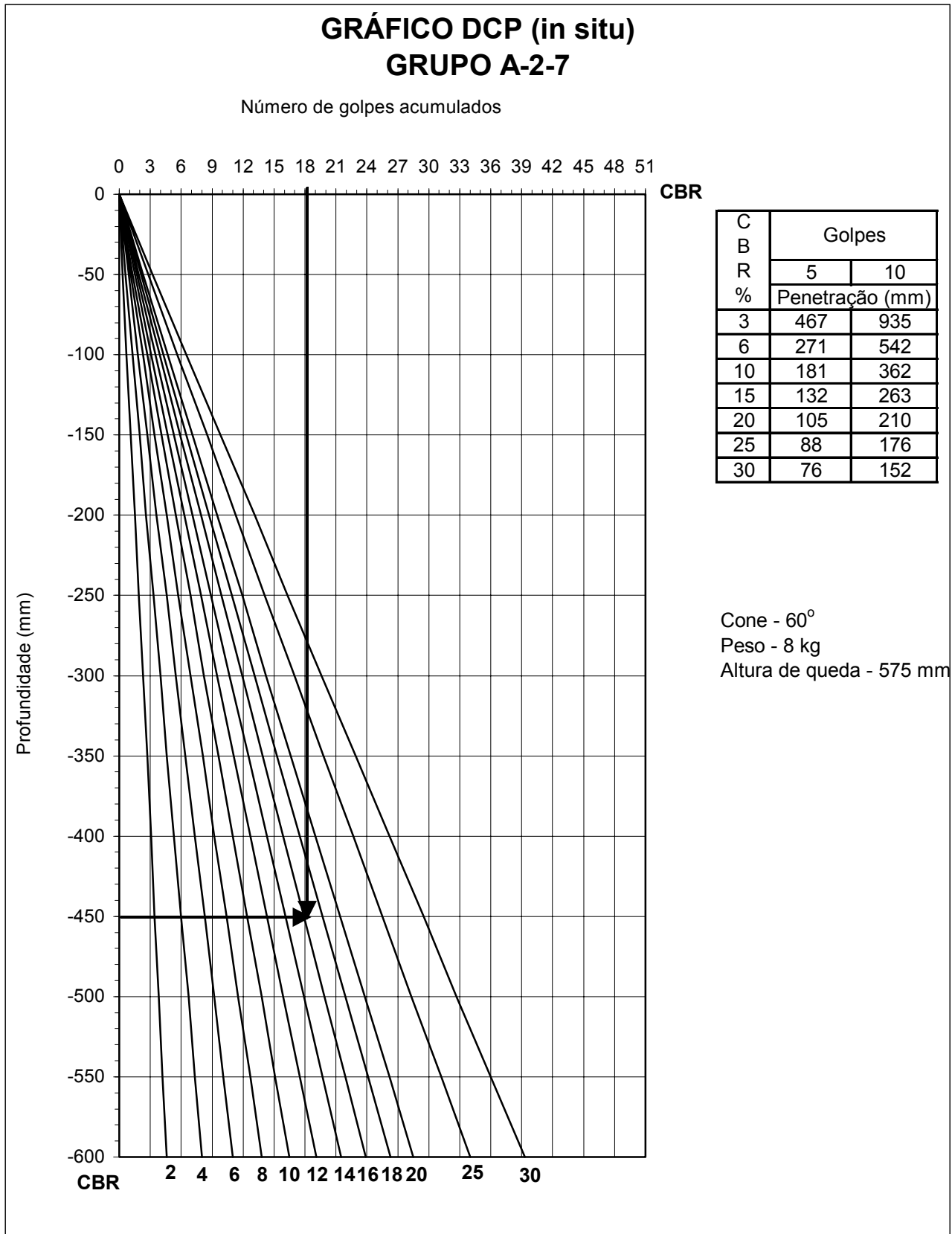
Nas figuras 4.22 e 4.23 são apresentados para o grupo 4 de amostras analisadas, os gráficos seguindo a proposição de Emery (2000) e as correlações da figura 4.20. O gráfico da figura 4.22 fornece o CBR de projeto, que vem a ser o valor do CBR obtido em laboratório após a imersão do corpo-de-prova por 4 dias, e utilizado no dimensionamento do pavimento. A figura 4.23 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo.

Ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 18 golpes e a lança do equipamento alcança uma profundidade de 450 mm. Considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 16% (figura 4.23). Por outro lado, esta camada quando saturada, e sem uma drenagem eficiente, terá uma sua capacidade de suporte reduzida para 12% (figura 4.22). Isto representa uma queda de 25% da capacidade de suporte da camada.





**FIGURA 4.22** – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-2-7.



**FIGURA 4.23** – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-2-7.

#### 4.3.5 Correlação Grupo 5

Este grupo é formado pela amostra coletada na estaca 2380 bordo esquerdo - pista direita, e classificado como A-2-4, segundo a classificação HRB, sendo, portanto materiais pedregulhosos. Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer a correlação podem ser vistos na tabela 4.7. Para esta amostra não foi determinado o teor de umidade após imersão

**TABELA 4.7** – Resultado de ensaios do Grupo 5 (A-2-4).

ESTACA	Umidade (%)	MEAS <sub>máx</sub> (g/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)	DN (mm/golpe)
2380 BE PD com imersão	7,30	1,650	3,50	1,00	81,00
	9,00	1,718	7,90	0,60	37,00
	11,50	1,798	13,10	0,20	21,40
	13,70	1,842	16,00	0,10	17,50
	15,20	1,800	2,36	0,00	121,00
2380 BE PD sem imersão	7,10	1,661	27,70	-	11,22
	8,80	1,730	29,30	-	11,78
	11,40	1,821	30,40	-	10,50
	13,70	1,853	18,20	-	17,00
	15,20	1,825	5,80	-	50,50

Na figura 4.24, com bons índices de correlação, está a correlação do parâmetro DN com seu respectivo CBR, chamada “in situ”; e a correlação do DN com o seu respectivo valor de CBR obtido após a imersão, chamada “Projeto”.

A figura 4.25 mostra os modelos obtidos para o grupo 5, juntamente com as correlações para solos pedregulhosos, arenosos e argilosos, obtidas por Harison (1987). A correlação “in situ” para este grupo encontra-se intermediária entre solos pedregulhosos e arenosos de Harison.

Analisando a granulometria das amostras deste grupo, vemos que a porcentagem média de pedregulhos e de areia grossa foram, respectivamente, 30,1 % e 27,7%, e para material fino (P<sub>200</sub>) e areia fina foram, respectivamente, de 12,7% e 29,5%. Isto

justifica a posição da correlação “in situ” entre as dos solos pedregulhosos e arenosos de Harison.

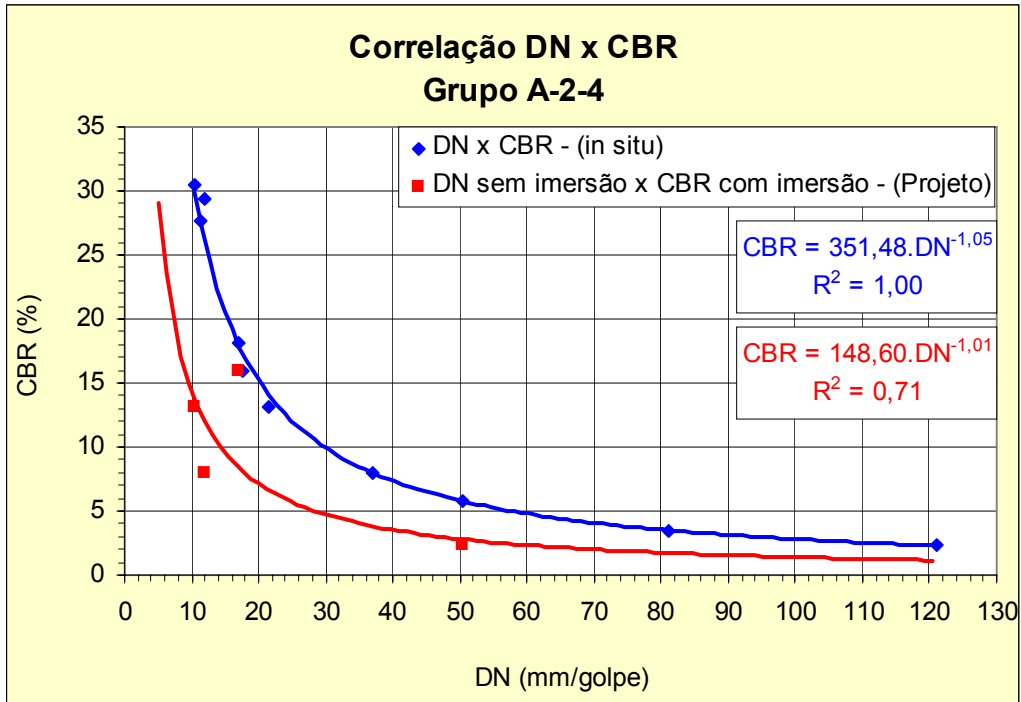


FIGURA 4.24 – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-4).

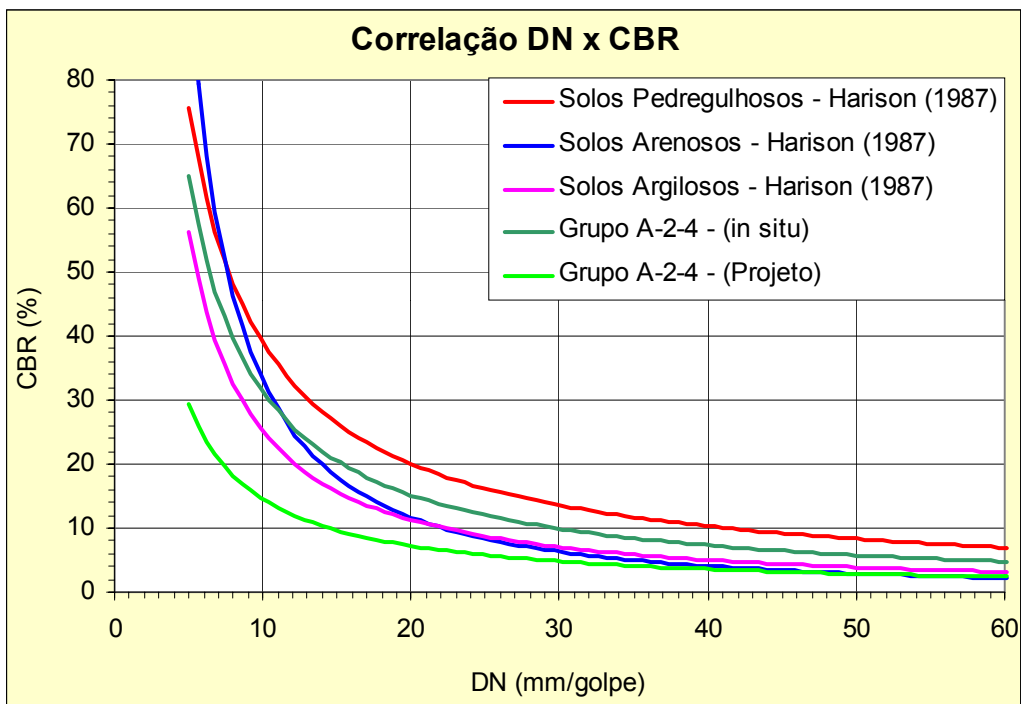
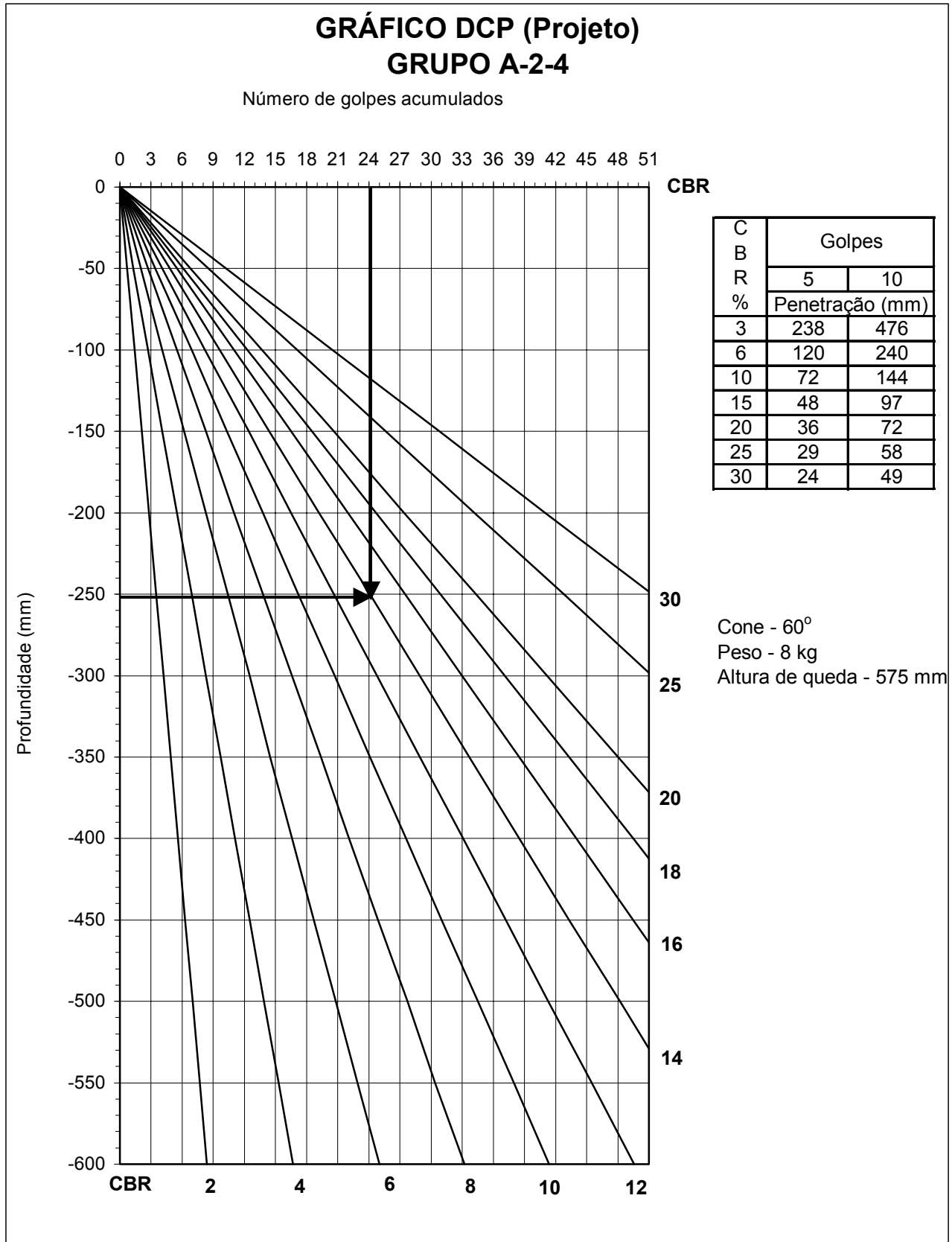


FIGURA 4.25 – Correlação entre o DN e CBR (Grupo A-2-4 e Harison).

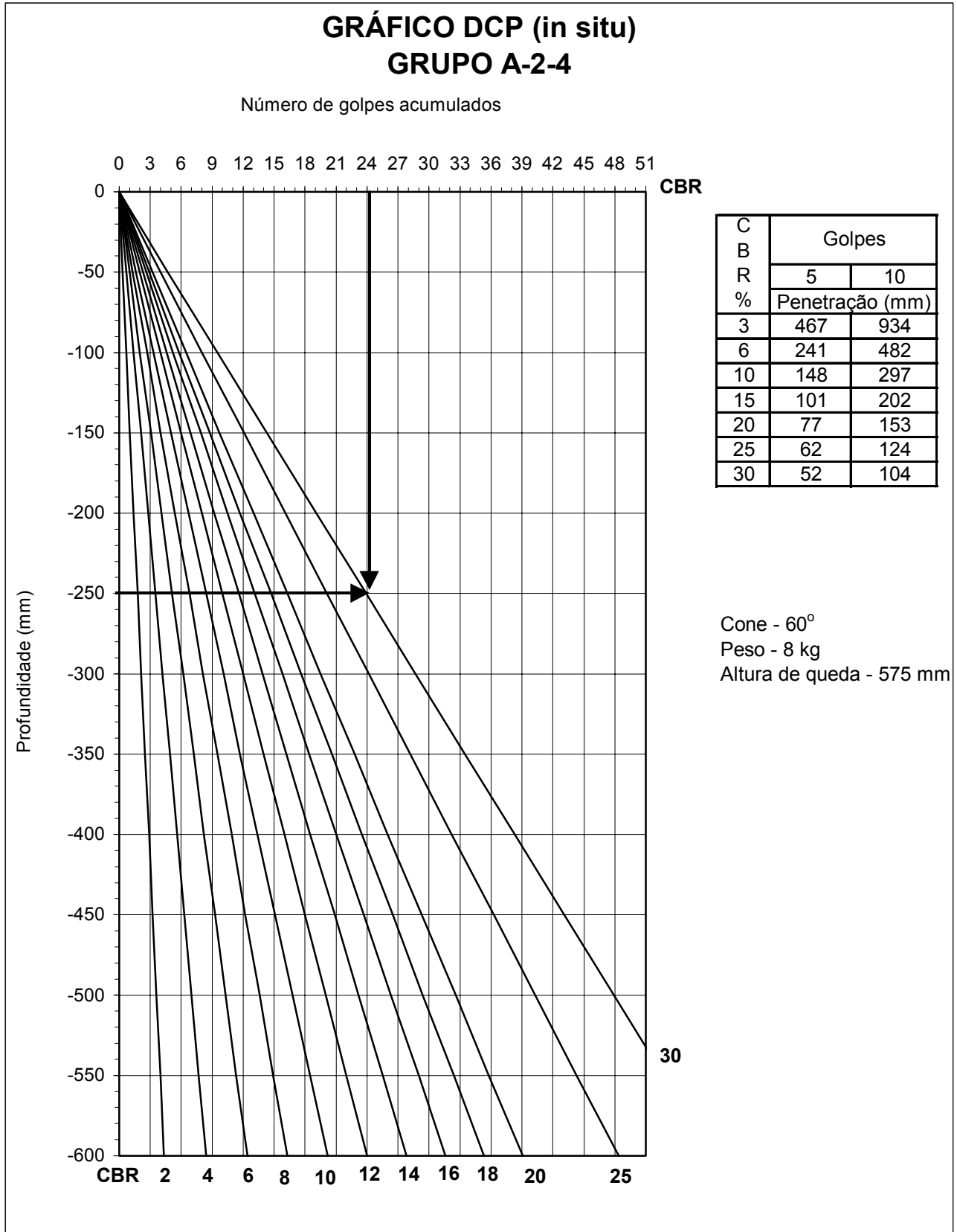
A correlação “projeto” ficou abaixo de todas, pois correlaciona o DN com o CBR obtido após a imersão, logo fornece valores de CBR menores.

O gráfico da figura 4.26 fornece o CBR de projeto, que vem a ser o valor do CBR obtido em laboratório após a imersão do corpo-de-prova por 4 dias, e utilizado no dimensionamento do pavimento. A figura 4.27 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo, sem saturação.

Ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 24 golpes e a lança do equipamento alcança uma profundidade de 250 mm. Considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 30% (figura 4.27). Por outro lado, esta camada quando saturada, terá uma redução de 53,3% na sua capacidade de suporte, isto é, reduzida para 14% (figura 4.26).



**FIGURA 4.26** – Gráfico DCP (Projeto) para Grupo A-2-4.



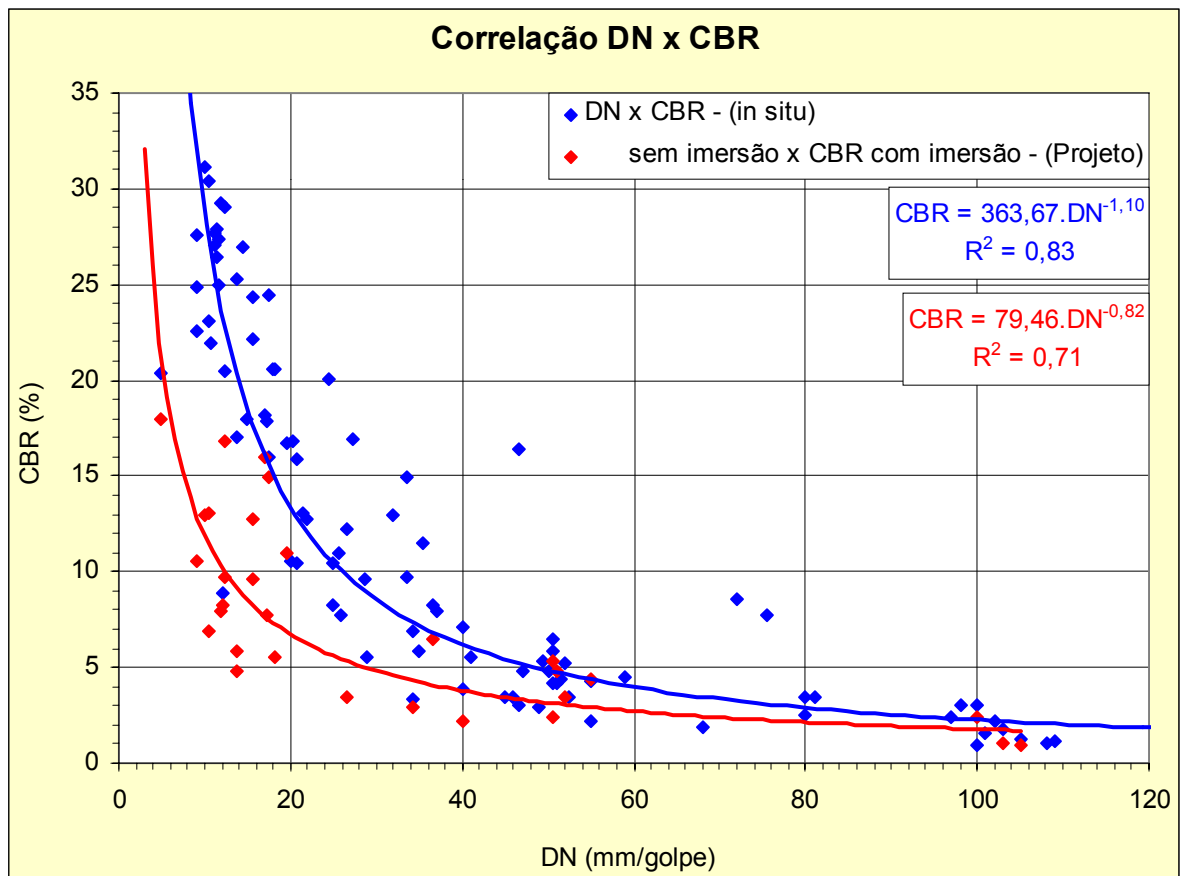
**FIGURA 4.27** – Gráfico DCP (in situ) para Grupo A-2-4.

#### 4.3.6 Correlação dos Dados em Conjunto

Analisando todos os dados em conjunto, como se fossem um mesmo grupo, têm-se novas correlações, apresentadas na figura 4.28. Mesmo com diferentes tipos de solos incluídos, ambas as correlações apresentaram um bom índice de correlação. Observa-se também que para valores de DN maiores que 60 mm/golpe, os valores de CBR obtidos tendem ser os mesmos, tanto para condição imersa como sem imersão.

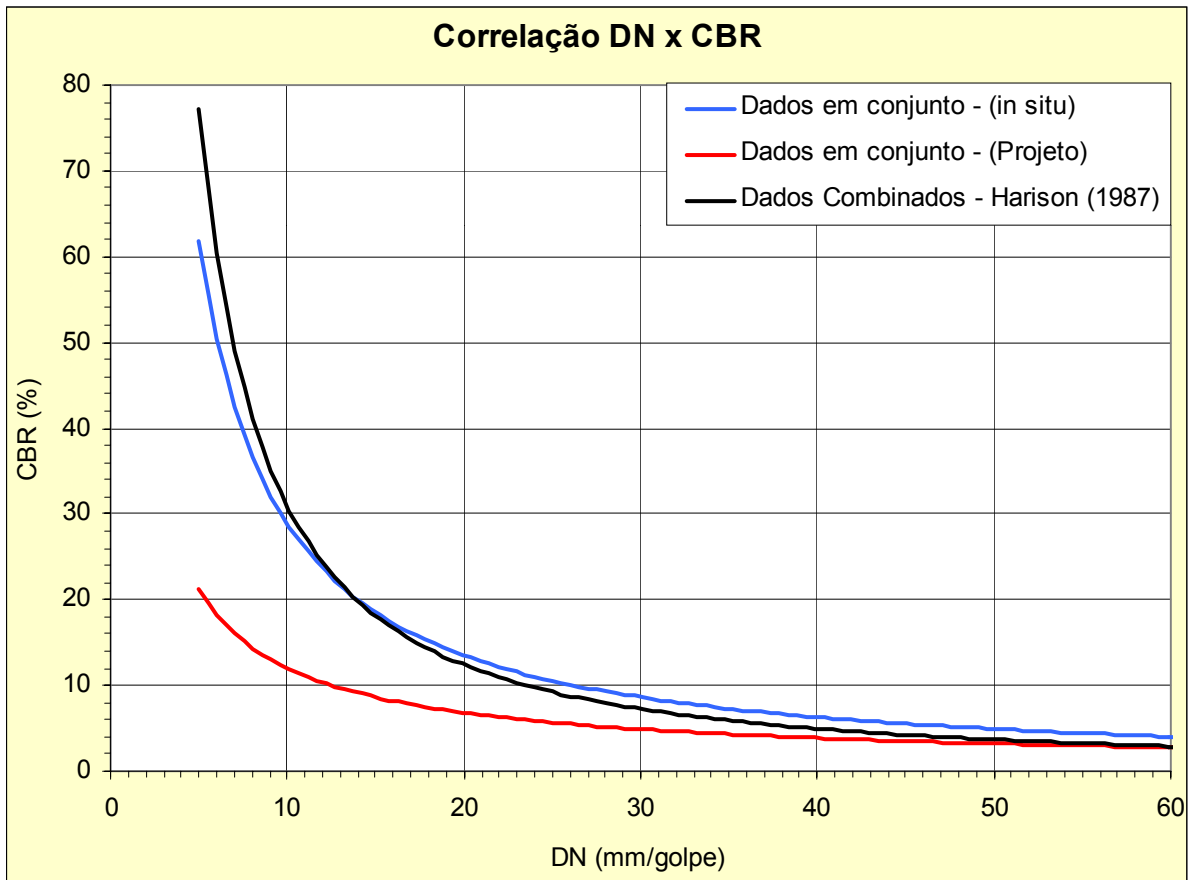
A figura 4.29 mostra as correlações obtidas para todos os dados em conjunto, juntamente com a obtida por Harison (1987), o qual também estabeleceu uma correlação com os dados combinados.

A correlação “in situ” encontra-se muito próxima a de Harison, enquanto que a correlação “projeto” ficou abaixo de todas, pois correlaciona o DN com o CBR obtido após a imersão.



**FIGURA 4.28**– Correlação entre o DN e CBR (dados em conjunto).

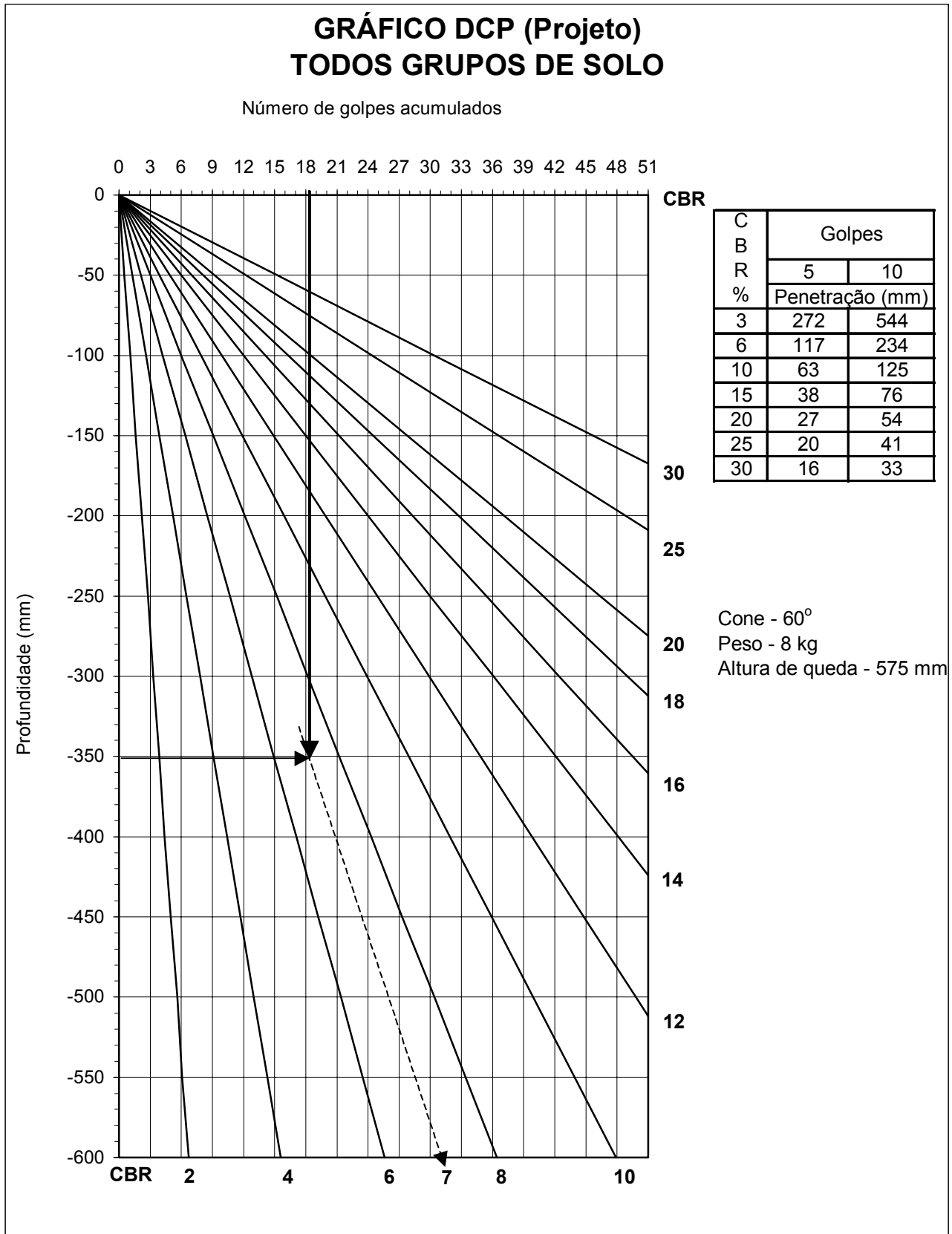




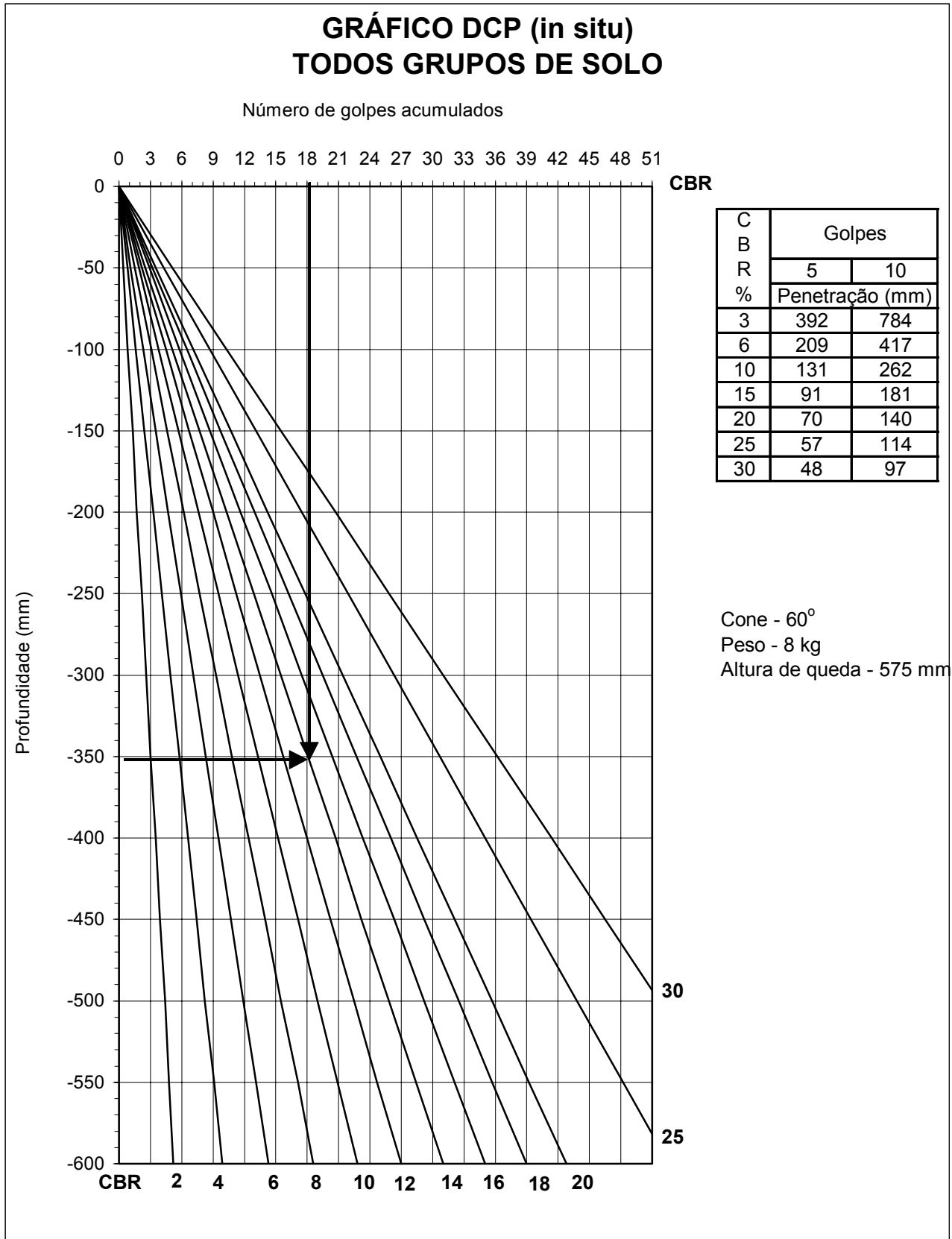
**FIGURA 4.29** – Correlação entre o DN e CBR (dados em conjunto e Harison).

Nas figuras 4.30 e 4.31 são apresentados, para todos os grupos em conjunto, os gráficos seguindo a proposição de Emery (2000) e utilizando as correlações obtidas na figura 4.28. Através destes gráficos, conhecida a profundidade que o cone penetrou e o número de golpes necessários para alcançá-la, é possível definir o valor do CBR médio da camada atravessada. O gráfico da figura 4.30 fornece o CBR de projeto (após a imersão) que será utilizado no dimensionamento do pavimento. A figura 4.31 fornece o CBR “in situ”, que vem a ser o valor do CBR na umidade de campo.

Ao realizar o ensaio DCP em uma camada composta por “material deste grupo”, aplica-se 18 golpes e a lança alcança uma profundidade de 350 mm, considerando que esta camada encontre-se no teor de umidade ótima, ela apresentará uma capacidade de suporte “in situ” de 14% (figura 4.31). Por outro lado, esta camada quando saturada, terá sua capacidade de suporte reduzida para 7% (figura 4.30). Isto representa uma queda de 50% da capacidade de suporte da camada.



**FIGURA 4.30** – Gráfico DCP (Projeto) para os dados em conjunto.



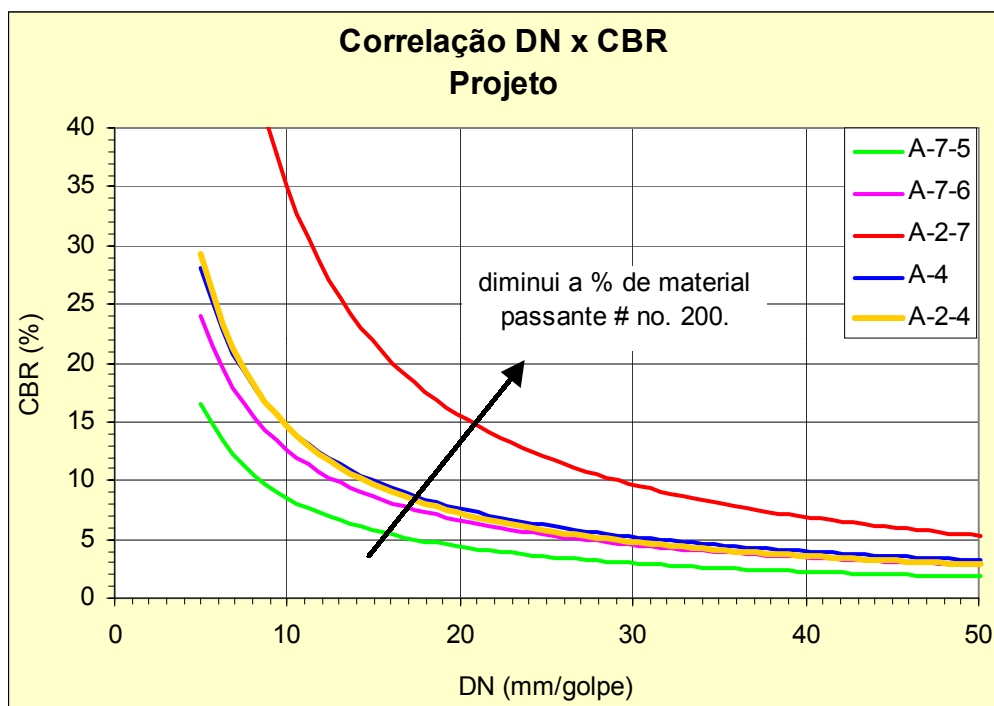
**FIGURA 4.31** – Gráfico DCP (in situ) para os dados em conjunto.

A tabela 4.8 apresenta um resumo de todas correlações obtidas entre o índice de penetração (DN) do Penetrômetro Dinâmico de Cone e o Índice de Suporte Califórnia (CBR).

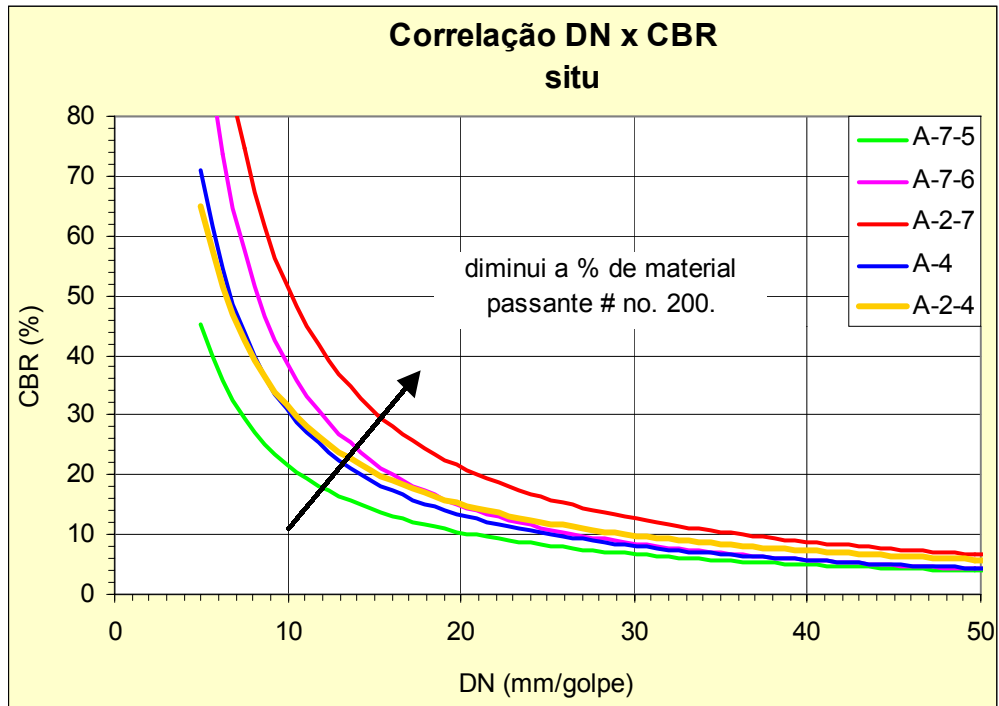
**TABELA 4.8** – Resumo das correlações obtidas entre DN e CBR.

GRUPO	<i>IN SITU</i>	R <sup>2</sup>	<i>PROJETO</i>	R <sup>2</sup>
A-4	$CBR = 497,66.DN^{-1,21}$	0,89	$CBR = 127,19.DN^{-0,94}$	0,72
A-7-5	$CBR = 247,93.DN^{-1,06}$	0,82	$CBR = 77,63.DN^{-0,96}$	0,89
A-7-6	$CBR = 900,32.DN^{-1,37}$	0,96	$CBR = 107,20.DN^{-0,93}$	0,76
A-2-7	$CBR = 954,99.DN^{-1,27}$	0,82	$CBR = 516,49.DN^{-1,17}$	0,94
A-2-4	$CBR = 351,48.DN^{-1,05}$	1,00	$CBR = 148,60.DN^{-1,01}$	0,71
Todos os grupos	$CBR = 363,67.DN^{-1,10}$	0,83	$CBR = 79,46.DN^{-0,82}$	0,71

Ao se colocar todas as correlações obtidas, entre o índice de penetração (DN) do DCP e o valor do CBR, observa-se uma elevação da curva para cada grupo, isto é, um aumento da capacidade de suporte do material, em função da diminuição da porcentagem de material passante na peneira de 200 mm, como mostram as figuras 4.32 e 4.33.



**FIGURA 4.32** – Correlação entre DN e CBR “Projeto”, para todos os grupos.



**FIGURA 4.33** – Correlação entre DN e CBR “in situ”, para todos os grupos.

As figuras 4.34 e 4.35 apresentam as curvas de erros relativos que seriam cometidos nas estimativas dos valores de CBR, caso fosse adotada a correlação dos dados em conjunto, ao invés da correlação para cada grupo de solo.

Este erro relativo foi calculado a partir das correlações apresentadas na tabela 4.8, para cada valor de DN obteve-se um valor de CBR com a correlação dos dados em conjunto, e um valor de CBR com a correlação específica do grupo. Então, para cada valor de DN, tem-se um erro relativo calculado com a equação:

$$\text{Erro relativo} = \left[ \frac{\text{CBR}_{cs} - \text{CBR}_{cc}}{\text{CBR}_{cs}} \right] \cdot 100 \quad (19)$$

onde: -  $\text{CBR}_{cs}$ : Valor de CBR obtido com a correlação específica de solo;  
 -  $\text{CBR}_{cc}$ : Valor de CBR obtido com a correlação dos dados em conjunto.

