

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

AVLIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM PAVIMENTO FLEXIVEL DE BASE CONSTITUIDA  
DE SOLO LATERITICO, ATRAVES DOS ENSAIOS DEFLECTOMETRICOS E  
PRESSIOMETRICOS

JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1992

JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM PAVIMENTO FLEXIVEL DE BASE CONSTITUIDA  
DE SOLO LATERITICO, ATRAVES DOS ENSAIOS DEFLECTOMETRICOS E  
PRESSIOMETRICOS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE MES-  
TRADO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DA PARAIBA, EM CUMPRIMENTO AS  
EXIGENCIAS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

AREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

ORIENTADOR : Dr. Eng. HEBER CARLOS FERREIRA

CO-ORIENTADOR : MSc. FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1992

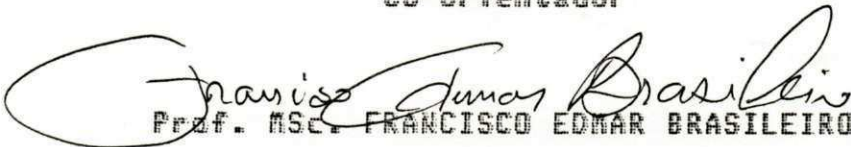
AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL DE BASE CONSTITUÍ-  
DA DE SOLO LATERÍTICO, ATRAVÉS DOS ENSAIOS DEFLECTOMÉTRICOS E  
PRESSIONÉTRICOS.

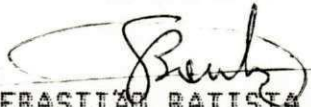
JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES

Dissertação aprovada em: /07/92

  
Prof. Dr. Eng. NEBER CARLOS FERREIRA  
Orientador

  
Prof. MSc. FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA  
Co-Orientador

  
Prof. MSc. FRANCISCO EDMAR BRASILEIRO  
1º EXAMINADOR

  
Prof. MSc. SEBASTIÃO BATISTA DOS SANTOS  
2º EXAMINADOR

EP-8-00 403

CAMPINA GRANDE / JULHO / 1992

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

DEDICATORIA

À meus "pais" e família

À minha companheira, Ramonildes

À meu irmão, Onaldo



## AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Msc. FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA pelos ensinamentos transmitidos, críticas construtivas, revisão do texto pela dedicação demonstrada, fatos esses que contribuíram decisivamente para conclusão dessa dissertação.

Ao Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA, pelo apoio durante o período de realização desse trabalho.

A Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL) e a todos os funcionários dos laboratórios de solos I, II, e III que de alguma forma colaboraram para a execução desse trabalho, em especial à Josenira, Joselito e Machado.

Aos professores, funcionários e alunos do curso de pós-graduação e graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade de convivência e colaboração, em especial aos meus amigos fraternos Perboyre, Vladimir, Prof. Edmar e Prof. Olaf.

## I N D I C E

### CAPITULO - I

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	01
-----------------------------	----

### CAPITULO - II

REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....	04
2.1 - Introdução.....	04
2.2 - Avaliação de Pavimentos .....	05
2.3 - Critérios de Avaliação de Pavimentos .....	08
2.3.1 - Avaliação da Superfície dos Pavimentos....	08
2.3.2 - Avaliação da Rugosidade dos Pavimentos....	10
2.3.3 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos .....	13
2.3.3.1 - Critérios de Escolha do Tipo de Equipamento a ser Utilizado na Avaliação Estrutural de Pavimentos.....	21
2.4 - Histórico da Origem e Desenvolvimento do Ensaio Pressiometrico na Pavimentação .....	24
2.5 - Utilização de Solos Lateríticos na Pavimentação Brasileira.....	26

### CAPITULO - III

MATERIAIS E METODOS .....	31
3.1 - Introdução .....	31
3.2 - Caracterização do Trecho .....	32

3.3 - Métodos de Ensaio .....	37
3.3.1 - Introdução .....	37
3.3.2 - Ensaio Deflectométrico .....	37
3.3.2.1 - Metodologia .....	37
3.3.3 - Ensaio Pressiométrico .....	52
3.3.3.1 - Descrição .....	52
3.3.3.2 - Metodologia .....	52
3.3.4 - Ensaio de Laboratório .....	62
3.3.4.1 - Granulometria .....	62
3.3.4.2 - Índice de Suporte California .....	62
3.3.4.3 - Limite de Liquidez .....	62
3.3.4.4 - Limite de Plasticidade .....	62

#### CAPITULO - IV

ANALISE ESTATISTICA .....	63
4.1 - Introdução .....	63
4.2 - Estudo das Correlações entre os Parâmetros Estru- turais Deflectométricos e Parametros Estruturais Pressiométricos .....	63
4.2.1 - Critério de Correlação .....	65
4.2.2 - Correlações Propostas .....	65
4.3 - Análise Estatística dos Parâmetros Estruturais De- flectométricos .....	65
4.3.1 - Metodologia .....	65

## CAPITULO - V

APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS .....	67
5.1 - Introdução .....	67
5.2 - Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico ao Longo de Todo o Trecho Estudado.....	68
5.3 - Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico em Pontos Comuns Ensaaiados com o Pressiômetro de Pavimentação .....	74
5.4 - Bacias de Deformação de Campo e Bacias de Deformação Ajustadas Obtidas com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada .....	75
5.5 - Módulos Pressiométrico de Recompressão Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90cm de Profundidade.....	76
5.6 - Módulos Pressiométricos Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90 cm de Profundidade ....	78
5.7 - Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Realizadas Entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos X Módulos Pressiométricos de Recompressão .....	80
5.8 - Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Realizadas Entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos X Módulo Presiométrico..	89
5.9 - Ensaios de Laboratório .....	92

CAPITULO - VI

CONCLUSÕES .....	96
SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	98
BIBLIOGRAFIA .....	99

CAPITULO - VII

APÊNDICE - A

- Parâmetros Estruturais e Bacias de Deformação Obtidas com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada .....	106
--	-----

APÊNDICE - B

- Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada ao Longo de todo Trecho Estudado.....	138
---	-----

APÊNDICE - C

- Listagem do Programa Computacional para ajuste e obtenção de Parâmetros Estruturais Deflectométricos .....	142
--	-----

APÊNDICE - D

- Listagem do Programa Computacional para Correção de Pressão e Volume do Ensaio Pressionétrico .....	150
---	-----

APÊNDICE - E

- Curvas Pressiométricas Corrigidas para cálculo do Módulo Pressiométrico e Módulo Pressiométrico de Recompressão..	155
---	-----

APÊNDICE - F

- Metodologia para Análise Estatística dos Parâmetros Estruturais Deflectométricos.....	169
---	-----



## LISTA DE QUADROS

Quadro - 01	:	Principais Medidores de Rugosidade com sua Respectiva Utilização .....	11
Quadro - 02	:	Caracterização do Trecho .....	11
Quadro - 03	:	Ensaio Deflectométrico .....	39
Quadro - 04	:	Ajustagem e Parâmetros Estruturais a serem Calculados .....	41
Quadro - 05	:	Esquema do Pavimento .....	43
Quadro - 06	:	Modelo de Hogg .....	43
Quadro - 07	:	Fluxograma do Programa Computacional para Ajuste das Leituras Deflectométricas e Cálculo de Parâmetros Estruturais .....	53
Quadro - 08	:	Ensaio Pressiométrico .....	54
Quadro - 09	:	Curva Pressiométrica Corrigida .....	57
Quadro - 10	:	Correção Genérica das Leituras de Pressão e Volume .....	54
Quadro - 11	:	Equações Submetidas às Ajustagens .....	64
Quadro - 12	:	Análise Estatística dos Parâmetros Deflecto- métricos .....	69
Quadro - 13	:	Módulo de Recompressão Obtidos na Profundidade de 30 cm .....	77
Quadro - 14	:	Módulos de Recompressão Obtidos na Profundidade de 90 cm .....	77
Quadro - 15	:	Módulos Pressiométricos Obtidos na Profundidade de 30 cm .....	79

Quadro - 16	:	Módulos Pressiométricos Obtidos na Profundidade de 90 cm .....	79
Quadro - 17	:	Ajustagens Obtidas entre os Parâmetros Deflectométricos X Módulos Pressiométricos de Recompressão .....	81
Quadro - 17.1	:	Simulação dos Dados .....	83
Quadro - 17.2	:	Simulação dos Dados .....	84
Quadro - 18	:	Ajustagens Obtidas entre os Parâmetros Deflectométricos X Módulos Pressiométricos .....	86
Quadro - 18.1	:	Simulação dos Dados .....	87
Quadro - 18.2	:	Simulação dos Dados .....	87
Quadro - 19	:	Ensaio de Laboratório .....	95



## LISTA DE FIGURAS

Figura - 01	:	Fluxograma da Pesquisa .....	03
Figura - 02	:	Ensaio Deflectométrico com o FWD .....	19
Figura - 03	:	Localização de Trechos Pavimentados com Laterita no Estado da Paraíba .....	30
Figura - 04	:	Localização do Trecho Rodoviário Estudado ..	33
Figura - 05	:	Gráfico de Influência para o Cálculo das Deflexões Superficiais .....	47
Figura - 06	:	Configuração da Distribuição da Carga das Rodas Duplas do Eixo Traseiro do Caminhão de Prova .....	49
Figura - 07	:	Bacias Teóricas de Deformação .....	49
Figura - 08	:	Nomograma para Cálculo de E2 e Do .....	50
Figura - 09	:	Nomograma para o Cálculo do Comprimento Característico "l <sub>o</sub> " .....	50
Figura - 10	:	Curva Representativa da Ajustagem D <sub>maxR</sub> X Módulo Pressiométrico de Recompressão (30 cm) .....	85
Figura - 11	:	Curva Representativa da Ajustagem D <sub>maxT</sub> X Módulo Pressiométrico de Recompressão (30 cm) .....	86
Figura - 12	:	Gráfico Representativo da Ajustagem E2 X Módulo Pressiométrico de Recompressão (90 cm) ...	87
Figura - 13	:	Gráfico Representativo da Ajustagem ICB X Módulo Pressiométrico de Recompressão (90 cm) .....	88

Figura - 14	: Gráfico Representativo da Ajustagem E2 X Módulo Pressiométrico (90 cm) .....	93
Figura - 15	: Gráfico Representativo da Ajustagem ICB X Módulo Pressiométrico (90 cm) .....	94

## LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE - A : Parâmetros Estruturais e Bacias de Deformação Obtidos com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada (Pontos Comuns)..... 107
- APÊNDICE - B : Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada, ao Longo do Trecho Estudado ..... 138
- APÊNDICE - C : Listagem do Programa Computacional para Ajuste e Obtenção dos Parâmetros Estruturais Deflectométricos ..... 142
- APÊNDICE - D : Listagem do Programa Computacional para Correção de Pressão e Volume do Ensaio Pressiométrico ..... 150
- APÊNDICE - E : Curvas Pressiométricas Corrigidas para Cálculo do Módulo Pressiométrico e Módulo Pressiométrico de Recompressão ..... 155
- APÊNDICE - F : Metodologia para Análise Estatística dos Parâmetros Estruturais Deflectométricos... 169

## R E S U M O

Este trabalho consiste na avaliação estrutural de um pavimento flexível, de base constituída de material laterítico, localizado entre os municípios de Sapé, Marí e Guarabira (Pb-055), objetivando avaliar o desempenho estrutural da base, bem como das outras camadas que compõem o pavimento, ao longo de 7km. Para isso, como forma de obtenção de parâmetros estruturais para posterior avaliação, optou-se pelos seguintes ensaios: a) Ensaio Deflectométrico com a viga Benkelman, utilizando-se "metodologia não destrutiva, para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis, através da interpretação das Bacias de Deformação" desenvolvida pelos professores: João M. Fabricio et alii 1988) b) Ensaio Pressiométrico com o Pressiometro de Pavimentação, desenvolvido por Briaud e Shields na Universidade de Ottawa no Canadá (1979), ensaiando a sub-base e o subleito. Os parâmetros estruturais, obtidos com os respectivos ensaios, além de servirem como indicadores das condições estruturais das camadas do pavimento, foram correlacionados e ajustados matematicamente. No tocante ao desempenho da base laterítica e do pavimento como um todo, observou-se que os parâmetros estruturais deflectométricos obtidos se enquadraram dentro dos limites pré-estabelecidos pela metodologia adotada, o que confirmou o seu bom desempenho. Com relação às ajustagens, foram obtidas equações bastante significativas. O que demonstra uma alta afirmação dos dois ensaios utilizados nesta pesquisa, respaldando seus valores teóricos e interpretativos, muito bons para serem utilizados como parâmetros de avaliação de pavimentos flexíveis.