Analisando a figura 4.34, das correlações de projeto, tem-se que os grupos A-4, A-2-4 e A-7-6, apresentaram menores erros relativos. E os erros relativos, para todos os grupos, decrescem com o aumento dos valores do índice de penetração do DCP (DN).

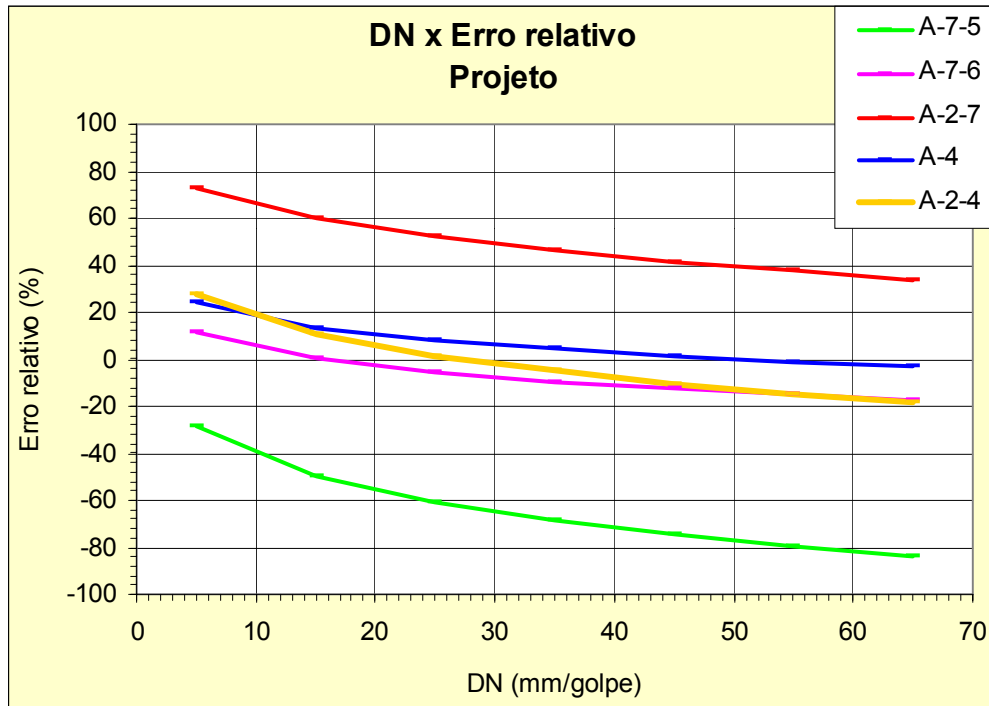


FIGURA 4.34 – Curvas entre DN e erro relativo para as correlações de “projeto”.

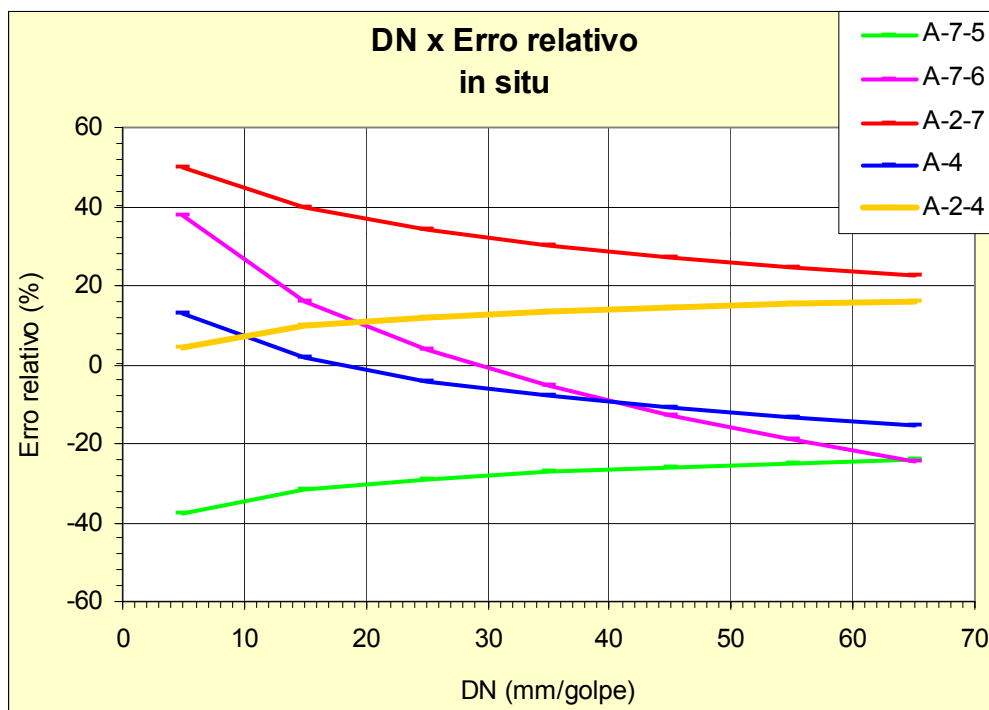


FIGURA 4.35 – Curvas entre DN e erro relativo para as correlações de “in situ”.

Conforme a figura 4.35, apresenta as correlações “in situ”, os grupos A-4, A-2-4 e A-7-6, também apresentaram menores erros relativos. Contudo os grupos A-7-5 e A-2-4 apresentam um crescimento do erro relativo com o aumento dos valores do DN, diferindo dos demais grupos.

Assim concluí-se que para uma estimativa do valor do CBR mais precisa e confiável, é indicado que se determine uma correlação para cada tipo de solo, para evitar que ocorram estes erros.

#### 4.4 CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE PENETRAÇÃO (DN) E O MÓDULO RESILIENTE (MR)

Conforme citado no capítulo 3, também fez parte do controle tecnológico do trecho em estudo, a realização de leituras deflectométricas com a viga Benkelman. Através da retroanálise das deflexões medidas em campo no trecho em estudo, obteve-se valores de módulos resilientes (MR) da camada de subleito, conforme será apresentado no decorrer deste capítulo.

O módulo resiliente de um solo pode ser estimado através de duas maneiras: por meio de programas de retroanálise, analiticamente, e por meio de ensaios triaxiais dinâmicos, em laboratório. Estes processos são complexos e necessitam um grande número de ensaios, por isso se tornam um pouco demorados.

Através do cruzamento dos módulos resilientes, obtidos por retroanálise, com os resultados obtidos no ensaio DCP (DN) em campo no trecho em estudo, procurou-se obter uma correlação para se estimar o valor do módulo de resiliência de uma camada de subleito, por meio do ensaio DCP, de maneira rápida e com baixo custo.

O termo resiliente, proposto por Hveem, na década de 40, é empregado para expressar a resposta dinâmica dos materiais submetidos a carregamentos repetidos na sua componente elástica (que não necessariamente é linear). A deformação resiliente corresponde à deformação elástica ou recuperável ( $\epsilon_r$ ) dos pavimentos sujeitos a cargas cíclicas ( $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ ), como forma de distinguí-las daquelas que normalmente ocorrem em outras estruturas e que não são repetidas tão aleatoriamente quanto a intensidade, duração e frequência impostas pelo tráfego real em uma rodovia. Hveem criou um equipamento para medir esta característica dos materiais de pavimentação, chamado resiliômetro; com o passar do tempo suas idéias foram se propagando e outros ensaios foram desenvolvidos ou adaptados, porém mantiveram-se os termos resiliência e módulo de resiliência definitivamente consagrados no meio rodoviário.

Defini-se o módulo resiliente para o ensaio triaxial por:

$$MR = \sigma_d / \epsilon_r \quad (20)$$



- onde: - MR: Módulo Resiliente;
- $\sigma_d$ : Tensão desvio repetida ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ ); e
  - $\varepsilon_r$ : Deformação elástica ou resiliente correspondente a um certo número de aplicações de  $\sigma_d$ .

#### 4.4.1 Retroanálise

A Mecânica dos Pavimentos permite que se calculem as tensões, deformações e deslocamentos, desde que conhecidos os parâmetros de deformabilidade dos materiais, geometria da estrutura e carregamento imposto pelo tráfego.

A retroanálise é entendida como um procedimento analítico de obtenção dos módulos elásticos “in situ” das camadas do pavimento e do subleito, baseada na interpretação de forma e da magnitude da deformação da superfície do pavimento (bacia de deformação) quando submetida a um determinado carregamento externo.

No aspecto analítico, a retroanálise utiliza os conceitos gerais da Teoria da Elasticidade aplicada aos sistemas estratificados, em cuja formulação baseia-se a teoria original de Boussinesq de 1885, para meios semi-infinitos, homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos. Experiências em laboratório e em campo têm mostrado um comportamento “quase” elástico dos pavimentos quando submetidos às cargas usuais de tráfego permitindo, com alguma aproximação, o uso dos modelos elásticos, onde o conjunto pavimento/subleito é representado por um sistema de camadas elásticas estratificadas (pavimento) sobre um maciço elástico (subleito).

Na análise elástico-linear de um semi-espaço elástico, são assumidas as seguintes hipóteses: o material é homogêneo e isótropo, e as tensões ficam caracterizadas por duas propriedades: o coeficiente de *Poisson* ( $\mu$ ) e o módulo de elasticidade ( $E$ ), sendo que o material obedece à Lei de Hooke, generalizada para materiais elásticos e isótropos.

A viabilidade dos métodos analíticos, baseados na teoria da elasticidade, se deu com a evolução do computador. Atualmente, existe uma grande disponibilidade de programas computacionais para análise de estruturas de pavimentos e praticamente todos são baseados na teoria da elasticidade, ou seja, na solução matemática dos sistemas elásticos de multicamadas.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o programa ELSYM5 (Elastic Layered System Computer Program), o qual foi desenvolvido por Stuart Kopperman, George Tiller e Mingston Tseng na Universidade da Califórnia, em Berkley (US Department of Transportation, 1986). É baseado na teoria de camadas elásticas de Burmister de 1943, e a solução das equações é feita pelo método das diferenças finitas. Calcula as tensões, deformações e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura do pavimento de até cinco camadas por meio de um complexo algoritmo de cálculo.

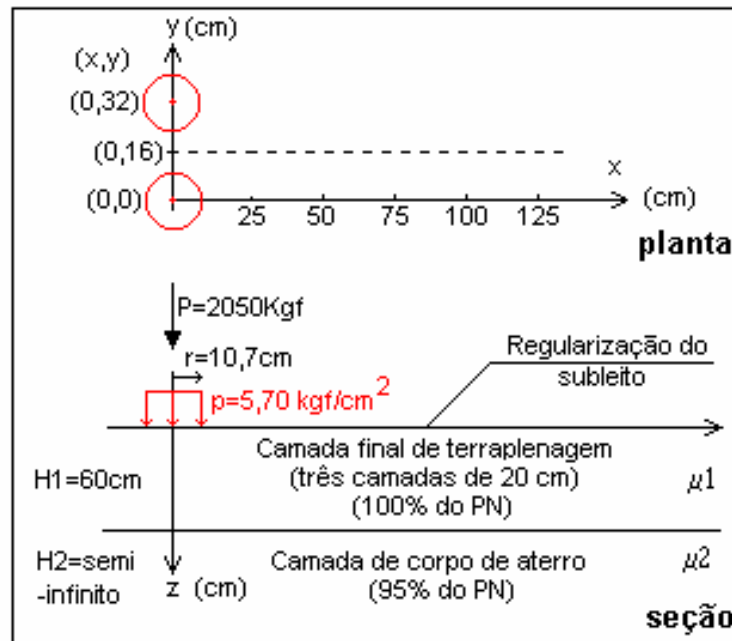
O programa considera que cada camada do pavimento é composta por um material isotrópico, homogêneo, de peso desprezível e de comportamento elástico-linear. As cargas aplicadas sobre a superfície do pavimento são consideradas idênticas, atuando vertical e uniformemente sobre uma área circular.

Este programa calcula a bacia de deflexão a partir das espessuras e dos módulos elásticos das diversas camadas do pavimento e subleito. Para efeito de retroanálise, compara-se a bacia medida em campo com a calculada, até que a semelhança entre as duas esteja dentro de um critério pré-estabelecido de aceitação, isto é, que o erro relativo (Equação 19) seja inferior a 10%. Os valores de módulos que gerem a bacia calculada mais próxima da medida em campo são os valores associados ao pavimento real analisado.

Para a utilização desse programa, foi estabelecida uma estrutura para análise constituída por duas camadas: a superior correspondente ao subleito compactado com espessura 60 cm (H1), e a inferior correspondente ao subleito natural com espessura equivalente a um semi-infinito (H2).

Os demais dados de entrada do programa constituem no coeficiente de *Poisson* ( $\mu_1, \mu_2$ ) de 0,45 para ambas as camadas, no valor da carga aplicada (P) por roda (eixo

padrão) de 2050 Kgf, no valor da pressão de contato ( $p$ ) de 5,70 Kgf/cm<sup>2</sup>, cuja a área circular de pressão de contato apresenta um raio ( $r$ ) de 10,70 cm, e nas coordenadas dos pontos de aplicação das cargas e dos pontos onde se deseja conhecer as deflexões, conforme é ilustrado na figura 4.36.



**FIGURA 4.36** – Esquema simplificado dos dados de entrada do programa Elsym5.

A retroanálise foi realizada com base nos dados disponíveis, que eram as deflexões máximas no ponto inicial de aplicação da carga.

#### 4.4.2 Correlação entre DN e MR

Os resultados obtidos do ensaio DCP, para obtenção do índice de penetração (DN) em campo, são apresentados no APÊNDICE A. O índice de penetração médio foi de 10 mm/golpe, com valores variando de 4 a 20 mm/golpe.

As deflexões medidas com a viga Benkelman, no trecho em estudo encontram-se no APÊNDICE B. Os módulos resilientes obtidos através da retroanálise destas deflexões

variaram entre 39 e 145 MPa, e apresentaram um valor médio de, aproximadamente 60 MPa.

Trabalhos como os de Oliveira A. (1998), Fernandes (2000) e Pitta et al. (2001), conduzidos nos mesmos lotes em que se desenvolveu a presente pesquisa, obtiveram, por retroanálise de bacias medidas nas camadas de lastro de pedra pulmão (LPP), brita graduada (BG) e pré-misturado à quente (PMQ), valores modulares para o subleito de aproximadamente 80 MPa.

Vários motivos podem ter contribuído para esta pequena diferença, entre eles:

- ✓ A retroanálise das deflexões do subleito foi feita apenas com um ponto da bacia;
- ✓ Utilização de materiais bastante heterogêneos nas camadas de corpo de aterro (Pitta et al., 2001);
- ✓ O elevado número de dias de chuva na região, que em muitas ocasiões inviabilizou o resultado obtido, particularmente devido à necessidade de medições das deflexões em tempo reduzido, o que impossibilitava a espera pela umidade de equilíbrio da camada do subleito. E também a falta da correta aeração das camadas que ficaram expostas às intempéries por muito tempo (Pitta et al., 2001); e
- ✓ As leituras deflectométricas realizadas nas camadas superiores fornecem valores modulares maiores para a camada de subleito, pois esta camada está sofrendo o efeito de pós-compactação, então ao longo do processo construtivo fornecerá módulos maiores.

Devido a grande variação, tanto dos valores das deflexões, que retroanalizadas definem os valores de módulos resilientes (MR), como dos valores de índice de penetração do DCP (DN); para definição da correlação DN x MR, optou-se por definir um critério, no qual seria selecionado um grupo de dados que melhor pudesse representar o conjunto dos dados.

O critério para a escolha das deflexões a serem retroanalizadas constituiu-se na definição das deflexões característica inferior ( $D_{ci}$ ) e superior ( $D_{cs}$ ). Primeiramente

calcula-se a deflexão média ( $D_m$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ); a deflexão característica ( $D_{ci}$  e  $D_{cs}$ ) é obtida pela soma ou diferença entre a média das deflexões e o desvio padrão dos valores. A equação para a deflexão característica é a seguinte:

$$D_{ci} \text{ ou } D_{cs} = D_m \pm \sigma \quad (21)$$

onde: -  $D_{cs}$  : Deflexão característica superior;

-  $D_{ci}$ : Deflexão característica inferior;

-  $D_m$ : Deflexão média; e

-  $\sigma$ : Desvio Padrão das deflexões.

sendo que,

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (22)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D_m)^2}{n}} \quad (23)$$

onde: -  $D_i$  : Deflexão individual;

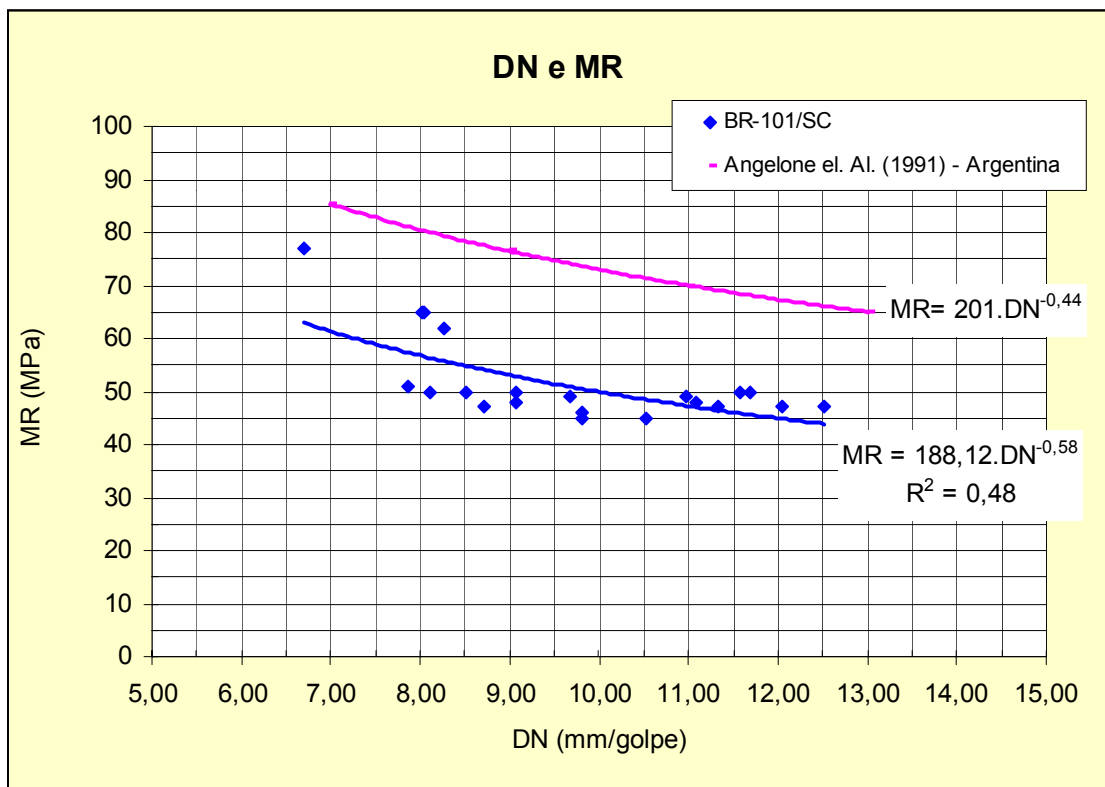
-  $n$ : Número de deflexões; e

-  $D_m$ : Deflexão média.

Os valores das deflexões, que melhor representam os dados do conjunto, são os que se encontram entre a deflexão característica superior e inferior. O mesmo critério foi adotado para seleção dos valores de DN, sendo escolhidos os valores compreendidos entre o DN característico superior e inferior.

A figura 4.37 apresenta a correlação obtida neste trabalho, juntamente com a obtida por Angelone et. al. (1991), sendo esta última obtida através de ensaios de amostras, classificadas como A-4 e A-6, de uma rodovia da região litorânea da Argentina.

A correlação Argentina fornece, em média, valores de módulos 1,47 vezes maiores que a obtida para o trecho em estudo. Os solos argentinos também apresentaram maiores valores de Índices de Suporte Califórnia, para as correlações entre DN e CBR.



**FIGURA 4.37** – Correlação entre o índice de penetração (DN) e o módulo resiliente (MR).

Comparando com a correlação obtida entre DN e CBR, esta correlação não apresentou um bom índice de correlação. Contudo alguns fatos interferiram para isto, primeiro é que são ensaios diferentes: o DCP é um ensaio de puncionamento e a viga Benkelman é um ensaio de deformação. E segundo que não necessariamente os ensaios DCP e viga Benkelman foram realizados no mesmo ponto, e ainda no mesmo momento e/ou dia.

Contudo, esta correlação pode ser utilizada para estimar valores modulares de subleito, como ponto de partida de um projeto, como, por exemplo, em fase de ante-projeto de pavimentação.

#### 4.4.3 Caracterização do Comportamento Mecânico das Amostras Através de Ensaio Triaxiais

Os ensaios de laboratório para a determinação das propriedades mecânicas dos materiais (módulo resiliente, resistência à tração ou compressão, comportamento a fadiga e deformação permanente sob cargas repetidas) têm como finalidade principal

fornecer elementos necessários ao dimensionamento de pavimentos novos bem como, no caso de restauração, auxiliar no diagnóstico de problemas específicos. Além disso, na maioria das vezes também, constituem a única opção disponível para caracterizar e classificar os materiais constituintes das camadas do pavimento.

No entanto, o principal problema deste tipo de ensaio é a preparação e condicionamento das amostras, pois caso ela seja preparada no laboratório pode ser difícil obter as mesmas características do material “in situ” e, caso seja extraída do pavimento é considerável a dificuldade de ser verdadeiramente indeformada. Além disto, o estado de tensões ao qual as amostras são submetidas no laboratório não reflete, de maneira total, o desempenho do material no campo. Conseqüentemente, não representam com exatidão as características mecânicas dos materiais no seu estado efetivo de serviço.

Entretanto, pode-se destacar como ponto positivo, o fato que uma amostra poder ser carregada milhões de vezes sob condições controladas e além disso são imprescindíveis para averiguar e complementar os procedimentos de retroanálise de dados deflectométricos.

Desta maneira, visando complementar a caracterização mecânica das amostras analisadas, foi realizado um ensaio triaxial dinâmico, no laboratório de pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (APÊNDICE C), apresentado nas figuras 4.38 e 4.39. A amostra coletada para execução deste ensaio foi da estaca 2060.

O ensaio triaxial foi realizado com a amostra nas características muito próximas da ótima. A tabela 4.9 apresenta a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima, obtidas no ensaio de compactação, e a massa específica aparente seca e a umidade de moldagem do corpo-de-prova para a execução do ensaio triaxial.

**TABELA 4.9** – Características da amostra comparadas com as obtidas para o ensaio triaxial.

ENSAIO	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)
Ensaio triaxial	1,656	18,18
Ensaio de compactação	1,656 (MEAS <sub>máx</sub> )	18,70 (h <sub>ot</sub> )



**FIGURA 4.38** – Corpo-de-prova sendo preparado para o ensaio triaxial.



**FIGURA 4.39** – Ensaio triaxial sendo realizado.

Solos finos coesivos tem o módulo resiliente dependente da tensão desvio, e pouco afetado pela tensão confinante. Quando compactados próximos ao teor ótimo, mostram uma correlação de forma bi-linear entre o módulo resiliente e a tensão desvio. Os modelos matemáticos que retratam o comportamento resiliente destes solos são:

$$MR = K_2 + K_3 \cdot (K_1 - \sigma_d); \text{ para } \sigma_d < K_1 \quad (24)$$

$$MR = K_2 + K_4 \cdot (\sigma_d - K_1); \text{ para } \sigma_d > K_1 \quad (25)$$

onde: - MR: Módulo resiliente;

-  $\sigma_d$ : Tensão desvio ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ );

-  $\sigma_1$ : Tensão principal maior de compressão;

-  $\sigma_3$ : Tensão principal menor de compressão;

-  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  e  $K_4$ : Parâmetros de regressão derivados dos ensaios em laboratório.



Através dos resultados obtidos no ensaio triaxial, traçou-se a curva apresentada na figura 4.40, e obteve-se os coeficientes:  $K_1 = 0,0397$ ;  $K_2 = 123,77$ ;  $K_3 = 8014,29$  e  $K_4 = 323,05$ ; os quais referem-se aos modelos matemáticos que expressam o módulo resiliente em função da tensão desvio.

Segundo Pinto e Preussler (1994), os solos finos coesivos são subdivididos, quanto à resiliência, em três tipos:

- Solo Tipo I – Solo de bom comportamento quanto à resiliência, podendo ser empregado em camadas de subleito e reforço de subleito, podendo ser até utilizado como camada de sub-base.
- Solo Tipo II – Solo de comportamento regular quanto à resiliência, podendo ser empregado em camadas de subleito e reforço de subleito.
- Solo Tipo III – Solo de comportamento ruim quanto à resiliência, não sendo aconselhável seu emprego em camada do pavimento e como o subleito, requerendo cuidados e estudos especiais.

Estas subdivisões estão também apresentadas na figura 4.40, conclui-se, então que a amostra da estaca 2060 é classificada como Tipo II.

Seguindo o processo estabelecido por Fernandes (2000), procurou-se correlacionar o modelo matemático de representação dos módulos resilientes, obtido acima, com os valores de módulos elásticos analisados nas retroanálises. Optou-se em aplicar na expressão deste modelo, os valores médios de tensões desvio encontrados nos resultados das retroanálises.

Inicialmente, analisou-se as tensões principais ( $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ ) médias que ocorreram no meio da camada do subleito compactado, ou seja, a 30 cm do topo da mesma, obtidas por retroanálise, das deflexões medidas sobre esta mesma camada. Estas deflexões foram obtidas na região do trecho onde foi utilizado material semelhante ao da amostra da estaca 2060. Deste valor médio encontrado para cada uma das tensões ( $\sigma_1 = 0,111$  MPa e  $\sigma_3 = 0,001$  MPa) obteve-se a tensão desvio ( $\sigma_d$ ) de 0,11 MPa.

Substituindo-se o valor da tensão desvio no modelo matemático obteve-se módulo de resiliência igual à 146,48 MPa.

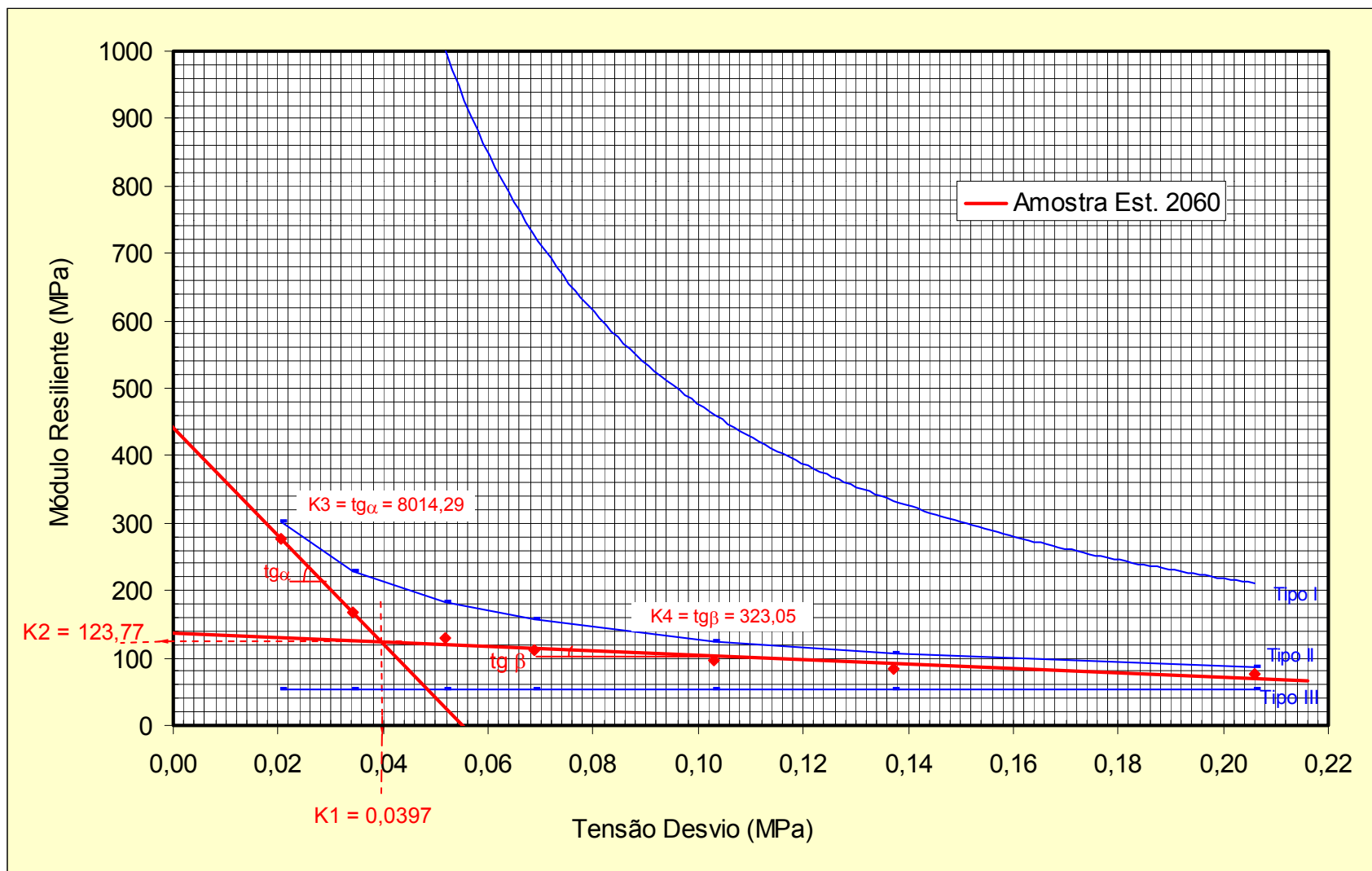


FIGURA 4.40 – Comportamento resiliente da amostra da estaca 2060.

## **5. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO COM O EMPREGO DO DCP**

Algumas especificações brasileiras já incluem a utilização Penetrômetro Dinâmico de Cone no controle de execução das camadas executadas em solo, como é o caso do DER/SC. Todavia, a falta de uma normatização específica para a utilização do equipamento vem gerando dificuldades na interpretação de seus resultados. Estas dificuldades, observadas durante a duplicação da BR 101/SC, estão relacionadas tanto com a forma de como se deve proceder com o controle, como também na interpretação dos resultados obtidos no ensaio.

Como se pode ver pelo exposto, O DCP é um equipamento que se presta para avaliação da capacidade de suporte do solo, principalmente "in situ", inclusive durante o processo executivo, desde que se conheça a correlação entre o DN x CBR.

Muitos autores sugerem que esta correlação seja única para cada tipo de solo ou que haveria uma curva para material argiloso e outra para material mais arenoso. Esta tendência, ainda não é compartilhada neste trabalho, pois conforme apresentado no capítulo anterior, acredita-se que haveria uma curva para cada classe de solo. E, portanto, na falta de um banco de dados brasileiro sobre o assunto, acredita-se ser prudente determinar-se a curva de calibração do solo que será empregado na camada final de terraplenagem, ao invés de se adotar uma curva da literatura.

Com base nos aspectos expostos anteriormente, e nos resultados apresentados e analisados no capítulo 4, propõe-se a metodologia apresentada a seguir para o emprego do DCP no controle de execução da camada final de terraplenagem.

### **5.1 METODOLOGIA PROPOSTA**

#### **5.1.1 Objetivo**

Esta metodologia estabelece a sistemática a ser empregada no controle da qualidade do serviço de execução de aterros e camada final de terraplenagem, através do

emprego do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP), bem como os critérios para aceitação e rejeição dos serviços.

### **5.1.2 O Equipamento**

O Penetrômetro Dinâmico de Cone consiste em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, a qual possui fixado na ponta um cone de aço com 20 mm de diâmetro de base e ângulo de 60°, possui também um martelo de aço, com peso de 8 Kg, que desliza por uma barra de aço de 25 mm de diâmetro, com uma altura de queda de 575 mm. A figura 2.1, do capítulo 2, mostra o equipamento descrito.

### **5.1.3 Procedimentos de Ensaio**

O ensaio se realiza com auxílio de pelo menos duas pessoas, e deve seguir os procedimentos a seguir:

- O equipamento deve ser devidamente montado, conforme a figura 2.1. do capítulo 2.
- As junções devem ser rosqueadas até ficarem bem firmes. Recomenda-se verificar se as junções estão bem apertadas antes de realizar o ensaio, qualquer operação com o equipamento com as junções soltas ou frouxas pode danificar o equipamento, e diminuir a sua vida útil.
- Verificação periódica do bom estado da ponta cônica, isto é, a ponta não deve estar achatada, e estar de acordo com a figura 2.1.
- Durante o ensaio o DCP deve estar na posição perpendicular à camada a ser ensaiada, para evitar que qualquer contato entre o peso e a barra, gere algum esforço adicional na penetração do cone no solo, e os resultados não serão precisos e homogêneos.
- Durante o transcurso do ensaio mede-se, em uma régua, o comprimento, em milímetros, que a lança penetra no solo para um número determinado de golpes

que se seleciona arbitrariamente, de acordo com a resistência das camadas a serem atravessadas, normalmente 3 (três) golpes a cada leitura.

- A aplicação dos golpes deve ser em um ritmo regular e a altura de queda sempre deve ser respeitada, e ainda, cuidar ao elevar o peso, para não provocar uma movimentação ascendente do aparelho.
- Os resultados são anotados em uma planilha onde se indica, para cada série de golpes aplicados, a profundidade (mm) alcançada pelo cone de penetração, um exemplo é apresentado na figura 5.1.

<b>Penetrômetro Dinâmico de Cone</b>					
<b>Rodovia:</b>		<b>Estaca:</b>		<b>No. de Goples:</b>	
<b>Trecho:</b>		<b>Pista:</b>		<b>Operador:</b>	
<b>Subtrecho:</b>		<b>Data:</b>		<b>Observação:</b>	
<i>Nº acumulado de golpes</i>	<i>Profundidade (mm)</i>	<i>Nº acumulado de golpes</i>	<i>Profundidade (mm)</i>	<i>Nº acumulado de golpes</i>	<i>Profundidade (mm)</i>

**FIGURA 5.1** – Planilha de registro dos resultados do ensaio.

- Antes da retirada do equipamento cravado na camada, deve ser feita a verificação se as roscas das junções continuam firmes, para não criar esforços nas junções em rosca.
- 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.

- Devido ao fato de o equipamento DCP possuir uma ponta de cone pontiaguda, a qual poderá ser danificada ao ser ensaiada uma camada com material muito pedregulhoso, a camada deverá ser constituída por um solo considerado fino, como solos argilosos, siltosos e arenosos.

#### 5.1.4 Obtenção da Curva de Calibração do Solo

A obtenção da "curva de calibração do solo" é de fundamental importância para o controle de execução em campo, pois é sobre ela que é definido o Índice de Penetração de Referência -  $DN_{ref}$ , que será controlado no campo. Esta curva é obtida segundo o procedimento descrito a seguir:

- PASSO 1: Para cada amostra analisada durante o estudo da jazida, ao se realizar o ensaio de compactação, em cada ponto (da curva de compactação) ensaiado, molda-se dois corpos-de-prova, com mesmas características de umidade e compactação. Considerando-se cinco pontos ensaiados, tem-se um total de 10 corpos-de-prova.
- PASSO 2: Nos corpos-de-prova ímpares (CP1, CP3, CP5, CP7, CP9) realiza-se o ensaio de CBR sem imersão. Após, inverte-se o corpo-de-prova, posiciona-se o penetrômetro (perpendicular a camada do corpo-de-prova) no centro do círculo vazado da sobrecarga do ensaio de CBR, e se realiza o ensaio DCP. Ressalta-se que durante ensaio do penetrômetro faz-se uma leitura para cada golpe. Para cada corpo-de-prova, determina-se o DN que é a relação entre a profundidade de penetração (altura do corpo-de-prova) pelo número de golpes aplicados para alcançar esta profundidade.
- PASSO 3: Nos corpos-de-prova pares (CP2, CP4, CP6, CP8, CP10), realiza-se os mesmos ensaios do PASSO 2 sobre corpos de prova imersos por 4 dias, antes de realizar os ensaios. Nestes corpos-de-prova, obtém-se o DN para as condições próximas da saturação.
- PASSO 4: No Brasil, nos projetos de dimensionamento de pavimentos utiliza-se o valor do CBR obtido com o corpo-de-prova após imerso em água por 4 dias. No

caso controle da camada final de terraplenagem, o valor do DN é obtido em campo, considerando-se a camada nas condições de umidade ótima. Faz-se, então, um cruzamento entre os valores de CBR com imersão (corpos-de-prova pares) e os seus respectivos valores de DN sem imersão (corpos-de-prova ímpares). O resultado deste cruzamento é registrado conforme a tabela 5.1. Assim, para cada amostra ensaiada da jazida, ter-se-á pelo menos 5 pares de pontos DN x CBR.

**TABELA 5.1** – Resultados dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão.

Valor CBR imerso (%)	Valor DN sem imersão (mm/golpe)
CBR2	DN1
CBR4	DN3
CBR6	DN5
CBR8	DN7
CBR10	DN9

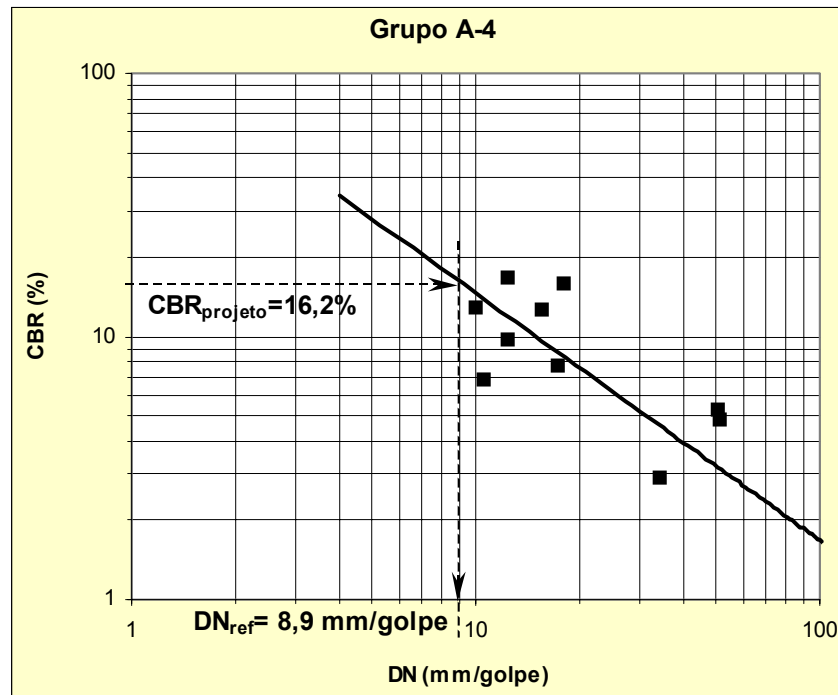
- **PASSO 5:** Com os valores da tabela 5.1 de todas as amostras ensaiadas da jazida, plota-se os pontos em um gráfico, os valores de DN no eixo das abcissas (x) e os valores de CBR no eixo das ordenadas (y). A correlação DN x CBR é obtida através de análise de regressão, e de acordo com a literatura, o modelo logarítmico é o que melhor se ajusta para representar esta correlação. A figura 5.2 apresenta um exemplo de curva de calibração.

### 5.1.5 Definição do DN de Referência

O índice de penetração representa a resistência à penetração que o solo oferece. Para um determinado tipo de solo, esta resistência depende basicamente do grau de compactação e do teor de umidade do solo.

Partindo-se do pressuposto que durante o processo executivo o teor de umidade do solo permanece em torno de sua umidade ótima, a variação da resistência à penetração estaria associada à variação no seu grau de compactação. Por sua vez, a

variação no grau de compactação implica na alteração da capacidade de suporte da camada compactada.



**FIGURA 5.2** - Curva de calibração para o grupo A-4.

Quando da execução da camada final de terraplenagem, é preciso que se garanta que se obtenha uma capacidade de suporte igual ou superior ao CBR de projeto utilizado no dimensionamento da estrutura. E é isto que se busca no controle tecnológico de execução.

Assim, ao se utilizar o DCP, o qual possibilita avaliar "in situ" a resistência do material compactado através do DN, e levando-se em conta que se pode realizar um número maior de ensaios, tem-se uma maior probabilidade de se atingir o CBR de projeto nesta camada.

Para que isto seja possível, é necessário, ainda na fase de projeto, que seja definido o valor da resistência à penetração que deverá ser obtido durante o processo executivo. Esta resistência é denominada de "Índice de Penetração de Referência - DN<sub>ref</sub>". O valor do DN<sub>ref</sub> é obtido da curva de calibração. Para tanto, basta que se conheça o valor do CBR de projeto utilizado no dimensionamento da estrutura do pavimento.



A figura 5.2 apresenta a curva de calibração obtida no capítulo 4, para um grupo de amostras classificadas como tipo A-4, segundo o HRB. Uma das amostras que compõem este grupo foi coletada na estaca 2592. Esta apresenta um CRB de projeto de 16,2%. Entrando-se com este valor na curva de calibração, obtém-se um DN de referência de 8,9 mm/golpe.

### **5.1.6 Controle da Camada Final de Terraplenagem**

A grande simplicidade e mobilidade do DCP permite realizar uma grande quantidade de determinações e, assim, obter-se uma melhor homogeneidade das propriedades das camadas finais de terraplenagem. Preferencialmente o ensaio deve ser realizado a cada 20 metros de pista na futura trilha de roda das faixas de rolamento.

No desenvolvimento do ensaio DCP, deve-se tomar os cuidados exigidos no item 5.1.3.

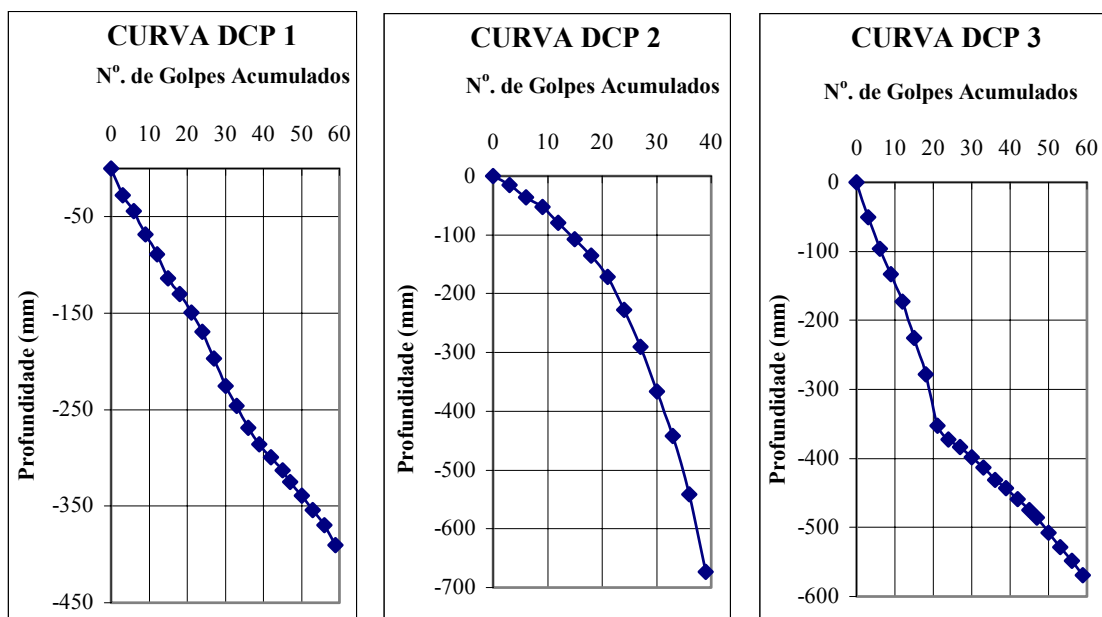
A partir dos resultados anotados, plota-se a curva DCP, como ilustrado na figura 5.3. Através dos pontos, traça-se a(s) melhor(es) reta(s). A inclinação das retas representa o índice de penetração - DN (em mm/golpe), o qual é obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessário para penetrar até a respectiva profundidade.

### **5.1.7 Interpretação das Curvas DCP Obtidas**

Em se tratando do controle da camada final de terraplenagem, em cada ensaio a penetração da lança do DCP deveria ser encerrada quando se atingisse uma profundidade igual ou levemente superior a espessura da camada. Todavia, é recomendável que a lança alcance pelo menos 50 cm de profundidade, o que permite uma melhor visualização da homogeneidade da compactação. A figura 5.3 mostra as curvas típicas que poderão ser obtidas no ensaio.

As curvas da figura 5.3 têm a seguinte interpretação:

- **Curva 1:** É uma curva típica quando se tem uma homogeneidade de compactação com a profundidade, mostrando um eficiente controle da compactação das camadas.
- **Curva 2:** Este tipo de curva indica que a parte superior da camada (ou camada superior, no caso de duas camadas) está compactada com um Grau de Compactação maior que a parte inferior (ou camada inferior, no caso de duas camadas). Esta curva pode indicar também que se está gastando mais energia do que o necessário para compactar a camada (no caso de duas camadas), que o equipamento de compactação utilizado é inadequado para o solo que se deseja compactar ou, ainda, que a camada é muito espessa (no caso de uma única camada).
- **Curva 3:** Este tipo de curva indica que a parte superior da camada (ou camada superior, no caso de duas camadas) apresenta um Grau de Compactação menor que a parte inferior da camada (ou camada inferior, no caso de duas camadas). Esta curva indica a necessidade da recompactação da camada.



**FIGURA 5.3** - Curvas de DCP típicas que poderão ser obtidas.

### 5.1.8 Critério para Aceitação ou Rejeição do Serviço

O critério de aceitação do segmento compactado controlado pelo  $DN_{ref}$ , pode ser estabelecido em função da importância da rodovia e do risco de insucesso que se admite correr. Este critério é estabelecido pela projetista. Todavia, independentemente da importância da obra, o critério a ser definido deverá contemplar dois aspectos: um relacionado com a aceitação dos valores individuais e outro, em relação ao conjunto de valores.

Na metodologia proposta recomenda-se o seguinte critério:

- **Valores Individuais ( $DN_i$ ):** Eles deverão ser iguais ou menores que o  $DN_{ref}$ , podendo-se aceitar pontos localizados com um coeficiente de variação de até 20%, ou seja, o  $DN_{máx}$  admissível seria igual ao  $DN_{ref} + 0,2DN_{ref}$ .
- **Conjunto de Valores ( $DN_s$ ):** Aplica-se o critério do 15 percentil, isto é, em um segmento, apenas 15% dos valores individuais poderão ser maiores que o  $DN_{ref}$ .

Assim, em relação aos valores obtidos, poderão ocorrer as seguintes situações:

- **DN individual maior que  $DN_{máx}$ :** Neste caso, é necessário escarificar e recompactar o material na região de influência do ponto localizado.
- **DN individual maior que  $DN_{ref}$ , porém menor que  $DN_{máx}$ :** Neste caso, quando mais de 15% dos valores forem maiores que o  $DN_{ref}$ , serão recompactados as estacas onde os valores de DN forem maiores que o  $DN_{ref}$ .

Após estas correções, o segmento será reensaiado podendo ser liberado caso seja atendido o critério estabelecido.

Conforme analisado no item 4.2.1, do capítulo 4, se o solo estiver com teor de umidade abaixo da ótima, o DN obtido não será capaz de avaliar se o material estaria ou não com o grau de compactação aceitável. Então a determinação do teor de umidade em campo ( $H_{campo}$ ) continua sendo de grande importância, de acordo com as especificações existentes.

O fluxograma apresentado na figura 5.4, na página seguinte, sintetiza a metodologia descrita:

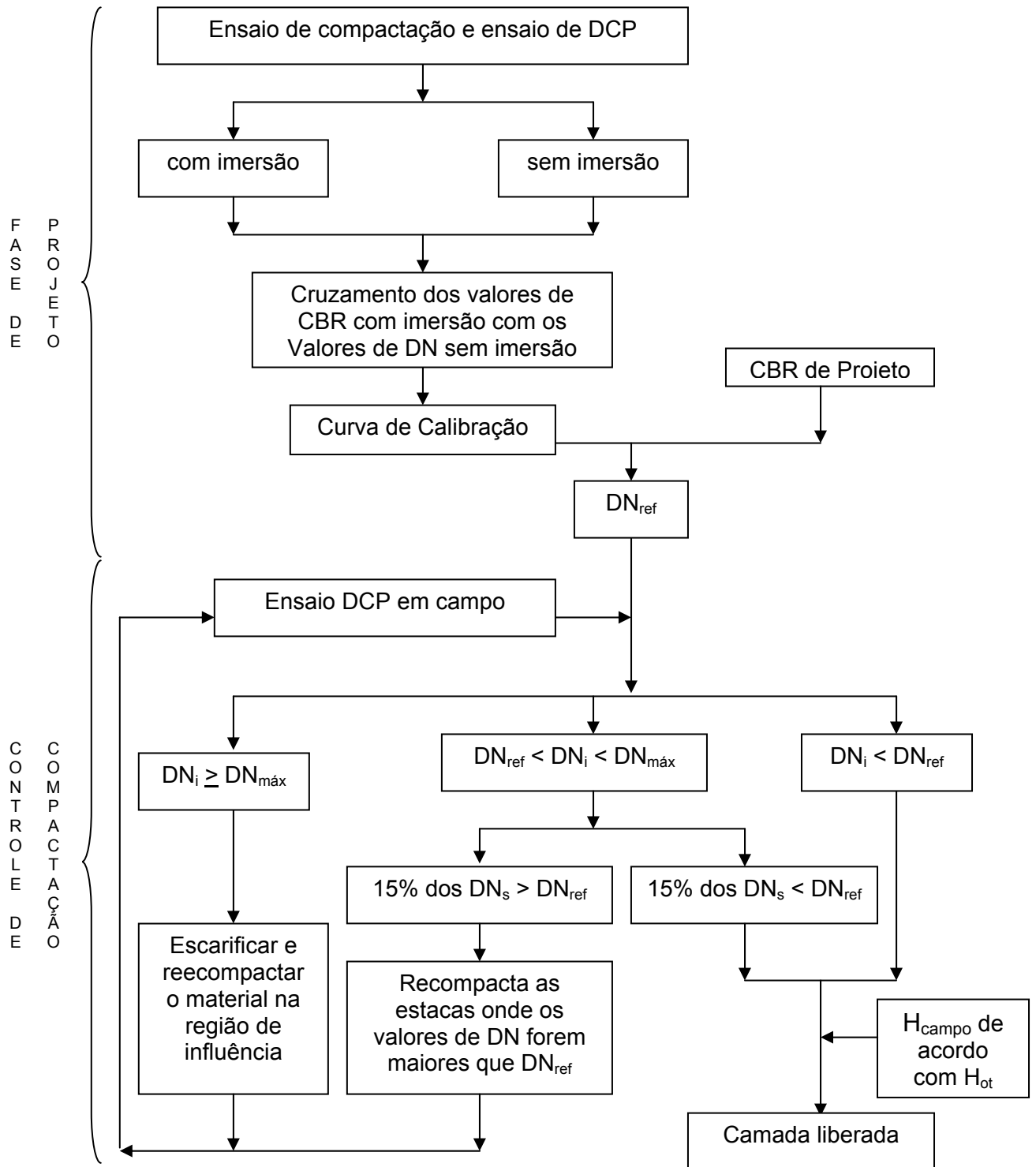
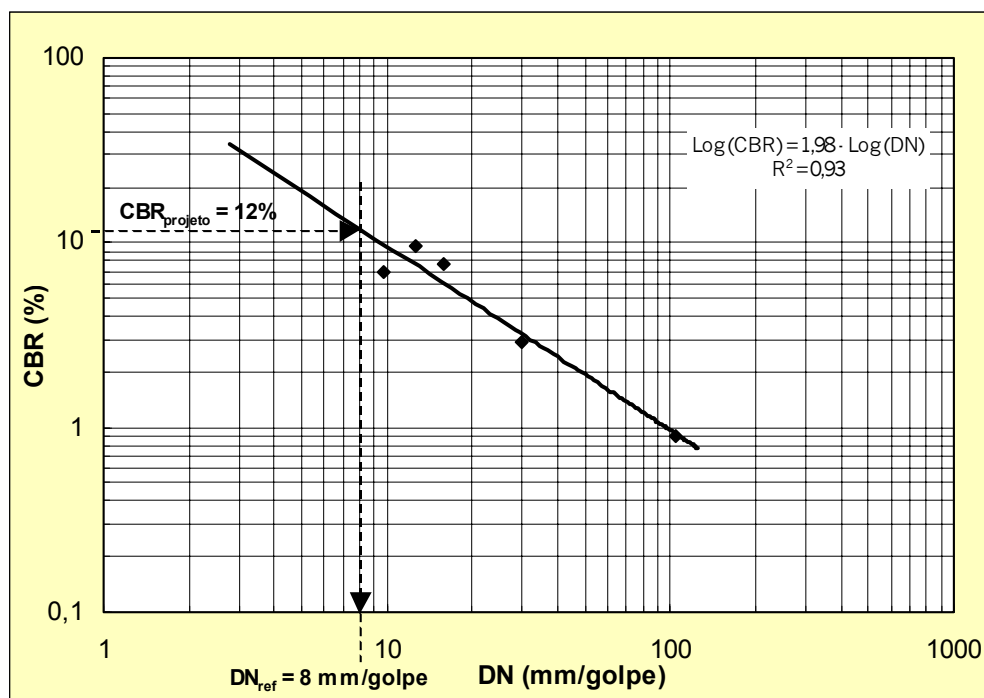


FIGURA 5.4 – Fluxograma da sistemática da metodologia.

## 5.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

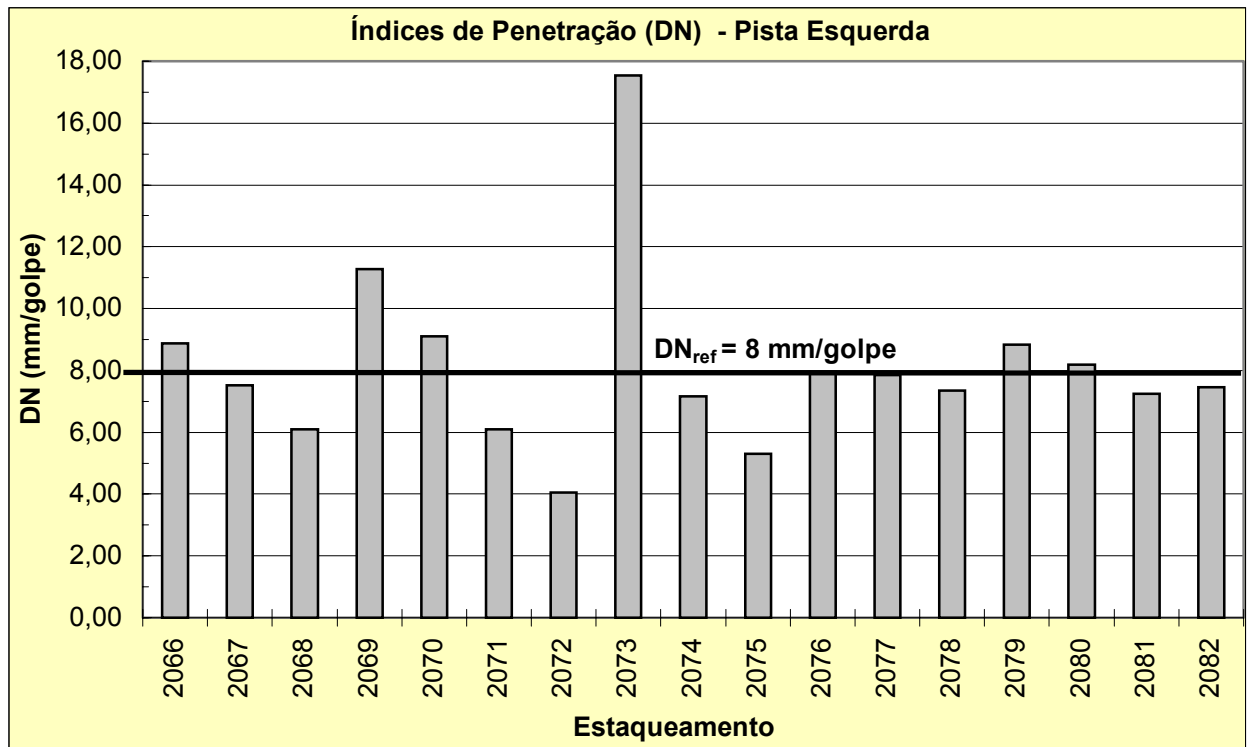
Para aplicação da metodologia, utiliza-se os dados obtidos nas obras de duplicação da BR-101/SC, onde a partir de 1997, o DCP foi utilizado, a nível de pesquisa, para o controle tecnológico das camadas finais de terraplenagem.

Inicialmente, obteve-se a "curva de calibração do solo" (item 5.1.4), a qual é apresentada na figura 5.5. Com o valor do CBR de projeto, igual a 12 % para o segmento, definiu-se o Índice de Penetração de Referência -  $DN_{ref}$  (item 5.1.5), que deve ser controlado no campo durante o processo executivo. Com o valor de CBR de projeto na curva da figura 5.5, obtém-se um  $DN_{ref}$  de 8 mm/golpe, e o valor do  $DN_{máx}$  foi fixado em 9,6 mm/golpe ( $DN_{ref} + 0,2DN_{ref}$ ).



**FIGURA 5.5** - Curva de calibração do solo.

Em campo, o ensaio foi realizado em cada estaca e em bordas alternadas (direita, esquerda e eixo) da faixa de rolamento. A figura 5.6 apresenta os valores obtidos em um "pano", da pista esquerda do segmento analisado.



**FIGURA 5.6** – Índice de Penetração (DN) ao longo de um sub-trecho da pista esquerda.

Na análise dos resultados da figura 5.6 mostram 2 pontos em que o DN medido está acima do  $DN_{máx}$  e 4 valores em que o DN medido está acima do  $DN_{ref}$  e abaixo do  $DN_{máx}$ , assim totalizando, 35,3% dos valores estão acima do  $DN_{ref}$ .

Na região de influência da estaca 2073 (10 metros antes e 10 metros depois), a camada foi escarificada e recompactada. Na região da estaca 2069 (10 metros antes e 10 metros depois), a camada foi escarificada, e posteriormente, recompactada juntamente com a da estaca 2070. E na região da estaca 2066 (10 metros antes e 10 metros depois), e entre as estacas 2079 e 2080 (10 metros antes e 10 metros depois), a camada também foi recompactada.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia para o controle de execução de camadas de aterro e subleito de rodovias utilizando o DCP, através de correlações entre os valores obtidos no ensaio DCP, a massa específica aparente seca e o teor de umidade do solo ensaiado, bem como entre os resultados do DCP e parâmetros de resistência como o Índice de Suporte Califórnia da camada ensaiada e Módulo Resiliente do material da camada. Este estudo foi complementado com ensaios triaxiais, para determinação do módulo de resiliência da camada de subleito. A partir dos resultados obtidos é possível chegar às seguintes conclusões:

- ✓ O Penetrômetro Dinâmico de Cone é um equipamento que possui várias vantagens, dentre elas: é um ensaio semi não-destrutivo, pois não afeta a estrutura do pavimento; não interfere no tráfego dos veículos; é um ensaio rápido, fácil de manobrar e baixo custo; necessita de apenas duas pessoas para mão-de-obra, que facilmente especializa-se; e a dispersão dos resultados é mínima.
- ✓ É um equipamento com vasta aplicação, das quais se destacam: avaliação de pavimentos existentes; controle de camadas estabilizadas; controle de construção de camadas de terraplanagem; rápido reconhecimento da capacidade de suporte do solo; verificação da eficiência de máquinas de compactação, entre outros.
- ✓ A análise da variação entre o DN e o massa específica aparente seca e o teor de umidade foi de grande importância para observar a variação destes índices físicos durante o ensaio DCP. Principalmente em detectar que o DN tem pouca variação abaixo da umidade ótima.
- ✓ Como já era esperado, as correlações entre o DN e o CBR, obtiveram um elevado índice de correlação. E devido a variação dos modelos das correlações para cada tipo de solo, é indicado, enquanto não haja um bom banco de dados, a determinação da curva de calibração para cada amostra.

- ✓ Os valores dos módulos resilientes obtidos pelas retroanálises foram um pouco mais baixos comparados, aos obtidos por outros autores, e pelo ensaio triaxial. Isso pode ter ocorrido devido vários fatores, entre eles: a retroanálise das deflexões do subleito foi feita em apenas um ponto da bacia; os materiais eram bastante heterogêneos; devido à necessidade de medições das deflexões em tempo reduzido; as retroanálises dos outros autores foram feitas com bacias medidas em camadas superiores, e a camada de subleito está sob o efeito de pós-compactação, então fornecerá módulos maiores ao longo do processo construtivo.
- ✓ A correlação entre DN e o MR, não apresentou um bom índice de correlação, contudo muitos fatos interferiram, além dos citados no item anterior. O principal é que o DCP é um ensaio de puncionamento e, a viga Benkelmam é um ensaio de deformação. E ainda que não necessariamente os ensaios DCP e viga Benkelman foram realizados no mesmo ponto e no mesmo dia. Entretanto a correlação pode ser utilizada para estimar valores modulares de subleito, como ponto de partida de um projeto.
- ✓ Os resultados demonstraram que a metodologia proposta é de aplicação simples e prática, com isso, proporcionando redução de custos.

Como recomendação para futuras pesquisas destacam-se os seguintes tópicos:

- Estabelecer correlações entre o os resultados do ensaio DCP e módulos resiliente, obtidos através de retroanálise de bacias de deflexões completas, isto é, com todos os pontos;
- Estabelecer correlações em laboratório entre o os resultados do ensaio DCP e módulos resiliente, obtidos através de ensaios triaxiais;
- Correlações entre DN e CBR, para solos classificados segundo a metodologia MCT.
- Há uma necessidade de automatização do DCP, para acompanhar a evolução tecnológica:



- A execução de programas para análise de dados obtidos com o DCP em campo; e
  - Uma boa opção seria utilizar como ferramenta as calculadoras científicas utilizadas atualmente na engenharia, como a topografia já utiliza. Através de programas simples, seria possível, no campo, registrar os resultados do ensaio e obter a resistência da camada.
- E, por último, um banco de dados sempre é importante. O DCP vem sendo utilizado em muitas rodovias estaduais, a coleta e análise destes resultados seria de grande importância.

## 7. 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.
- ANGELONE, S., TOSTICARELLI, J. and MARTINEZ, F., **El Penetrometro Dinamico de Cono, su Aplicacion al Control y Diseño Estructural de Pavimentos**, 6º Congreso Ibero-Latino Americano del Asfalto, 1991.
- CHUA, K. M., **Determination of CBR and Elastic Modulus of Soil Using a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer**, Proc. Ist Int. Symp. on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 1987.
- CARDOSO, A. C. e 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**, 31ª Reunião anual de Pavimentação, vol. 2, pág. 686 a 699, São Paulo, 1998 - a.
- CARDOSO, A. C. e TRICHÊS G., **Avaliação da Capacidade de Suporte de Aterros e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone**, XI Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica”, vol. 1, pág. 649 a 656, Brasília, 1998 - b.
- CARDOSO, A. C. e TRICHÊS G., **Avaliação da Capacidade de Suporte de Aterros e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone e a Viga Benkelman**, 13ª Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, São Carlos, 1999.
- CARDOSO, A. C. e TRICHÊS G., **Proposição de uma Metodologia para Utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone no Controle da Execução da Camada Final de Terraplenagem**, 32ª Reunião Anual de Pavimentação, págs. 661 a 673, Brasília, 2000.

- DE BEER, M., HORAK, E. e VISSER, A. T., **The Multi-Depth Deflectometer (MDD) System for Determining the Effective Elastic Moduli of Pavement Layers**, ASTM Special Technical Publication (STP1026), In: First International Symposium on Nondestructive Testing of Pavements and Back calculation of Moduli, Baltimore, USA, 1988.
- DE BEER, M., KLEYN, E. G. E SAVAGE, P. F., **Towards a Classifications System for the Strength Balance of Surfaced Flexible Pavements**, In: Proceedings of the Eighth Quinquennial Convention of SAICE in cooperation with the 1988, Annual Transportation Convention (SAICE-ATC 1988), University of Pretoria, Pretoria, 1988.
- DER/SC – ES – P – 01/92, **Pavimentação - Regularização do Subleito**, Especificação de Serviço, 1992.
- DNER - ES 299/97, **Pavimentação - Regularização do Subleito**, Especificação de Serviço, 1997.
- DNER - PROJETO BÁSICO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA BR-101/SC, **Relatório do Projeto e Documentos de Ocorrência – Lote 7 e 8 – km 164 ao 218**, Ministério dos Transportes, IGUATEMI - Cons. e Proj. de Eng., Florianópolis, 1995.
- DNER - ALTERAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA EM FASE DE OBRAS DA BR-101/SC, **1º. Relatório – Lotes 7 e 8 – km 164 ao 218**, Ministério dos Transportes, IGUATEMI - Cons. e Proj. de Eng., Florianópolis, 1997.
- DNER - **Relatório de Controle de Qualidade - SICEC**, CONSÓRSIO (Andrade Gutierrez, Camargo Corrêa e CBPO) - IGUATEMI, BR-101/Lote 8, Junho, Julho, Agosto e Setembro, Florianópolis, 1997.
- EMERY, S., **DCP chat**, Petroria University, South Africa, 2000.  
([http://www.geocities.com/profemery/pavement/dcp\\_chart.jpg](http://www.geocities.com/profemery/pavement/dcp_chart.jpg))

- FERNANDES, I. S., **Avaliação do Comportamento Mecânico da Camada de Brita Graduada “in Situ”**, Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Eng. Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- FONTES, L. P. T. da L., **Contribuição à Investigação Geotécnica de Vias Urbanas Não Pavimentadas Através do Emprego do Penetrômetro Dinâmico de Cone**, Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Eng. Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- HARISON, J. A., **Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soil**, Australian Road Research, Technical Note N<sup>o</sup> 2, pág. 130 a 136, 1986.
- HARISON, J. A., **Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soil**, Proc. Instrn. Civ. Eng. Part 2, 93, Technical Note No. 463, 1987.
- HEYN, A., **Aplicações do Penetrômetro Dinâmico de Ponta de Cone na Avaliação de Estruturas de Pavimentos**, 21<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação, Salvador, 1986.
- KINDERMANS, J. M., **La Sonde de Battage Légère en Construction routière; àtude D’informatioin el Expérimentation**, Centro de Recherches Routières, Bruxelas, 1976.
- KLEYN, E. and SAVAGE, P. E., **The Application of the Pavement DCP to Determine the Bearing Properties and Performace of Road Pavement**, Proc. Int. Symp. on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, 1982.
- KLEYN, E. and VAN ZYL, G. D., **Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to Light Pavement**, Proc. Ist. Int. Symp. on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 1988.
- LIVNEH, M. and ISHAI, I., **The Relationship Between In-Situ CBR Test and Penetration Tests**, Proc. Ist. Int. Symp. on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 1988.

- LIVNEH, M., **Thickness-Deficiency Determination for Overlay Design of Flexible Pavements**, Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, Alabama, USA, 2001.
- MEDINA, J., **A Importância do Estudo de Solos Tropicais e Subtropicais**, II Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais - e suas Aplicações em Engenharia, Porto Alegre, 1989.
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F., **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**, Editora Villibor, São Paulo, 1995.
- OLIVEIRA, L. E. e VERTAMATI, E., **Análise de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego Executado Com Solos Transicionais**, I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego - SINBATRA, vol. 1, pág. 325 a 344, Rio de Janeiro, 1997.
- OLIVEIRA, L. E. **Contribuição à Implantação de Obras Viárias Urbanas de Baixo Volume de Tráfego com Uso de Solos Transicionais**, Tese de Doutorado, ITA, São José dos Campos, 1998.
- OLIVEIRA, L. E. e VERTAMATI, E., **Utilização do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) na Avaliação Estrutural de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego**, 31ª Reunião Anual de Pavimentação, vol. 1, pág. 616 a 628, São Paulo, 1998 - a.
- OLIVEIRA, L. E. e VERTAMATI, E., **Comportamento de solos Tropicais de Natureza Transicional em Camadas Estruturais de Pavimentos**, XI Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, vol. 1, pág. 657 a 664, Brasília, 1998 - b.
- OLIVEIRA, A., **Avaliação do Comportamento Mecânico da Camada de Lastro de Pedra Pulmão Empregada no Lote 8 da Duplicação da BR-101**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

- PINTO S. e PREUSSLER E. S., **A consideração da Resiliência no Projeto de Pavimentos**, Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico/IPR, 1994.
- PITTA, D. M., SIMOM, M. F., PITTA, A. S. e KEIL, R. A., **Controle de Qualidade Estrutural dos Pavimentos da BR-101/SC, Lote 8 de Duplicação**, Second Internatinal Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavementes and Technological Control, Alabama, USA, 2001.
- PONCE, H. M. A., GUZMÁN, Z. L. and GUZMÁN, Z. E., **Utilizacion del Penetrometro Dimamico de Cono Portatil en la Caracterizacion y Avaluacion de los Suelos en el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles de Caminos de Transito Medio y Bajo**, 6º Congresso Ibero-Latino Americano del Asfalto, 1991.
- RODRIGUES, J. K. G. e LUCENA, F. B., **Avaliação Estrutural de um Trecho Pavimentado com Solos Lateríticos, no Estado da Paraíba, Através de Ensaio Deflectométricos e Pressiométricos**, 25ª Reunião de Pavimentação, pág. 2531 a 2557, São Paulo, 1991.
- ROHN, S. A. e NOGUEIRA, J. B., **Determinação de Mini-CBR Através do Ensaio de Penetração Dinâmica**, XXIV Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 1990.
- SANTANA, J. M., LUCENA, F. B. e MACÊDO, J. A.G., **Avaliação Estrutural de Pavimentos Através de Ensaio Pressiométricos, Ensaio de Placa e CBR In Situ**, XI Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, vol. 1, pág. 665 a 672, Brasília, 1998.
- SMITH, R. B. e PRATT, D. N., **A Fiel Study of In Situ California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Testing for Road Subgrade Investigations**, Australian Road Research, 13(4), pág. 285 a 294, December, 1983.
- UDDIN, W., NANAGIRI, Y. e YIQIN, L., **In Situ Subgrade Material Characterization Using DCP and FWD Data**, Second Internatinal Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavementes and Technological Control, Alabama, USA, 2001.

**US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION**, Federal Highway Administration, ELSYN5  
- Interactive Microcomputer Version - User's Manual for IBM-PC and Compatible  
Microcomputer Version.

VAN VUUREN, D. J., **Rapid Determination of CBR with the Dynamic Cone Penetrometer**, Rhodesian Eng. Paper 105, pp. 852-4, September, 1969.

YIQIN, L. e UDDIN, W., **An Innovative Methodology to Generate Subgrade Layer Thickness and Resilient Modulus Profiles Using In Situ DCP Testes**, Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavementes and Technological Control, Alabama, USA, 2001.

## **APÊNDICE A**

---

### **RESULTADOS DO ENSAIO DCP EM CAMPO**



**Resultados do Ensaio DCP  
BR-101/SC - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

<b>Pista Direita</b>		
<b>Estaca</b>	<b>Posição</b>	<b>DN (mm/golpe)</b>
2062	BD	9,92
2066	EX	5,06
2071	BE	6,42
2074	EX	11,05
2078	BE	15,99
2082	BD	10,95
2086	EX	6,78
2090	BE	11,15
2093	BD	5,63
2097	EX	6,74
2101	BD	11,58
2105	EX	9,11
2109	BE	6,71
2113	EX	9,07
2118	EX	8,66
2122	BD	5,48
2126	EX	11,60
2129	BD	16,03
2132	EX	9,80
2156	EX	12,12
2160	BD	10,98
2164	EX	11,33
2168	BE	9,30
2172	EX	12,74
2176	BD	9,68
2180	EX	12,85
2184	BE	11,08
2188	EX	8,05
2229	EX	13,37
2233	BE	11,93
2237	EX	11,06
2240	BD	13,97
2242	BD	12,90
2246	EX	19,94
2250	BE	12,91
2254	EX	12,76
2258	BD	19,21
2306	EX	8,10
2310	BE	12,22
2314	EX	8,02
2320	EX	3,92

<b>Pista Direita</b>		
<b>Estaca</b>	<b>Posição</b>	<b>DN (mm/golpe)</b>
2324	BD	10,37
2353	BD	9,15
2356	EX	10,58
2359	BE	9,90
2362	EX	10,42
2365	BD	7,22
2368	EX	8,98
2371	BE	17,33
2374	EX	10,16
2377	BD	8,93
2380	EX	17,92
2383	BE	9,74
2388	BE	7,58
2392	EX	5,51
2408	EX	7,59
2411	BD	13,79
2416	BD	8,51
2420	EX	9,57
2422	BD	12,05
2424	BD	9,82
2428	BE	11,62
2432	EX	6,74
2461	EX	5,98
2463	BE	6,65
2464	EX	3,71
2483	BE	13,88
2486	EX	10,79
2489	EX	11,32
2493	BD	11,91
2496	BD	12,80
2500	EX	9,73
2504	BE	9,89
2508	BD	10,36
2512	BE	10,10
2516	EX	10,55
2536	BE	8,27
2540	EX	6,31
2587	BD	7,27
2592	EX	9,97
2594	BE	11,13

Fonte: Relatório de Controle de Qualidade SICEC (CONSÓRCIO/IGUATEMI), 1997.

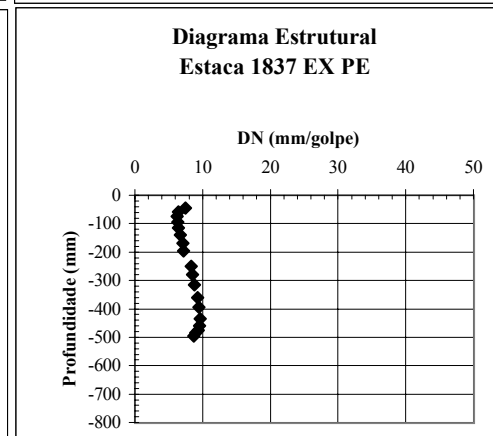
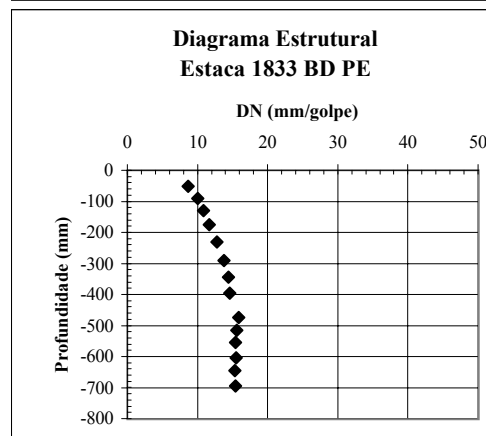
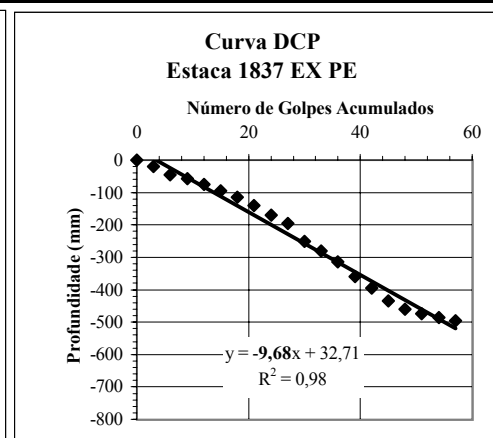
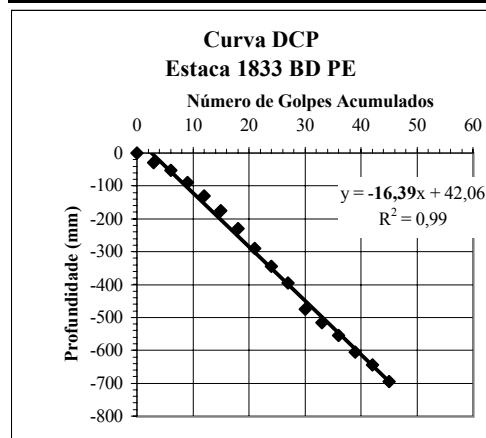
**Resultados do Ensaio DCP  
BR-101/SC - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

<b>Pista Esquerda</b>		
<b>Estaca</b>	<b>Posição</b>	<b>DN (mm/golpe)</b>
1833	BD	16,39
1837	EX	9,68
1841	BE	14,06
2066	BE	8,88
2067	BE	7,52
2068	EX	6,09
2069	EX	11,28
2070	BD	9,11
2071	EX	6,09
2072	BE	4,05
2073	BD	17,54
2074	EX	7,16
2075	BD	5,31
2076	BE	7,95
2077	EX	7,86
2078	EX	7,34
2079	BD	8,83
2080	BD	8,19
2081	EX	7,24
2082	EX	7,45
2105	EX	13,81
2109	BD	15,40
2113	BE	11,42
2117	EX	12,52
2129	EX	7,90
2132	BD	9,25
2303	BD	6,83
2307	EX	7,03
2312	EX	8,63
2316	BD	11,37
2320	EX	5,04
2416	BE	10,61
2420	EX	8,71
2424	BD	11,76
2429	BE	9,07
2432	EX	9,87
2461	BE	7,87
2464	BD	9,49
2535	BE	6,54
2539	EX	3,94
2543	BD	10,52
2570	BD	13,35
2574	EX	8,56
2578	BE	8,54
2582	BE	15,18
2586	EX	6,93
2590	BD	10,13
2594	BE	11,50
Quant. Números		129
Média		10
Desvio Padrão		3
Menor Valor		4
Maior Valor		20
Média+Desvio		13
Média-Desvio		7

Fonte: Relatório de Controle de Qualidade SICEC (CONSÓRCIO/IGUATEMI), 1997.

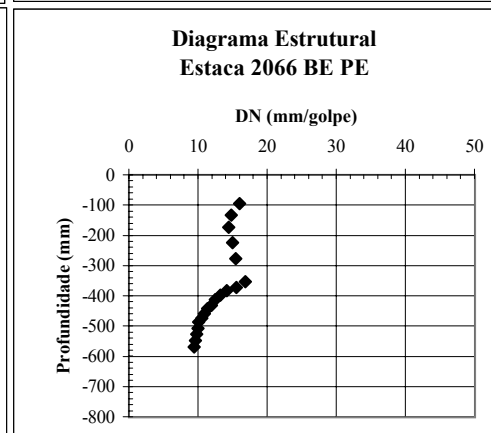
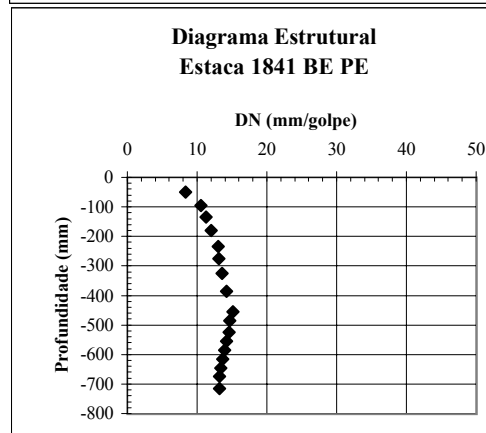
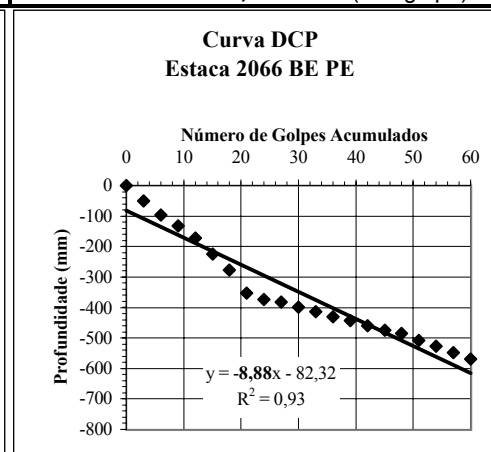
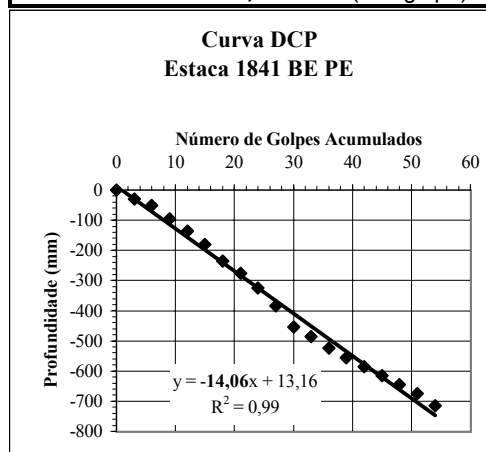
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	1833 PEBD			1837 PEEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN (mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN (mm/golpe)
0	185	0		185	0	
3	215	-30		205	-20	
6	237	-52	8,67	230	-45	7,50
9	275	-90	10,00	243	-58	6,44
12	315	-130	10,83	260	-75	6,25
15	360	-175	11,67	280	-95	6,33
18	415	-230	12,78	300	-115	6,39
21	475	-290	13,81	325	-140	6,67
24	530	-345	14,38	355	-170	7,08
27	580	-395	14,63	380	-195	7,22
30	660	-475	15,83	435	-250	8,33
33	700	-515	15,61	465	-280	8,48
36	740	-555	15,42	500	-315	8,75
39	790	-605	15,51	545	-360	9,23
42	830	-645	15,36	580	-395	9,40
45	880	-695	15,44	620	-435	9,67
48				645	-460	9,58
51				660	-475	9,31
54				670	-485	8,98
57				680	-495	8,68
60						
	DN = <b>16,39</b> (mm/golpe)			DN = <b>9,68</b> (mm/golpe)		



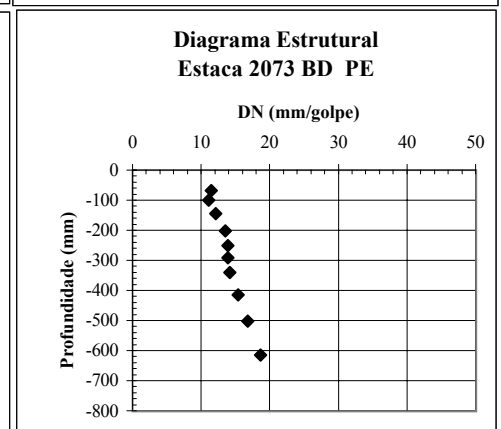
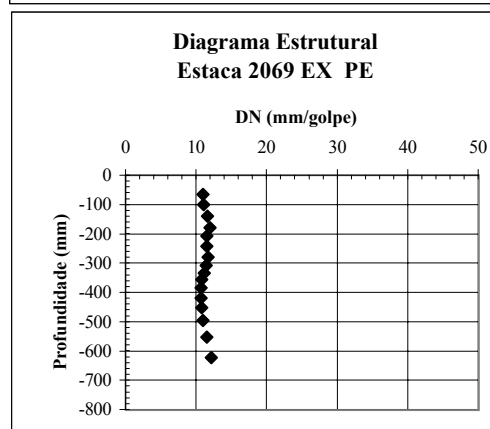
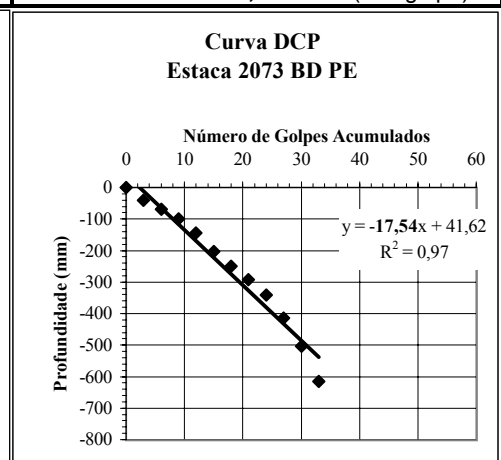
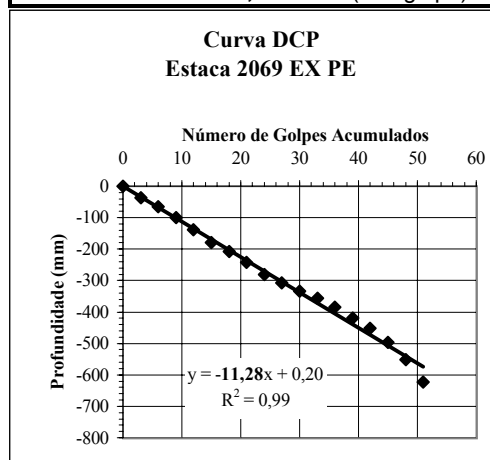
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	1841 PEBE			2066 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	185	0		237	0	
3	215	-30		288	-51	
6	235	-50	8,33	333	-96	16,00
9	280	-95	10,56	370	-133	14,78
12	320	-135	11,25	410	-173	14,42
15	365	-180	12,00	462	-225	15,00
18	420	-235	13,06	515	-278	15,44
21	460	-275	13,10	590	-353	16,81
24	510	-325	13,54	610	-373	15,54
27	570	-385	14,26	620	-383	14,19
30	640	-455	15,17	635	-398	13,27
33	670	-485	14,70	650	-413	12,52
36	710	-525	14,58	668	-431	11,97
39	740	-555	14,23	680	-443	11,36
42	770	-585	13,93	696	-459	10,93
45	800	-615	13,67	712	-475	10,56
48	830	-645	13,44	723	-486	10,13
51	860	-675	13,24	745	-508	9,96
54	900	-715	13,24	765	-528	9,78
57				785	-548	9,61
60				806	-569	9,48
	DN = <b>14,06</b> (mm/golpe)			DN = <b>8,88</b> (mm/golpe)		