## ABSTRACT

This work describes the structural evaluation of a flexible pavement, 7 Km long linking the districts of Sapé, Mari and Guarabira (PB- 055) Paraíba State, Northeast Brazil. The structural performance of its layers including the lateritic basement was investigated and data were obtained following the methodology described below:

a) Test Deflectometer with the Benkelman Bean following a Nondestructive methodology for the evaluation of flexible pavements through the interpretation of the "Basin Deflection" developed by J.M. Fabricio et al (1988);

b) Pressuremeter test of both the sub-grade and the sub-base by using the pressuremeter of pavements developed by Briaud and Shields (1979).

The results analysed helped as indicators the structural conditions of the layers and also were correlated and adjusted mathematically for the derivation of equations. The structural deflectometric parameters determined for the lateritic basement and for the pavement as a whole fell within the range indicated for the methodology used and confirmed its good performance. Analysis of the significant equations developed in this study renders support for the good quality of the tests performance during the investigations recommending them as very good for that evaluation of flexible pavements.

## CAPITULO - I

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A utilização de solos lateríticos na pavimentação brasileira, como base, sub-base e até revestimentos, vem sendo feita em vários estados do País. Isto porque nessas regiões há uma escassez de solos ditos convencionais para tal uso. Tem sido desenvolvido ao longo dos últimos anos, todo um trabalho de pesquisa visando estabelecer normas específicas, desde a simples caracterização até a avaliação "in situ" dos solos produzidos pelo processo de laterização. Procura-se, dessa maneira, definir de forma objetiva e clara a viabilidade desses materiais no que diz respeito à execução, ao enquadramento dentro de parâmetros de resistência e deformação aceitáveis e viabilidade econômica.

Porém, existe ainda um vazio a ser preenchido no que diz respeito a se conhecer melhor o interrelacionamento das suas propriedades físicas, químicas, mineralógica e físico-química com as de engenharia, culminando assim no estudo de rodovias pavimentadas onde tais materiais foram utilizados.

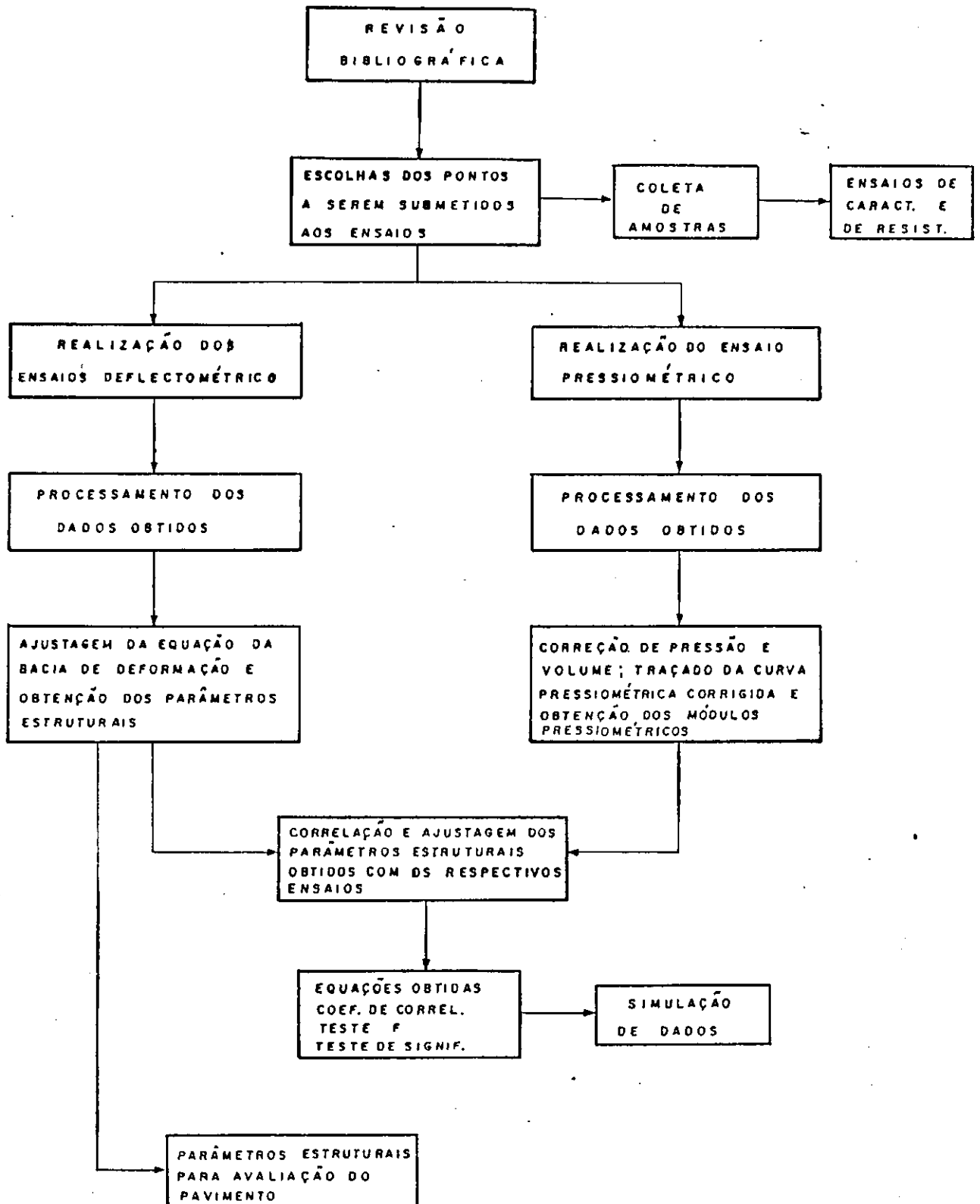
Especificamente no campo da avaliação estrutural de pavimentos flexíveis, são vários os métodos e equipamentos destinados a tal tarefa. Isso se deve ao fato de já existir todo um trabalho desenvolvido com relação aos solos convencionais, o que facilita o estudo específico dos materiais lateríticos. Sendo necessário a verificação do seu enquadramento dentro dos critérios estruturais que possam satisfazer a viabilização do uso

desses materiais como componentes de camadas estruturais de pavimentos flexíveis. Definido o critério e o propósito de avaliação (critério estrutural e avaliação de um trecho rodoviário cuja base é constituída de material laterítico) tornou-se necessário estabelecer qual ou quais metodologias e equipamentos a serem utilizados em nosso estudo para alcançar os objetivos. Após vários estudos de literatura específica, considerando inúmeros fatores importantes no que diz respeito a escolha dessas técnicas e equipamentos, como por exemplo: respaldo teórico interpretativo, versatilidade do equipamento; utilização e experiência nacional e internacional viabilidade econômica; disponibilidade de material e desenvolvimento de novos parâmetros de avaliação estrutural, optou-se pelos seguintes métodos e equipamentos: a) Ensaio Deflectométrico com a viga Benkelman (utilizando a "metodologia não destrutiva para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis através da interpretação das Bacias de Deformação", desenvolvida pelos professores: João M. Fabricio, Edmar A. Gonçalves e Olavo F. Fabricio); b) Ensaio Pressiométrico com pressiômetro de pavimentação desenvolvido por Briaud e Shields (Canadá 1979).

Objetivou-se também, após obtenção dos parâmetros estruturais resultantes dos respectivos ensaios, correlacioná-los e ajustá-los matematicamente de forma a estabelecer equações que viessem a contribuir de maneira específica para o desenvolvimento de futuras pesquisas a serem feitas com relação à avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. Para uma maior clareza do processo de andamento da pesquisa, é apresentado na Figura - 01 o Fluxograma da Pesquisa.



FIGURA 01 - FLUXOGRAMA DA PESQUISA



## CAPITULO II

### REVISÃO BIBLIOGRAFICA

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

Esta revisão bibliográfica trata dos tópicos relacionados com os objetivos da pesquisa, que corresponde a uma avaliação estrutural de um pavimento flexível cuja base é constituída de solo laterítico, onde abordamos os seguintes tópicos:

- Avaliação de Pavimentos;
- Critérios de Avaliação de Pavimentos;
- Avaliação da Superfície do Pavimento;
- Avaliação da Rugosidade;
- Avaliação Estrutural
- Critérios de escolha do tipo de equipamento a ser utilizado numa avaliação estrutural de pavimentos;
- Histórico da Origem e Desenvolvimento do Ensaio Pressiométrico na Pavimentação;
- Utilização de Solos Lateríticos na Pavimentação Brasileira

## 2.2 - AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Um pavimento é dimensionado dentro de critérios pré-estabelecidos, devendo proporcionar ao usuário condições de conforto e segurança, que atendam um padrão mínimo especificado (critério funcional) e que seja capaz de resistir aos esforços oriundos dos veículos, tornando-o compatível com a capacidade de resistência e deformabilidade do subleito (critério estrutural). Quando um dos critérios acima deixa de ser atendido, resulta na falha do pavimento, que pode ser estrutural ou funcional. A primeira traduz-se por colapso de estrutura do pavimento ou de uma ou mais camadas de tal magnitude, que torna o pavimento incapaz de suportar as cargas superficiais impostas. A segunda, classificada como falha funcional, pode ou não ser acompanhada pela estrutural, mas é suficiente para causar desconforto aos passageiros ou provocar desgaste os veículos que utilizam o pavimento devido à sua irregularidade. Os defeitos apresentados pela superfície de um pavimento, em razão de sua natureza e intensidade, refletem o comportamento da estrutura submetida à ação simultânea das cargas de tráfego e dos agentes intempéricos.