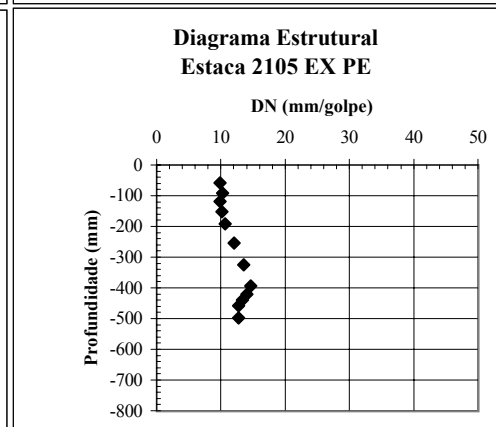
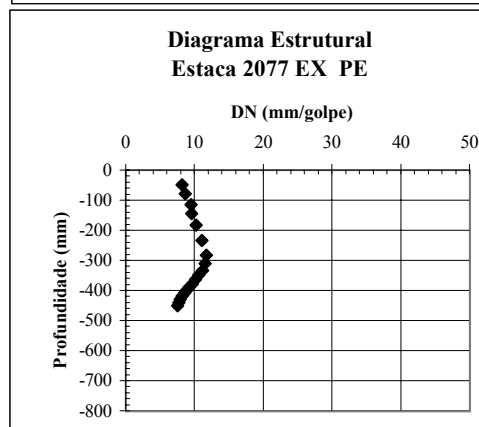
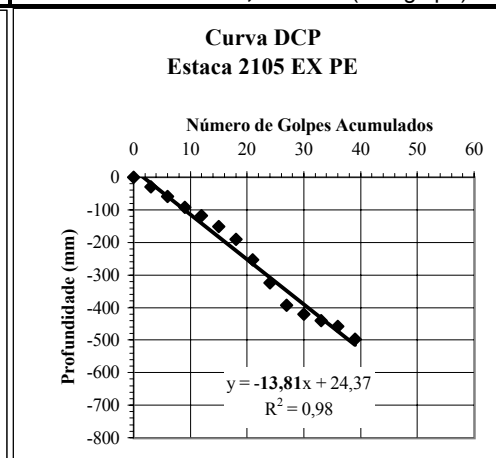
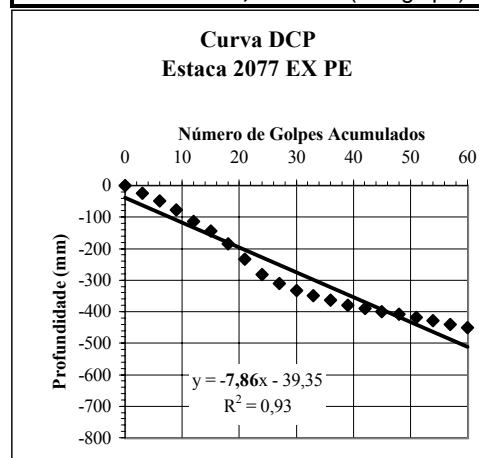
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2069 PEEX			2073 PEBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		235	0	
3	274	-36		275	-40	
6	304	-66	11,00	304	-69	11,50
9	338	-100	11,11	335	-100	11,11
12	377	-139	11,58	380	-145	12,08
15	417	-179	11,93	438	-203	13,53
18	445	-207	11,50	485	-250	13,89
21	480	-242	11,52	527	-292	13,90
24	518	-280	11,67	576	-341	14,21
27	546	-308	11,41	650	-415	15,37
30	572	-334	11,13	738	-503	16,77
33	595	-357	10,82	850	-615	18,64
36	622	-384	10,67			
39	657	-419	10,74			
42	690	-452	10,76			
45	734	-496	11,02			
47	790	-552	11,50			
50	860	-622	12,20			
53						
56						
59						
	DN = 11,28 (mm/golpe)			DN = 17,54 (mm/golpe)		



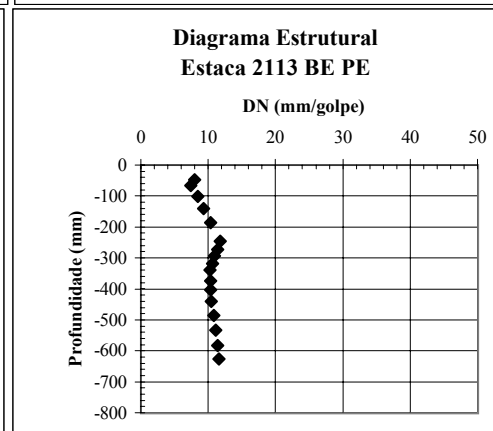
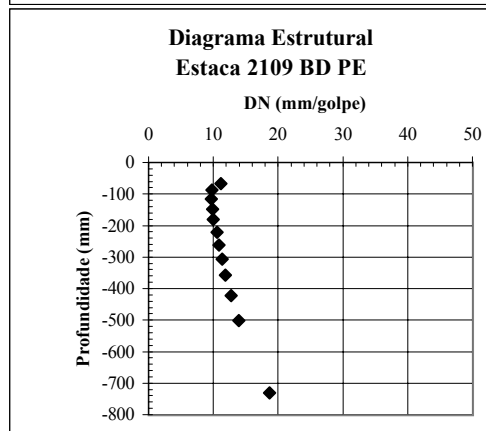
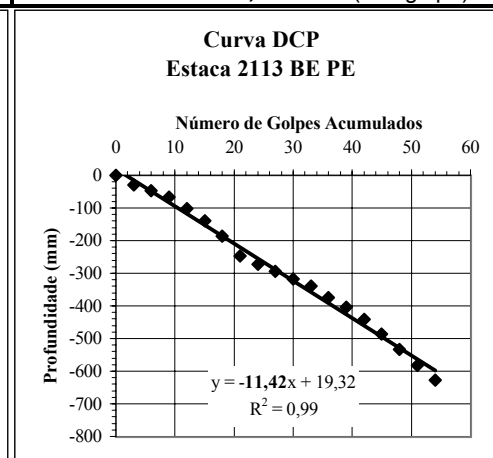
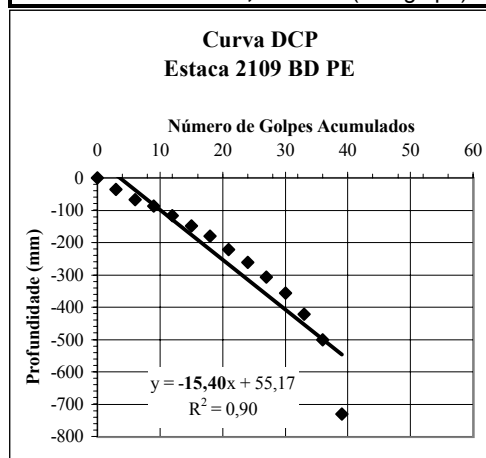
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2077 PEEEX			2105 PEEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	256	0		218	0	
3	281	-25		248	-30	
6	305	-49	8,17	277	-59	9,83
9	334	-78	8,67	310	-92	10,22
12	370	-114	9,50	336	-118	9,83
15	400	-144	9,60	370	-152	10,13
18	440	-184	10,22	409	-191	10,61
21	489	-233	11,10	472	-254	12,10
24	538	-282	11,75	543	-325	13,54
27	567	-311	11,52	612	-394	14,59
30	590	-334	11,13	638	-420	14,00
33	605	-349	10,58	658	-440	13,33
36	620	-364	10,11	676	-458	12,72
39	635	-379	9,72	715	-497	12,74
42	645	-389	9,26			
45	655	-399	8,87			
47	665	-409	8,52			
50	675	-419	8,22			
53	685	-429	7,94			
56	696	-440	7,72			
59	706	-450	7,50			
	DN =	7,86	(mm/golpe)	DN =	13,81	(mm/golpe)



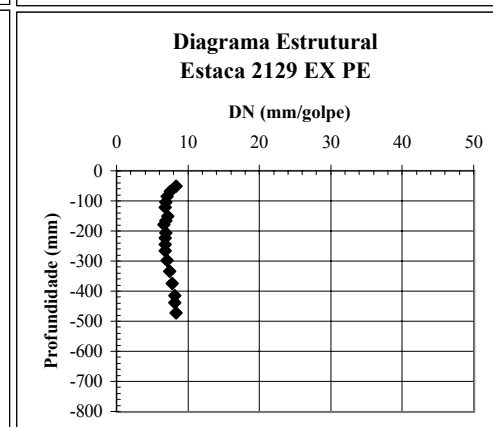
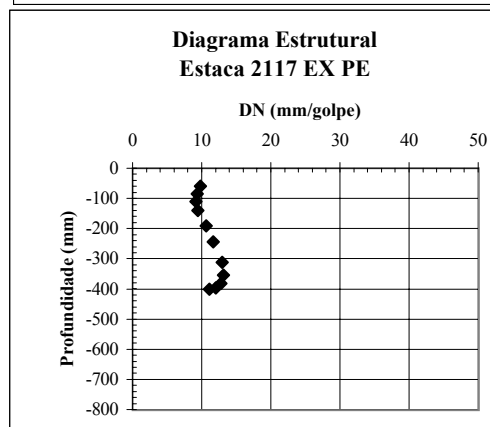
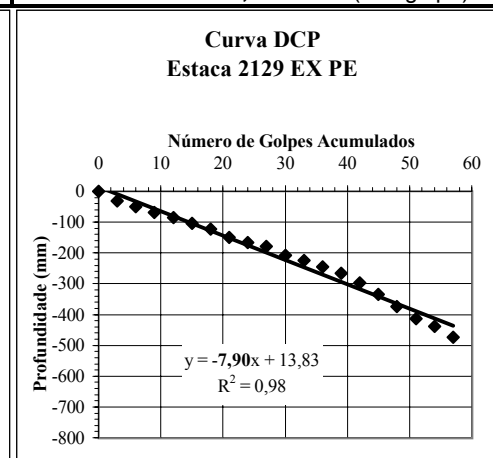
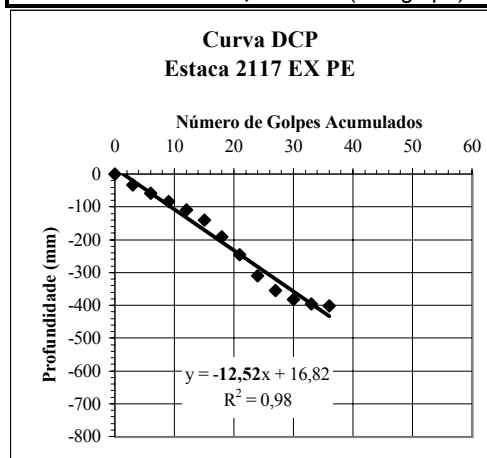
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2109 PEBD			2113 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	228	0		238	0	
3	263	-35		267	-29	
6	295	-67	11,17	286	-48	8,00
9	316	-88	9,78	305	-67	7,44
12	344	-116	9,67	339	-101	8,42
15	376	-148	9,87	378	-140	9,33
18	408	-180	10,00	425	-187	10,39
21	449	-221	10,52	485	-247	11,76
24	490	-262	10,92	511	-273	11,38
27	534	-306	11,33	532	-294	10,89
30	585	-357	11,90	556	-318	10,60
33	650	-422	12,79	578	-340	10,30
36	729	-501	13,92	612	-374	10,39
39	958	-730	18,72	641	-403	10,33
42				679	-441	10,50
45				724	-486	10,80
47				772	-534	11,13
50				820	-582	11,41
53				865	-627	11,61
56						
59						
	DN = <b>15,40</b> (mm/golpe)			DN = <b>11,42</b> (mm/golpe)		



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

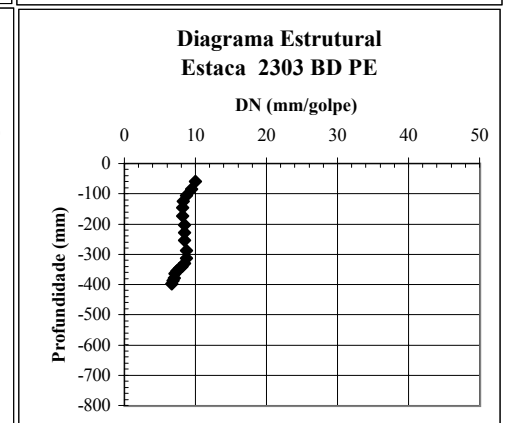
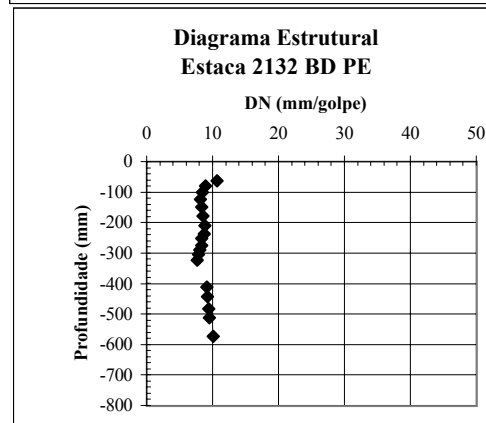
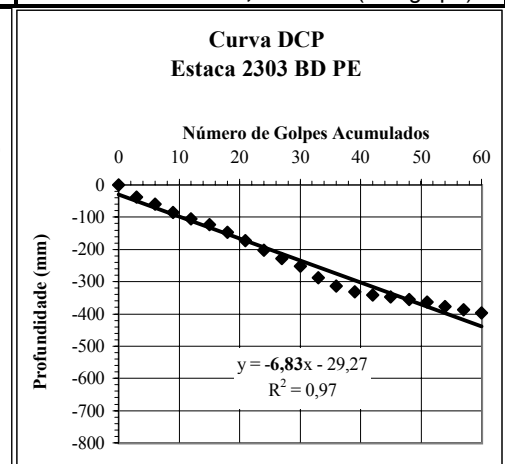
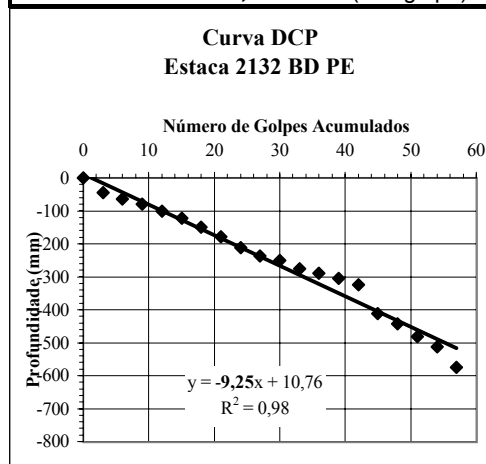
Golpes acumul.	2117 PEEX			2129 PEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	241	0		246	0	
3	275	-34		277	-31	
6	300	-59	9,83	296	-50	8,33
9	325	-84	9,33	314	-68	7,56
12	351	-110	9,17	331	-85	7,08
15	382	-141	9,40	350	-104	6,93
18	432	-191	10,61	368	-122	6,78
21	486	-245	11,67	396	-150	7,14
24	552	-311	12,96	412	-166	6,92
27	596	-355	13,15	424	-178	6,59
30	624	-383	12,77	453	-207	6,90
33	638	-397	12,03	470	-224	6,79
36	642	-401	11,14	491	-245	6,81
39				513	-267	6,85
42				544	-298	7,10
45				580	-334	7,42
47				620	-374	7,79
50				660	-414	8,12
53				685	-439	8,13
56				719	-473	8,30
59						
	DN = 12,52 (mm/golpe)			DN = 7,90 (mm/golpe)		





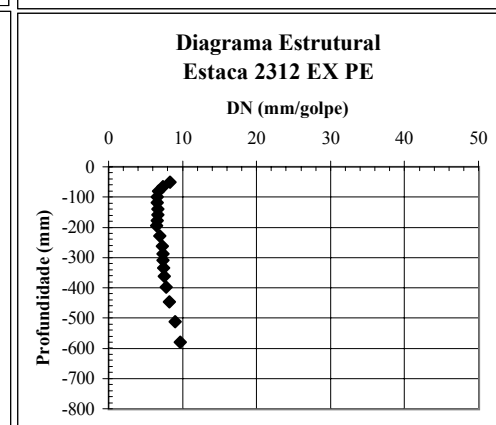
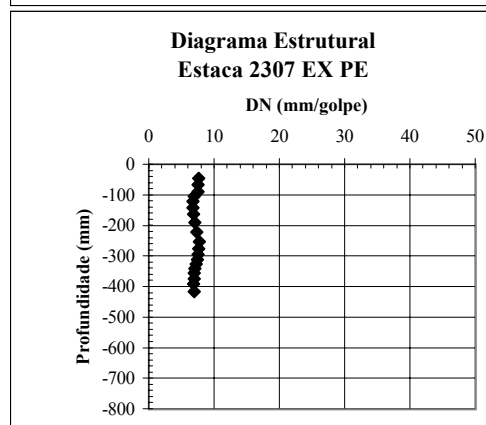
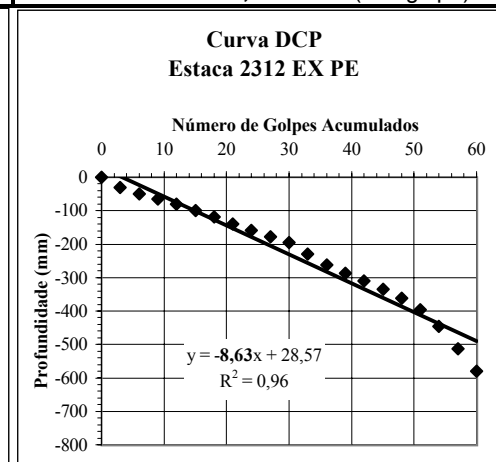
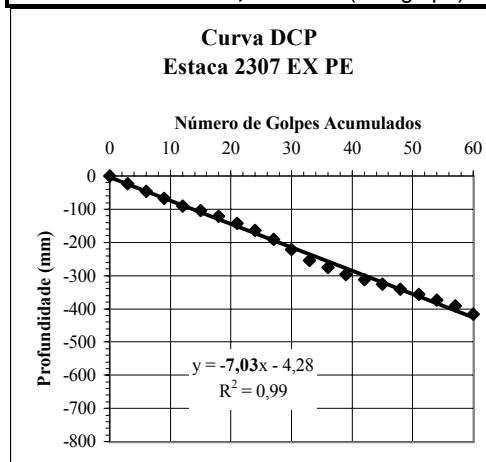
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2132 PEBD			2303 PEBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	236	0		227	0	
3	281	-45		264	-37	
6	300	-64	10,67	287	-60	10,00
9	316	-80	8,89	312	-85	9,44
12	337	-101	8,42	332	-105	8,75
15	359	-123	8,20	351	-124	8,27
18	386	-150	8,33	374	-147	8,17
21	415	-179	8,52	400	-173	8,24
24	447	-211	8,79	430	-203	8,46
27	473	-237	8,78	455	-228	8,44
30	487	-251	8,37	480	-253	8,43
33	512	-276	8,36	515	-288	8,73
36	525	-289	8,03	540	-313	8,69
39	541	-305	7,82	558	-331	8,49
42	560	-324	7,71	568	-341	8,12
45	648	-412	9,16	575	-348	7,73
47	678	-442	9,21	582	-355	7,40
50	718	-482	9,45	590	-363	7,12
53	749	-513	9,50	605	-378	7,00
56	810	-574	10,07	615	-388	6,81
59				625	-398	6,63
	DN = <b>9,25</b> (mm/golpe)			DN = <b>6,83</b> (mm/golpe)		



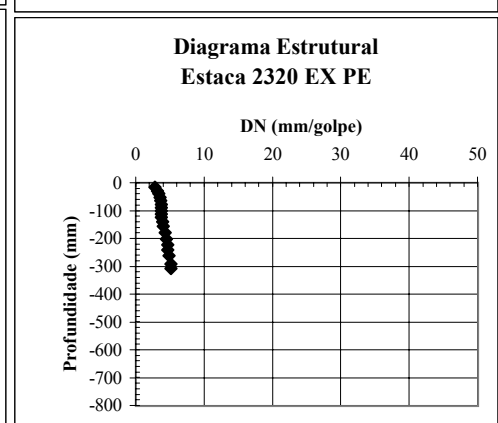
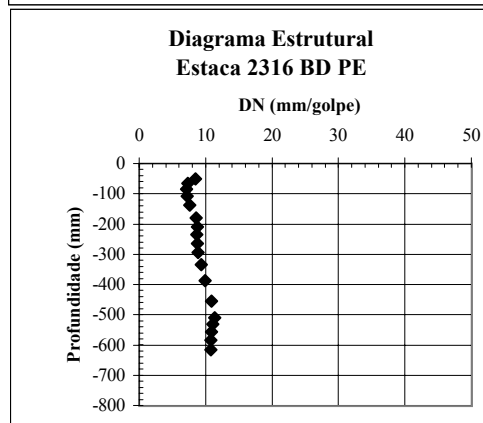
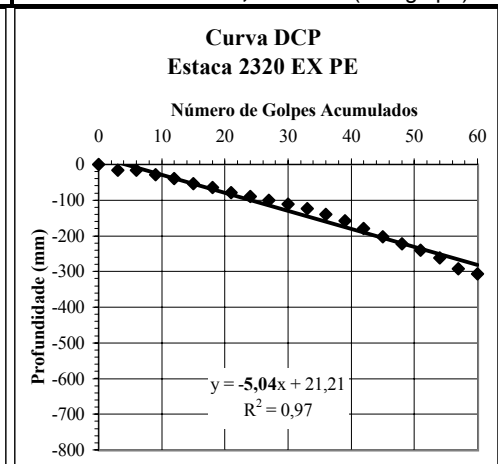
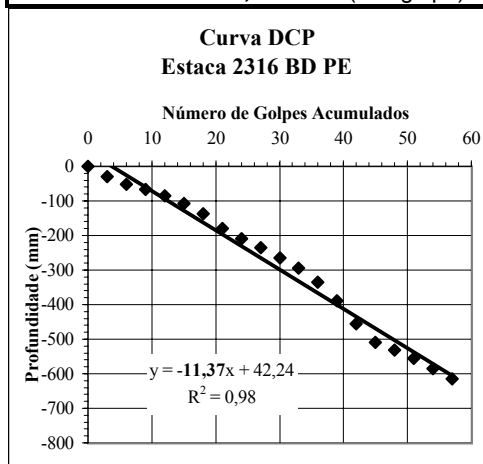
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2307 PEEEX			2312 PEEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	254	0		225	0	
3	278	-24		256	-31	
6	300	-46	7,67	275	-50	8,33
9	322	-68	7,56	291	-66	7,33
12	344	-90	7,50	306	-81	6,75
15	358	-104	6,93	324	-99	6,60
18	376	-122	6,78	344	-119	6,61
21	397	-143	6,81	365	-140	6,67
24	418	-164	6,83	384	-159	6,63
27	445	-191	7,07	403	-178	6,59
30	475	-221	7,37	420	-195	6,50
33	508	-254	7,70	454	-229	6,94
36	530	-276	7,67	488	-263	7,31
39	550	-296	7,59	512	-287	7,36
42	567	-313	7,45	535	-310	7,38
45	580	-326	7,24	560	-335	7,44
47	595	-341	7,10	587	-362	7,54
50	610	-356	6,98	622	-397	7,78
53	628	-374	6,93	671	-446	8,26
56	645	-391	6,86	738	-513	9,00
59	670	-416	6,93	804	-579	9,65
	DN =	<b>7,03</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>8,63</b>	(mm/golpe)



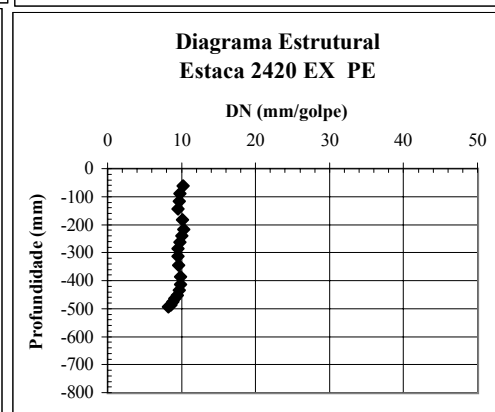
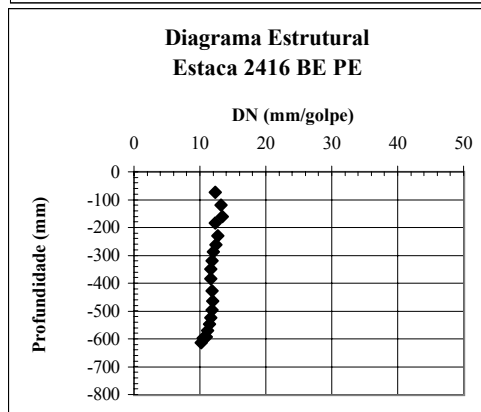
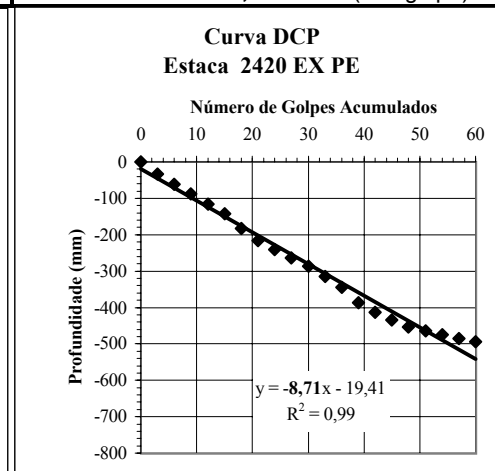
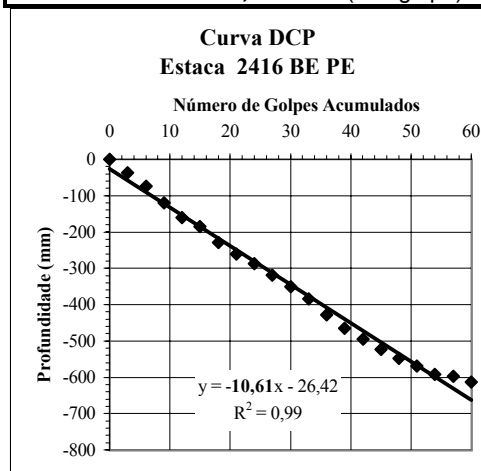
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2316 PEBD			2320 PEEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		261	0	
3	260	-30		278	-17	
6	281	-51	8,50	278	-17	2,83
9	296	-66	7,33	290	-29	3,22
12	315	-85	7,08	301	-40	3,33
15	338	-108	7,20	315	-54	3,60
18	367	-137	7,61	326	-65	3,61
21	410	-180	8,57	340	-79	3,76
24	440	-210	8,75	350	-89	3,71
27	465	-235	8,70	362	-101	3,74
30	494	-264	8,80	373	-112	3,73
33	524	-294	8,91	385	-124	3,76
36	565	-335	9,31	401	-140	3,89
39	618	-388	9,95	418	-157	4,03
42	686	-456	10,86	440	-179	4,26
45	740	-510	11,33	463	-202	4,49
47	762	-532	11,08	484	-223	4,65
50	786	-556	10,90	502	-241	4,73
53	815	-585	10,83	522	-261	4,83
56	845	-615	10,79	554	-293	5,14
59				568	-307	5,12
	DN = 11,37 (mm/golpe)			DN = 5,04 (mm/golpe)		



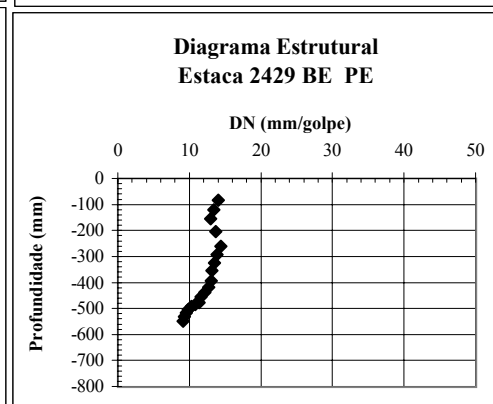
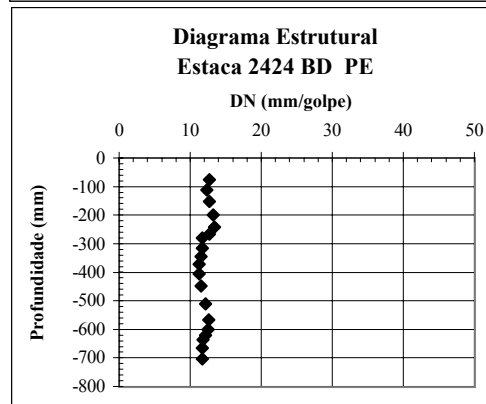
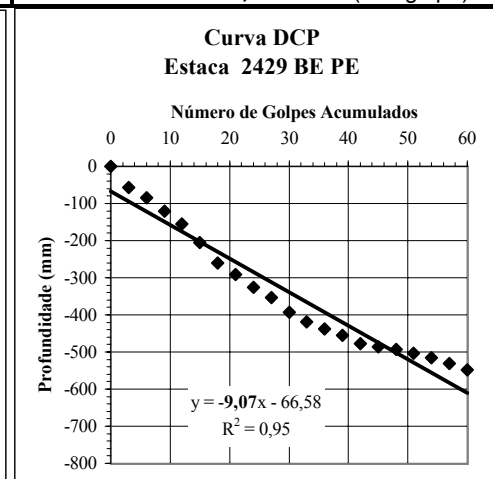
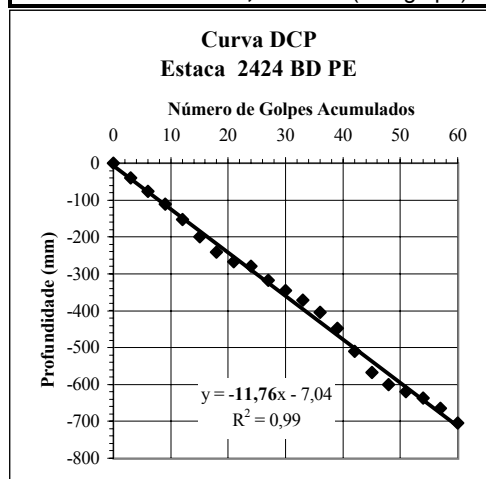
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2416 PEBE			2420 PEEEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	237	0		225	0	
3	274	-37		259	-34	
6	311	-74	12,33	286	-61	10,17
9	356	-119	13,22	313	-88	9,78
12	398	-161	13,42	341	-116	9,67
15	422	-185	12,33	368	-143	9,53
18	466	-229	12,72	407	-182	10,11
21	498	-261	12,43	442	-217	10,33
24	525	-288	12,00	466	-241	10,04
27	556	-319	11,81	488	-263	9,74
30	587	-350	11,67	511	-286	9,53
33	622	-385	11,67	539	-314	9,52
36	665	-428	11,89	570	-345	9,58
39	702	-465	11,92	611	-386	9,90
42	733	-496	11,81	638	-413	9,83
45	761	-524	11,64	660	-435	9,67
47	785	-548	11,42	678	-453	9,44
50	806	-569	11,16	689	-464	9,10
53	829	-592	10,96	700	-475	8,80
56	835	-598	10,49	711	-486	8,53
59	850	-613	10,22	719	-494	8,23
	DN = <b>10,61</b> (mm/golpe)			DN = <b>8,71</b> (mm/golpe)		



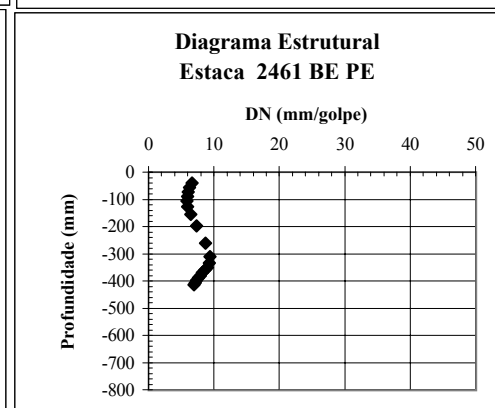
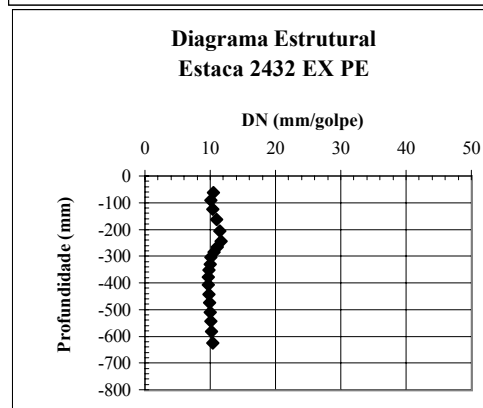
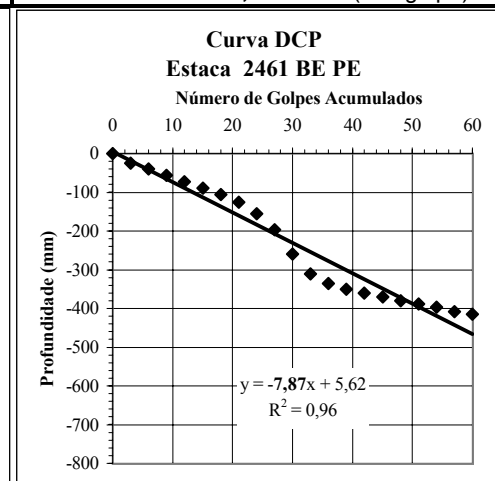
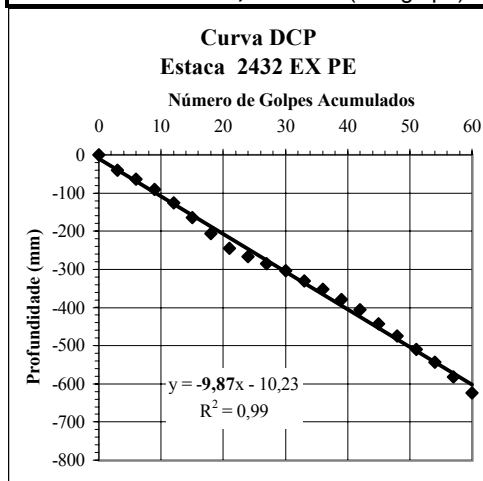
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2424 PEBD			2429 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	228	0		234	0	
3	268	-40		291	-57	
6	304	-76	12,67	318	-84	14,00
9	339	-111	12,33	355	-121	13,44
12	380	-152	12,67	390	-156	13,00
15	427	-199	13,27	439	-205	13,67
18	470	-242	13,44	494	-260	14,44
21	495	-267	12,71	526	-292	13,90
24	508	-280	11,67	559	-325	13,54
27	545	-317	11,74	588	-354	13,11
30	573	-345	11,50	627	-393	13,10
33	600	-372	11,27	653	-419	12,70
36	633	-405	11,25	672	-438	12,17
39	676	-448	11,49	689	-455	11,67
42	739	-511	12,17	712	-478	11,38
45	795	-567	12,60	720	-486	10,80
47	829	-601	12,52	727	-493	10,27
50	848	-620	12,16	738	-504	9,88
53	865	-637	11,80	750	-516	9,56
56	893	-665	11,67	765	-531	9,32
59	932	-704	11,73	782	-548	9,13
	DN =	<b>11,76</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>9,07</b>	(mm/golpe)



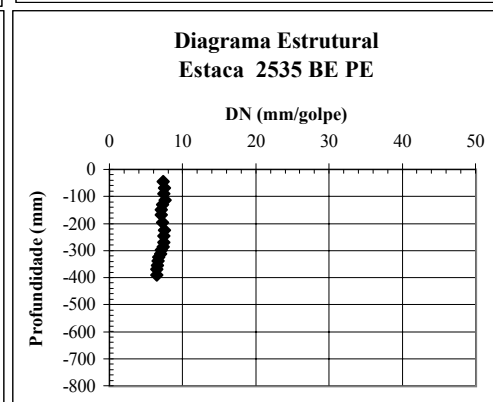
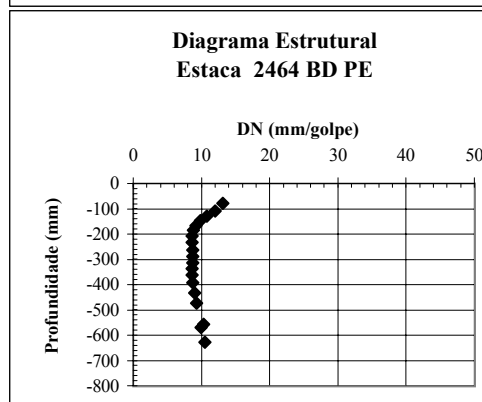
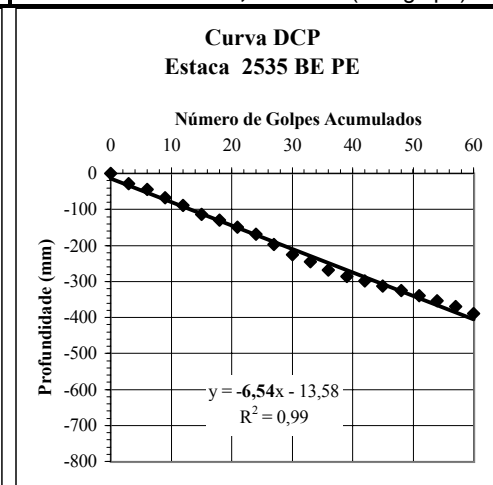
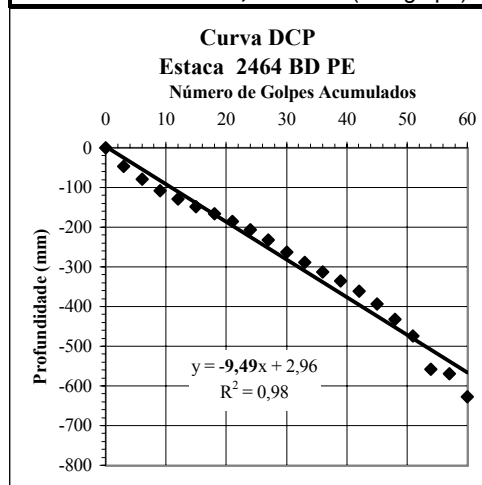
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2432PE EX			2461 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		225	0	
3	270	-40		250	-25	
6	293	-63	10,50	265	-40	6,67
9	321	-91	10,11	281	-56	6,22
12	355	-125	10,42	298	-73	6,08
15	394	-164	10,93	315	-90	6,00
18	437	-207	11,50	331	-106	5,89
21	475	-245	11,67	351	-126	6,00
24	496	-266	11,08	380	-155	6,46
27	515	-285	10,56	422	-197	7,30
30	533	-303	10,10	485	-260	8,67
33	560	-330	10,00	535	-310	9,39
36	582	-352	9,78	560	-335	9,31
39	609	-379	9,72	575	-350	8,97
42	636	-406	9,67	585	-360	8,57
45	672	-442	9,82	595	-370	8,22
47	705	-475	9,90	605	-380	7,92
50	740	-510	10,00	614	-389	7,63
53	773	-543	10,06	622	-397	7,35
56	812	-582	10,21	633	-408	7,16
59	854	-624	10,40	640	-415	6,92
	DN =	<b>9,87</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>7,87</b>	(mm/golpe)



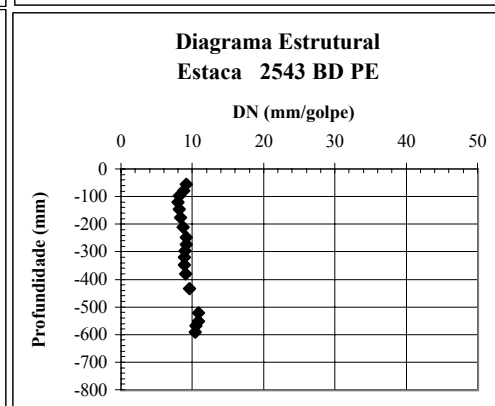
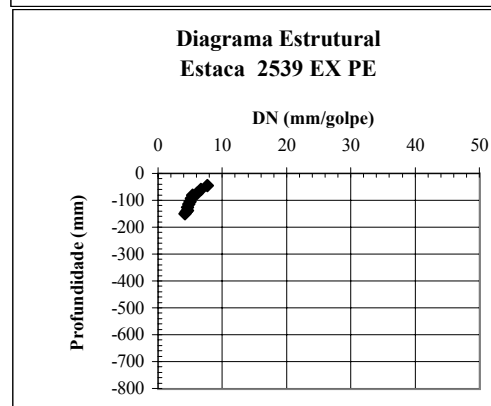
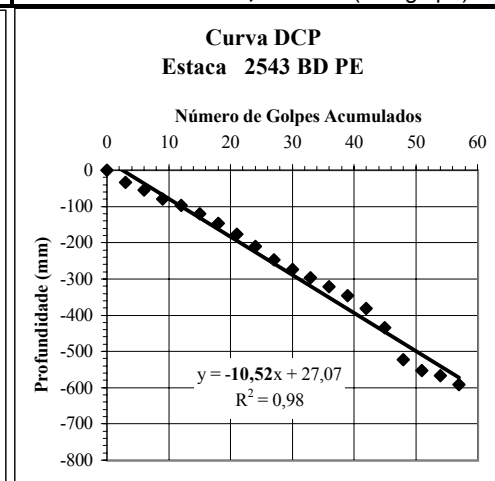
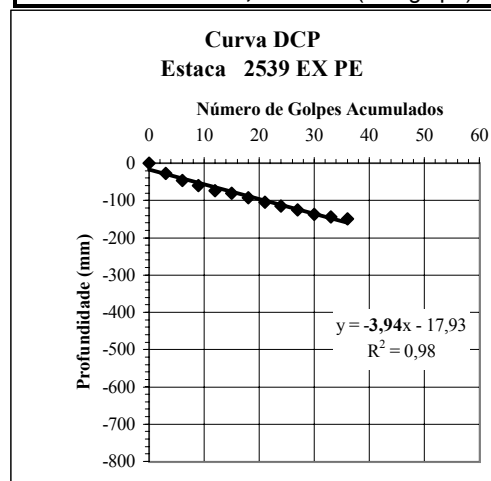
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2464 PEBD			2535 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	227	0		224	0	
3	273	-46		252	-28	
6	306	-79	13,17	268	-44	7,33
9	335	-108	12,00	292	-68	7,56
12	356	-129	10,75	313	-89	7,42
15	375	-148	9,87	338	-114	7,60
18	393	-166	9,22	354	-130	7,22
21	413	-186	8,86	373	-149	7,10
24	434	-207	8,63	393	-169	7,04
27	460	-233	8,63	421	-197	7,30
30	490	-263	8,77	449	-225	7,50
33	515	-288	8,73	470	-246	7,45
36	540	-313	8,69	493	-269	7,47
39	563	-336	8,62	510	-286	7,33
42	588	-361	8,60	523	-299	7,12
45	620	-393	8,73	537	-313	6,96
47	660	-433	9,02	549	-325	6,77
50	701	-474	9,29	563	-339	6,65
53	785	-558	10,33	578	-354	6,56
56	796	-569	9,98	594	-370	6,49
59	855	-628	10,47	614	-390	6,50
	DN =	<b>9,49</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>6,54</b>	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