Como sabemos, os métodos de projeto de restauração são normalmente elaborados com base em levantamentos das condições do pavimento existente e fornecem os parâmetros para análise e seleção de alternativas para execução dos serviços. Muito embora as concepções desses parâmetros envolvam similaridades de objetivos, os critérios, geralmente adotados na respectiva avaliação, divergem consideravelmente. Desde alguns anos, pesquisadores desenvolvem métodos e equipamentos objetivando a determinação

dos parâmetros representativos das condições do pavimento, em alguns casos, através da avaliação direta e em outros, seu valor é determinado, pelo menos parcialmente, a partir da consideração de variáveis subjetivas. A escolha de critérios de avaliação de um pavimento deve estar intimamente ligada ao propósito da avaliação a que se quer submetê-lo, seja relacionado ao uso da obra (critério funcional), sejam critérios associados à capacidade estrutural (critério estrutural). Hass (1974) com o propósito de medir a necessidade de reabilitação de um pavimento, sequencia as seguintes etapas de avaliação: avaliação da capacidade estrutural; avaliação da deterioração física, representada por: trincamento, deformação e desintegração. Avaliação dos defeitos relacionados ao usuário, tais como: rugosidade ou serventia, segurança e aparência; avaliação dos custos de operação do usuário e com várias medidas de reabilitação.

Segundo o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/MT, 1975) em trabalho intitulado Reabilitação de Pavimentos (Materiais e Técnicas), a avaliação das condições de superfícies pode ser utilizada para quantificar os itens dos critérios que influem decisivamente na qualidade de rolamento, segurança e adequação estrutural, no presente, porém, ao se desejar fazer uma predição a longo prazo, é necessário o conhecimento da adequação estrutural do pavimento.

Hudson (1975) sequencia as etapas e técnicas de avaliação de pavimentos da seguinte maneira: a) Avaliação estrutural com as seguintes técnicas utilizadas: ensaio de placa, medida de deflexão, ensaio de cargas de impacto, ensaio com cargas vibratórias,

ensaios laboratoriais, etc...; b) Avaliação do comportamento do pavimento, avaliação superficial, avaliação da rugosidade; c) Avaliação da fadiga do pavimento; d) Avaliação da segurança do pavimento; e) Avaliação dos custos e benefícios.

Treybig et alii (1976) com o objetivo de estabelecer e desenvolver um critério de fadiga, principal responsável pela deterioração dos pavimentos, considerou uma metodologia baseada em dois pontos principais: a) Uso da teoria da elasticidade, aplicada às camadas do pavimento, por proporcionarem um melhor potencial para desenvolver um procedimento de projeto universal, aplicável às várias condições existentes; b) Uso de estudos de campo, normalizado pela Association American of State Highway and Transportation Official (AASHTO), envolvendo ensaios de deflexão, medidas de rugosidade, amostras de materiais, etc.

R.L. Lytton e J.P. Mahoney (1976) citam os principais propósitos de avaliação de pavimentos como sendo: a) Fornecimento de dados para projeto; b) Fornecimento de dados para verificação da necessidade de reabilitação. No primeiro desse propósitos, segundo os autores, é necessária uma avaliação detalhada que possa fornecer dados suficientes para a construção de um pavimento ou para reabilitação total ou parcial do pavimento avaliado. Essa avaliação pode ser feita através de: medidas de deflexão, trincas (levantamento da percentagem de trincas), verificação de módulos da camada do pavimento (módulo de elasticidade, módulo de reação do subleito, etc). O segundo propósito não necessita de uma avaliação tão detalhada, porém os dados obtidos devem fornecer a condição de fadiga de maneira clara e consistente. A

avaliação pode ser feita através de: medidas de deflexão, levantamento de percentagem de trincas, medidas de rugosidade e verificação da resistência ao atrito.

Aranovich (1983) conclui que: "As avaliações também podem ser utilizadas com o objetivo de se testar um determinado material, uma determinada técnica construtiva ou um método de dimensionamento".

## 2.3 - CRITERIOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

### 2.3.1 - Avaliação da Superfície dos Pavimentos

A aparência de um pavimento não está, necessariamente, relacionada à capacidade estrutural, embora esta, sendo baixa, resulta no fim, em aparência deficiente. O desenvolvimento das técnicas de avaliação da superfície de pavimentos vem sendo feito por diversos órgãos internacionais. A Associação de Estradas e Transportes do Canadá (Road and Transportation Association) desenvolveu um método de avaliação subjetiva de pavimentos denominada de grau de "avaliação de serventia atual" (Present Serviceability Rating - PSR). Este método envolve a participação de um grupo de avaliadores que transitam num trecho do pavimento. Observando sua transitabilidade, apreciam suas condições e registram as impressões próprias numa espécie de ficha.

McCullough (1971) dividiu os defeitos ocorridos nas superfícies de pavimentos como sendo os seguintes: a) fratura, caracterizada pelas trincas; b) distorção, caracterizada pela deformação permanente com ou sem separação física de pontos

distintos; c) desintegração, que aparece sob forma de desnudamento, perda de agregado e descamação.

Aranovich (1983) somou aos defeitos acima citados, falhas da construção, tais como: a exudação do ligante betuminoso, caracterizado pela presença de betume livre na superfície; b) falhas de bico, defeitos do equipamento exclusivos de tratamentos superficiais. Já o Transport and Road Research Laboratory (TRRL) desenvolveu no Quênia (África, 1975) um modelo de avaliação onde as trincas e remendos são grupados, a fim de se fazer uma estimativa da quantidade de remendo necessário para corrigir o defeito. No Canadá, na província de Saskatchewan, a avaliação das condições da superfície é realizada utilizando-se o "Pavement Conditions Rating Form" cujo resultado do levantamento é denominado de "índice de severidade". Os dados são plotados em um gráfico contra o tempo, produzindo uma curva da condição superficial do pavimento. O Instituto do Asfalto (1977) avalia a superfície dos pavimentos através de um formulário acompanhado de uma série de fotografias de defeitos. Para cada defeito o avaliador dá uma nota, a condição final do pavimento é a soma das notas diminuída de 100.

O DNER (1979) normatizou um método onde incluiu a avaliação subjetiva e objetiva das superfícies de rolamento. Os princípios de avaliação subjetiva, contidos nestas normas, são os mesmos utilizados pela equipe da AASHTO Road Test. A avaliação objetiva é realizada através da avaliação direta de uma série de defeitos em locais previamente demarcados e que, na prática, perfazem uma série de 30% da superfície do pavimento.



### 2.3.2 - Avaliação da Rugosidade dos Pavimentos

Os desvios da superfície de um pavimento de uma verdadeira superfície plana com dimensões características maiores que 16 mm são definidos pela American Society for Testing and Materials (ASTM) como sendo rugosidade. Cesar A.V. Queiroz et alii (1984) definem rugosidade com relação ao perfil do pavimento, que envolve distorção da variação de grau de conforto de rolamento, e com relação ao veículo, que pode ser definido como características da superfície pelos ocupantes do veículo. Entre o fim do século passado e o final da década de 50, foram criados diversos aparelhos com objetivo de medir perfis longitudinais, entre eles: "Land Planes", perfilógrafo de rodas múltiplas (Illinois, 1920), perfilógrafo da Califórnia e o rugosímetro BPR. Porém, segundo Aranovich (1983), com esses aparelhos encontravam-se dificuldades de se fornecer um plano fixo para referenciar as leituras. Dificuldades essas, superadas com a introdução do sistema de perfilagem sem contato, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa do Meio-Oeste da Força Aérea dos E.U.A. O Quadro 01 apresenta os principais tipos de medidores de rugosidade com respectiva utilização. A AASHTO desenvolveu um equipamento de medição de perfis longitudinais de grande sensibilidade. Apesar de muito complexo, este equipamento (Perfilômetro AASHTO Road Test), resolvia o problema de fixação de um plano de base, constante nos aparelhos da época. Já o TRRL desenvolveu, na década de 30, o perfilômetro de rodas múltiplas, porém, esse aparelho apresentava uma baixa velocidade de utilização, o que inviabilizava o seu uso em longos percursos. O TRRL, então, construiu um equipamento

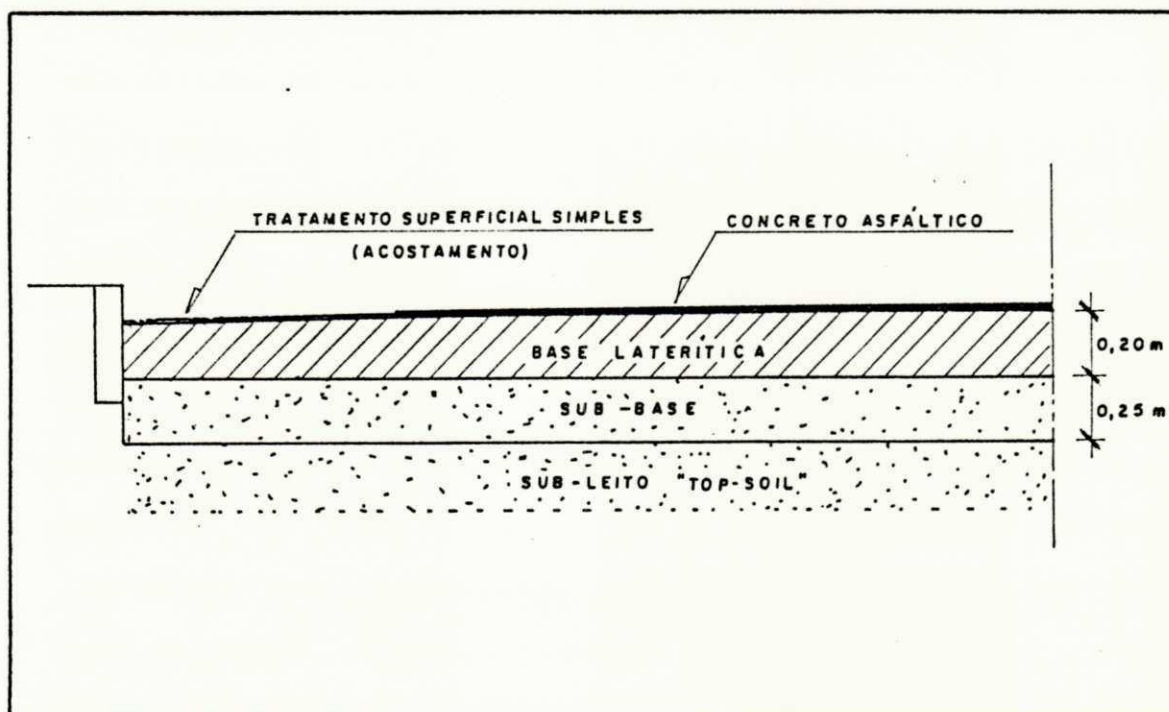
QUADRO 01 — PRINCIPAIS TIPOS DE MEDIDORES DE RUGOSIDADE COM RESPECTIVA UTILIZAÇÃO.