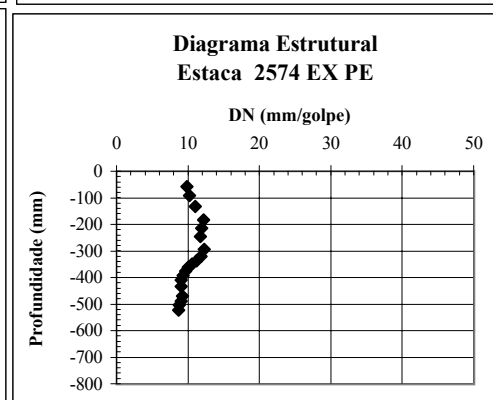
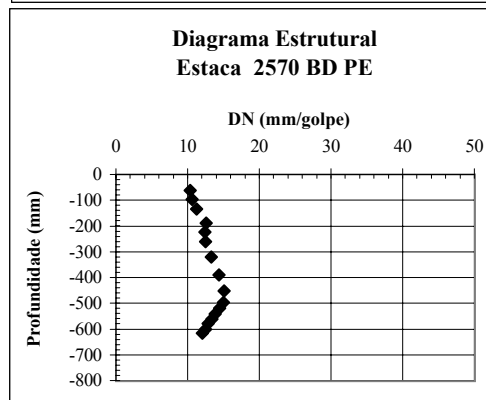
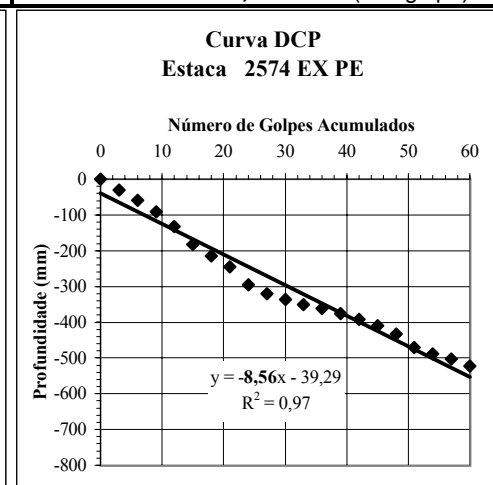
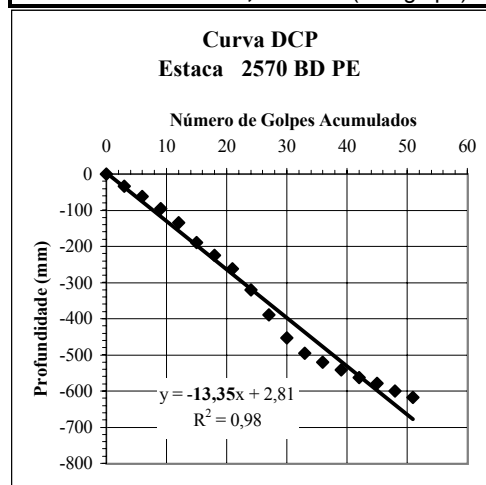
Golpes acumul.	2539 PEEX			2543 PEBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		223	0	
3	257	-27		257	-34	
6	276	-46	7,67	278	-55	9,17
9	290	-60	6,67	302	-79	8,78
12	303	-73	6,08	321	-98	8,17
15	311	-81	5,40	343	-120	8,00
18	323	-93	5,17	370	-147	8,17
21	334	-104	4,95	399	-176	8,38
24	345	-115	4,79	433	-210	8,75
27	355	-125	4,63	471	-248	9,19
30	367	-137	4,57	497	-274	9,13
33	374	-144	4,36	520	-297	9,00
36	380	-150	4,17	544	-321	8,92
39				570	-347	8,90
42				604	-381	9,07
45				657	-434	9,64
47				745	-522	10,88
50				775	-552	10,82
53				790	-567	10,50
56				814	-591	10,37
59						
	DN = <b>3,94</b> (mm/golpe)			DN = <b>10,52</b> (mm/golpe)		





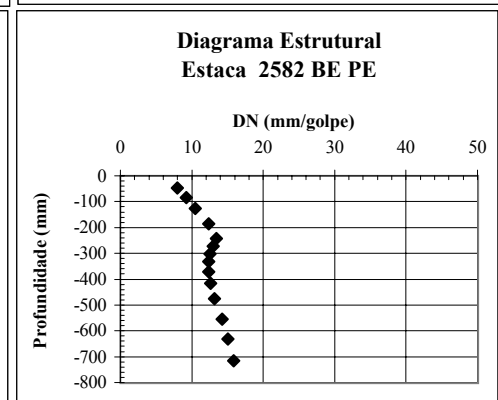
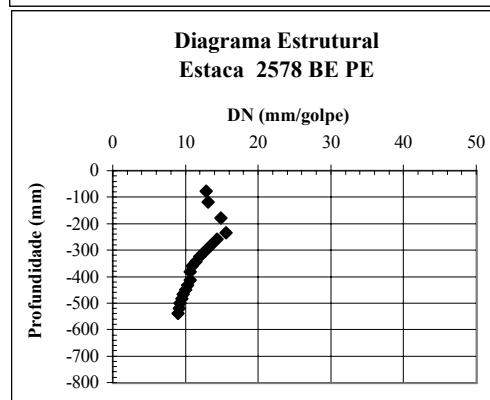
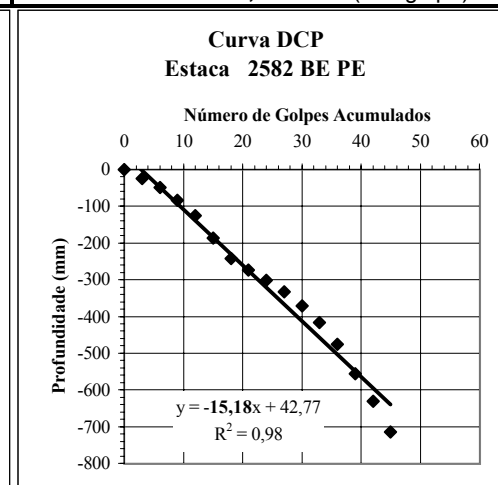
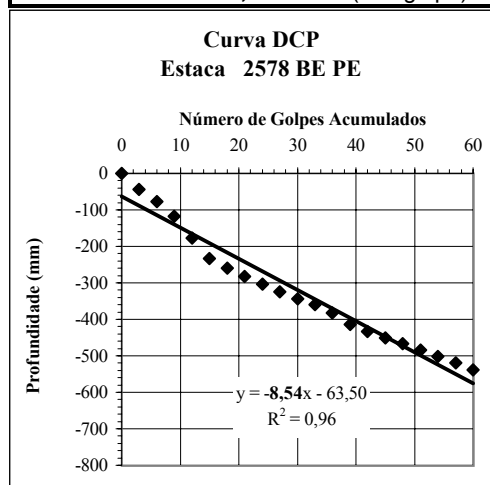
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2570 BD PE -			2574 EX PE -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	235	0		223	0	
3	268	-33		253	-30	
6	297	-62	10,33	282	-59	9,83
9	331	-96	10,67	315	-92	10,22
12	370	-135	11,25	355	-132	11,00
15	424	-189	12,60	406	-183	12,20
18	459	-224	12,44	438	-215	11,94
21	497	-262	12,48	469	-246	11,71
24	555	-320	13,33	518	-295	12,29
27	624	-389	14,41	543	-320	11,85
30	688	-453	15,10	560	-337	11,23
33	731	-496	15,03	573	-350	10,61
36	755	-520	14,44	585	-362	10,06
39	776	-541	13,87	599	-376	9,64
42	797	-562	13,38	615	-392	9,33
45	814	-579	12,87	632	-409	9,09
47	835	-600	12,50	657	-434	9,04
50	852	-617	12,10	693	-470	9,22
53				712	-489	9,06
56				726	-503	8,82
59				745	-522	8,70
	DN = <b>13,35</b> (mm/golpe)			DN = <b>8,56</b> (mm/golpe)		



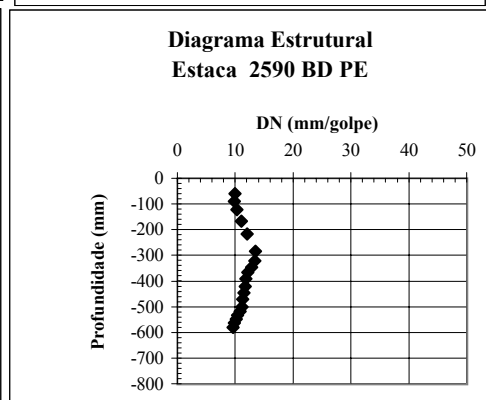
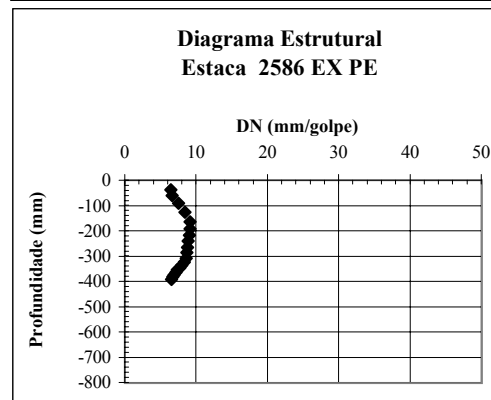
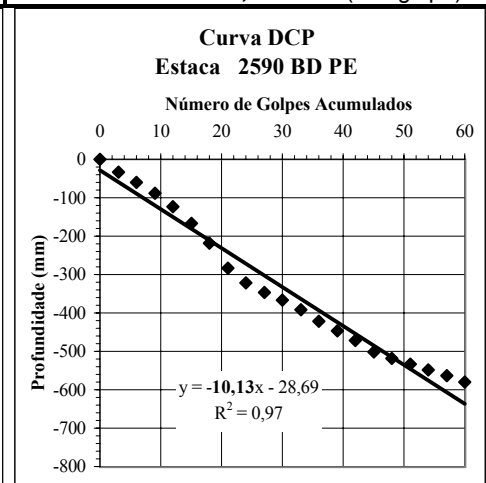
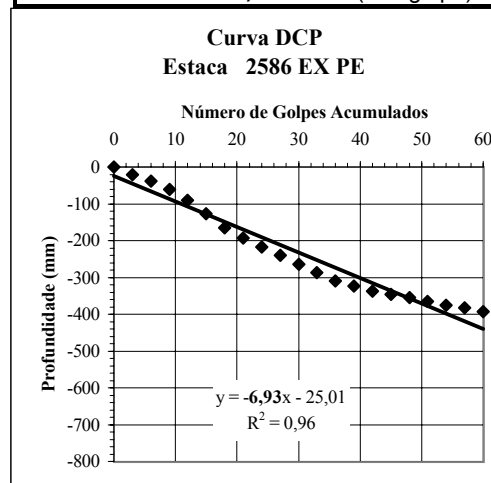
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2578 PEBE			2582PE BE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	218	0		235	0	
3	262	-44		260	-25	
6	295	-77	12,83	283	-48	8,00
9	336	-118	13,11	318	-83	9,22
12	396	-178	14,83	361	-126	10,50
15	452	-234	15,60	421	-186	12,40
18	477	-259	14,39	477	-242	13,44
21	500	-282	13,43	508	-273	13,00
24	522	-304	12,67	537	-302	12,58
27	542	-324	12,00	568	-333	12,33
30	561	-343	11,43	606	-371	12,37
33	577	-359	10,88	651	-416	12,61
36	601	-383	10,64	710	-475	13,19
39	632	-414	10,62	791	-556	14,26
42	651	-433	10,31	866	-631	15,02
45	668	-450	10,00	950	-715	15,89
47	684	-466	9,71			
50	702	-484	9,49			
53	719	-501	9,28			
56	738	-520	9,12			
59	757	-539	8,98			
	DN =	<b>8,54</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>15,18</b>	(mm/golpe)



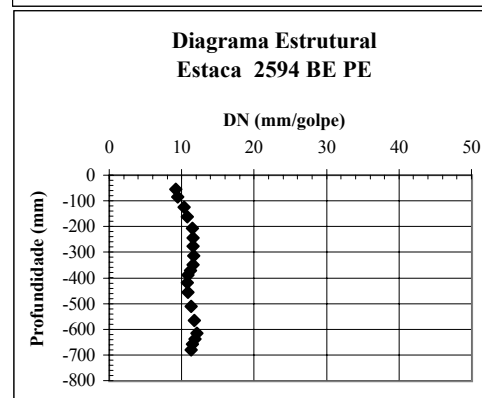
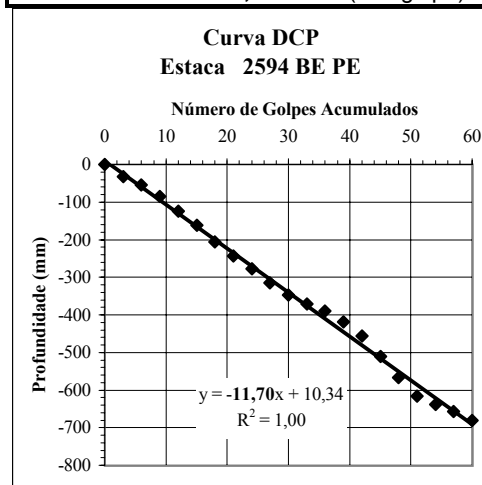
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2586 EX PE -			2590 PEBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		219	0	
3	259	-21		252	-33	
6	277	-39	6,50	279	-60	10,00
9	298	-60	6,67	308	-89	9,89
12	328	-90	7,50	342	-123	10,25
15	365	-127	8,47	385	-166	11,07
18	403	-165	9,17	437	-218	12,11
21	431	-193	9,19	502	-283	13,48
24	455	-217	9,04	541	-322	13,42
27	478	-240	8,89	566	-347	12,85
30	503	-265	8,83	585	-366	12,20
33	525	-287	8,70	610	-391	11,85
36	547	-309	8,58	640	-421	11,69
39	562	-324	8,31	666	-447	11,46
42	575	-337	8,02	691	-472	11,24
45	584	-346	7,69	721	-502	11,16
47	593	-355	7,40	737	-518	10,79
50	603	-365	7,16	752	-533	10,45
53	613	-375	6,94	768	-549	10,17
56	621	-383	6,72	783	-564	9,89
59	631	-393	6,55	799	-580	9,67
	DN =	<b>6,93</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>10,13</b>	(mm/golpe)



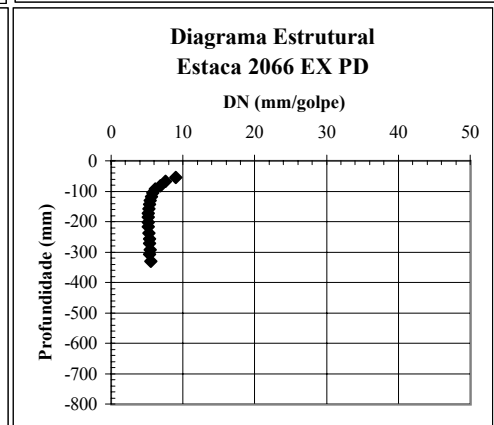
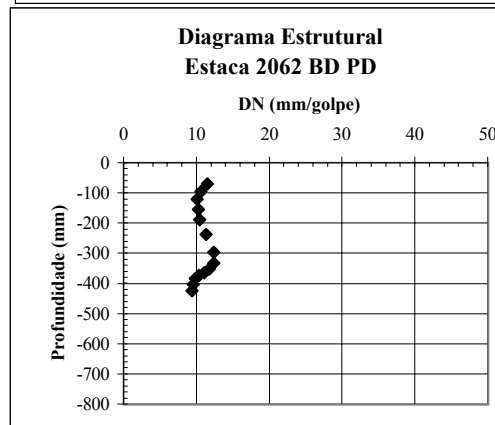
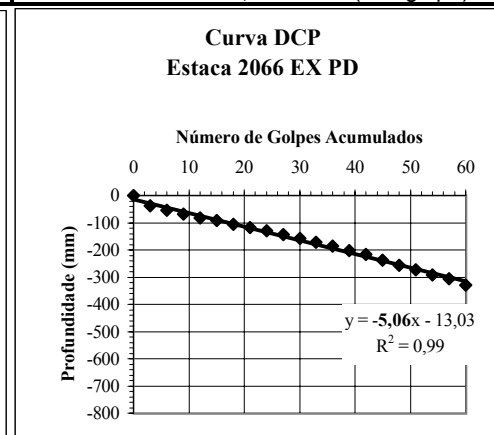
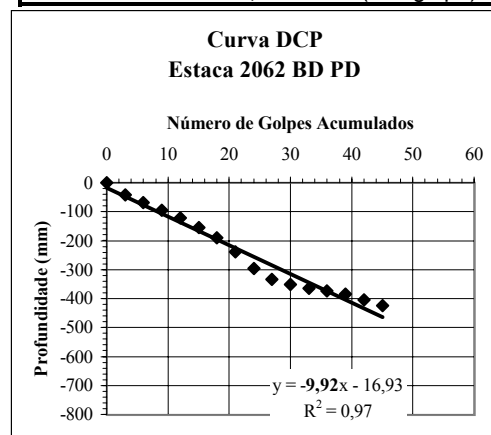
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2594 PEBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	228	0	
3	260	-32	
6	283	-55	9,17
9	313	-85	9,44
12	352	-124	10,33
15	390	-162	10,80
18	434	-206	11,44
21	471	-243	11,57
24	505	-277	11,54
27	543	-315	11,67
30	576	-348	11,60
33	599	-371	11,24
36	618	-390	10,83
39	647	-419	10,74
42	685	-457	10,88
45	738	-510	11,33
47	794	-566	11,79
50	844	-616	12,08
53	867	-639	11,83
56	885	-657	11,53
59	908	-680	11,33
DN =		<b>11,70</b>	(mm/golpe)



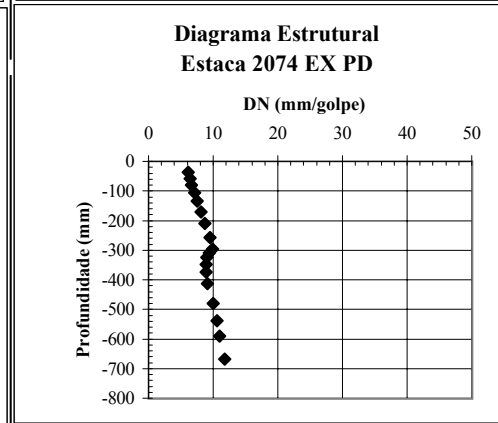
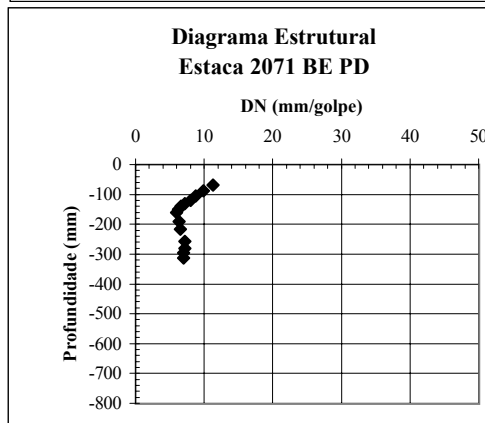
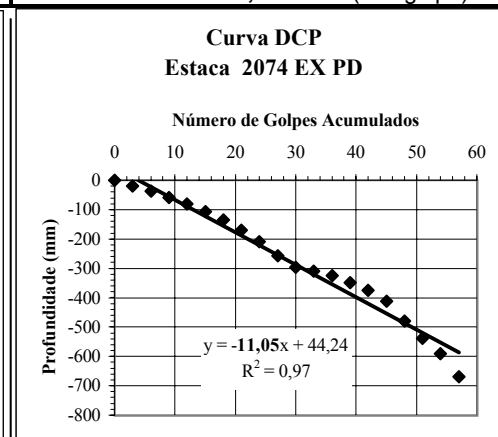
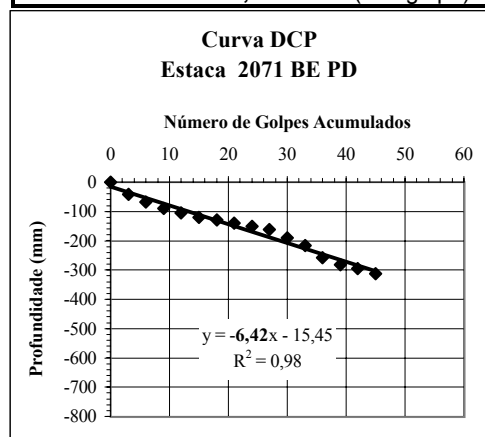
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2062 PDBD			2066 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	226	0		228	0	
3	267	-41		265	-37	
6	295	-69	11,50	282	-54	9,00
9	322	-96	10,67	296	-68	7,56
12	347	-121	10,08	310	-82	6,83
15	380	-154	10,27	320	-92	6,13
18	415	-189	10,50	333	-105	5,83
21	464	-238	11,33	345	-117	5,57
24	523	-297	12,38	358	-130	5,42
27	560	-334	12,37	372	-144	5,33
30	578	-352	11,73	386	-158	5,27
33	590	-364	11,03	400	-172	5,21
36	600	-374	10,39	414	-186	5,17
39	610	-384	9,85	430	-202	5,18
42	630	-404	9,62	445	-217	5,17
45	650	-424	9,42	465	-237	5,27
48				485	-257	5,35
51				500	-272	5,33
54				520	-292	5,41
57				535	-307	5,39
60				558	-330	5,50
	DN =	<b>9,92</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>5,06</b>	(mm/golpe)



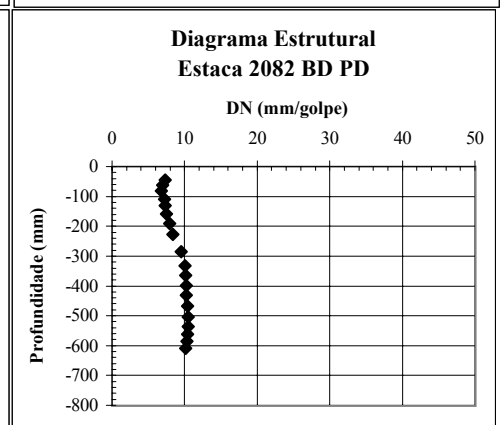
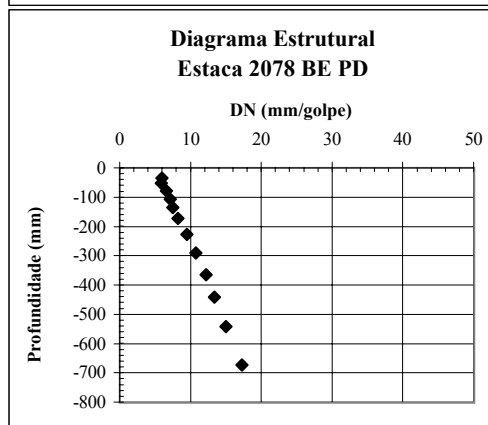
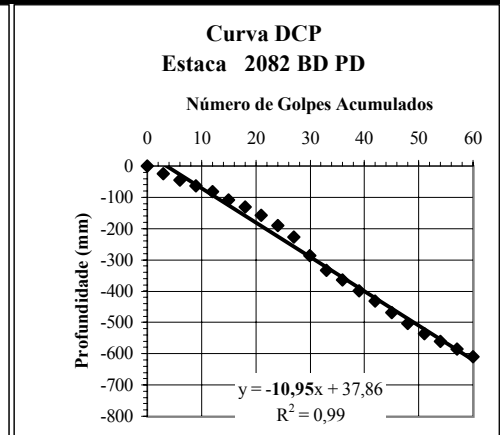
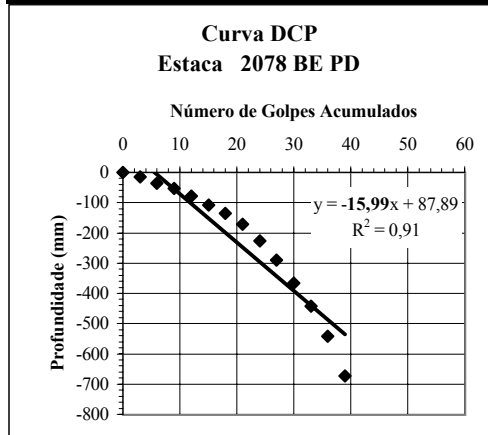
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2071 PDBE			2074 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	225	0		238	0	
3	266	-41		257	-19	
6	293	-68	11,33	275	-37	6,17
9	314	-89	9,89	296	-58	6,44
12	330	-105	8,75	318	-80	6,67
15	345	-120	8,00	345	-107	7,13
18	355	-130	7,22	373	-135	7,50
21	365	-140	6,67	408	-170	8,10
24	375	-150	6,25	447	-209	8,71
27	386	-161	5,96	495	-257	9,52
30	415	-190	6,33	534	-296	9,87
33	442	-217	6,58	548	-310	9,39
36	482	-257	7,14	563	-325	9,03
39	506	-281	7,21	586	-348	8,92
42	520	-295	7,02	612	-374	8,90
45	538	-313	6,96	650	-412	9,16
48				718	-480	10,00
51				776	-538	10,55
54				829	-591	10,94
57				907	-669	11,74
60						
	DN =	<b>6,42</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>11,05</b>	(mm/golpe)



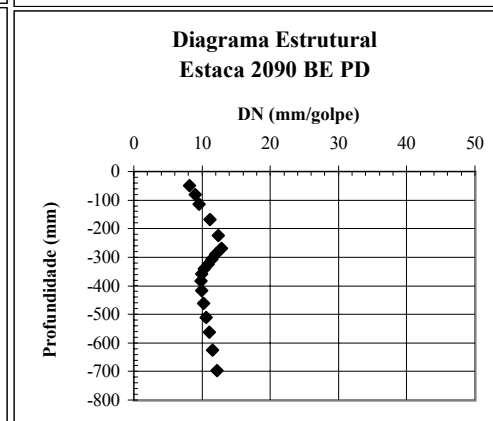
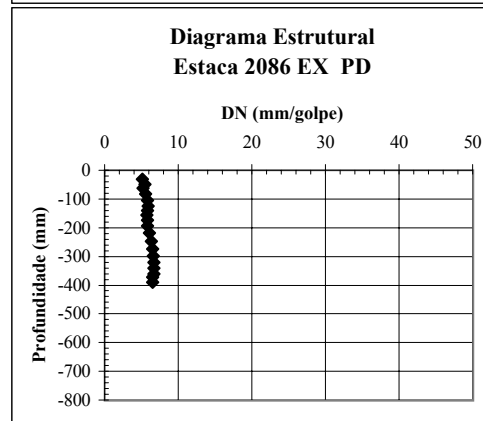
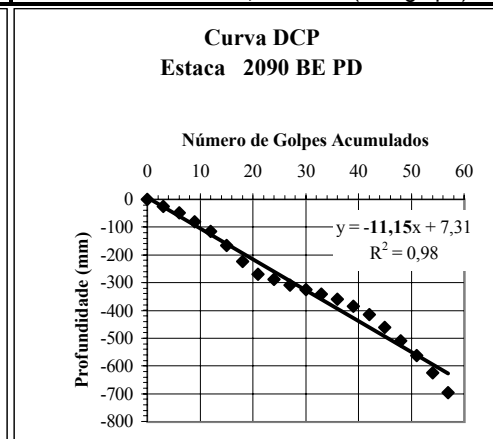
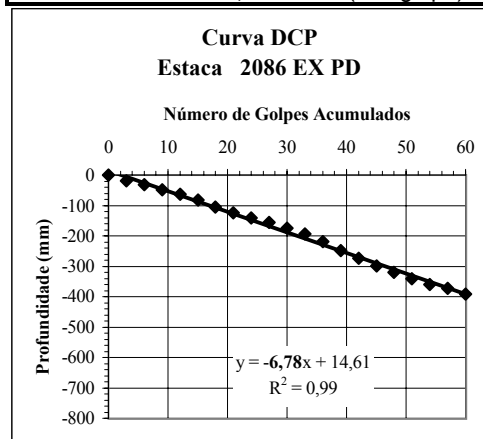
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2078 PDBE			2082 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	245	0		234	0	
3	260	-15		258	-24	
6	281	-36	6,00	278	-44	7,33
9	298	-53	5,89	297	-63	7,00
12	324	-79	6,58	316	-82	6,83
15	352	-107	7,13	343	-109	7,27
18	380	-135	7,50	365	-131	7,28
21	417	-172	8,19	392	-158	7,52
24	472	-227	9,46	424	-190	7,92
27	535	-290	10,74	461	-227	8,41
30	611	-366	12,20	520	-286	9,53
33	687	-442	13,39	567	-333	10,09
36	786	-541	15,03	598	-364	10,11
39	918	-673	17,26	633	-399	10,23
42				665	-431	10,26
45				702	-468	10,40
48				737	-503	10,48
51				771	-537	10,53
54				795	-561	10,39
57				820	-586	10,28
60				843	-609	10,15
	DN =	<b>15,99</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>10,95</b>	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

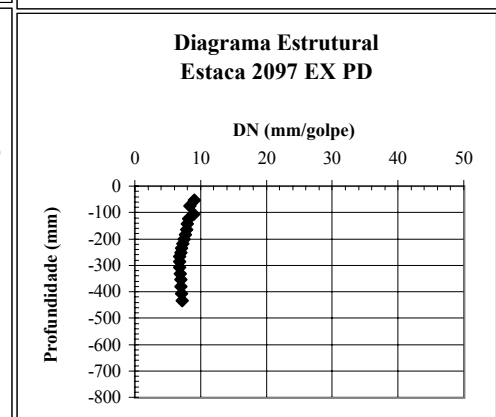
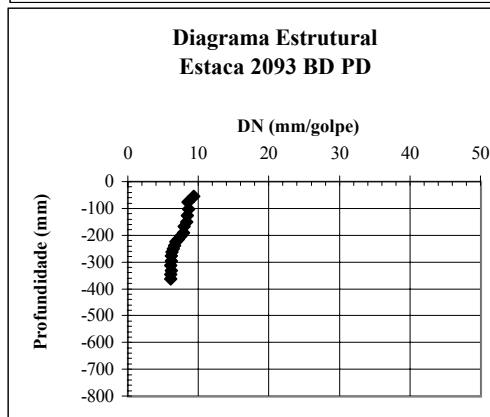
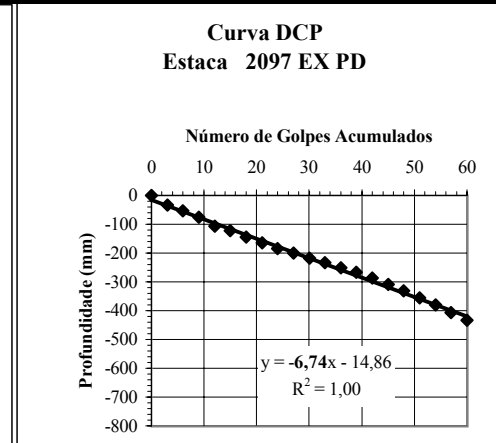
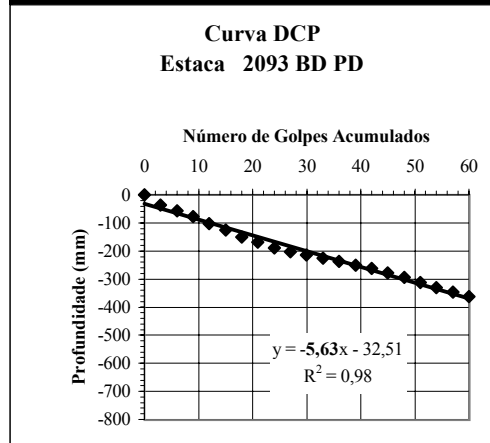
Golpes acumul.	2086 PDEX			2090 PDBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	232	0		234	0	
3	250	-18		260	-26	
6	263	-31	5,17	283	-49	8,17
9	281	-49	5,44	315	-81	9,00
12	295	-63	5,25	349	-115	9,58
15	315	-83	5,53	401	-167	11,13
18	337	-105	5,83	457	-223	12,39
21	356	-124	5,90	504	-270	12,86
24	372	-140	5,83	523	-289	12,04
27	388	-156	5,78	542	-308	11,41
30	406	-174	5,80	560	-326	10,87
33	425	-193	5,85	575	-341	10,33
36	451	-219	6,08	593	-359	9,97
39	480	-248	6,36	618	-384	9,85
42	506	-274	6,52	650	-416	9,90
45	531	-299	6,64	695	-461	10,24
48	553	-321	6,69	744	-510	10,63
51	573	-341	6,69	797	-563	11,04
54	592	-360	6,67	859	-625	11,57
57	605	-373	6,54	930	-696	12,21
60	623	-391	6,52			
	DN =	<b>6,78</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>11,15</b>	(mm/golpe)





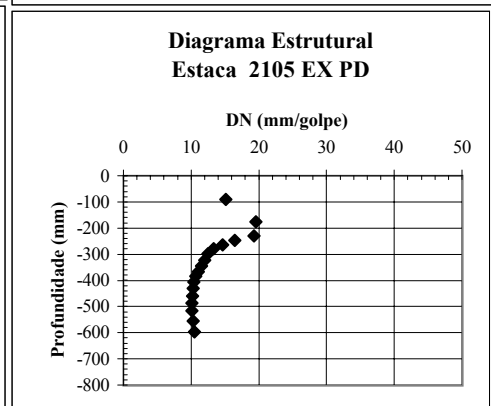
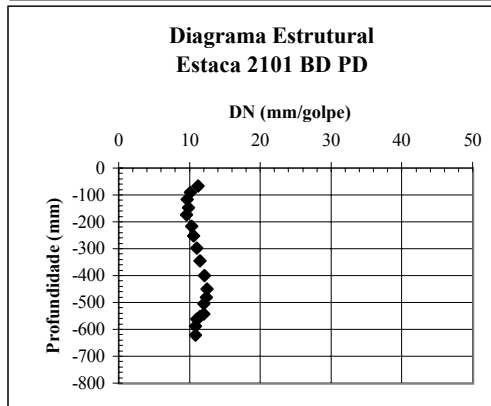
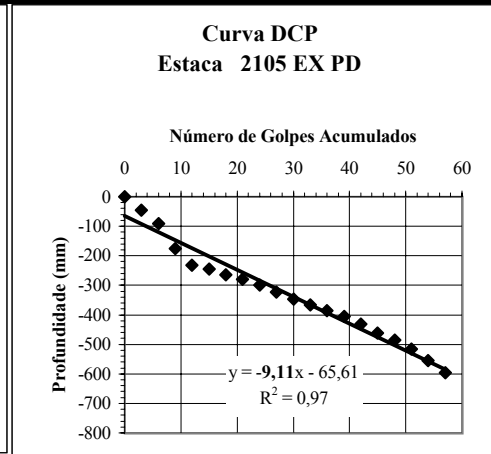
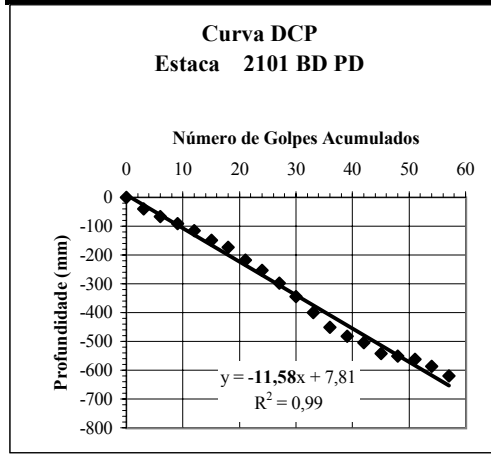
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2093 PDBD			2097 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	235	0		220	0	
3	272	-37		254	-34	
6	291	-56	9,33	274	-54	9,00
9	312	-77	8,56	295	-75	8,33
12	338	-103	8,58	327	-107	8,92
15	361	-126	8,40	343	-123	8,20
18	385	-150	8,33	364	-144	8,00
21	403	-168	8,00	385	-165	7,86
24	425	-190	7,92	404	-184	7,67
27	438	-203	7,52	421	-201	7,44
30	449	-214	7,13	438	-218	7,27
33	460	-225	6,82	454	-234	7,09
36	473	-238	6,61	471	-251	6,97
39	486	-251	6,44	487	-267	6,85
42	498	-263	6,26	506	-286	6,81
45	513	-278	6,18	528	-308	6,84
48	530	-295	6,15	551	-331	6,90
51	547	-312	6,12	575	-355	6,96
54	566	-331	6,13	600	-380	7,04
57	582	-347	6,09	627	-407	7,14
60	598	-363	6,05	653	-433	7,22
	DN =	<b>5,63</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>6,74</b>	(mm/golpe)



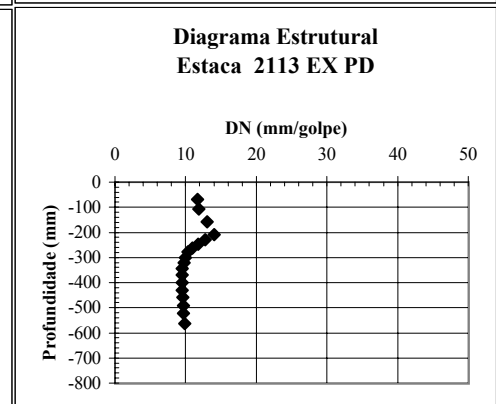
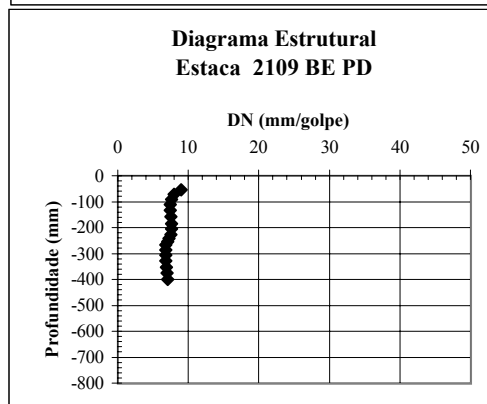
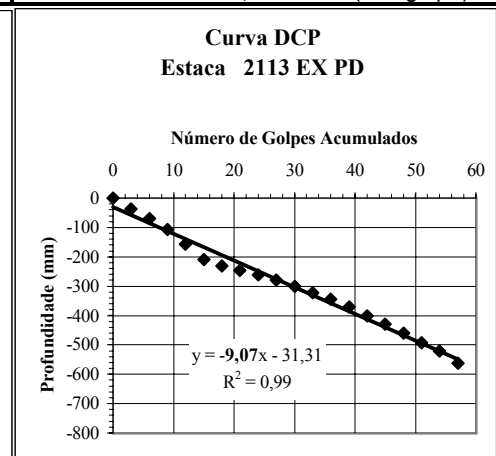
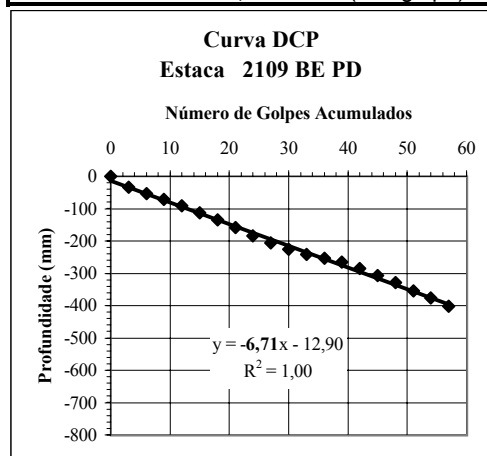
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhaça**

Golpes acumul.	2101 PDBD			2105 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	228	0		234	0	
3	268	-40		280	-46	
6	295	-67	11,17	325	-91	15,17
9	319	-91	10,11	410	-176	19,56
12	344	-116	9,67	465	-231	19,25
15	376	-148	9,87	480	-246	16,40
18	401	-173	9,61	498	-264	14,67
21	445	-217	10,33	513	-279	13,29
24	481	-253	10,54	533	-299	12,46
27	525	-297	11,00	557	-323	11,96
30	573	-345	11,50	580	-346	11,53
33	628	-400	12,12	600	-366	11,09
36	678	-450	12,50	619	-385	10,69
39	710	-482	12,36	640	-406	10,41
42	732	-504	12,00	665	-431	10,26
45	770	-542	12,04	695	-461	10,24
48	780	-552	11,50	720	-486	10,13
51	790	-562	11,02	750	-516	10,12
54	815	-587	10,87	790	-556	10,30
57	849	-621	10,89	830	-596	10,46
60						
	DN =	11,58	(mm/golpe)	DN =	9,11	(mm/golpe)