UTILIZAÇÃO	TIPOS DE EQUIPAMENTOS
AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO	PERFILOMETRO DE CHALDE MAYSMETER*
CONTROLE DE QUALIDADE DE CONSTRUÇÃO	PERFILOGRAFO RÉGUA MÓVEL MERLIN** INTEGRADOR IPR/USP**
LEVANTAMENTO DE CAMPO	RUGOSIMETRO BPR* "ROAD METER" PERFILOGRAFO
AVALIAÇÃO DO PERFIL LONGITUDINAL	SISTEMA DE PERFILAGEM SEM CONTATO PERFILÔMETRO RODOVIÁRIO GMR* RUGOSIMETRO BPR MODIFICADO

\* — EQUIPAMENTO UTILIZADO NO BRASIL ATÉ 1982

\*\* — EQUIPAMENTO UTILIZADO EM PESQUISAS RECENTES

QUADRO 02 — CARCTERIZAÇÃO DO TRECHO



baseado nos princípios de emissão e reflexão de raios laser, que operava a uma velocidade de 50 km/h com poder de resolução melhor do que 0,3 mm. Este equipamento registrava as ondulações de comprimento de onda até 100 metros.

Na Inglaterra os dois equipamentos mais utilizados para avaliação da rugosidade são o "Bump Integrator e a Régua Móvel". O primeiro é uma cópia do rugosímetro BPR e o segundo indica irregularidades na trilha da roda e é utilizado para medida de controle de qualidade de construção. Uma das principais vantagens deste equipamento é que seus dados podem ser correlacionados com medidas de equipamento mais sofisticados. Na província canadense de Saskatchewan, utiliza-se para medida de irregularidades o "Car Road Meter", também conhecido como "Pca Road Meter", cujo funcionamento é idêntico ao Maysmeter.

O Maysmeter, por sua vez, é um equipamento barato e relativamente simples. Os dados de irregularidades do pavimento são obtidos através de medição do deslocamento relativo entre a carroceria do veículo que o transporta e o seu eixo traseiro. O funcionamento do Maysmeter e do rugosímetro são praticamente os mesmos. No Maysmeter a quinta roda é substituída pelas rodas traseiras do veículo os amortecedores e molas do rugosímetro são, no Maysmeter, os amortecedores e molas do veículo. A massa rígida e pesada do rugosímetro, é substituída pela carroceria do veículo. No Brasil desde 1979, a COPPE (UFRJ) em convênio com o IPR/DNER, vem utilizando o rugosímetro BPR. As primeiras medições com este equipamento foram executadas em conjunto com os equipamentos do GEIPOT (Pesquisa IPR), entre eles: o perfilômetro, o Maysmeter, o rugosímetro TRRL. Este trabalho teve

orientação dos engenheiros Cesar Queiroz e Ernesto Preussler. Os resultados obtidos foram bastantes satisfatórios comprovando, assim, a eficácia e a utilidade deste equipamento.

Mais recentemente, em pesquisa realizada pelo DNER/PR (1987), foi utilizado um protótipo do Merlin, cuja concepção deveu-se ao TRRL. O Merlin mede a distorção vertical da superfície do pavimento sob a ponta de prova em relação aos pés do aparelho com o pavimento. Este equipamento apresenta as seguintes vantagens: baixo custo, facilidade de operação, ausência de componentes eletro-eletrônicos e não requer praticamente manutenção, da irregularidade é obtida utilizando-se 200 leituras em intervalos regulares para cada trecho escolhido. Seu rendimento é de 8 a 10km por dia. O Instituto de Pesquisas Rodoviárias e a Universidade São Paulo, sob a orientação do Professor Felipe Domingues (1987), desenvolveram um sistema de medidas de irregularidades tipo resposta. Este equipamento (integrador IPR/USP) conseguiu resultados bastante satisfatórios quando comparados com medidas feitas com o Maysmeter em levantamento feito na malha rodoviária do Rio de Janeiro.

### 2.3.3 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos

A avaliação estrutural de pavimentos vem sendo intensificada, ao longo do tempo, devido à necessidade de se ter conhecimento das características físicas e do comportamento dos materiais empregados na pavimentação (Os quais, essenciais para a previsão de vida útil do pavimento). "Em épocas anteriores, a previsão do comportamento dos pavimentos, tomado globalmente, e

a análise estrutural era fundamentada na experiência, observação visual e outros juízos subjetivos desenvolvidos, ao longo do tempo, em tentativas de melhoramento e correção de erros cometidos" (José E.M. Correia de Matos).

Com o passar dos anos, surgiu a medição das deflexões recuperáveis. Isto porque os métodos clássicos de dimensionamento de pavimentos (como por exemplo, o método do CBR) não levavam em conta a influência da deformação elástica no comportamento estrutural do futuro pavimento. Deformação essa, responsável por boa parte do aparecimento de trincas nos pavimentos. Maupin e Freeman (1976) definiram o fenômeno de fadiga nas misturas betuminosas de revestimento como: "A ocorrência de mudança estrutural (ou deformação permanente) localizada e regressiva em algum ponto ou em pontos dos materiais asfálticos, quando submetidos à certas condições de carregamento que produzam tensões e deformações reversíveis (ora tração, ora compressão) culminando em trincas ou ruptura após um número suficiente de aplicação destas tensões ou do carregamento".

A inclusão das medidas de deflexões recuperáveis como parâmetro indicador das condições estruturais dos pavimentos foi um passo muito importante no desenvolvimento e aprimoramento da avaliação estrutural dos pavimentos. Como consequência disto surgiu a necessidade do desenvolvimento de equipamentos destinados a tais tarefas, os quais, além de atenderem a necessidade primordial de medir as deflexões, tinham que ser viáveis do ponto de vista econômico e teórico.

Uma das primeiras tentativas de medição das deflexões recuperáveis foi realizada com o desenvolvimento do medidor elétrico (Califórnia, 1938) pela General Electric. Porém este aparelho apresentava um alto custo de instalação e grande lentidão de operação, sendo assim necessário, na época, o desenvolvimento de um equipamento mais versátil. Alheio aos avanços tecnológicos da época, A.C. Benkelman do BPR (Bureau of Public Roads), desenvolveu um equipamento simples e barato para medir as deflexões recuperáveis, o qual foi denominado de viga Benkelman. O desenvolvimento da viga Benkelman deu origem à produção de equipamentos mais sofisticados, tal como o Deflectógrafo "Lacroix", fabricado na França. Nos E.U.A., um equipamento semelhante foi desenvolvido pela Caltrans do Estado da Califórnia, baseado no mesmo princípio de funcionamento da viga Benkelman. Atualmente, os principais equipamentos utilizados na medida de deflexões recuperáveis, são: viga Benkelman, FWD (Falling Weight Deflectometer), Dynaflect, Road Reter. A viga Benkelman é um equipamento com o qual já se tem uma enorme tradição e experiência de uso na maioria dos países desenvolvidos, apesar de aparelhos com carga dinâmica, como por exemplo, o Dynaflect, estarem recebendo preferência de uso na maioria desses países. A simplicidade de operação e a fácil manutenção associadas a uma boa equipe de ensaio, torna a viga Benkelman um equipamento bastante solicitado por parte dos engenheiros e de grande confiabilidade nos resultados obtidos dos ensaios. Além disso, as tensões a que ficam submetidas as camadas componentes da estrutura do pavimento, quando ensaiadas, são as mesmas conseqüentes das

cargas reais aplicadas pelo tráfego. No caso da existência de materiais de Módulos de Resiliência sensíveis às tensões aplicadas, esse fator de reprodução de tensão é de grande importância. Esta reprodução de tensão, por exemplo, não ocorre com o Dynaflect, pois a força senoidal aplicada (cerca de 454 kgf de variação ponta a ponta com uma frequência de 8 ciclos por segundos) indica tensões bastantes inferiores às produzidas pelo tráfego.

Muitos pesquisadores e órgãos internacionais utilizam a viga Benkelman em seus trabalhos de avaliação, o que confirma a enorme tradição, experiência e confiabilidade neste equipamento. Na década de 50, a C.G.R.A. (Canadian Good Road Association), com o objetivo de julgar seus pavimentos, mediu a capacidade de carga da superfície do pavimento através da viga Benkelman. Em 1971, o TRRL (Transport and Road Research Laboratory) realizou, na África (Quênia), como parte do estudo que procurava correlacionar o estudo de pavimentos com o custo de transporte, as medidas de deflexão com a viga Benkelman utilizando metodologia inglesa, onde a determinação seguia as seguintes etapas: seleção de seção teste, determinação da subseção mais fraca, (neste local era determinado o valor do CBR "in situ"), levantamento da história de deterioração do pavimento com aplicação do tráfego da mesma forma que seria feito com a rugosidade, trilhagem, etc. Na província Canadense de Saskatchewan, as medidas de deflexão recuperáveis são feitas com a viga Benkelman. Kenji Himeno (1989) em avaliação feita das condições estruturais com pavimentos das ruas da cidade de Nagaoka (Japão) com o Nagaoka Kuab FWD (protótipo improvisado do Kuab FWD modelo 50), juntamente com a



viga Benkelman, obteve dados de leituras deflectométricas bastante semelhantes entre os dois equipamentos, o que confirma que, apesar do desenvolvimento de equipamentos mais sofisticados, a viga Benkelman serve de base teórica fundamental para tal desenvolvimento. No Brasil em publicação do DNER (1979), ficou explícito que a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis para fins de projeto de reforço, seria feita através da viga Benkelman com o eixo de 8,2t com rodas duplas, cujas medidas teriam correções sazonais dependendo do tipo de subleito e da estação do ano. O CPD/DER/PR (1983), em seu programa de acompanhamento de desempenho de pavimentos de baixo custo, vem utilizando uma viga Benkelman de relação de braços 2:1 e 4:1 para as determinações das deflexões recuperáveis, que são associadas ao estudo da superfície e ao número de repetições do eixo de carga para se traçar a história do Pavimento. Lucena (1988), atendendo a metodologia de trabalho de desempenho de trechos rodoviários pavimentados com solos lateríticos do Estado da Paraíba, efetuou medidas de deflexão recuperáveis de acordo com o método de ensaio do DNER-ME 24-78, com a viga Benkelman de alumínio.