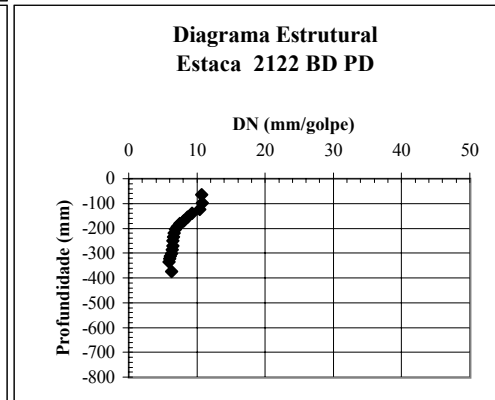
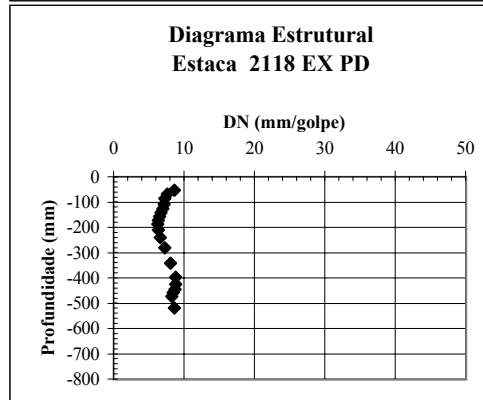
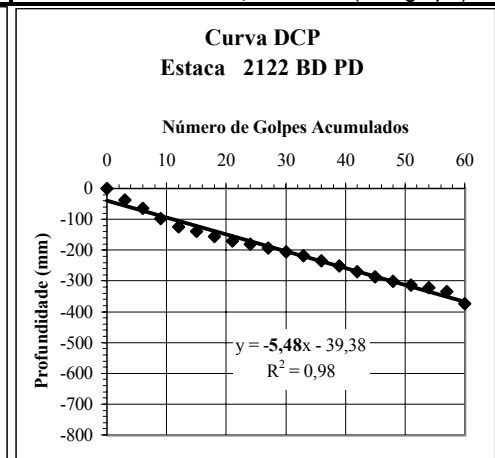
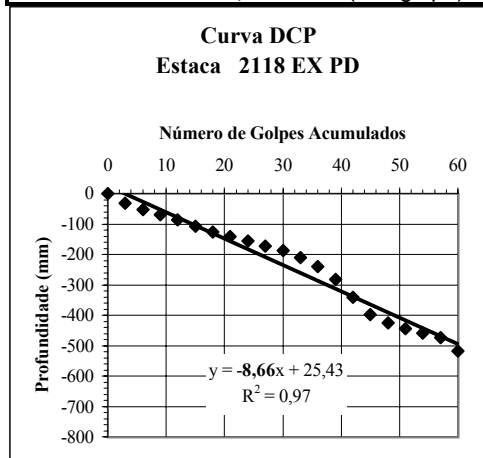
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2109 PDBE			2113 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	234	0		228	0	
3	268	-34		265	-37	
6	288	-54	9,00	298	-70	11,67
9	306	-72	8,00	335	-107	11,89
12	325	-91	7,58	385	-157	13,08
15	346	-112	7,47	438	-210	14,00
18	368	-134	7,44	458	-230	12,78
21	393	-159	7,57	475	-247	11,76
24	418	-184	7,67	490	-262	10,92
27	440	-206	7,63	506	-278	10,30
30	460	-226	7,53	528	-300	10,00
33	475	-241	7,30	550	-322	9,76
36	488	-254	7,06	572	-344	9,56
39	500	-266	6,82	598	-370	9,49
42	520	-286	6,81	628	-400	9,52
45	540	-306	6,80	658	-430	9,56
48	562	-328	6,83	687	-459	9,56
51	588	-354	6,94	720	-492	9,65
54	610	-376	6,96	750	-522	9,67
57	635	-401	7,04	790	-562	9,86
60						
	DN =	<b>6,71</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>9,07</b>	(mm/golpe)



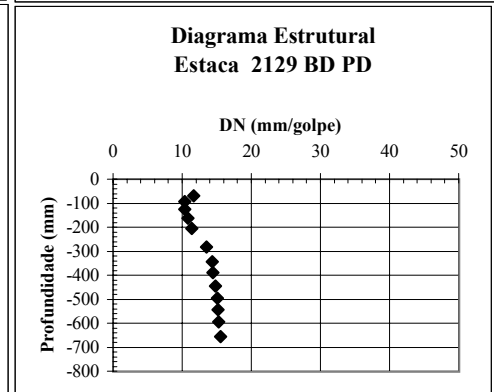
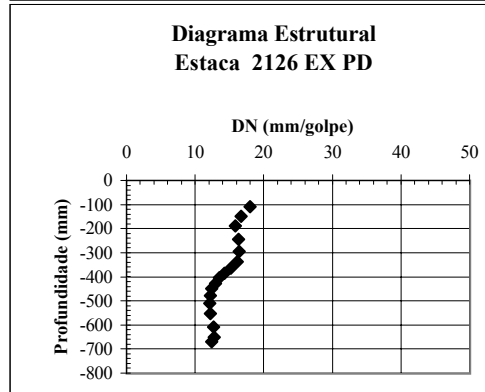
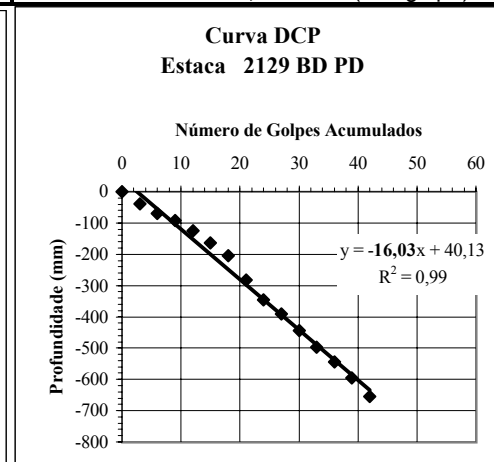
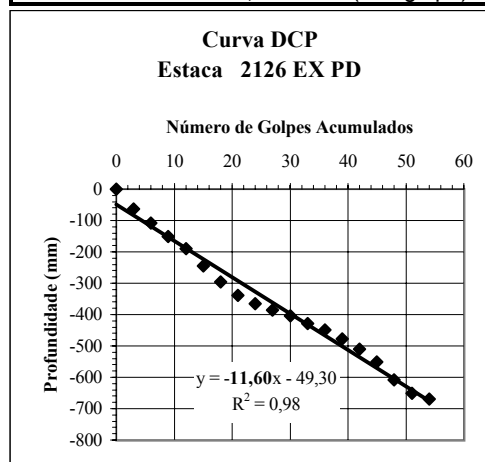
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2118 PDEX			2122 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	227	0		225	0	
3	258	-31		262	-37	
6	279	-52	8,67	289	-64	10,67
9	296	-69	7,67	322	-97	10,78
12	314	-87	7,25	350	-125	10,42
15	335	-108	7,20	365	-140	9,33
18	353	-126	7,00	380	-155	8,61
21	369	-142	6,76	395	-170	8,10
24	383	-156	6,50	406	-181	7,54
27	399	-172	6,37	418	-193	7,15
30	415	-188	6,27	430	-205	6,83
33	437	-210	6,36	444	-219	6,64
36	467	-240	6,67	460	-235	6,53
39	509	-282	7,23	476	-251	6,44
42	568	-341	8,12	495	-270	6,43
45	625	-398	8,84	512	-287	6,38
48	652	-425	8,85	527	-302	6,29
51	672	-445	8,73	538	-313	6,14
54	685	-458	8,48	548	-323	5,98
57	700	-473	8,30	560	-335	5,88
60	745	-518	8,63	600	-375	6,25
	DN =	<b>8,66</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>5,48</b>	(mm/golpe)



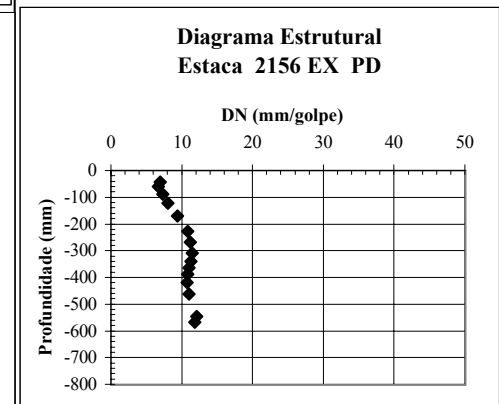
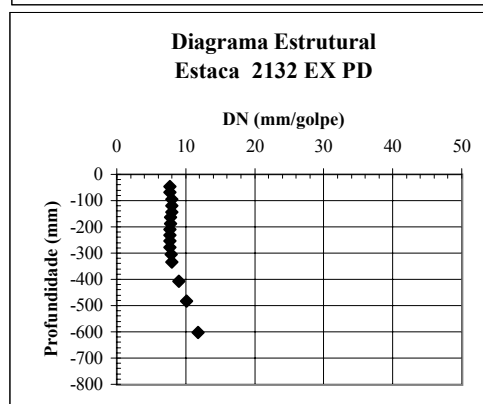
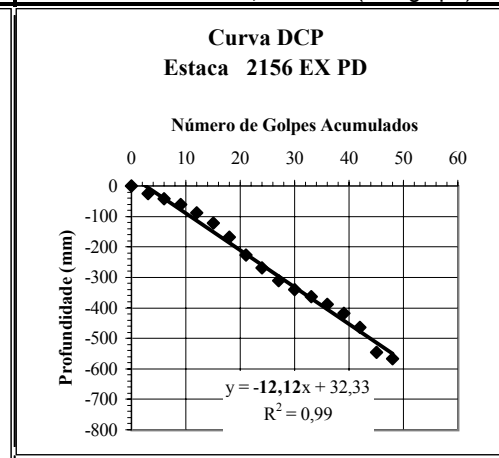
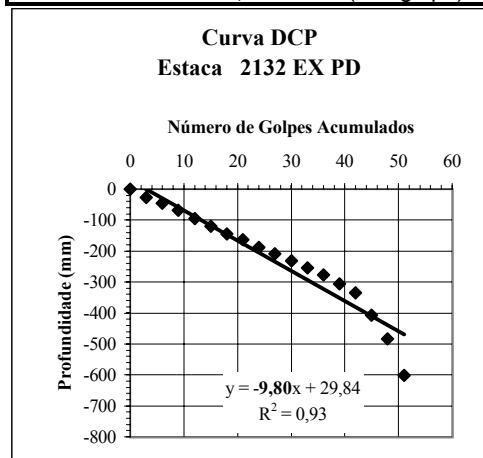
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2126 PDEX			2129 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		235	0	
3	294	-64		274	-39	
6	338	-108	18,00	305	-70	11,67
9	380	-150	16,67	328	-93	10,33
12	420	-190	15,83	359	-124	10,33
15	475	-245	16,33	398	-163	10,87
18	525	-295	16,39	440	-205	11,39
21	568	-338	16,10	518	-283	13,48
24	595	-365	15,21	580	-345	14,38
27	615	-385	14,26	625	-390	14,44
30	635	-405	13,50	680	-445	14,83
33	658	-428	12,97	732	-497	15,06
36	678	-448	12,44	780	-545	15,14
39	708	-478	12,26	830	-595	15,26
42	740	-510	12,14	890	-655	15,60
45	782	-552	12,27			
48	838	-608	12,67			
51	880	-650	12,75			
54	900	-670	12,41			
57						
60						
	DN =	<b>11,60</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>16,03</b>	(mm/golpe)



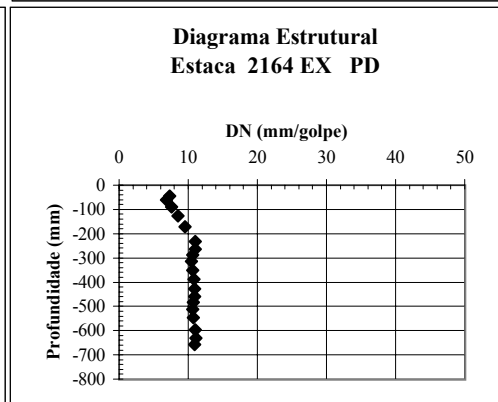
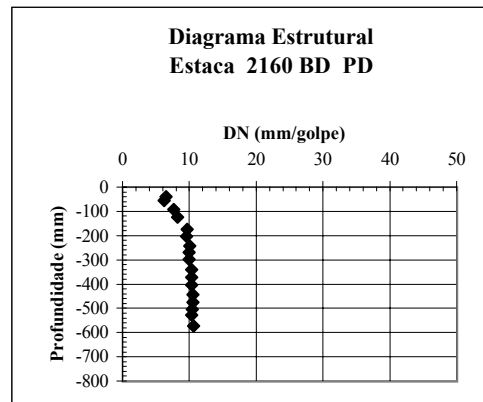
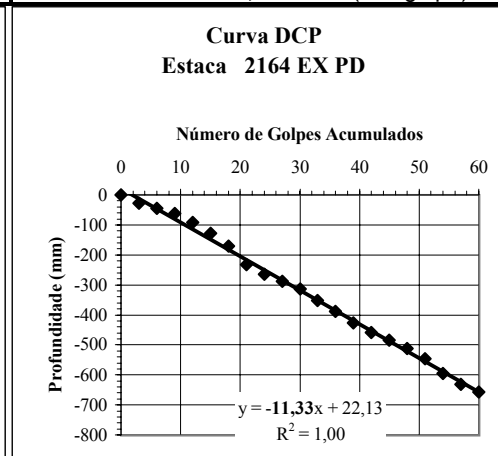
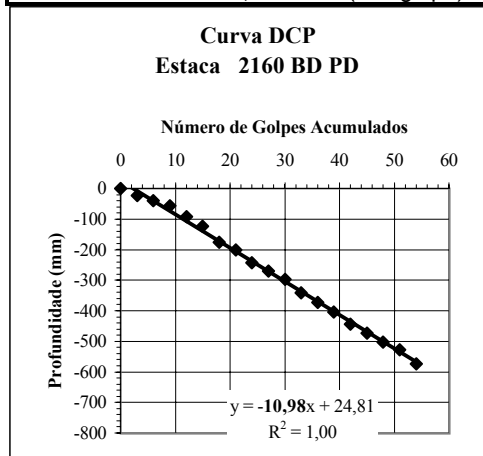
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2132 PDEX			2156 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	236	0		221	0	
3	263	-27		247	-26	
6	282	-46	7,67	263	-42	7,00
9	305	-69	7,67	281	-60	6,67
12	332	-96	8,00	309	-88	7,33
15	355	-119	7,93	342	-121	8,07
18	380	-144	8,00	390	-169	9,39
21	400	-164	7,81	448	-227	10,81
24	424	-188	7,83	490	-269	11,21
27	445	-209	7,74	531	-310	11,48
30	468	-232	7,73	561	-340	11,33
33	490	-254	7,70	584	-363	11,00
36	514	-278	7,72	610	-389	10,81
39	542	-306	7,85	639	-418	10,72
42	570	-334	7,95	684	-463	11,02
45	643	-407	9,04	766	-545	12,11
48	720	-484	10,08	788	-567	11,81
51	838	-602	11,80			
54						
57						
60						
	DN =	<b>9,80</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>12,12</b>	(mm/golpe)



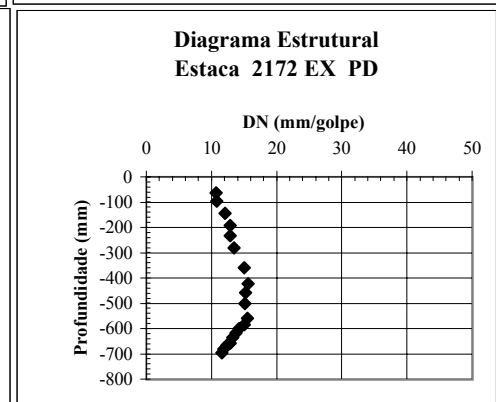
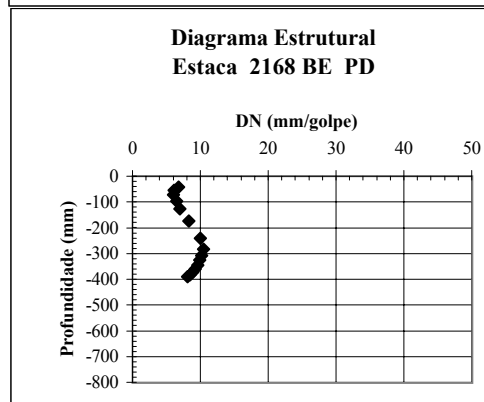
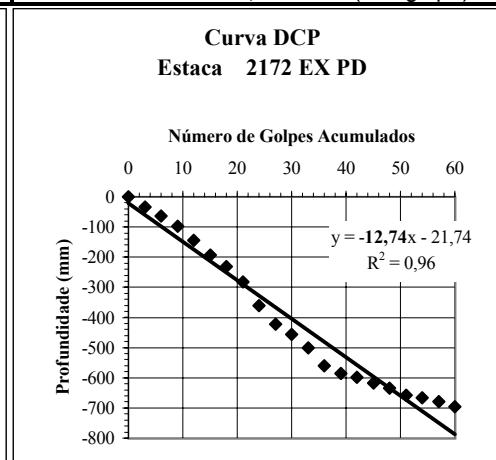
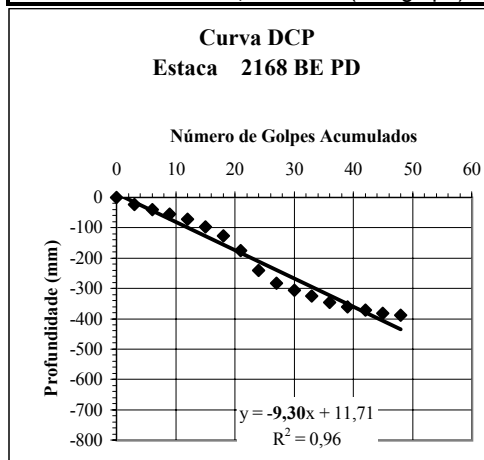
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2160 PDBD			2164 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	226	0		221	0	
3	249	-23		248	-27	
6	265	-39	6,50	265	-44	7,33
9	282	-56	6,22	283	-62	6,89
12	318	-92	7,67	312	-91	7,58
15	349	-123	8,20	349	-128	8,53
18	401	-175	9,72	392	-171	9,50
21	428	-202	9,62	453	-232	11,05
24	468	-242	10,08	485	-264	11,00
27	496	-270	10,00	509	-288	10,67
30	524	-298	9,93	535	-314	10,47
33	567	-341	10,33	573	-352	10,67
36	599	-373	10,36	610	-389	10,81
39	631	-405	10,38	648	-427	10,95
42	670	-444	10,57	680	-459	10,93
45	700	-474	10,53	705	-484	10,76
48	729	-503	10,48	733	-512	10,67
51	754	-528	10,35	768	-547	10,73
54	800	-574	10,63	817	-596	11,04
57				853	-632	11,09
60				878	-657	10,95
	DN =	<b>10,98</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>11,33</b>	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

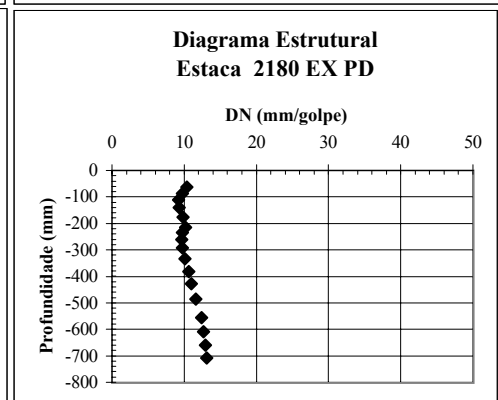
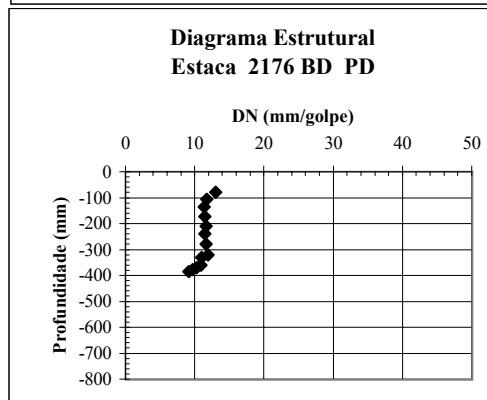
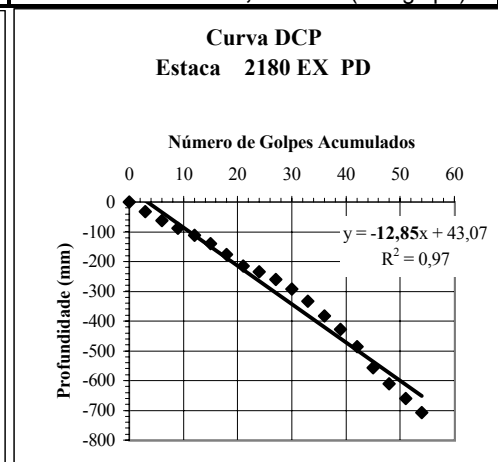
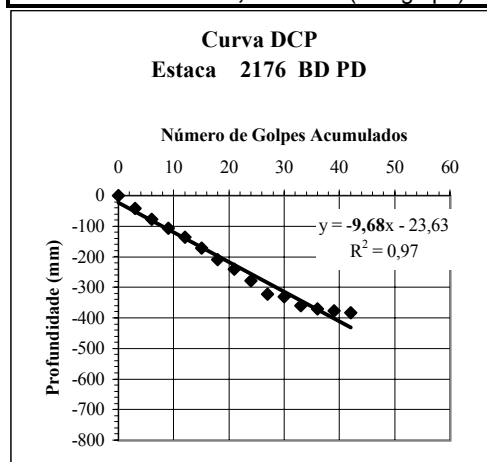
Golpes acumul.	2168 PDBE			2172 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	222	0		223	0	
3	246	-24		258	-35	
6	263	-41	6,83	287	-64	10,67
9	277	-55	6,11	320	-97	10,78
12	294	-72	6,00	368	-145	12,08
15	319	-97	6,47	416	-193	12,87
18	348	-126	7,00	455	-232	12,89
21	397	-175	8,33	505	-282	13,43
24	462	-240	10,00	583	-360	15,00
27	505	-283	10,48	645	-422	15,63
30	529	-307	10,23	680	-457	15,23
33	548	-326	9,88	723	-500	15,15
36	568	-346	9,61	783	-560	15,56
39	582	-360	9,23	808	-585	15,00
42	594	-372	8,86	822	-599	14,26
45	604	-382	8,49	840	-617	13,71
48	611	-389	8,10	858	-635	13,23
51				880	-657	12,88
54				890	-667	12,35
57				903	-680	11,93
60				920	-697	11,62
	DN = <b>9,30</b> (mm/golpe)			DN = <b>12,74</b> (mm/golpe)		





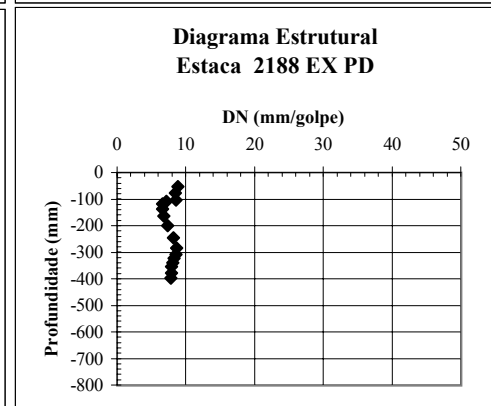
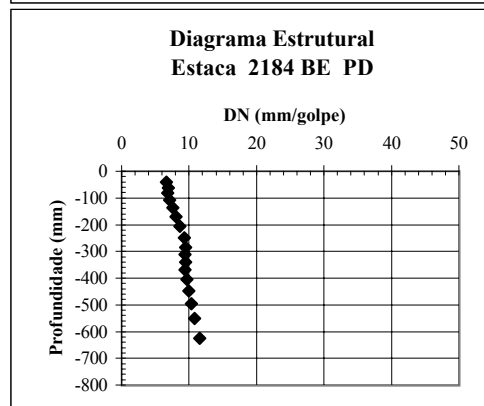
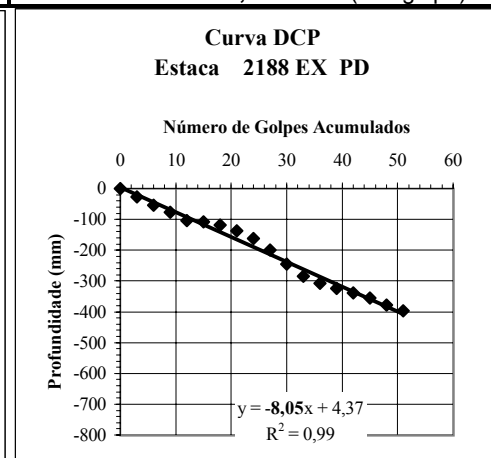
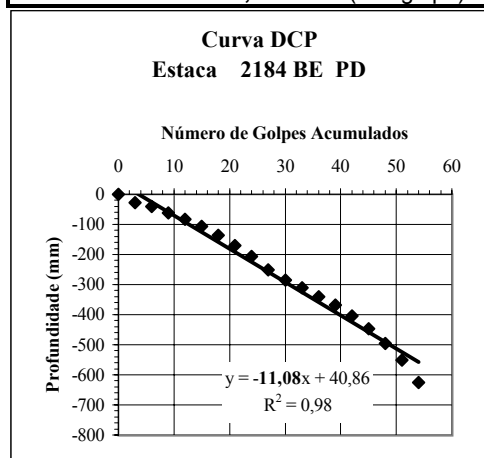
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2176 PDBD			2180 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	226	0		225	0	
3	267	-41		257	-32	
6	304	-78	13,00	287	-62	10,33
9	332	-106	11,78	313	-88	9,78
12	362	-136	11,33	336	-111	9,25
15	398	-172	11,47	365	-140	9,33
18	435	-209	11,61	402	-177	9,83
21	466	-240	11,43	440	-215	10,24
24	505	-279	11,63	459	-234	9,75
27	548	-322	11,93	485	-260	9,63
30	557	-331	11,03	517	-292	9,73
33	586	-360	10,91	558	-333	10,09
36	596	-370	10,28	607	-382	10,61
39	603	-377	9,67	653	-428	10,97
42	610	-384	9,14	712	-487	11,60
45				782	-557	12,38
48				835	-610	12,71
51				885	-660	12,94
54				932	-707	13,09
57						
60						
	DN = <b>9,68</b> (mm/golpe)			DN = <b>12,85</b> (mm/golpe)		



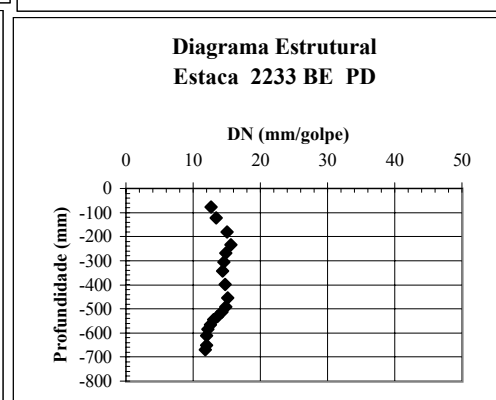
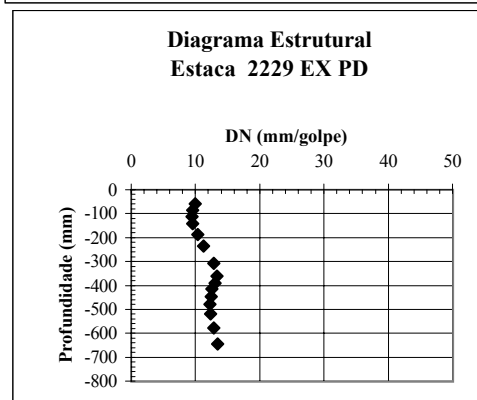
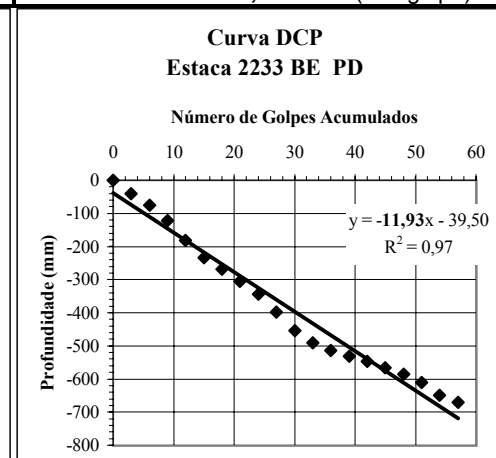
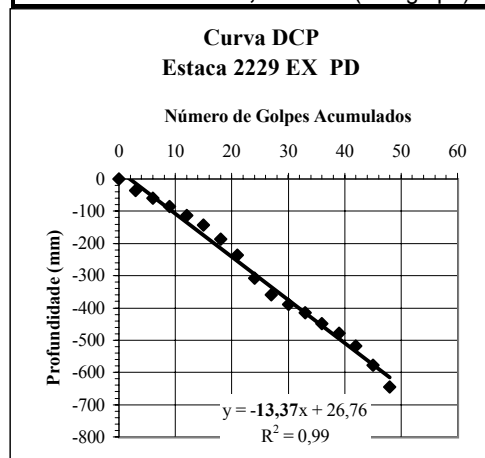
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2184 PDBE			2188 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	235	0		227	0	
3	262	-27		254	-27	
6	275	-40	6,67	280	-53	8,83
9	297	-62	6,89	303	-76	8,44
12	317	-82	6,83	330	-103	8,58
15	342	-107	7,13	335	-108	7,20
18	371	-136	7,56	346	-119	6,61
21	405	-170	8,10	365	-138	6,57
24	442	-207	8,63	390	-163	6,79
27	485	-250	9,26	426	-199	7,37
30	520	-285	9,50	473	-246	8,20
33	546	-311	9,42	512	-285	8,64
36	575	-340	9,44	535	-308	8,56
39	603	-368	9,44	551	-324	8,31
42	640	-405	9,64	566	-339	8,07
45	682	-447	9,93	582	-355	7,89
48	730	-495	10,31	605	-378	7,88
51	787	-552	10,82	624	-397	7,78
54	860	-625	11,57			
57						
60						
	DN = <b>11,08</b> (mm/golpe)			DN = <b>8,05</b> (mm/golpe)		



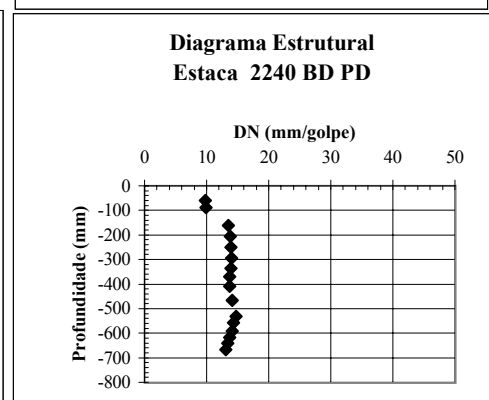
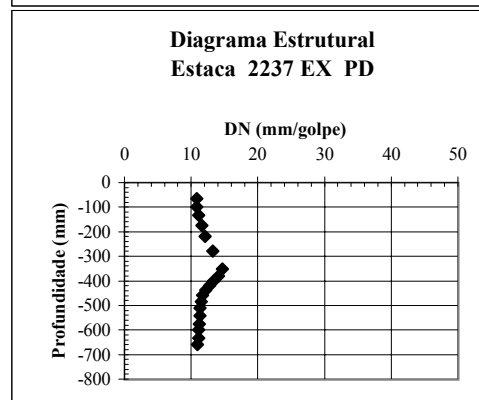
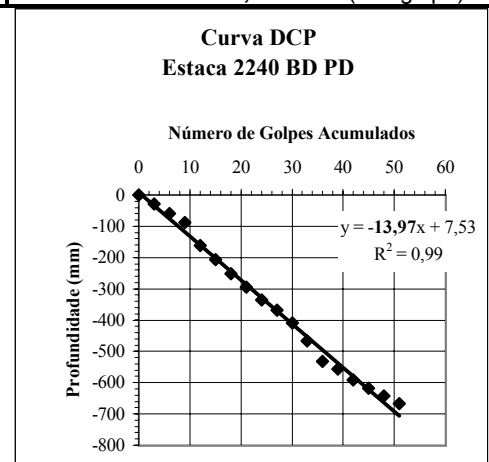
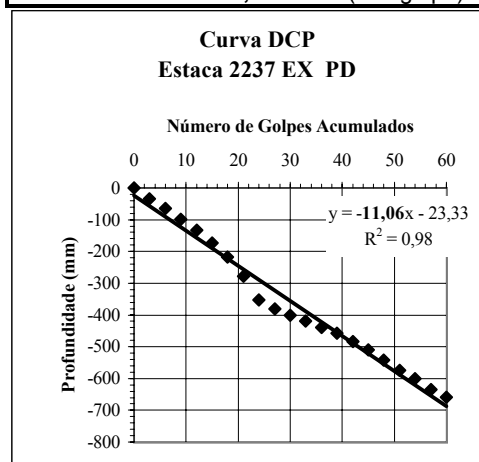
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2229 PDEX			2233 PDBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	232	0		224	0	
3	267	-35		265	-41	
6	292	-60	10,00	300	-76	12,67
9	318	-86	9,56	345	-121	13,44
12	345	-113	9,42	405	-181	15,08
15	375	-143	9,53	458	-234	15,60
18	418	-186	10,33	492	-268	14,89
21	468	-236	11,24	530	-306	14,57
24	540	-308	12,83	568	-344	14,33
27	592	-360	13,33	622	-398	14,74
30	622	-390	13,00	678	-454	15,13
33	646	-414	12,55	715	-491	14,88
36	680	-448	12,44	738	-514	14,28
39	710	-478	12,26	755	-531	13,62
42	750	-518	12,33	770	-546	13,00
45	810	-578	12,84	790	-566	12,58
48	878	-646	13,46	810	-586	12,21
51				835	-611	11,98
54				874	-650	12,04
57				895	-671	11,77
60						
	DN = 13,37 (mm/golpe)			DN = 11,93 (mm/golpe)		



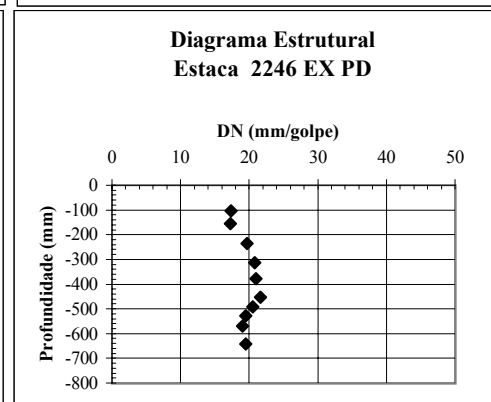
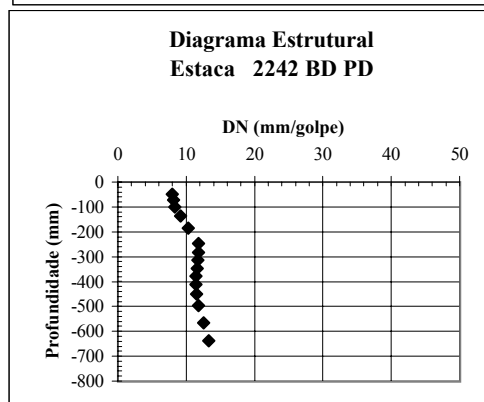
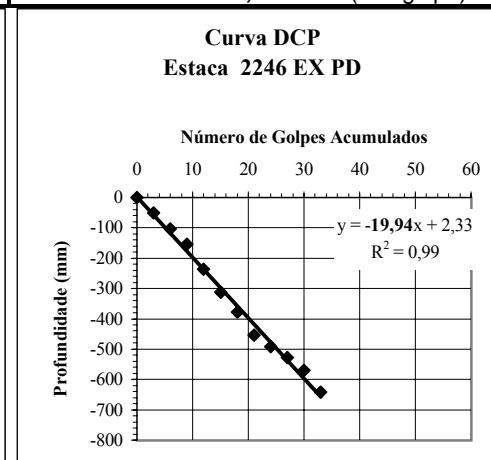
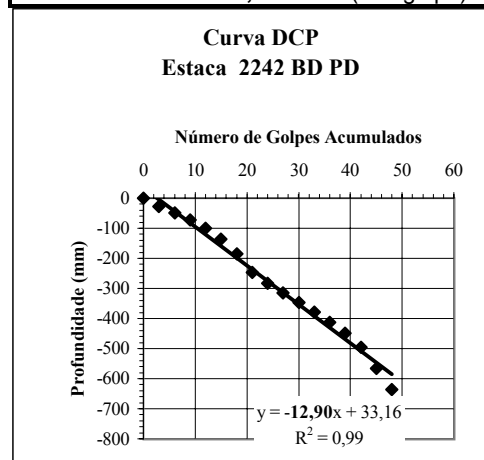
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2237 PDEX			2240 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		233	0	
3	265	-35		261	-28	
6	295	-65	10,83	292	-59	9,83
9	328	-98	10,89	322	-89	9,89
12	364	-134	11,17	395	-162	13,50
15	404	-174	11,60	440	-207	13,80
18	448	-218	12,11	484	-251	13,94
21	508	-278	13,24	528	-295	14,05
24	582	-352	14,67	568	-335	13,96
27	610	-380	14,07	602	-369	13,67
30	631	-401	13,37	643	-410	13,67
33	650	-420	12,73	700	-467	14,15
36	669	-439	12,19	765	-532	14,78
39	688	-458	11,74	790	-557	14,28
42	714	-484	11,52	825	-592	14,10
45	740	-510	11,33	850	-617	13,71
48	773	-543	11,31	875	-642	13,38
51	805	-575	11,27	900	-667	13,08
54	830	-600	11,11			
57	864	-634	11,12			
60	888	-658	10,97			
	DN =	<b>11,06</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>13,97</b>	(mm/golpe)



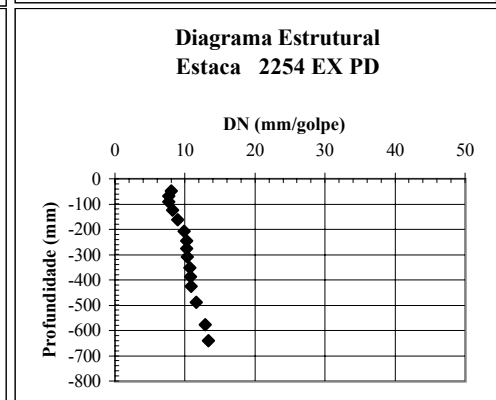
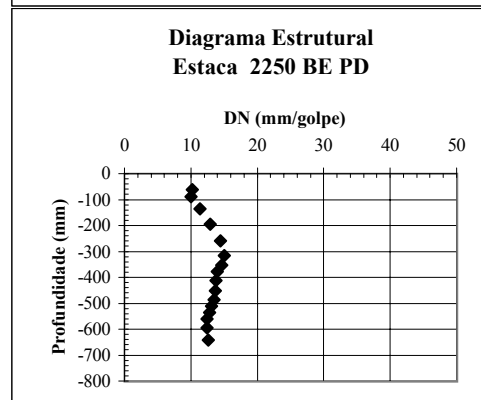
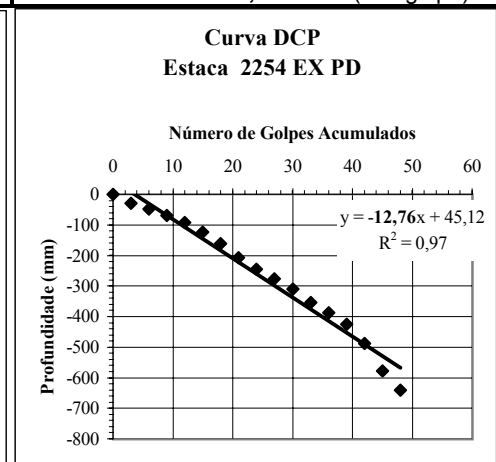
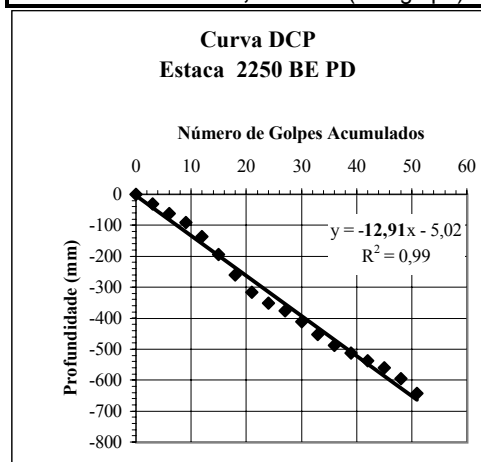
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2242 PDBD			2246 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	225	0		228	0	
3	252	-27		278	-50	
6	273	-48	8,00	332	-104	17,33
9	298	-73	8,11	383	-155	17,22
12	325	-100	8,33	464	-236	19,67
15	362	-137	9,13	540	-312	20,80
18	411	-186	10,33	606	-378	21,00
21	472	-247	11,76	682	-454	21,62
24	508	-283	11,79	720	-492	20,50
27	540	-315	11,67	755	-527	19,52
30	572	-347	11,57	798	-570	19,00
33	603	-378	11,45	870	-642	19,45
36	637	-412	11,44			
39	674	-449	11,51			
42	721	-496	11,81			
45	790	-565	12,56			
48	862	-637	13,27			
51						
54						
57						
60						
	DN =	<b>12,90</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>19,94</b>	(mm/golpe)



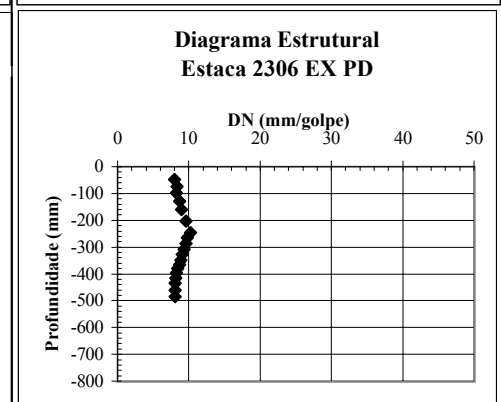
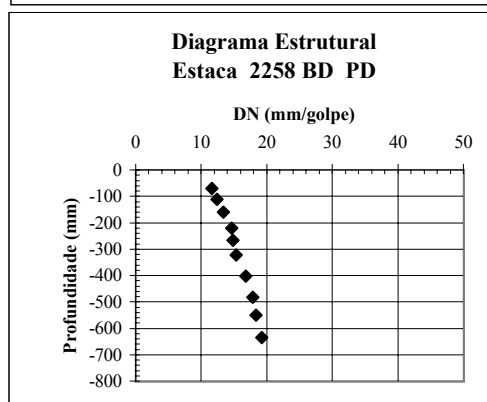
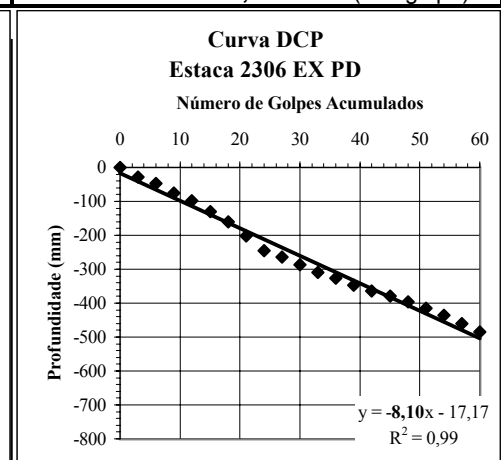
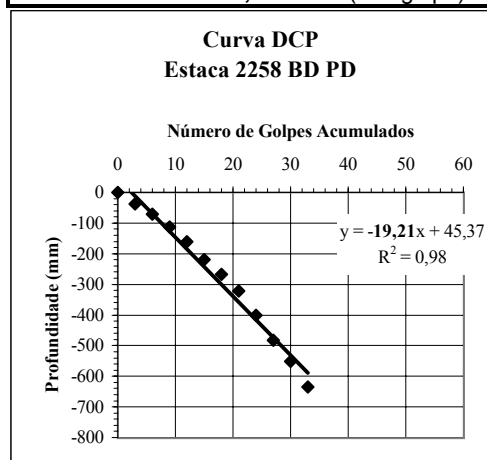
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2250 PDBE			2254 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	228	0		232	0	
3	258	-30		262	-30	
6	289	-61	10,17	280	-48	8,00
9	318	-90	10,00	301	-69	7,67
12	364	-136	11,33	324	-92	7,67
15	422	-194	12,93	356	-124	8,27
18	488	-260	14,44	394	-162	9,00
21	544	-316	15,05	440	-208	9,90
24	580	-352	14,67	478	-246	10,25
27	605	-377	13,96	509	-277	10,26
30	640	-412	13,73	541	-309	10,30
33	680	-452	13,70	585	-353	10,70
36	715	-487	13,53	620	-388	10,78
39	740	-512	13,13	658	-426	10,92
42	765	-537	12,79	720	-488	11,62
45	788	-560	12,44	810	-578	12,84
48	824	-596	12,42	872	-640	13,33
51	870	-642	12,59			
54						
57						
60						
	DN = 12,91 (mm/golpe)			DN = 12,76 (mm/golpe)		