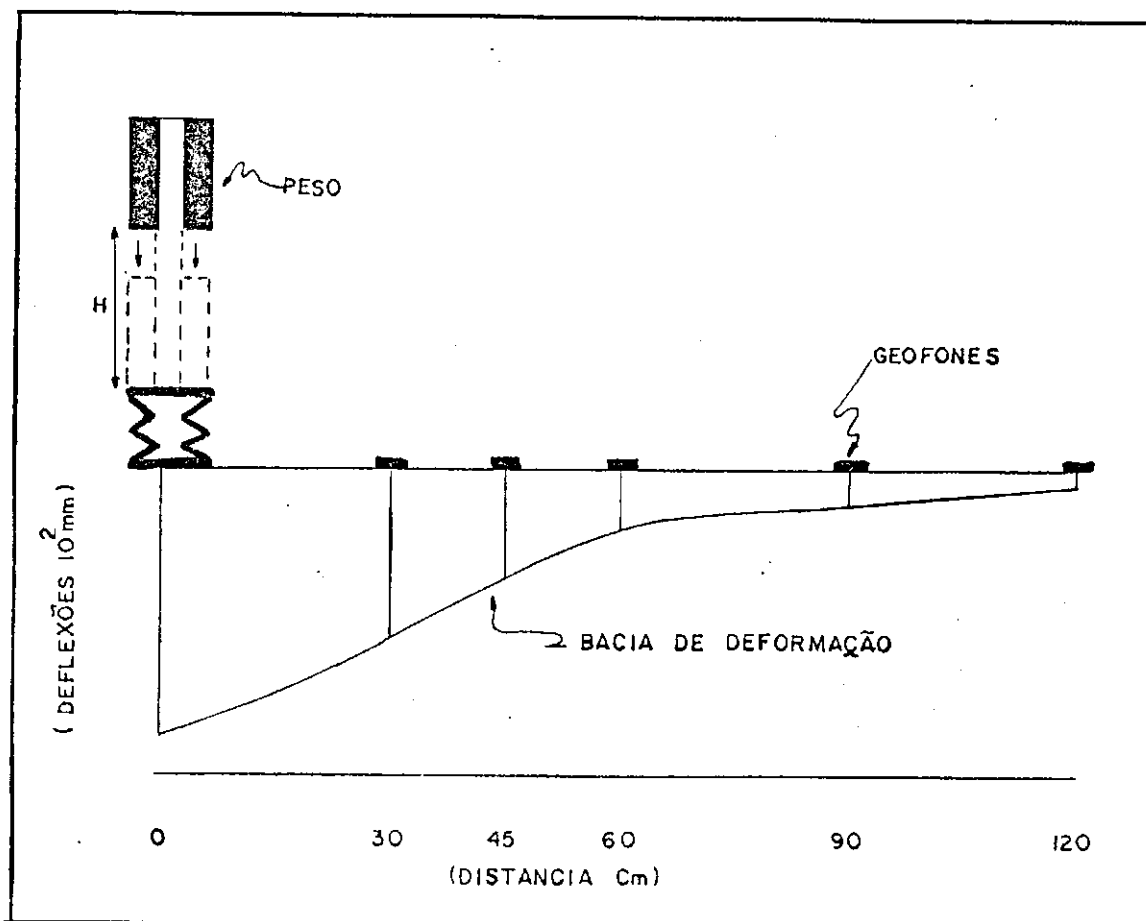
O FWD (Falling Weight Deflectometer) é um deflectômetro de impacto, projetado para simular o efeito da passagem de uma carga de roda à velocidade de 70Km/h no pavimento, o que é obtido pela queda de um conjunto de massas, a partir de uma altura pré-fixada, sobre um sistema de amortecedores de borracha, que transmite a força aplicada a uma placa apoiada no pavimento.

Os deslocamentos recuperáveis, gerados na superfície do pavimento (Bacia de Deformação), são medidos por sete geofones instalados ao longo de uma barra metálica (Figura-02).

Euvaldo D. Fabbro et alii (1991) cita as principais vantagens do Falling Weight Deflectometer (FWD), que são: grande acurácia na medida das deflexões, possibilidade de aplicação de vários níveis de carga em um mesmo ponto; pequena dispersão das medidas; rapidez e facilidade de operação; medida e registro automático das temperaturas do ar e da superfície do pavimento; além das distâncias percorridas entre os pontos de ensaio, redução da necessidade de coleta de amostras para ensaios laboratoriais. Além disso, é um equipamento, dentre aqueles para ensaio não destrutivos em pavimentos, que melhor simula as deflexões produzidas pelas cargas de roda em movimento, o que evita de se fazer extrapolações indesejáveis acerca dos parâmetros de resposta estrutural do pavimento.

Outro equipamento de uso muito frequente e que já foi citado anteriormente é o Dynaflect. O Dynaflect é um equipamento de carga dinâmica que opera em frequência fixada. Algumas publicações de uso deste aparelho datam de mais de 18 anos. Em termos de utilização, este equipamento perde apenas para a viga Benkelman (mais de 40 anos de uso). Segundo Washeed e W. Ronald Hudson (1989) as principais vantagens do Dynaflect são: é um equipamento que pode ser utilizado para todos os tipos de teste de pavimentos, o preço é relativamente baixo, quando comparado com outros aparelhos de carga dinâmica, as medidas de deflexão são efetuadas em vários pontos sob a superfície do pavimento, tornando este aparelho mais versátil quando comparado com outros

FIGURA 02 ENSAIO DEFLECTOMÉTRICO COM O FWD



aparelhos que medem apenas a deflexão máxima.

Atualmente, vários pesquisadores vem utilizando, como parâmetros de avaliação estrutural de pavimentos flexíveis, os Módulos Elásticos das camadas, determinados via computador (Elsym5,1987) através da retroanálise das "Bacias de Deformação", determinadas pelos ensaios deflectométricos (viga Benkelman; FWD; etc).

Euvaldo et alli (1991) considera que em um sistema estratificado, composto por "n" camadas elasticas, atribuindo-se valores aos módulos de elasticidade e aos coeficientes de Poisson das camadas individuais, de espessura conhecidas, e submetendo-o a um determinado carregamento de superfície, resulta numa "Bacia de Deformação" definida como a linha que descreve os deslocamentos verticais na superfície. Para execução desse cálculos existem vários programas computacionais, os quais se destacam: Elsym5 (considerando o método das diferenças finitas); Fepave2 (considerando o método dos elementos finitos) e o Mecaf3d (considerando o método das camadas finitas).

Dentre os três programas citados (Elsym5; Fepave2; Mecaf3d), o Elsym5 se destaca em utilização no Brasil para a realização da retroanálise, objetivando a determinação dos Módulos de Elasticidade das camadas do pavimento. O Elsym5 é um programa em linguagem Fortran, desenvolvido na Universidade da Califórnia-Berkeley e utilizado para calcular tensões, deformações e deslocamentos num sistema tridimensional de camadas elásticas. A versão para microcomputador do Elsym5 foi patrocinada pelo Department of Transportation-Federal Highway Administration (Elsym5, 1987 - FHWA)

Os dados de entrada do programa são: propriedades das camadas - mínimo de uma e máximo de cinco (espessura, coeficiente de Poisson e módulo de Elasticidade); carregamento (até 10 superfícies circulares e idênticas carregadas uniformemente, perpendiculares à superfície do pavimento); coordenadas para determinação das tensões, deformações e deslocamentos (podem ser definidos previamente até 100 pontos).

O sistema assume que cada camada é composta de um material homogêneo, isotrópico, sem peso e elástico. Cada camada tem espessura uniforme e é infinita nas direções horizontais. A camada elástica da base do sistema (subleito) pode ser infinita com espessura ou não (neste caso, o sistema assume base do sistema rígido). As interfaces das camadas são perfeitamente atritivas ("rugosas") e a superfície do sistema é livre de esforços cisalhantes.

#### 2.3.3.2 - CRITERIOS DE ESCOLHA DO TIPO DE EQUIPAMENTO A SER UTILIZADO NA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS

A avaliação de pavimentos, especificamente a avaliação estrutural, necessita de critérios que estabeleçam ou não a escolha de certo tipo de equipamento ou metodologia a ser utilizada. Esses critérios devem abranger de forma precisa o objetivo a ser alcançado, de forma que se possa escolher o equipamento e metodologia ideais que correspondam ao propósito da avaliação. Com isso pode-se até classificar os equipamentos segundo a sua utilização. Os franceses, por exemplo, classificam os equipamentos destinados à medição de deflexões em três

classes: a) equipamentos fixos; b) equipamentos de uso intermitente; c) equipamentos de uso contínuo. Equipamentos fixos são os instalados no pavimento por ocasião da construção da rodovia e denominados de transdutores de deflexão. Equipamentos de uso intermitente são os baseados em princípios mecânicos ou óticos dos quais o mais divulgado no Brasil é a viga Benkelman. Equipamentos de uso contínuo, são os que registram a deformação da superfície do pavimento (Deflectômetro de "Lacroix", Deflectôgráfo "LINEC". Em pesquisa realizada pelo IPR/DNER, onde foram avaliados estruturalmente dois trechos da rodovia BR-040, Estado do Rio de Janeiro, foram adotados os seguintes critérios de avaliação: a) Trabalhos de campo - avaliação expedita de pavimentos, pelo método desenvolvido pelo Eng. Armando Martins Pereira (1972), em que se analisam defeitos de superfície, como trincas, afundamentos, desgastes, exudações, remendos e outros; determinando-se um parâmetro numérico denominado Índice de Severidade, que reflete o estado do trecho considerado. Medidas de deflexão, dando ênfase ao traçado de deformação da superfície, para amostragem dos materiais das diversas camadas e determinação da densidade "in situ" e umidade natural, coleta de dados referentes ao tráfego; b) Trabalhos de laboratórios - os trabalhos de laboratórios consistiram, basicamente, de ensaios triaxiais de carga repetida com solos da base, sub-base e subleito e ensaios de compressão diametral (tração indireta) sob ação de carga repetida de amostras do revestimento betuminoso para determinação do Módulo Resiliente destes materiais e verificação dos fatores que afetam, significativamente, o seu valor.

Michael J. Darter et alli (1976) em estudo feito em 18 pavimentos flexíveis localizados em nove Estados norte-americanos, classificou os principais tipos de fadiga como sendo: a) trincas interligadas (trincas de jacaré), tendo como causas principais, a perda de suporte e estrutura inadequada; b) baixa temperatura; c) trincas longitudinais, causada por falta de prática na construção de juntas; d) Sulcos, causados pela deformação permanente. Neste estudo a metodologia usada para determinação dos parâmetros indicadores de fadiga no pavimentos foram: a) determinação do módulo resiliente e coeficiente de Poisson; b) análise da curva de fadiga (tensão versus aplicação de carga) desenvolvido por Edwards e Valverring.

Salomão Pinto (1979) afirma que: "Além da determinação da deflexão reversível, medida normalmente nos ensaios convencionais tipo descarga, a experiência tem mostrado que o valor isolado desse parâmetro nem sempre explica o comportamento estrutural dos pavimentos, tornando-se portanto necessário determinar outros parâmetros que associados às deflexões forneçam informações sobre o estado do pavimento". Com base nesta afirmação, o autor procurou correlacionar medidas de deflexões com a viga Benkelman com medidas de flechas de deformação da superfície do pavimento, que permite a verificação da aptidão do pavimento em receber e distribuir as cargas para as camadas inferiores. Com base nos resultados, o autor teceu algumas conclusões muito promissoras de grande importância no estudo de pavimentos, que são: a) parece ser possível apreciar, através de uma avaliação, as deflexões reversíveis máximas pela medição no meio da base do curvímeter; b) a experiência adquirida, até o momento, conduziu à proposição

de uma metodologia de ensaio e a prosseguir os estudos, não só em pavimentos flexíveis, como também em pavimentos rígidos, dado o interesse prático e as possibilidades de serem definidos parâmetros que indiquem, em uma avaliação expedita, o estado estrutural do pavimento. A medição de duas flechas e curvaturas é possivelmente, uma via de observação encorajadora; c) os estudos mostraram, sobretudo, a possibilidade de diferentes comportamentos.

#### 2.4 - HISTORICO DA ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DO ENSAIO PRESSIOMETRICO NA PAVIMENTAÇÃO

O ensaio pressiométrico é um ensaio "in situ" de tensão x deformação realizado nas paredes de um furo, através da introdução de uma sonda cilíndrica que é expandida radialmente.

A origem do ensaio pressiométrico deve-se ao engenheiro alemão Koyler que, por volta de 1930, para medir as propriedades de deformação do solo, através da aplicação de pressão, criou uma sonda cilíndrica de 1,25m de comprimento e 0,1m de diâmetro presa em suas extremidades por um disco de metal. Porém os resultados obtidos eram de difícil interpretação (Baguelin et alii, 1978).

Em 1954, o engenheiro civil Louis Menard criou um equipamento ao qual denominou de Pressiômetro, tendo sua utilização em projetos de fundações superficiais e profundas. Com o passar dos anos até os dias atuais, foram desenvolvidos ou adaptados vários tipos de pressiômetros para projetos de fundação, os quais estão inseridos dentro de três categorias: pressiômetro de Menard (versão original ou dele adaptado), pressiômetro auto-perfurante



e o pressiômetro de penetração.

Em 1976 J.L. Briaud, na Universidade de Ottawa (Canadá), estudou a possibilidade de aplicação do pressiômetro no projeto de pavimentos de aeroportos como forma de substituir o ensaio de prova de carga sobre placa por um ensaio mais econômico e de fácil execução, capaz de fornecer parâmetros geotécnicos para projetos de novas pistas aeroportuárias e para avaliação das pistas existentes, sendo assim desenvolvido o pressiômetro de pavimentação.

Em 1980 Briaud e Lytton, no Texas, estudaram a viabilidade de aplicação do pressiômetro no projeto de pavimentos rodoviários através do Texas Department of Highway and Public Transportation, com resultados altamente satisfatórios. Em 1990, Briaud, Consentino e Terry correlacionaram os resultados de ensaios pressiométricos com os resultados de leituras deflectométricas obtidas com F.W.D. (Falling Weight Deflectometer) e ensaios triaxiais cíclicos realizados nos aeroportos de College Station, San Antonio e Possum Kingdon, onde obtiveram ajustagens bastante significativas entre os parâmetros estruturais obtidos com os ensaios realizados.

Lucena et alii (1988), têm desenvolvido vários trabalhos relacionados com aplicação do pressiômetro de Briaud na pavimentação rodoviária e na engenharia de fundações, obtendo ajustagens significativas entre o módulo de reação do subleito e a capacidade de carga determinada através do ensaio de placas com a pressão limite determinada com pressiômetro de Briaud.

O pressiômetro utilizado em nossa dissertação foi o pres-

siômetro de pavimentação desenvolvido no Canadá por Briaud e Shields (1979) e que tem motivado várias pesquisas naquele país. Este equipamento nos permitiu a obtenção do Módulo Pressiométrico e o Módulo Pressiométrico de Recompressão, parâmetros indicadores de deformação.

## 2.5 - UTILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS NA PAVIMENTAÇÃO BRASILEIRA

Como sabemos, os solos lateríticos e sub-tropicais cobrem aproximadamente uma rede de 28 milhões de quilômetros quadrados. isto é, cerca de 19% da superfície da terra (Pelo menos 66% desta área corresponde a "solos vermelhos tropicais) (Lucena,1982).

No Brasil, conforme se tem conhecimento, existem grandes áreas cobertas por solos que são produtos de diferentes graus de intensidade do processo de laterização. Dai porque os problemas de desenvolvimento e integração, envolvendo uma diversificada gama de obras de engenharia, abrangem de maneira mais acentuada a rede rodoviária nacional.

Contudo, as especificações que regem o uso dos solos na construção rodoviária, como se sabe, foram baseadas em solos de clima temperado, acarretando, assim, grandes problemas no que diz respeito ao enquadramento dos solos lateríticos nas especificações atuais. Sendo necessário, e já sob objeto de estudo, normas específicas para este tipo de solo.

Santana (1976) lista as principais anomalias que os solos lateríticos apresentam em relação às especificações do DNER (ASSHTO) para base granular, que são:

1.0 - Granulometria fora das faixas, ou por falta de fração entre as peneiras nº 10 e nº 40 (areia grossa), ou por excesso na peneira nº 200 (excesso de finos)

2.0 - IP (índice de plasticidade) maior que 6 e LL maior que 25.

3.0 - Equivalente de areia menor que 20.

Meireles (1971), em Lima (1983), enumera algumas tendências dos solos lateríticos quando submetidos ao aumento do número de golpes no ensaio de compactação; características, segundo o autor, da natureza friável das lateritas. Essas tendências são as seguintes: a) Menores dimensões das partículas de solo; b) Aumento no teor da fração tamanho argila; c) Menores índices de consistência; d) Aumento nos índices de plasticidade e e) Menor índice de contração.

Fernando E. Barata (1981) procurando esclarecer a origem dos primeiros estudos sobre os solos lateríticos afirma que: "Talvez uma das primeiras tentativas de conhecimento dos solos tropicais tenha sido durante a 2ª guerra (1938-1945), em decorrência da construção de aeroportos militares a cargo de engenheiros americanos, principalmente no pacífico, assim como no norte e nordeste do Brasil (Belém, Natal e Recife).

Por ocasião dos trabalhos da comissão do DNER, em 1972/74, foi realizado um levantamento da experiência brasileira com relação à utilização da laterita na pavimentação. Constatou-se que havia experiência na utilização de solos lateríticos nos seguintes Estados: Amazonia, Pará, Maranhão, Minas Gerais, Piauí, Alagoas, Paraíba, Bahia, Rio de Janeiro, Ceará, Goiás,

Mato Grosso, Paraná, Distrito Federal, Acre, Rondônia, Amapá e Roraima.

Historicamente, as primeiras experiências pessoais, relatadas neste trabalho, datam de 1953 no Pará e Maranhão. Em 1972, a pavimentação da rodovia Belém-Brasília e as obras da Transamazônica concentraram as atenções no que diz respeito às lateritas (cascalho), porém, chegou-se a conclusão que maior e mais variada, até a data de publicação desse trabalho, parecia ser a experiência do Estado de Goiás.

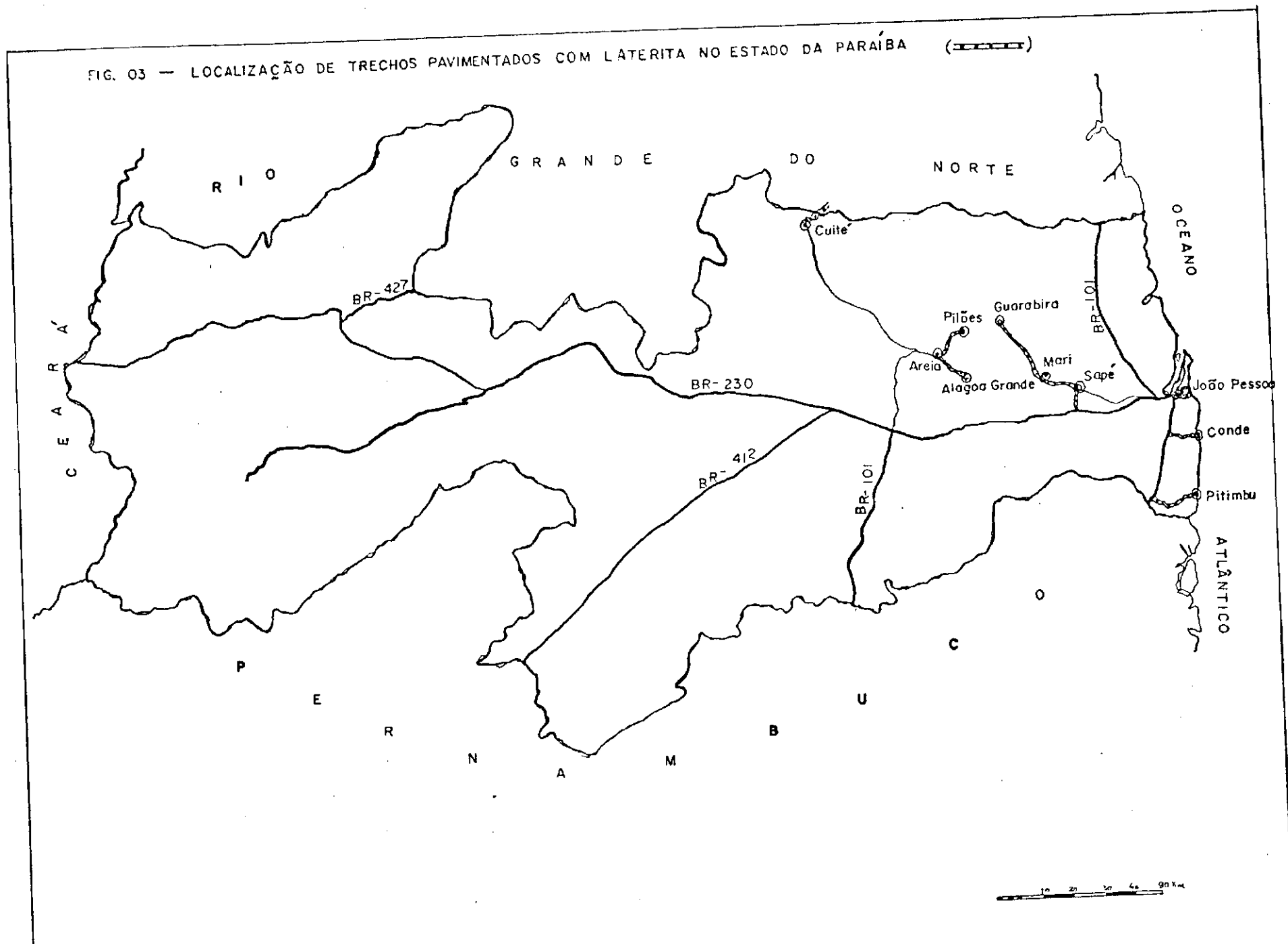
De acordo com o segundo relatório nacional sobre conservação e restauração de rodovias, publicado pela Associação Brasileira de Departamentos Estaduais Estradas de Rodagem (1987), observou-se que em 94,9% das rodovias pavimentadas no centro-oeste, foram empregadas como material de base e sub-base as concreções lateríticas de diversos tipos de formação. Especificamente no Distrito Federal, constatou-se que 100% de suas rodovias foram pavimentadas com concreções lateríticas, inclusive o Aeroporto Internacional de Brasília.

Especificamente no Estado da Paraíba, a Universidade Federal da Paraíba (Campus-II, Campina Grande) vem realizando desde 1972 todo um trabalho de pesquisa, através de seus mestrandos na área de concentração em geotecnia, com o apoio da Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior (ATECEL), visando estabelecer o conhecimento das características físicas, químicas, mineralógicas e físico-químicas, das jazidas lateríticas locais e de jazidas de estados adjacentes, bem como o estudo do comportamento dos solos lateríticos utilizados na rodovias estaduais. Os principais trechos rodoviários pavimentados na

Paraíba com solos lateríticos estão apresentados na Figura 03.