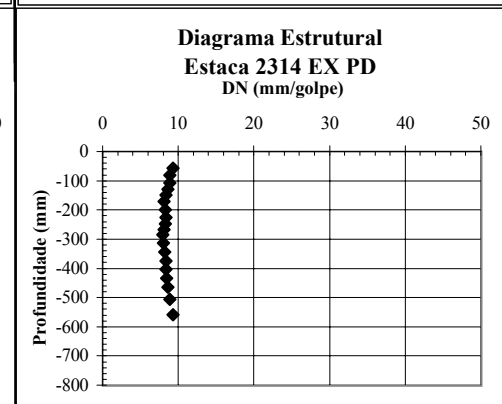
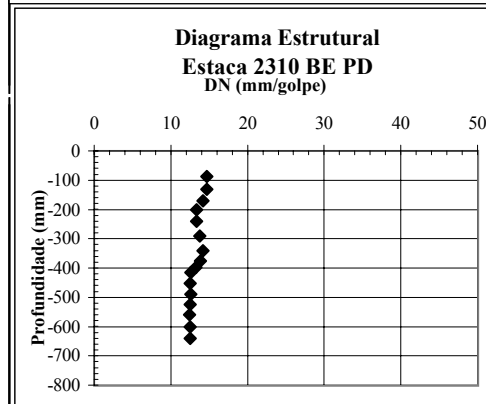
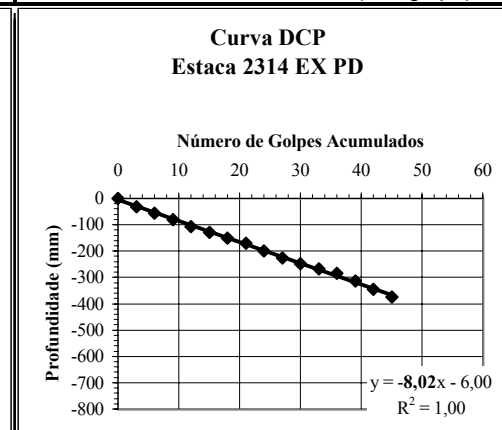
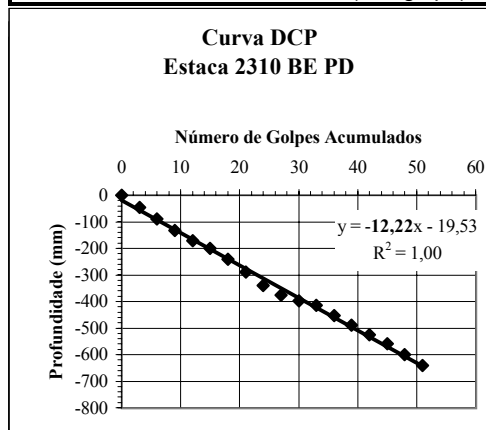
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2258 PDBD			2306 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		225	0	
3	267	-37		254	-29	
6	300	-70	11,67	273	-48	8,00
9	342	-112	12,44	300	-75	8,33
12	391	-161	13,42	324	-99	8,25
15	450	-220	14,67	355	-130	8,67
18	497	-267	14,83	386	-161	8,94
21	552	-322	15,33	427	-202	9,62
24	632	-402	16,75	470	-245	10,21
27	712	-482	17,85	490	-265	9,81
30	781	-551	18,37	512	-287	9,57
33	866	-636	19,27	534	-309	9,36
36				552	-327	9,08
39				573	-348	8,92
42				590	-365	8,69
45				605	-380	8,44
48				622	-397	8,27
51				640	-415	8,14
54				660	-435	8,06
57				685	-460	8,07
60				710	-485	8,08
	DN =	19,21	(mm/golpe)	DN =	8,10	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

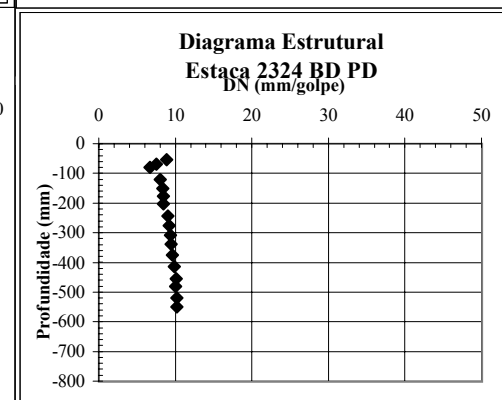
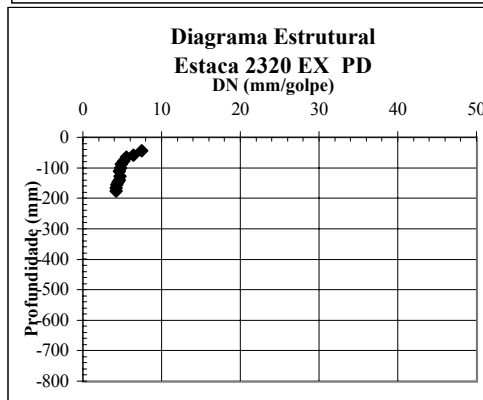
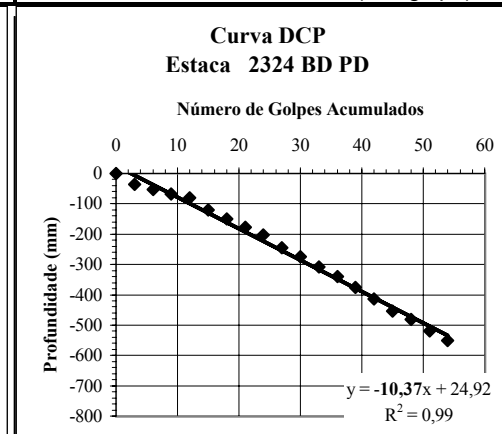
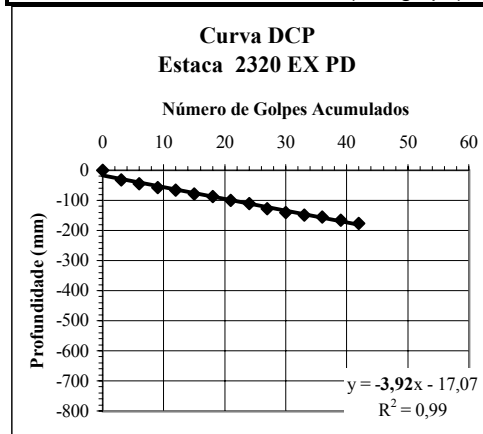
Golpes acumul.	2310 PDBE			2314 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		225	0	
3	276	-46		256	-31	
6	318	-88	14,67	281	-56	9,33
9	362	-132	14,67	305	-80	8,89
12	400	-170	14,17	332	-107	8,92
15	430	-200	13,33	354	-129	8,60
18	470	-240	13,33	375	-150	8,33
21	520	-290	13,81	396	-171	8,14
24	570	-340	14,17	424	-199	8,29
27	605	-375	13,89	450	-225	8,33
30	628	-398	13,27	473	-248	8,27
33	645	-415	12,58	493	-268	8,12
36	682	-452	12,56	510	-285	7,92
39	720	-490	12,56	538	-313	8,03
42	755	-525	12,50	570	-345	8,21
45	790	-560	12,44	600	-375	8,33
48	830	-600	12,50	628	-403	8,40
51	870	-640	12,55	658	-433	8,49
54				690	-465	8,61
57				732	-507	8,89
60				784	-559	9,32
	DN = 12,22 (mm/golpe)			DN = 8,02 (mm/golpe)		





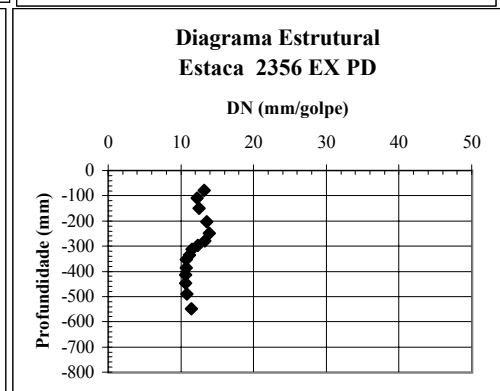
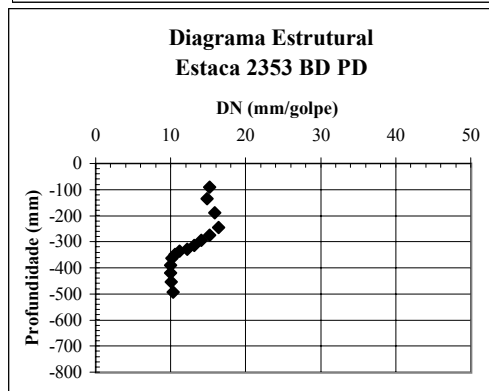
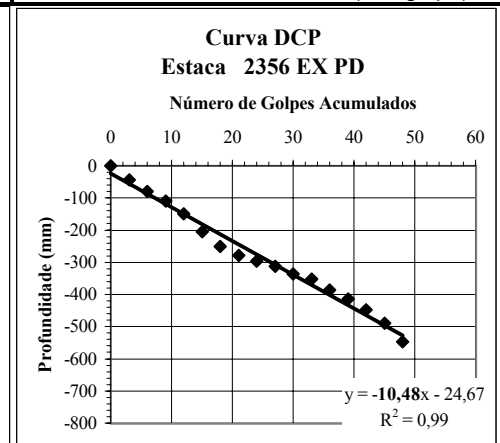
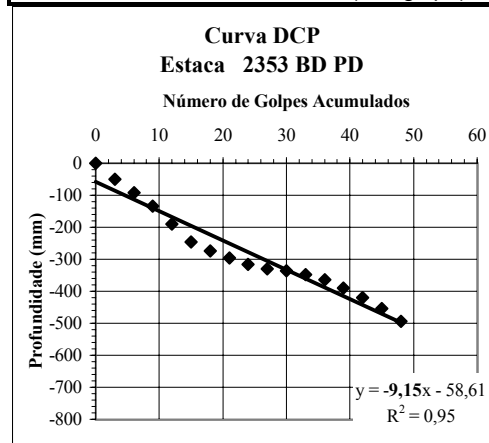
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2320 PDEX			2324 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	227	0		225	0	
3	259	-32		260	-35	
6	272	-45	7,50	278	-53	8,83
9	285	-58	6,44	293	-68	7,56
12	293	-66	5,50	305	-80	6,67
15	305	-78	5,20	345	-120	8,00
18	315	-88	4,89	375	-150	8,33
21	327	-100	4,76	402	-177	8,43
24	338	-111	4,63	428	-203	8,46
27	355	-128	4,74	469	-244	9,04
30	367	-140	4,67	500	-275	9,17
33	375	-148	4,48	533	-308	9,33
36	383	-156	4,33	564	-339	9,42
39	393	-166	4,26	600	-375	9,62
42	403	-176	4,19	638	-413	9,83
45				679	-454	10,09
48				706	-481	10,02
51				745	-520	10,20
54				775	-550	10,19
57						
60						
	DN = <b>3,92</b> (mm/golpe)			DN = <b>10,37</b> (mm/golpe)		



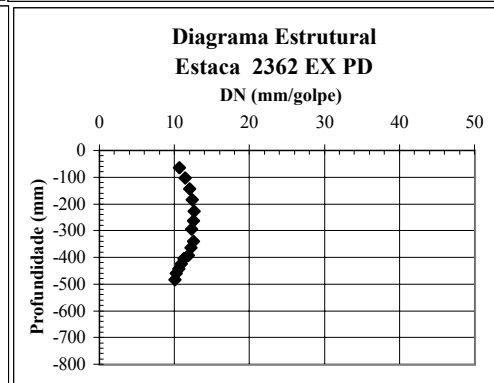
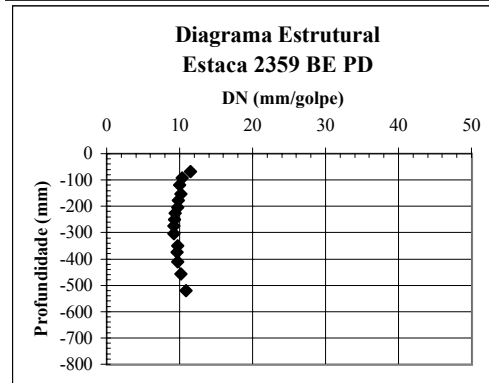
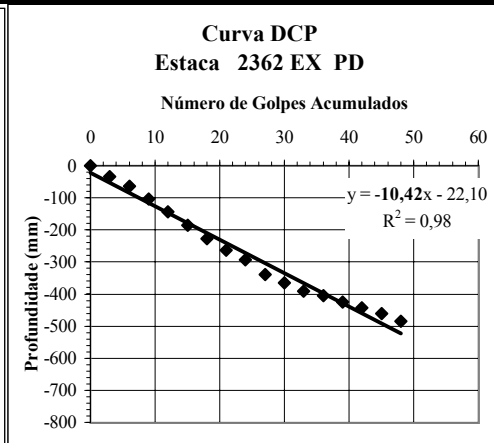
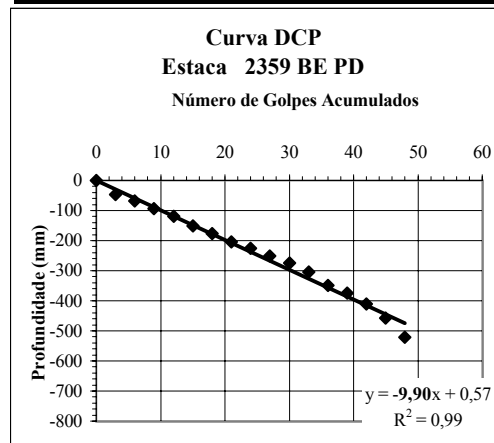
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2353 BD PD -			2356 EX PD -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		238	0	
3	287	-49		281	-43	
6	329	-91	15,17	317	-79	13,17
9	372	-134	14,89	348	-110	12,22
12	428	-190	15,83	388	-150	12,50
15	484	-246	16,40	442	-204	13,60
18	512	-274	15,22	488	-250	13,89
21	533	-295	14,05	517	-279	13,29
24	553	-315	13,13	534	-296	12,33
27	568	-330	12,22	550	-312	11,56
30	573	-335	11,17	574	-336	11,20
33	586	-348	10,55	591	-353	10,70
36	602	-364	10,11	624	-386	10,72
39	627	-389	9,97	652	-414	10,62
42	658	-420	10,00	685	-447	10,64
45	692	-454	10,09	727	-489	10,87
48	732	-494	10,29	786	-548	11,42
51						
54						
57						
60						
	DN = <b>9,15</b> (mm/golpe)			DN = <b>10,48</b> (mm/golpe)		



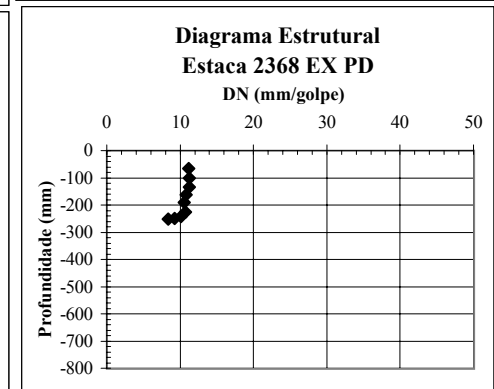
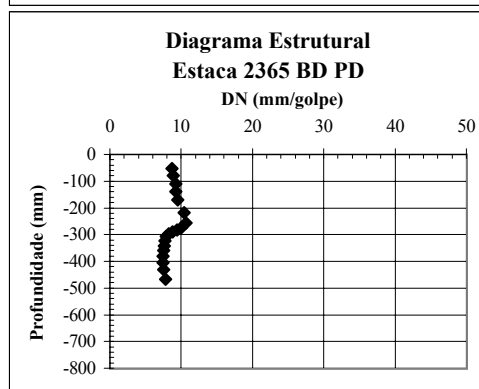
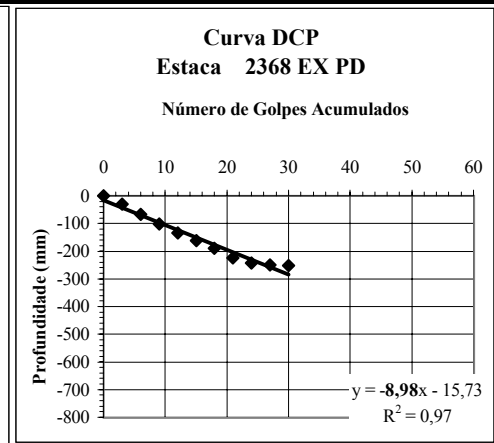
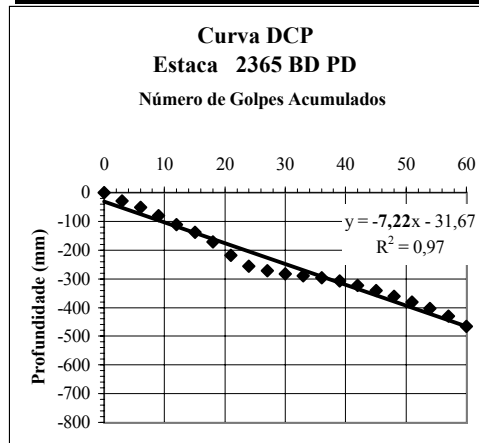
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2359 BE PD -			2362 EX PD -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	237	0		249	0	
3	283	-46		283	-34	
6	306	-69	11,50	313	-64	10,67
9	330	-93	10,33	352	-103	11,44
12	357	-120	10,00	393	-144	12,00
15	389	-152	10,13	434	-185	12,33
18	414	-177	9,83	477	-228	12,67
21	442	-205	9,76	512	-263	12,52
24	463	-226	9,42	543	-294	12,25
27	488	-251	9,30	588	-339	12,56
30	512	-275	9,17	614	-365	12,17
33	541	-304	9,21	641	-392	11,88
36	586	-349	9,69	654	-405	11,25
39	612	-375	9,62	674	-425	10,90
42	647	-410	9,76	692	-443	10,55
45	695	-458	10,18	710	-461	10,24
48	758	-521	10,85	733	-484	10,08
51						
54						
57						
60						
	DN =	<b>9,90</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>10,42</b>	(mm/golpe)



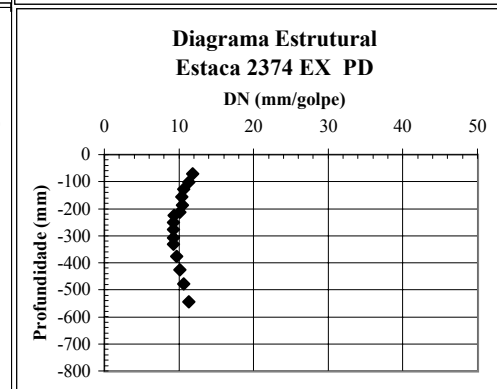
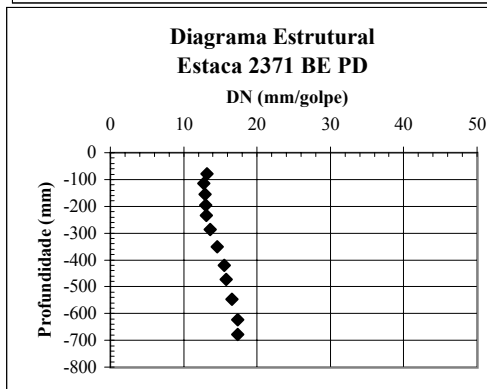
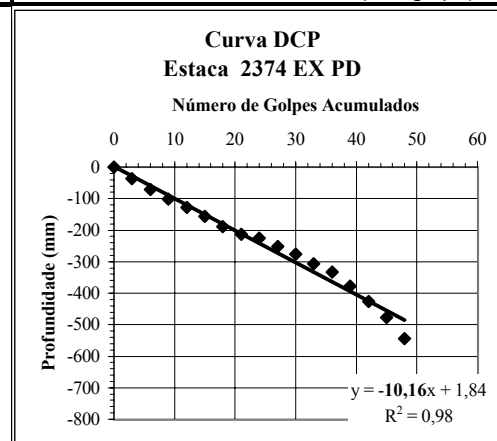
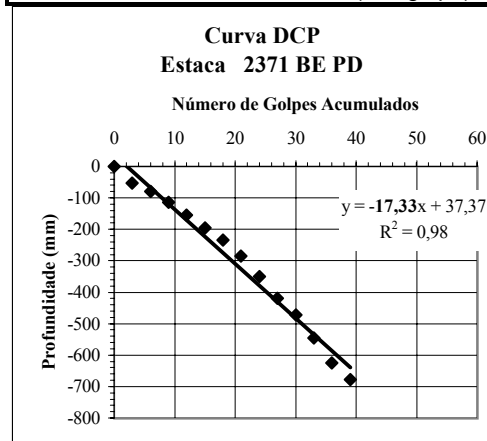
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2365 BD PD -			2368 EX PD -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	241	0		243	0	
3	271	-30		274	-31	
6	293	-52	8,67	310	-67	11,17
9	321	-80	8,89	344	-101	11,22
12	352	-111	9,25	378	-135	11,25
15	380	-139	9,27	405	-162	10,80
18	412	-171	9,50	433	-190	10,56
21	459	-218	10,38	468	-225	10,71
24	497	-256	10,67	485	-242	10,08
27	513	-272	10,07	493	-250	9,26
30	524	-283	9,43	495	-252	8,40
33	531	-290	8,79			
36	538	-297	8,25			
39	548	-307	7,87			
42	564	-323	7,69			
45	583	-342	7,60			
48	601	-360	7,50			
51	622	-381	7,47			
54	645	-404	7,48			
57	672	-431	7,56			
60	707	-466	7,77			
	DN =	7,22	(mm/golpe)	DN =	8,98	(mm/golpe)



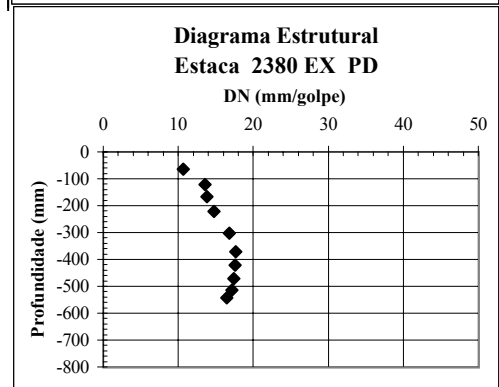
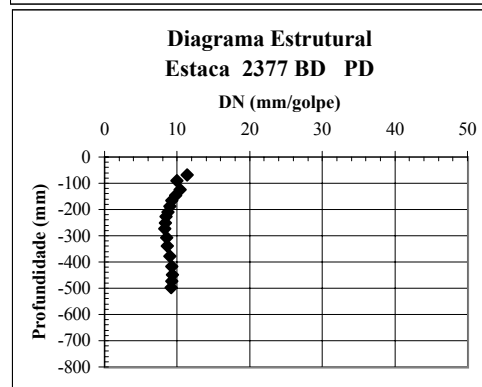
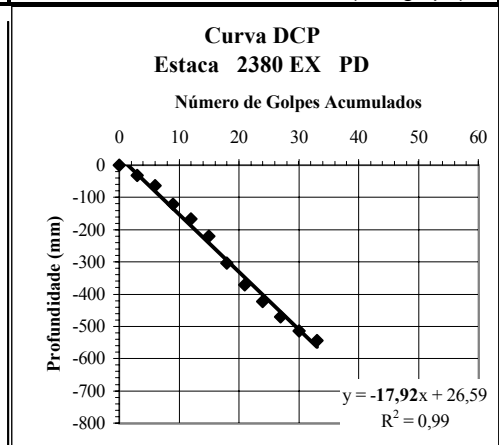
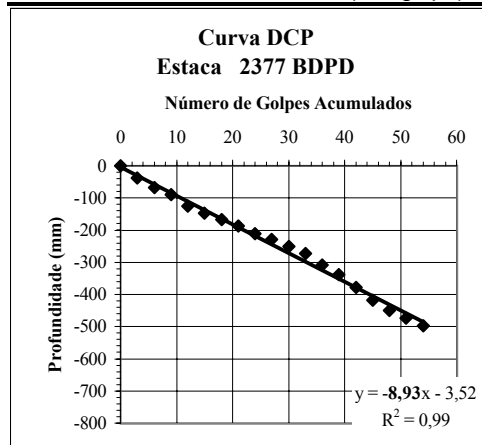
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2371 BE PD -			2374 EX PD -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	236	0		246	0	
3	288	-52		283	-37	
6	315	-79	13,17	317	-71	11,83
9	351	-115	12,78	348	-102	11,33
12	391	-155	12,92	374	-128	10,67
15	431	-195	13,00	402	-156	10,40
18	471	-235	13,06	434	-188	10,44
21	522	-286	13,62	459	-213	10,14
24	586	-350	14,58	471	-225	9,38
27	656	-420	15,56	497	-251	9,30
30	709	-473	15,77	523	-277	9,23
33	782	-546	16,55	553	-307	9,30
36	860	-624	17,33	578	-332	9,22
39	914	-678	17,38	623	-377	9,67
42				672	-426	10,14
45				723	-477	10,60
48				791	-545	11,35
51						
54						
57						
60						
	DN = 17,33 (mm/golpe)			DN = 10,16 (mm/golpe)		



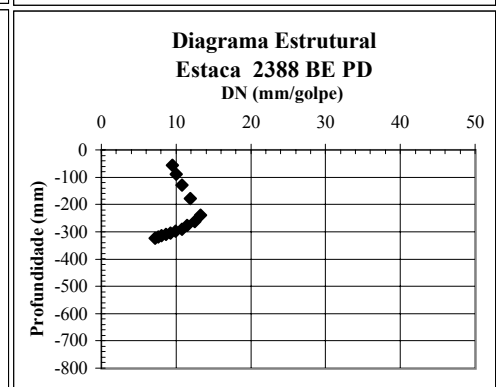
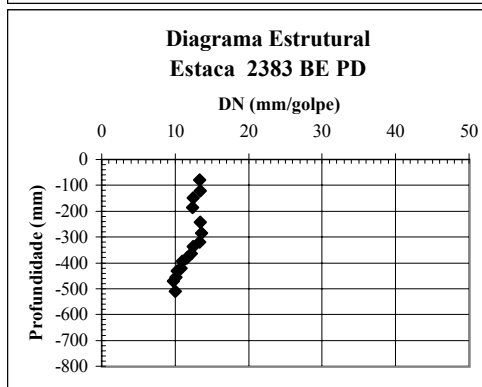
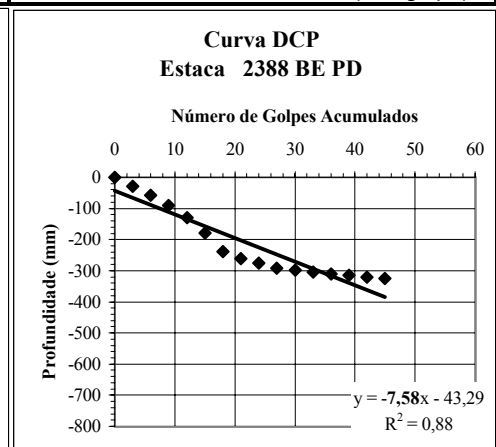
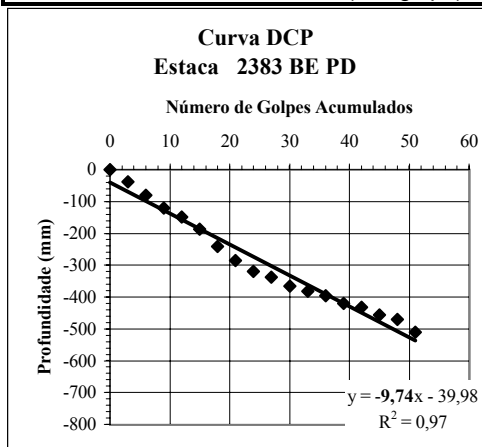
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2377 BD PD -			2380 EX PD -		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	245	0		241	0	
3	282	-37		272	-31	
6	313	-68	11,33	305	-64	10,67
9	335	-90	10,00	363	-122	13,56
12	370	-125	10,42	407	-166	13,83
15	392	-147	9,80	462	-221	14,73
18	412	-167	9,28	544	-303	16,83
21	433	-188	8,95	612	-371	17,67
24	455	-210	8,75	663	-422	17,58
27	473	-228	8,44	712	-471	17,44
30	496	-251	8,37	756	-515	17,17
33	518	-273	8,27	784	-543	16,45
36	553	-308	8,56			
39	583	-338	8,67			
42	624	-379	9,02			
45	663	-418	9,29			
48	694	-449	9,35			
51	718	-473	9,27			
54	742	-497	9,20			
57						
60						
DN = <b>8,93</b> (mm/golpe)			DN = <b>17,92</b> (mm/golpe)			



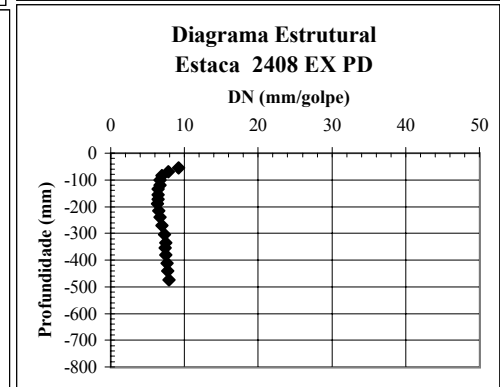
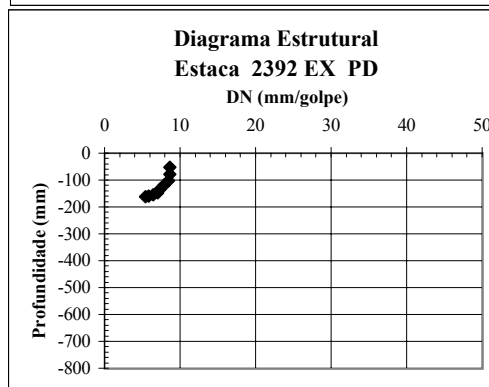
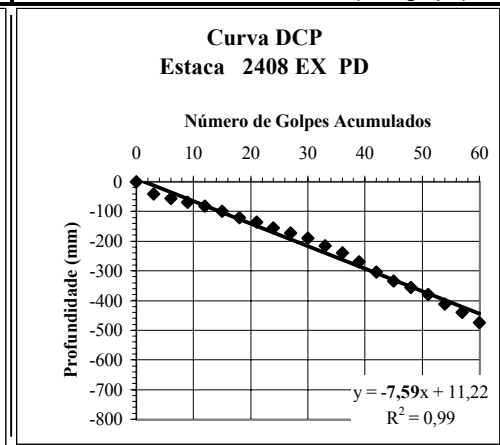
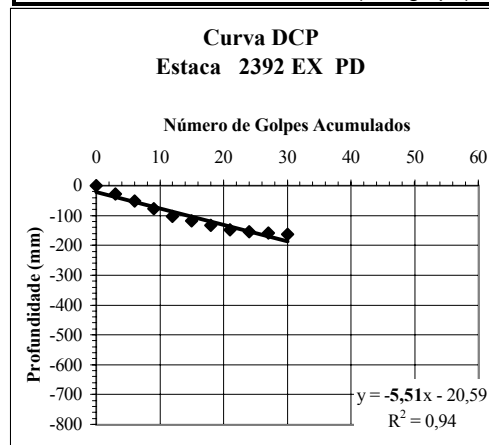
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2383 BE PD -			2388 PD BE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	242	0		246	0	
3	281	-39		274	-28	
6	322	-80	13,33	303	-57	9,50
9	363	-121	13,44	336	-90	10,00
12	391	-149	12,42	375	-129	10,75
15	428	-186	12,40	424	-178	11,87
18	484	-242	13,44	485	-239	13,28
21	528	-286	13,62	508	-262	12,48
24	562	-320	13,33	522	-276	11,50
27	579	-337	12,48	538	-292	10,81
30	607	-365	12,17	545	-299	9,97
33	623	-381	11,55	550	-304	9,21
36	637	-395	10,97	556	-310	8,61
39	662	-420	10,77	560	-314	8,05
42	674	-432	10,29	566	-320	7,62
45	698	-456	10,13	570	-324	7,20
48	712	-470	9,79			
51	753	-511	10,02			
54						
57						
60						
	DN =	<b>9,74</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>7,58</b>	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

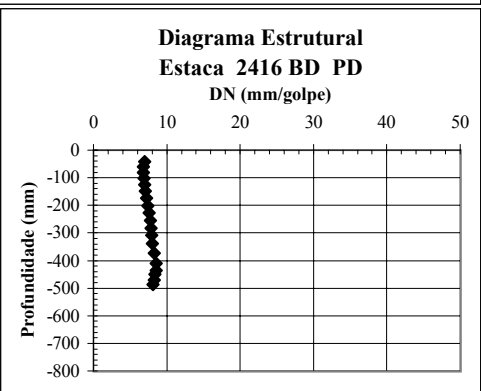
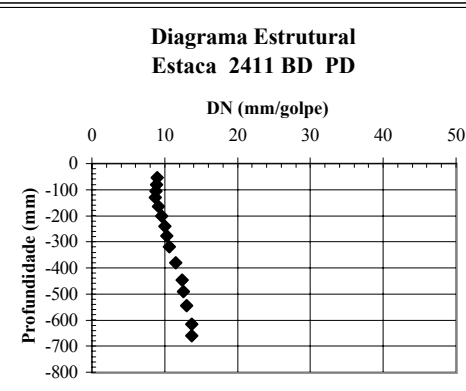
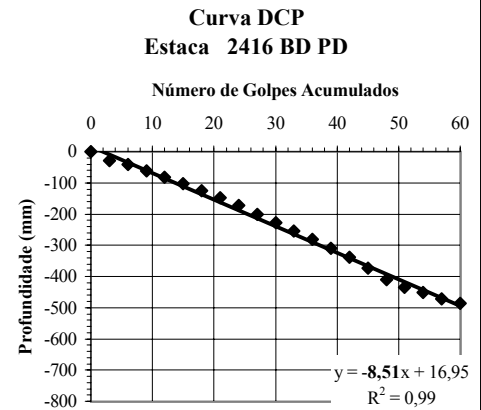
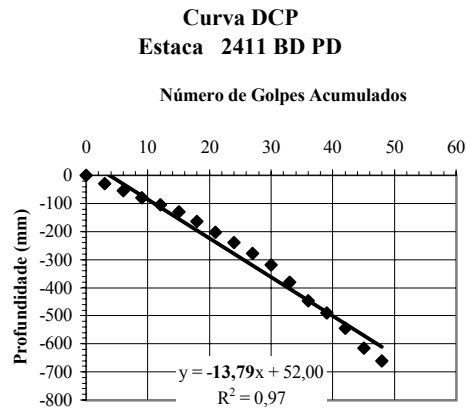
Golpes acumul.	2392 PDEX			2408 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	242	0		195	0	
3	270	-28		235	-40	
6	294	-52	8,67	250	-55	9,17
9	320	-78	8,67	265	-70	7,78
12	344	-102	8,50	278	-83	6,92
15	360	-118	7,87	295	-100	6,67
18	375	-133	7,39	315	-120	6,67
21	390	-148	7,05	330	-135	6,43
24	397	-155	6,46	350	-155	6,46
27	401	-159	5,89	368	-173	6,41
30	405	-163	5,43	385	-190	6,33
33				410	-215	6,52
36				435	-240	6,67
39				465	-270	6,92
42				500	-305	7,26
45				530	-335	7,44
48				550	-355	7,40
51				575	-380	7,45
54				607	-412	7,63
57				635	-440	7,72
60				670	-475	7,92
	DN =	5,51	(mm/golpe)	DN =	7,59	(mm/golpe)





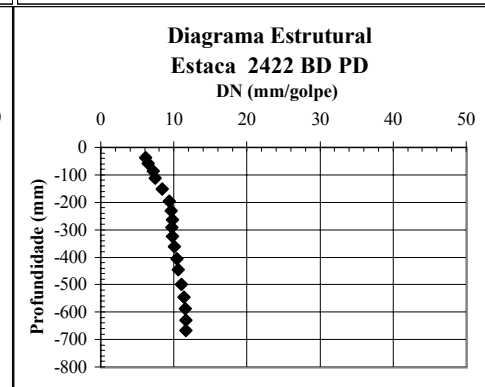
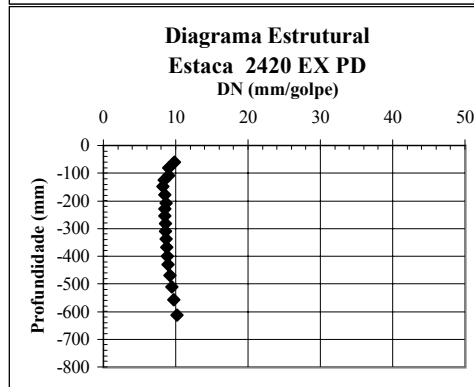
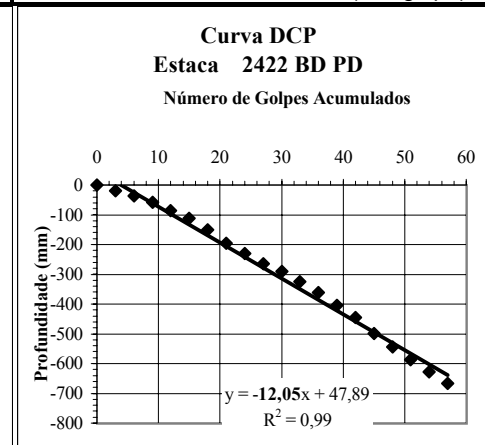
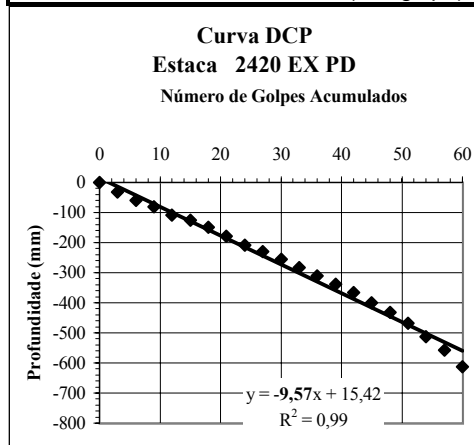
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2411 PDBD			2416 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	190	0		232	0	
3	220	-30		261	-29	
6	244	-54	9,00	274	-42	7,00
9	270	-80	8,89	293	-61	6,78
12	295	-105	8,75	314	-82	6,83
15	320	-130	8,67	335	-103	6,87
18	355	-165	9,17	358	-126	7,00
21	392	-202	9,62	380	-148	7,05
24	430	-240	10,00	405	-173	7,21
27	468	-278	10,30	433	-201	7,44
30	510	-320	10,67	460	-228	7,60
33	570	-380	11,52	487	-255	7,73
36	637	-447	12,42	514	-282	7,83
39	680	-490	12,56	541	-309	7,92
42	735	-545	12,98	571	-339	8,07
45	805	-615	13,67	605	-373	8,29
48	850	-660	13,75	642	-410	8,54
51				667	-435	8,53
54				683	-451	8,35
57				703	-471	8,26
60				718	-486	8,10
	DN =	<b>13,79</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>8,51</b>	(mm/golpe)



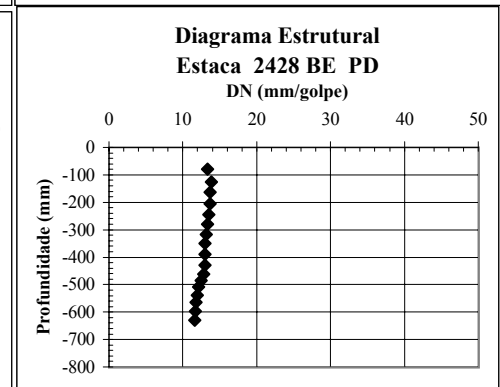
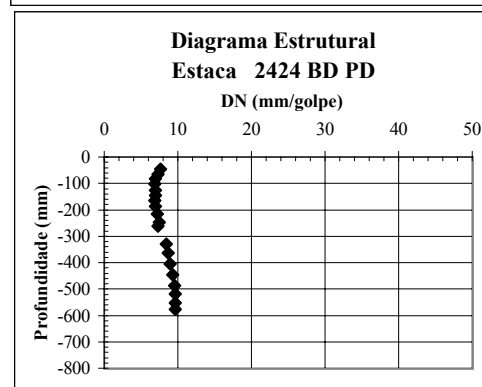
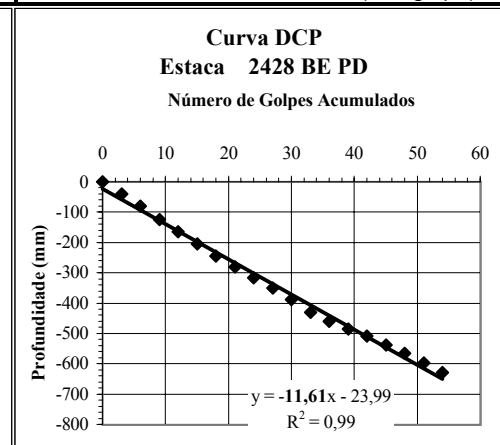
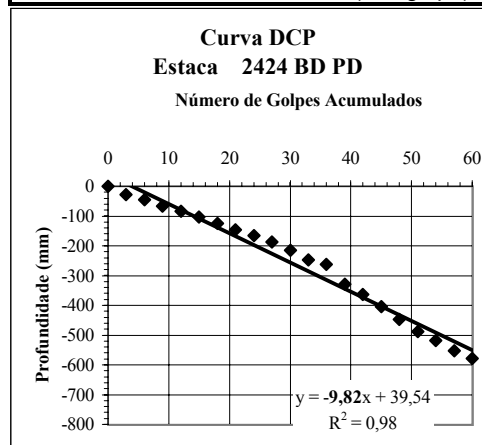
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2420 PDEX			2422 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	236	0		244	0	
3	268	-32		264	-20	
6	295	-59	9,83	281	-37	6,17
9	317	-81	9,00	302	-58	6,44
12	344	-108	9,00	330	-86	7,17
15	362	-126	8,40	355	-111	7,40
18	384	-148	8,22	395	-151	8,39
21	415	-179	8,52	440	-196	9,33
24	444	-208	8,67	475	-231	9,63
27	466	-230	8,52	508	-264	9,78
30	491	-255	8,50	535	-291	9,70
33	518	-282	8,55	569	-325	9,85
36	546	-310	8,61	606	-362	10,06
39	574	-338	8,67	649	-405	10,38
42	603	-367	8,74	690	-446	10,62
45	636	-400	8,89	742	-498	11,07
48	667	-431	8,98	789	-545	11,35
51	705	-469	9,20	832	-588	11,53
54	748	-512	9,48	873	-629	11,65
57	793	-557	9,77	910	-666	11,68
60	848	-612	10,20			
	DN = 9,57 (mm/golpe)			DN = 12,05 (mm/golpe)		