Murilo L. de Souza et alli (1984) em seu trabalho "Utilização de Materiais Lateríticos na Construção de Pavimentos no Brasil" conclui que se torna necessário o acompanhamento sistemático do desempenho destes pavimentos para que seja possível um melhoramento nas especificações destes materiais para construção de bases e sub-bases.

FIG. 03 — LOCALIZAÇÃO DE TRECHOS PAVIMENTADOS COM LÁTERITA NO ESTADO DA PARAÍBA (-----)



## CAPITULO III

### MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 - Introdução

Este capítulo descreve os Materiais e Métodos utilizados nesta pesquisa. Quando se tratar de método normalizado será feita apenas a sua citação. Para os demais casos, o desenvolvimento dos ensaios será descrito com os detalhes adequados.

A estruturação dos sub-itens a serem apresentados neste capítulo, para uma melhor compreensão, será feita da seguinte maneira:

- Caracterização do Trecho
- Métodos de Ensaios
  - Introdução
  - Ensaio Deflectométrico
    - Metodologia
  - Ensaio Pressiométrico
    - Descrição
    - Metodologia
  - Ensaios Físicos (Caracterização e Resistência)
    - Granulometria dos Agregados
    - Índice de Suporte Califórnia (ISC)
    - Limite de Liquidez
    - Limite de Plasticidade

- Análise Estatística dos Dados
  - Introdução
  - Estudo das Correlações Entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos e os Parâmetros Estruturais Pressiométricos
    - Critério de Correlação
    - Correlações Propostas
  - Análise Estatística dos Parâmetros Estruturais Deflectométricos
    - Metodologia

### 3.2 - Caracterização do Trecho

Trecho - Sapé/Guarabira - PB - 055

#### 3.2.1 - Introdução

Para desenvolvimento desta pesquisa foi selecionado um trecho rodoviário no Estado da Paraíba, (Sapé/Guarabira-Pb-055) cujo critério de seleção foi a utilização, como material de base, os solos lateríticos encontrados em jazidas locais.

O trecho Sapé/Guarabira encontra-se entre os municípios de Sapé, Mari e Guarabira, localizados no brejo Paraibano, mais precisamente a 63 km da capital João Pessoa. A execução do mesmo se deu no ano de 1972 com objetivo de escoamento da produção agrícola abundante na região, e a viabilidade do transporte rápido e comodo para a população existente nela situada Figura 04.



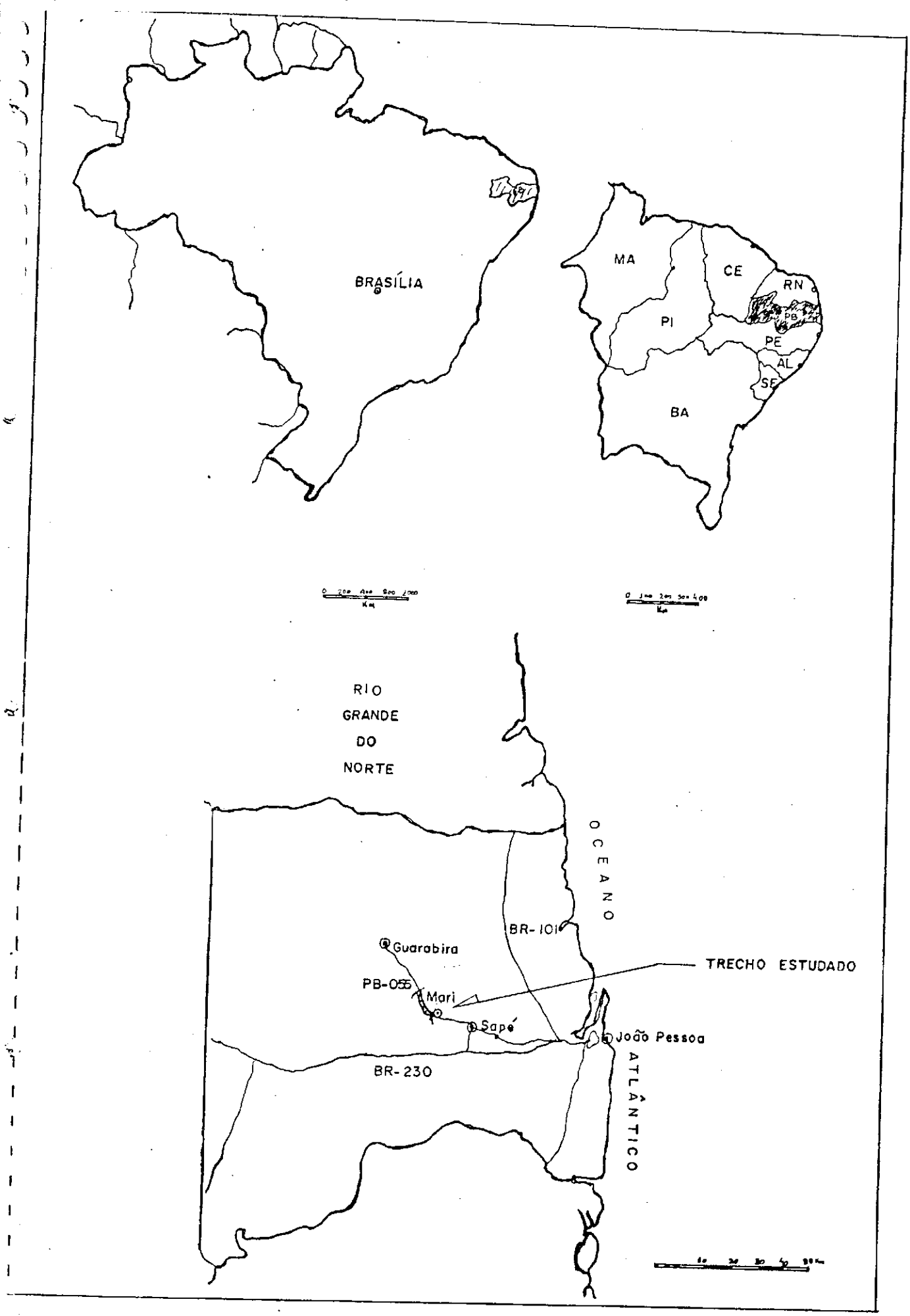


FIG. 04 — LOCALIZAÇÃO DO TRECHO RODOVIÁRIO ESTUDADO

O trecho estudado é composto de um revestimento em CBUQ, com base em solo laterítico, com espessura variando entre 15 a 25 cm com uma extensão total de 7.0 Km, sub-base e subleito em top-soil (Quadro 02).

3.2.2 - Características da jazida Sapé/Mari utilizada na construção da base.

#### 3.2.2.1 - Localização

A jazida Sapé/Mari esta localizada na margem direita da rodovia PB-055, a 6 Km da cidade de Mari, no sentido Sapé-Mari.

#### 3.2.2.2 - Formação Geológica

A jazida esta inserida na formação barreiros. Esta formação é constituída de sedimentos poucos consolidados, de estratificação predominantemente horizontal, afossilíferos, apresentando sedimentos areno-argiloso, argila de coloração variada, intercalada muitas vezes por camadas de seixos rolados e concreções lateritas. Esta formação e datada do terciario (Sudene - 1972).

#### 3.2.2.3 - Pedologia

De acordo com o "mapa exploratório-reconhecimento de solos" do Estado da Paraíba, do Ministério da agricultura, o solo da região é classificado como PV6 (Podzólico vermelho amarelo) com a proeminente textura argilosa. ( Sudene, 1972).

#### 3.2.2.4 - Clima e Precipitação

Bioclimaticamente segundo a classificação de Garssen, pode-se classificar a região onde esta a jazida Sapé/Mari como sendo xerotérica, sub-grupo meso-mediterrâneo de caráter atenuado (3cth), denominado no Brasil como mediterrâneo ou Nordeste quente de seca atenuada, com índice xerotérmico variando de 40 a 100, apresentando de 3 a 4 meses de secas. A precipitação anual média na região é de 1100mm (Sudene, 1972).

#### 3.2.2.5 - Composição Mineralógica

As análises mineralógicas ( composição química, difração de Raios-x, microscopia eletrônica e análise térmica indicam que a amostra analisada da jazida é constituída por: Caulinita; Quartzo, goetita; anatasio e matéria orgânica (Ferreira e Lucena, 1984)

#### 3.2.2.6 - Caracterização da Jazida Sapé/Mari

A análise granulométrica da amostra proveniente da jazida Sapé/Mari encontra-se inseridas no Quadro-2.1. Juntamente, a classificação segundo a Highway Research Board (HRB), Sistema Unificado de Classificação (USC), classificação de Skempton, Limites de atterberg (LL;LP), Índice de Suporte Califórnia (ISC), Constituintes Amorfos e Composição Química (Lima, 1983).

QUADRO 2.1

GRANULOMETRIA: JAZIDA SAPE/MARI

#	19	9,5	4,8	2,0	0,42	0,074	0,05	0,002	LL%	LP%	IP%
ZPAS.100	86,5	69,9	50,3	33,6	16,0	12,6	6,7	34,5	25,6	8,9	

CONSTITUINTES AMORFOS PRESENTE NOS SOLOS DA JAZIDA SAPE/MARI

% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
11,6	4,79	3,45

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA JAZIDA SAPE/MARI

% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
24,53	16,87	43,48

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA JAZIDA SAPE\MARI

% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
24,53	16,87	43,88

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (ISC)

Energia	D <sub>máx</sub>	Unidade Ótima	ISC
Normal	1805	20,4	16,2
Intermed	1840	19,2	30,2
Modificado	1913	17,4	53,0

IG = 0

HRB = A = 2-4

USC = SC

SKEMPTON = SL

### 3.3 - METODOS DE ENSAIOS

#### 3.3.1 - Introdução

Os ensaios realizados nesta pesquisa foram os seguintes: Ensaio deflectométrico, com a viga Benkelman de alumínio com relação de braços 4:1; Ensaio pressiométrico, com o pressiômetro de pavimentação desenvolvido por Briaud e Shields (Canadá - 1979) e ensaios de caracterização e de resistência do subleito (granulometria, LL, LP e CBR).

#### 3.3.2 - ENSAIO DEFLECTOMETRICO

##### 3.3.2.1 - Metodologia

A metodologia utilizada para o ensaio deflectométrico foi a metodologia não destrutiva, através da interpretação das Bacias de Deformação, desenvolvida pelos professores João Manescal Fabricio, Edmar Azevêdo Gonçalves e Olavo F. Fabrício, compreendendo as seguintes etapas de trabalho: (Fabricio et alii (1988).

- a) Medidas de deflexões para obtenção da Bacia de Deformação;
- b) Ajustamento matemático das medidas para definição da equação para Bacia de Deformação;
- c) Interpretação da Bacia de Deformação, para a avaliação estrutural do pavimento, através dos parâmetros calculados.

#### a) Medidas de deflexões

As medidas das deflexões recuperáveis para obtenção das "Bacias de Deformação", foram executadas de acordo com os métodos usuais (DNER - ME 24/78, DNER - ME 61/79, DNER - PRO 10/79, DNER - PRO 11/79) procurando-se obter além da medida inicial correspondente, a carga aplicada na ponta de prova da viga, cerca de três a cinco medidas suplementares, correspondentes aos deslocamentos da carga do ponto inicial até uma distância de 10,0 metros (Quadro 03).