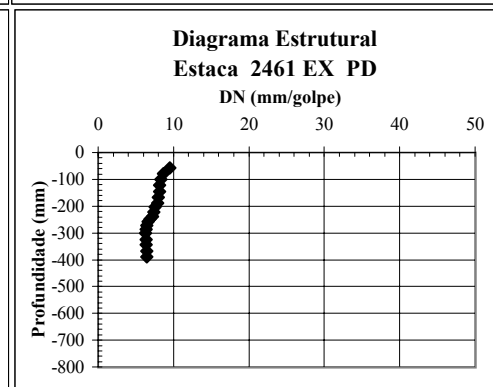
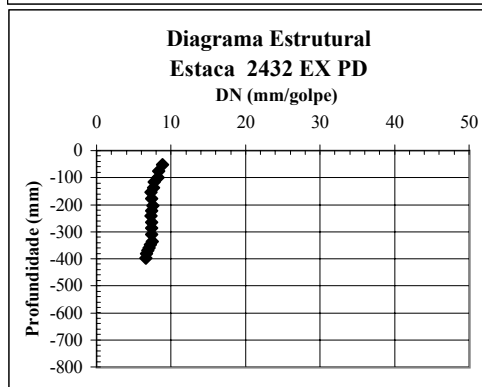
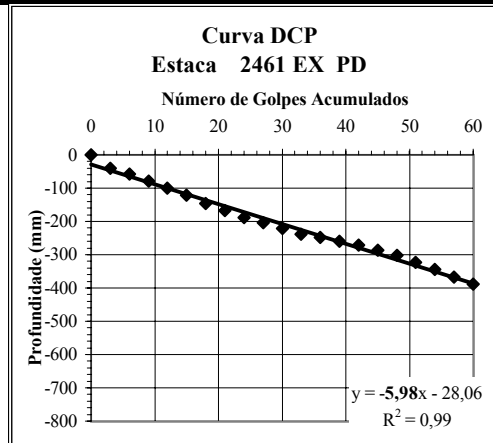
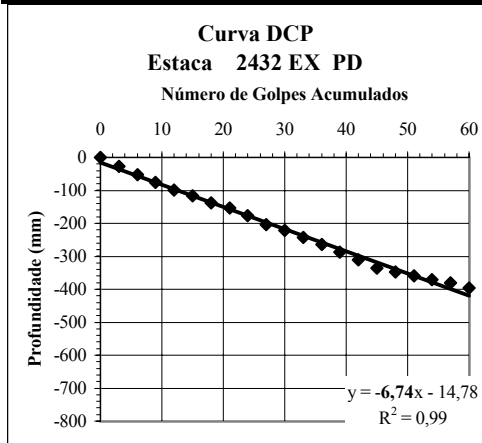
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2424 PDBD			2428 PDBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		234	0	
3	266	-28		275	-41	
6	284	-46	7,67	314	-80	13,33
9	304	-66	7,33	359	-125	13,89
12	321	-83	6,92	398	-164	13,67
15	341	-103	6,87	439	-205	13,67
18	363	-125	6,94	478	-244	13,56
21	384	-146	6,95	515	-281	13,38
24	403	-165	6,88	551	-317	13,21
27	425	-187	6,93	585	-351	13,00
30	454	-216	7,20	623	-389	12,97
33	486	-248	7,52	664	-430	13,03
36	500	-262	7,28	695	-461	12,81
39	567	-329	8,44	719	-485	12,44
42	602	-364	8,67	743	-509	12,12
45	642	-404	8,98	773	-539	11,98
48	685	-447	9,31	799	-565	11,77
51	726	-488	9,57	831	-597	11,71
54	757	-519	9,61	863	-629	11,65
57	790	-552	9,68			
60	816	-578	9,63			
	DN =	<b>9,82</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>11,61</b>	(mm/golpe)



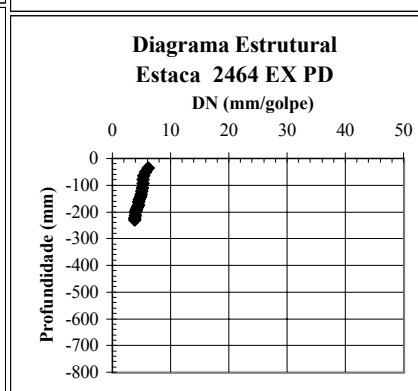
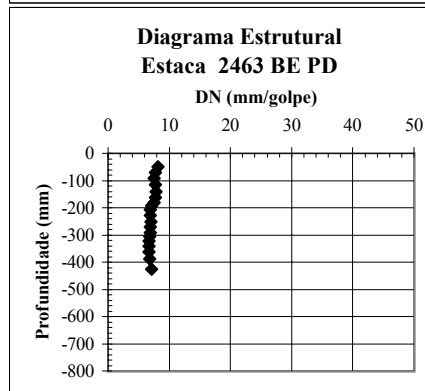
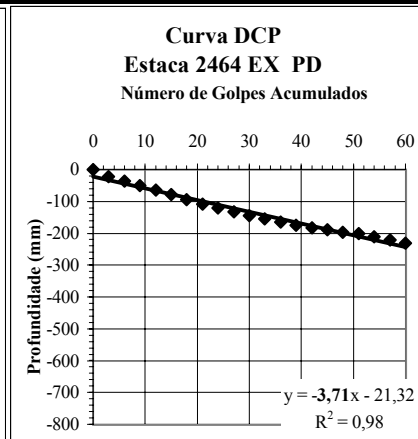
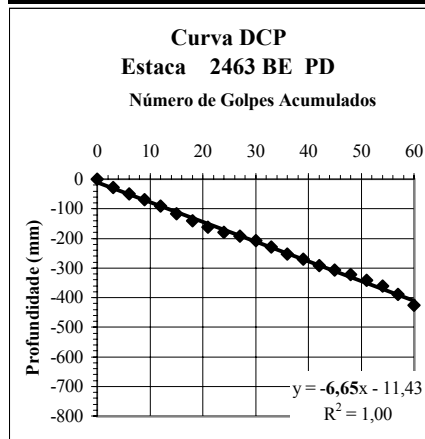
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2432 PDEX			2461 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		216	0	
3	265	-27		256	-40	
6	291	-53	8,83	273	-57	9,50
9	313	-75	8,33	294	-78	8,67
12	337	-99	8,25	316	-100	8,33
15	354	-116	7,73	338	-122	8,13
18	375	-137	7,61	362	-146	8,11
21	392	-154	7,33	384	-168	8,00
24	415	-177	7,38	405	-189	7,88
27	441	-203	7,52	420	-204	7,56
30	460	-222	7,40	438	-222	7,40
33	480	-242	7,33	455	-239	7,24
36	503	-265	7,36	465	-249	6,92
39	525	-287	7,36	475	-259	6,64
42	548	-310	7,38	488	-272	6,48
45	574	-336	7,47	502	-286	6,36
48	586	-348	7,25	518	-302	6,29
51	597	-359	7,04	540	-324	6,35
54	608	-370	6,85	560	-344	6,37
57	618	-380	6,67	583	-367	6,44
60	635	-397	6,62	605	-389	6,48
	DN =	<b>6,74</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>5,98</b>	(mm/golpe)



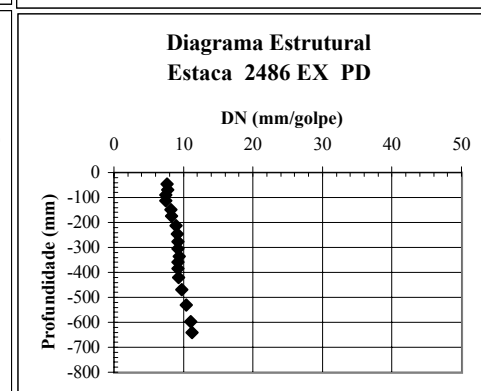
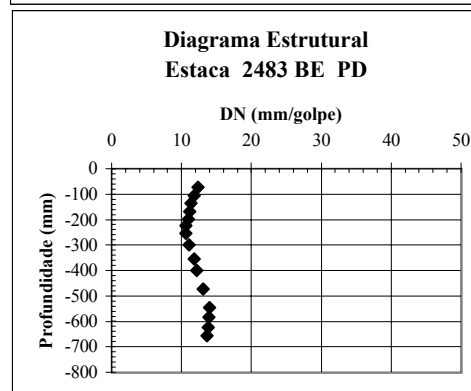
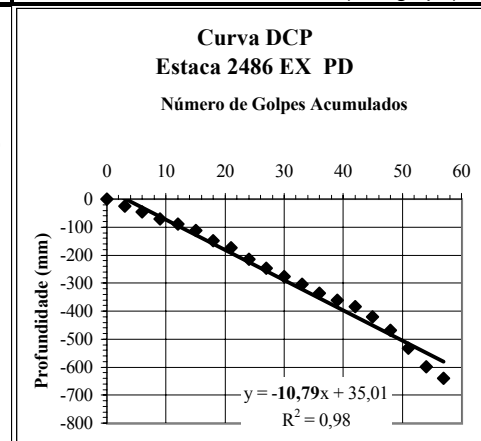
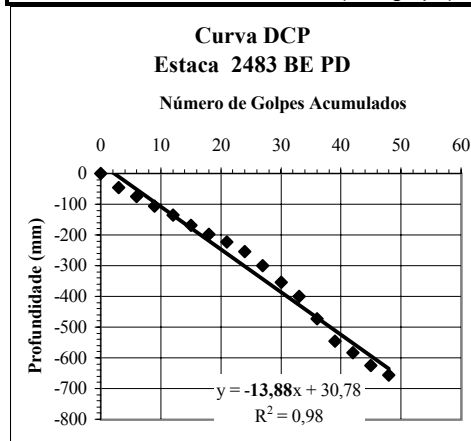
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2463PD BE			2464 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	222	0		223	0	
3	250	-28		246	-23	
6	271	-49	8,17	260	-37	6,17
9	292	-70	7,78	274	-51	5,67
12	313	-91	7,58	287	-64	5,33
15	338	-116	7,73	302	-79	5,27
18	363	-141	7,83	317	-94	5,22
21	385	-163	7,76	332	-109	5,19
24	402	-180	7,50	344	-121	5,04
27	415	-193	7,15	356	-133	4,93
30	430	-208	6,93	367	-144	4,80
33	451	-229	6,94	377	-154	4,67
36	474	-252	7,00	387	-164	4,56
39	493	-271	6,95	398	-175	4,49
42	513	-291	6,93	405	-182	4,33
45	528	-306	6,80	412	-189	4,20
48	545	-323	6,73	420	-197	4,10
51	564	-342	6,71	425	-202	3,96
54	584	-362	6,70	435	-212	3,93
57	611	-389	6,82	445	-222	3,89
60	648	-426	7,10	454	-231	3,85
	DN =	6,65	(mm/golpe)	DN =	3,71	(mm/golpe)



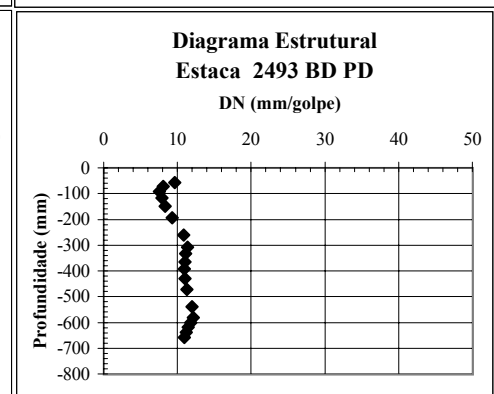
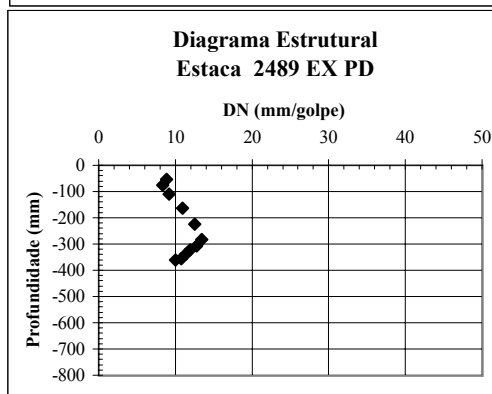
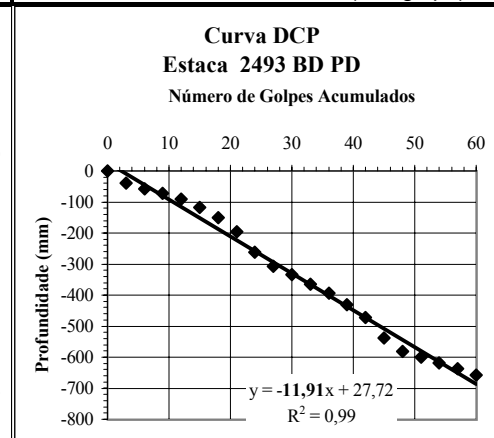
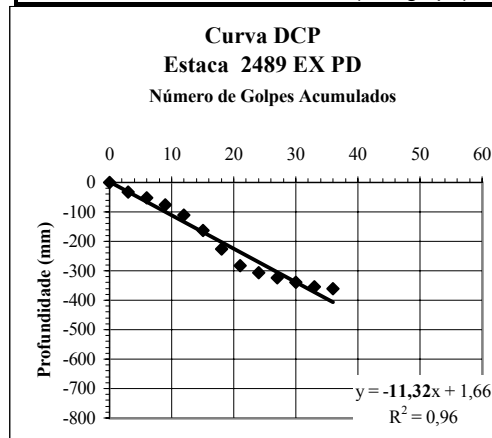
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2483 PDBE			2486 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	244	0		240	0	
3	289	-45		266	-26	
6	318	-74	12,33	286	-46	7,67
9	350	-106	11,78	310	-70	7,78
12	380	-136	11,33	330	-90	7,50
15	412	-168	11,20	352	-112	7,47
18	442	-198	11,00	388	-148	8,22
21	467	-223	10,62	414	-174	8,29
24	498	-254	10,58	454	-214	8,92
27	544	-300	11,11	486	-246	9,11
30	598	-354	11,80	517	-277	9,23
33	645	-401	12,15	545	-305	9,24
36	716	-472	13,11	577	-337	9,36
39	790	-546	14,00	600	-360	9,23
42	828	-584	13,90	625	-385	9,17
45	868	-624	13,87	660	-420	9,33
48	900	-656	13,67	708	-468	9,75
51				772	-532	10,43
54				838	-598	11,07
57				880	-640	11,23
60						
	DN = 13,88 (mm/golpe)			DN = 10,79 (mm/golpe)		



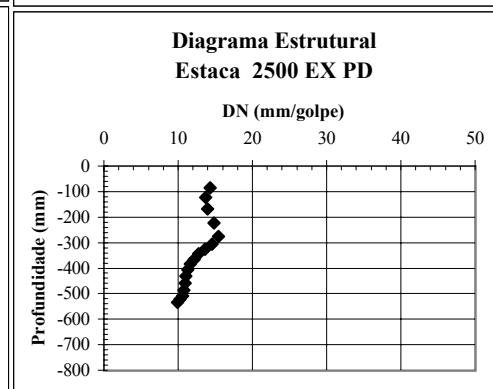
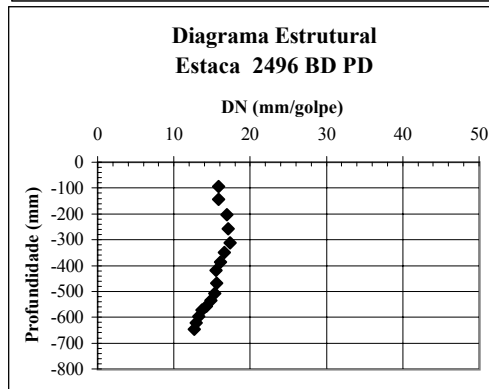
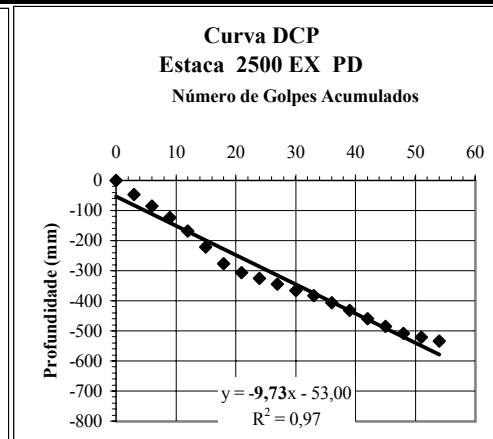
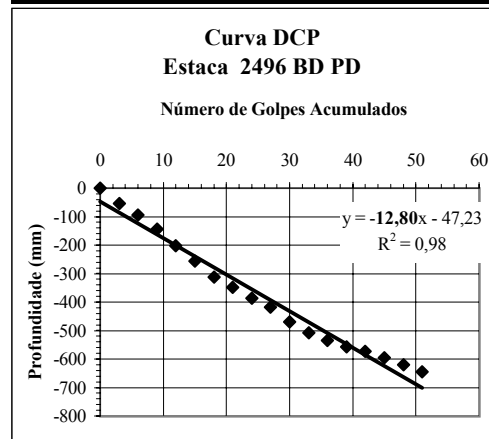
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2489 PDEX			2493 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	225	0		227	0	
3	257	-32		266	-39	
6	278	-53	8,83	285	-58	9,67
9	300	-75	8,33	300	-73	8,11
12	335	-110	9,17	318	-91	7,58
15	389	-164	10,93	345	-118	7,87
18	450	-225	12,50	377	-150	8,33
21	508	-283	13,48	422	-195	9,29
24	532	-307	12,79	488	-261	10,88
27	548	-323	11,96	534	-307	11,37
30	565	-340	11,33	560	-333	11,10
33	580	-355	10,76	592	-365	11,06
36	585	-360	10,00	620	-393	10,92
39				658	-431	11,05
42				700	-473	11,26
45				765	-538	11,96
48				809	-582	12,13
51				828	-601	11,78
54				845	-618	11,44
57				865	-638	11,19
60				885	-658	10,97
	DN = 11,32 (mm/golpe)			DN = 11,91 (mm/golpe)		



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

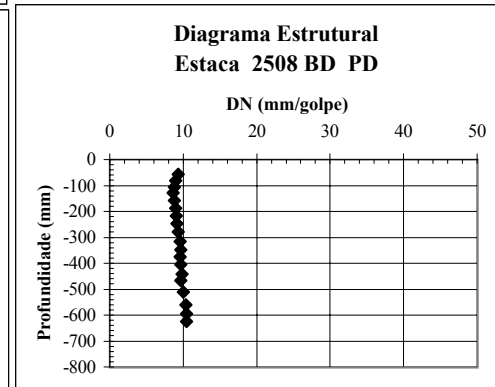
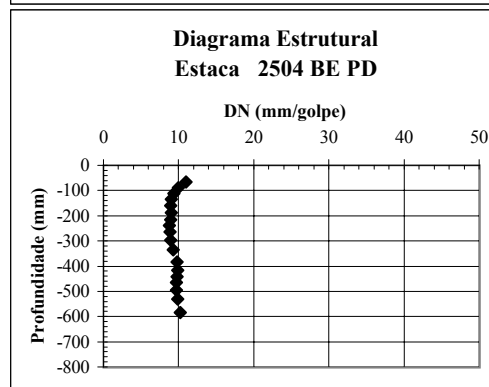
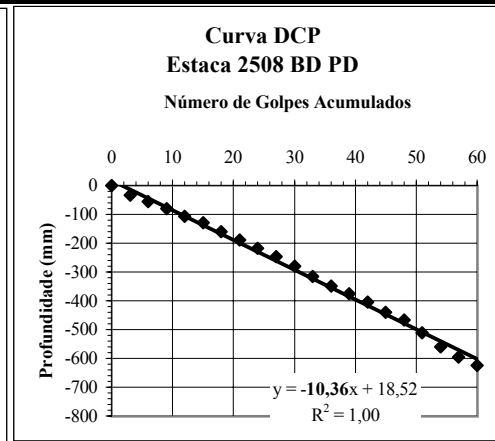
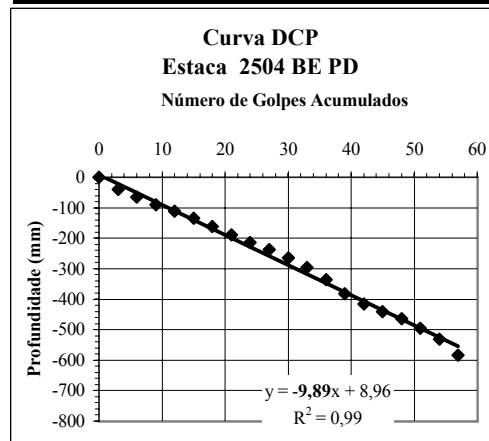
Golpes acumul.	2496 PDBD			2500 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	245	0		234	0	
3	300	-55		280	-46	
6	340	-95	15,83	320	-86	14,33
9	388	-143	15,89	357	-123	13,67
12	448	-203	16,92	402	-168	14,00
15	502	-257	17,13	456	-222	14,80
18	558	-313	17,39	511	-277	15,39
21	594	-349	16,62	540	-306	14,57
24	632	-387	16,13	560	-326	13,58
27	664	-419	15,52	578	-344	12,74
30	714	-469	15,63	599	-365	12,17
33	753	-508	15,39	618	-384	11,64
36	780	-535	14,86	641	-407	11,31
39	802	-557	14,28	666	-432	11,08
42	818	-573	13,64	694	-460	10,95
45	841	-596	13,24	720	-486	10,80
48	866	-621	12,94	743	-509	10,60
51	891	-646	12,67	755	-521	10,22
54				768	-534	9,89
57						
60						
	DN = <b>12,80</b> (mm/golpe)			DN = <b>9,73</b> (mm/golpe)		





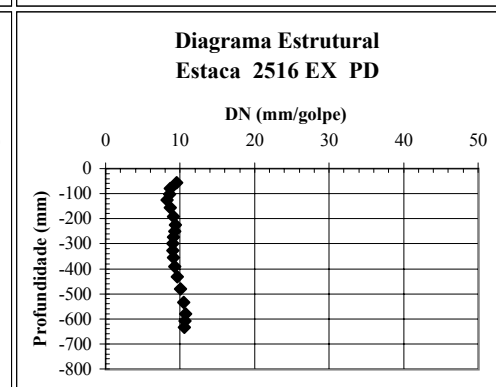
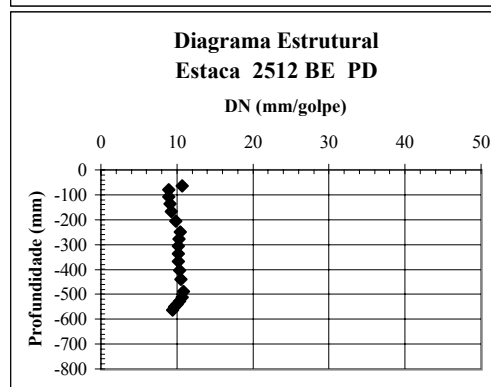
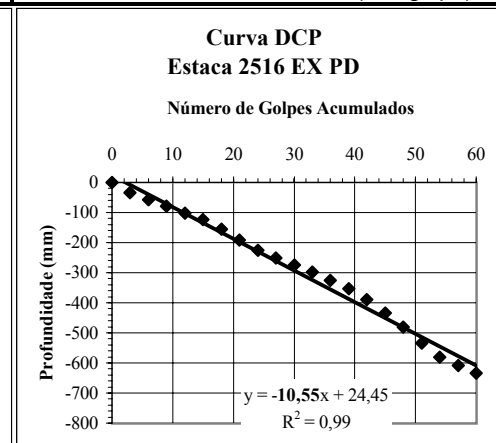
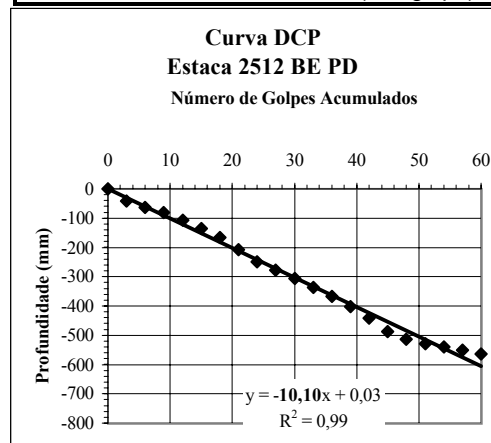
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhaça**

Golpes acumul.	2504 PDBE			2508 PDBD		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	230	0		245	0	
3	270	-40		279	-34	
6	296	-66	11,00	301	-56	9,33
9	320	-90	10,00	326	-81	9,00
12	342	-112	9,33	351	-106	8,83
15	365	-135	9,00	374	-129	8,60
18	391	-161	8,94	404	-159	8,83
21	419	-189	9,00	433	-188	8,95
24	445	-215	8,96	463	-218	9,08
27	468	-238	8,81	491	-246	9,11
30	495	-265	8,83	525	-280	9,33
33	526	-296	8,97	561	-316	9,58
36	565	-335	9,31	593	-348	9,67
39	613	-383	9,82	620	-375	9,62
42	646	-416	9,90	650	-405	9,64
45	671	-441	9,80	686	-441	9,80
48	695	-465	9,69	711	-466	9,71
51	725	-495	9,71	756	-511	10,02
54	762	-532	9,85	805	-560	10,37
57	813	-583	10,23	840	-595	10,44
60				870	-625	10,42
	DN =	<b>9,89</b>	(mm/golpe)	DN =	<b>10,36</b>	(mm/golpe)



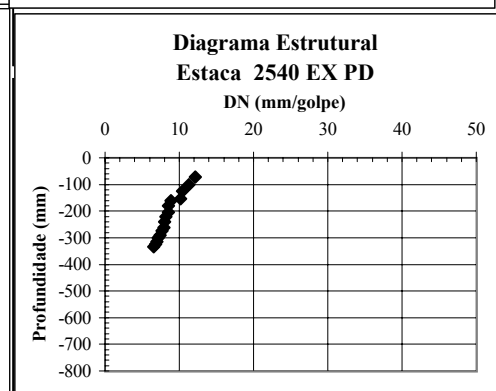
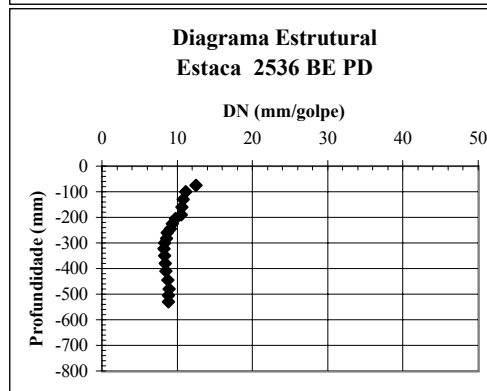
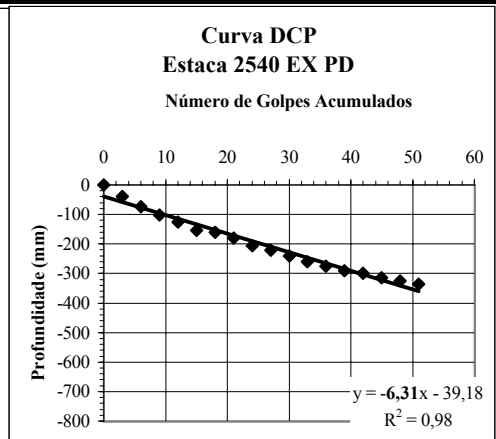
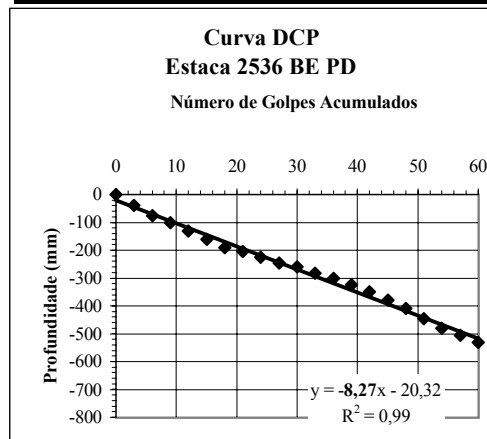
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2512 PDBE			2516 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	246	0		237	0	
3	287	-41		272	-35	
6	310	-64	10,67	294	-57	9,50
9	326	-80	8,89	315	-78	8,67
12	353	-107	8,92	340	-103	8,58
15	382	-136	9,07	361	-124	8,27
18	412	-166	9,22	393	-156	8,67
21	453	-207	9,86	428	-191	9,10
24	496	-250	10,42	462	-225	9,38
27	524	-278	10,30	488	-251	9,30
30	551	-305	10,17	511	-274	9,13
33	582	-336	10,18	535	-298	9,03
36	613	-367	10,19	563	-326	9,06
39	649	-403	10,33	591	-354	9,08
42	687	-441	10,50	627	-390	9,29
45	734	-488	10,84	670	-433	9,62
48	759	-513	10,69	718	-481	10,02
51	774	-528	10,35	770	-533	10,45
54	785	-539	9,98	818	-581	10,76
57	796	-550	9,65	846	-609	10,68
60	810	-564	9,40	871	-634	10,57
	DN = 10,10 (mm/golpe)			DN = 10,55 (mm/golpe)		



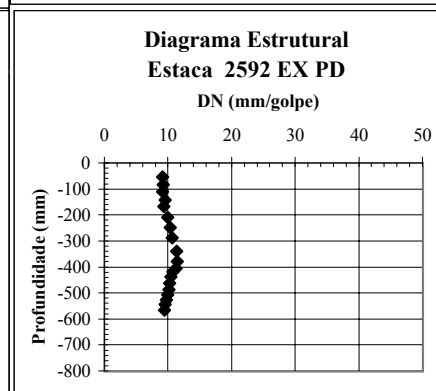
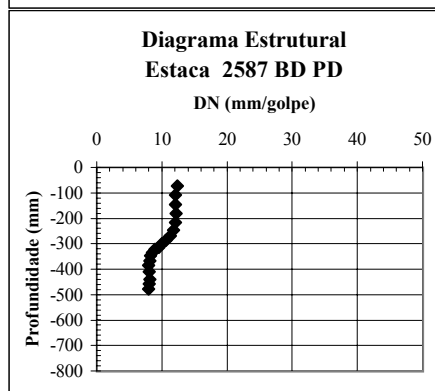
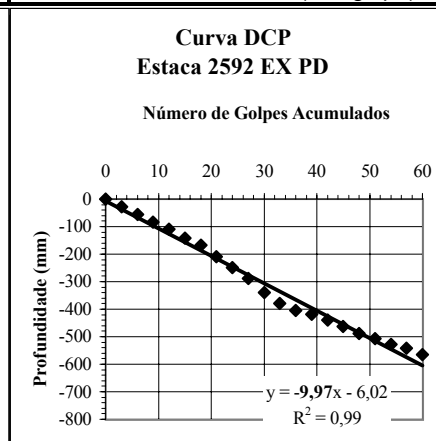
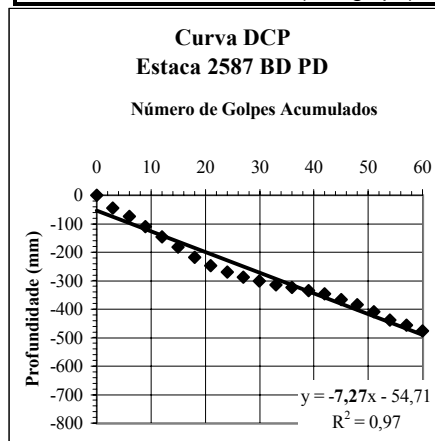
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2536 PDBE			2540 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	235	0		225	0	
3	275	-40		265	-40	
6	310	-75	12,50	298	-73	12,17
9	335	-100	11,11	327	-102	11,33
12	365	-130	10,83	350	-125	10,42
15	395	-160	10,67	378	-153	10,20
18	425	-190	10,56	385	-160	8,89
21	440	-205	9,76	405	-180	8,57
24	460	-225	9,38	430	-205	8,54
27	480	-245	9,07	446	-221	8,19
30	495	-260	8,67	465	-240	8,00
33	518	-283	8,58	486	-261	7,91
36	536	-301	8,36	500	-275	7,64
39	558	-323	8,28	515	-290	7,44
42	585	-350	8,33	525	-300	7,14
45	615	-380	8,44	540	-315	7,00
48	645	-410	8,54	550	-325	6,77
51	680	-445	8,73	560	-335	6,57
54	715	-480	8,89			
57	740	-505	8,86			
60	765	-530	8,83			
	DN = 8,27 (mm/golpe)			DN = 6,31 (mm/golpe)		



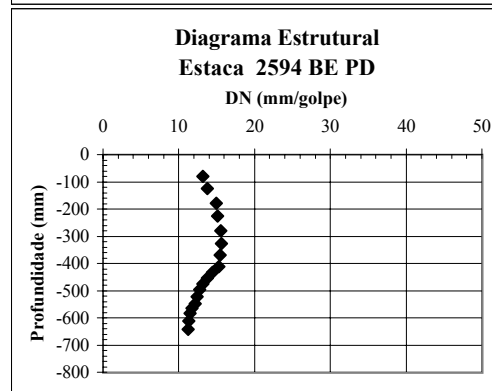
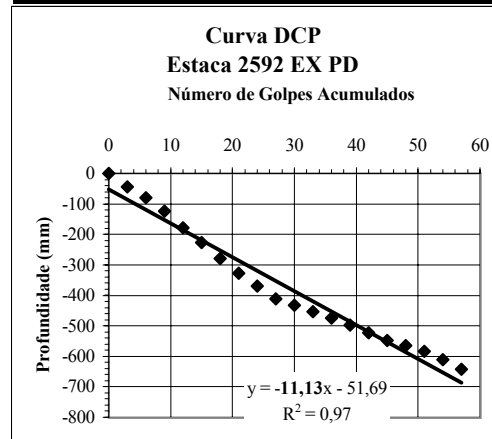
**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2587 PDBD			2592 PDEX		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	238	0		257	0	
3	282	-44		285	-28	
6	312	-74	12,33	312	-55	9,17
9	347	-109	12,11	340	-83	9,22
12	383	-145	12,08	367	-110	9,17
15	420	-182	12,13	400	-143	9,53
18	455	-217	12,06	425	-168	9,33
21	485	-247	11,76	466	-209	9,95
24	508	-270	11,25	505	-248	10,33
27	525	-287	10,63	545	-288	10,67
30	538	-300	10,00	597	-340	11,33
33	552	-314	9,52	635	-378	11,45
36	561	-323	8,97	662	-405	11,25
39	573	-335	8,59	675	-418	10,72
42	584	-346	8,24	696	-439	10,45
45	605	-367	8,16	720	-463	10,29
48	622	-384	8,00	745	-488	10,17
51	648	-410	8,04	765	-508	9,96
54	677	-439	8,13	784	-527	9,76
57	695	-457	8,02	800	-543	9,53
60	715	-477	7,95	823	-566	9,43
	DN =	7,27	(mm/golpe)	DN =	9,97	(mm/golpe)



**Resultados do Ensaio DCP**  
**BR-101/SC - Pista Esquerda - Trecho: Biguaçu-Palhoça**

Golpes acumul.	2594 PDBE		
	LEITURA	Prof. (mm)	DN(mm/golpe)
0	253	0	
3	298	-45	
6	332	-79	13,17
9	377	-124	13,78
12	432	-179	14,92
15	480	-227	15,13
18	532	-279	15,50
21	581	-328	15,62
24	623	-370	15,42
27	665	-412	15,26
30	686	-433	14,43
33	707	-454	13,76
36	728	-475	13,19
39	750	-497	12,74
42	776	-523	12,45
45	802	-549	12,20
48	818	-565	11,77
51	837	-584	11,45
54	864	-611	11,31
57	895	-642	11,26
60			
DN =		<b>11,13</b>	(mm/golpe)



## **APÊNDICE B**

---

### **DEFLEXÕES OBTIDAS COM A VIGA BENKELMAN E RESULTADOS DAS RETROANÁLISES**

**Deflexões Recuperáveis Medidas com a Viga Benkelman  
e Resultados das Retroanálises**

Estaca	Posição-Pista	Deflexão máx. CAMPO (x 10 <sup>-2</sup> mm)	Deflexão máx. ELSYM (x 10 <sup>-2</sup> mm)	Erro relativo (%)	MR <sub>subleito_compactado</sub> (MPa)	MR <sub>subleito_natural</sub> (MPa)	σ <sub>1</sub> (MPa)	σ <sub>3</sub> (MPa)
1833	BE-PE	55	54,10	1,66	140	110	0,11	0,001
1837	BE-PE	105	103,50	1,45	80	50	0,11	0,000
1841	BE-PE	160	159,40	0,38	55	30	0,11	0,000
2066	BD-PD	152	150,10	1,27	47	45	0,11	0,001
2066	BD-PE	177	178,20	0,67	39	39	0,11	0,001
2074	BD-PD	176	175,20	0,46	40	39	0,11	0,001
2078	BD-PD	160	160,90	0,56	45	40	0,11	0,001
2093	BE-PD	160	154,40	3,63	48	40	0,11	0,001
2097	BE-PD	176	175,20	0,46	40	39	0,11	0,001
2101	BE-PD	144	144,20	0,14	50	45	0,11	0,001
2109	BE-PD	112	105,90	5,76	77	50	0,11	0,000
2109	BE-PE	173	173,00	0,00	41	39	0,11	0,001
2113	BE-PD	140	139,90	0,07	50	49	0,11	0,001
2117	BE-PE	152	150,10	1,27	47	45	0,11	0,001
2122	BD-PD	128	123,50	3,64	60	50	0,11	0,001
2129	BE-PD	164	164,50	0,30	47	35	0,11	0,001
2132	BD-PD	168	169,00	0,59	45	35	0,11	0,001
2160	BD-PD	147	146,10	0,62	49	45	0,11	0,001
2164	BD-PD	164	164,50	0,30	47	35	0,11	0,001
2168	BD-PD	88	86,26	2,02	110	50	0,11	0,000
2172	BD-PD	177	176,80	0,11	40	38	0,11	0,001
2176	BD-PD	147	146,10	0,62	49	45	0,11	0,001
2180	BD-PD	93	95,12	2,23	93	50	0,11	0,000
2184	BD-PD	147	148,00	0,68	48	45	0,11	0,001
2188	BD-PD	122	117,50	3,83	65	50	0,11	0,001
2233	BE-PD	97	99,90	2,90	85	50	0,11	0,000
2237	BE-PD	173	172,40	0,35	41	39	0,11	0,001
2240	BD-PD	143	144,20	0,83	50	45	0,11	0,001
2258	BD-PD	134	140,10	4,35	58	38	0,11	0,000
2303	BE-PE	102	96,09	6,15	85	55	0,11	0,000
2306	BD-PD	143	150,50	4,98	50	40	0,11	0,001
2307	BE-PE	75	74,34	0,89	145	50	0,10	0,001
2312	BD-PE	173	179,30	3,51	45	30	0,11	0,001
2314	BD-PD	118	117,50	0,43	65	50	0,11	0,001
2320	BD-PD	143	142,30	0,49	51	45	0,11	0,001
2374	BD-PD	105	103,50	1,45	80	50	0,11	0,000
2411	BE-PD	177	176,80	0,11	40	38	0,11	0,001
2416	BD-PD	144	144,20	0,14	50	45	0,11	0,001
2420	BD-PE	150	150,10	0,07	47	45	0,11	0,001
2422	BD-PD	150	150,10	0,07	47	45	0,11	0,001
2424	BD-PD	168	166,70	0,78	46	35	0,11	0,001
2429	BE-PE	162	162,30	0,18	48	35	0,11	0,001
2461	BE-PE	144	142,30	1,19	51	45	0,11	0,001
2536	BD-PD	122	121,00	0,83	62	50	0,11	0,001
2539	BE-PE	100	92,98	7,55	78	69	0,11	0,001
2540	BD-PD	114	104,30	9,30	79	50	0,11	0,000
2543	BE-PE	160	160,90	0,56	45	40	0,11	0,001
2594	BD-PE	140	139,90	0,07	50	49	0,11	0,001
Quant. Números		48			48	48	48	48,000
Média		140			59	45	0,11	0,001
Desvio Padrão		30			24	12	0,00	0,000
Menor Valor		55			39	30	0,10	0,000
Maior Valor		177			145	110	0,11	0,001
Média+Desvio		170			83	57	0,11	0,001
Média-Desvio		111			36	34	0,11	0,000

Fonte (das Deflexões): Relatório de Controle de Qualidade SICEC (CONSÓRCIO/GUATEMI), 1997.

## **APÊNDICE C**

---

### **RESULTADO DO ENSAIO TRIAXIAL**



**LAPAV - LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO  
ESCOLA DE ENGENHARIA - UFRGS**

**ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA**

<b>Registro:</b> UFSC - BR 101 - Tijucas a Biguaçu - E 2060
<b>Data:</b> 07/12/2001
<b>Peso Espec. Apar. Seco:</b> 1,656
<b>Umidade ótima:</b> 18,7 %
<b>Umidade higroscópica:</b> 3,25%
<b>Peso total do corpo-de-prova:</b> 2814,3g
<b>Umidade do corpo-de-prova:</b> 18,18%

<b>SOLO COESIVO</b>		
<b>CONFINAMENTO</b>		
$\sigma_3$ : 0,02 MPa		$\sigma_d$ : 0,07 MPa
<b>REGISTRO</b>		
Estados de tensão		Módulo resiliente (MPa)
$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	
0,02	0,02	283
	0,04	171
	0,05	133
	0,07	114
	0,11	98
	0,14	87
	0,21	78