#### b) Ajustamento Matemático das Medidas de Deflexão

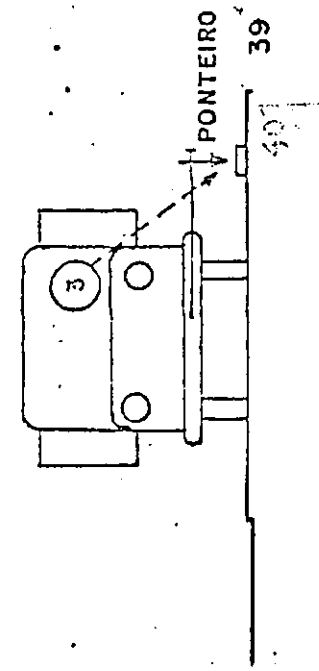
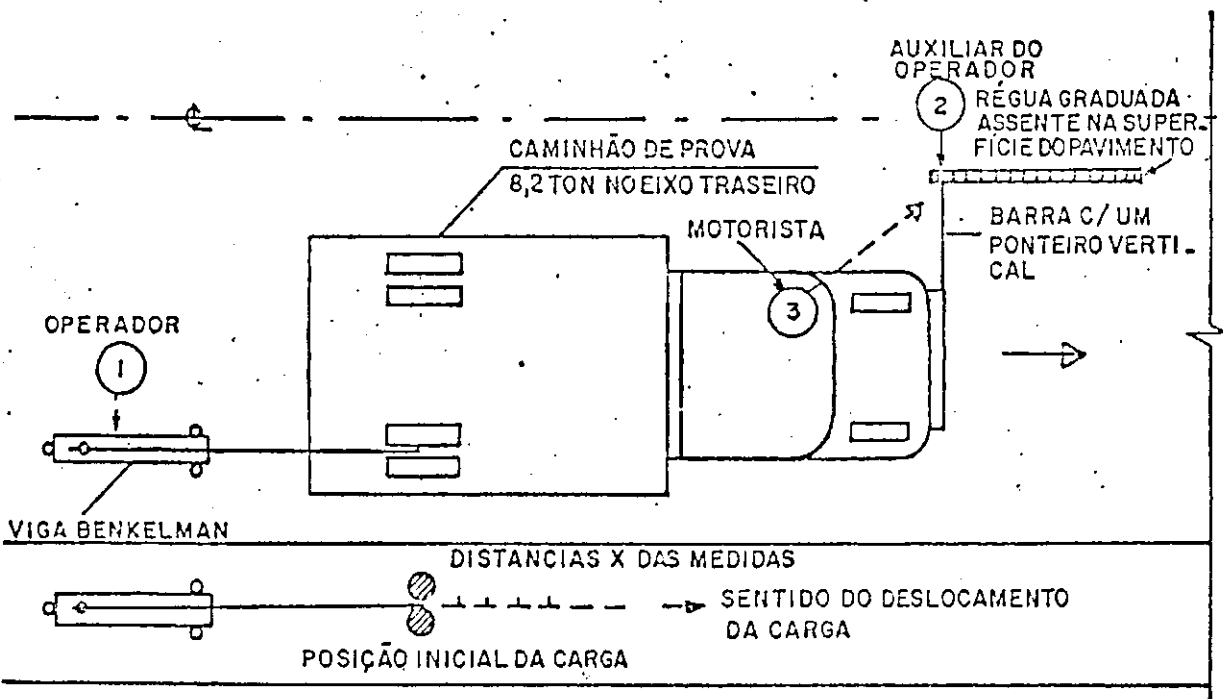
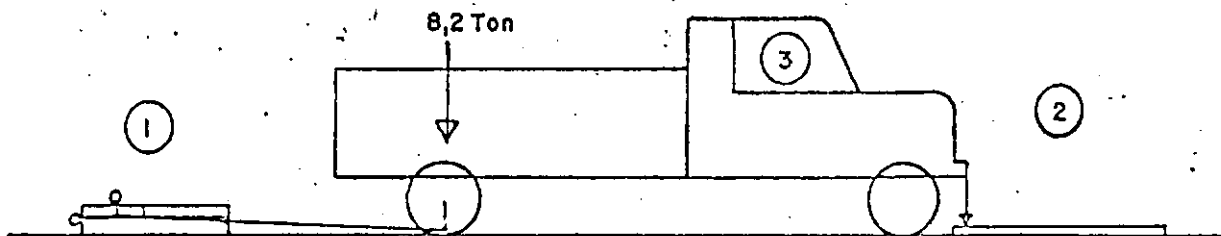
As medidas de deflexão, para obtenção das Bacias de Deformação, foram ajustadas de acordo com o esquema mostrado no Quadro 04.

#### c) Interpretação das Bacias de Deformação, Através dos Parâmetros Calculados

A forma das "Bacias de Deformação", obtidas de acordo com a metodologia adotada, é uma consequência não só do carregamento imposto à superfície do pavimento, como também de suas características estruturais, tais como: espessura, módulos de elasticidade etc...

Durante o carregamento, a zona submetida aos esforços no interior do pavimento vai se alargando em função das características de cada camada. Desta maneira, a deflexão medida no centro de aplicação da carga é dependente das características

# ESQUEMA DO PROCEDIMENTO DE MEDIDAS DE DEFLEXÕES PARA A DETERMINAÇÃO DAS BACIAS DE DEFORMAÇÃO



de toda a estrutura do pavimento. Porém, aquela medida a uma distância suficientemente afastada deste ponto dependerá apenas das características do subleito. Evidentemente as deflexões medidas em distancias intermediarias dependerão das características das demais camadas do pavimento como a base e a sub-base. Essa evidência também é observada por Eivaldo D. Fabbro et alli (1991): "As deflexões nos pontos mais afastados da carga são afetadas apenas pelas camadas mais profundas do pavimento".

O Quadro 04 apresenta os diversos parâmetros de avaliação das "Bacias de Deformação", juntamente com suas formas de cálculos.

\*\* As principais observações e informações desses parâmetros são as seguintes:

c.1 - Raio de Curvatura e Produto RD ( $R_1$ ,  $R_2$ , RD)

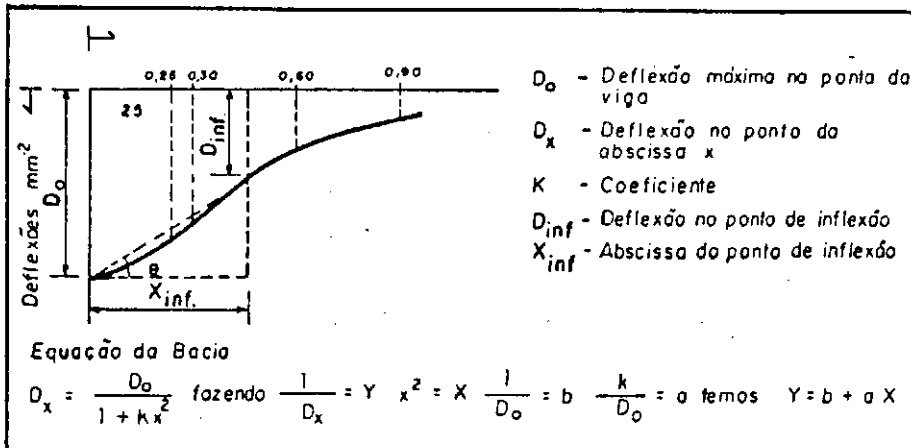
O Raio de curvatura foi introduzido pelo DNER no método PRO - 11/79 como sendo um dos indicadores para avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, valores de R menores que 100 são correspondentes a pavimentos com problemas estruturais nas camadas superiores, ao passo que valores maiores são representativos de estruturas com boa qualidade.

Quanto ao Produto RD, estudos realizados na França mostraram que se considerarmos um pavimento flexível convencional (REV + base granular + sub-base granular), de espessura total da ordem de 25 a 50 cm, como sendo um sistema elástico de duas camadas, em que a primeira camada seria o pavimento como um todo, com módulo de elasticidade  $E_1$  e carregado conforme o esquema do (Quadro 05), verifica-se que: A avaliação  $E_1/E_2$  estaria muito bem



QUADRO 04

BACIA DE DEFORMAÇÃO



PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA BACIA

DENOMINAÇÃO	UNID.	SÍMBOLO	FÓRMULA
Raio de Curvatura (Círculo Osculador)	m	$R_1$	$R_1 = \frac{b^2}{2a}$
Raio de Curvatura (Adotado pelo DNER)	m	$R_2$	$R_2 = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$
Produto Rd	-	Rd	$Rd = R_1 D_0^{0.9} R_2 D_0$
Índice de Curvatura Superficial	mm <sup>-2</sup>	ICS	$ICS = D_0 - D_{30}$
Índice de Curvatura da Base	mm <sup>-2</sup>	ICB	$ICB = D_{60} - D_{90}$
Índice de Destruição da Base	mm <sup>-2</sup>	IDB	$IDB = D_{30} - D_{60}$
Inclinação da Deflexão	-	ID	$ID = \text{tg} \frac{D_0 - D_{60}}{60.000}$
Inclinação da Deflexão (Pt. Inflexão)	-	$ID_{inf.}$	$ID_{inf.} = \text{tg} \frac{1}{45} \sqrt{\frac{3a}{b}}$
Abscissa do Ponto de Inflexão	m	$X_{inf.}$	$X_{inf.} = \sqrt{\frac{b}{3a}}$
Achatamento da Bacia	-	A	$A = \frac{D_0 + D_{30} + D_{60}}{3D_0}$

expressa por este produto.

O valor de  $R_d$  menor do que 5500 está associado a pavimentos poucos espessos ou poucos resistentes e em mau estado, ao passo que valores médios de  $R_d$  maiores do que 10000 são indicativos de pavimentos espessos de camadas pré-misturados betuminosos ou camada estabilizada com ligantes hidráulicos.

### c.2 - Índice de Curvatura Superficial (ICS)

O ICS é um indicativo da resistência das camadas superiores do pavimento (R + B) relativamente à resistência das camadas inferiores. Isto é, quanto menor for o valor de ICS tanto menor será a contribuição dessas camadas para a deflexão total ( $D_o$ ) observada na superfície do mesmo.

Valores de ICS maiores de  $25\text{mm}^{-2}$  estão associados à camadas superiores do pavimento pouco resistentes, de pequenas espessuras, e a valores de R (Raio de Curvatura) próximos a 100 m ou menores.

O ICS está inversamente relacionado com a rigidez total do pavimento, isto é, quanto menor o seu valor mais rígido é o pavimento.

No diagnóstico de comportamento de um pavimento flexível, o ICS pode indicar se as causas das deficiências observadas podem ser primeiramente, atribuíveis às camadas de revestimento e as da base do mesmo.

### c.3 - Índice de Curvatura da Base (ICB)

O Índice de curvatura da base (ICB) é um indicativo da resistência do subleito do Pavimento. O valor do mesmo varia

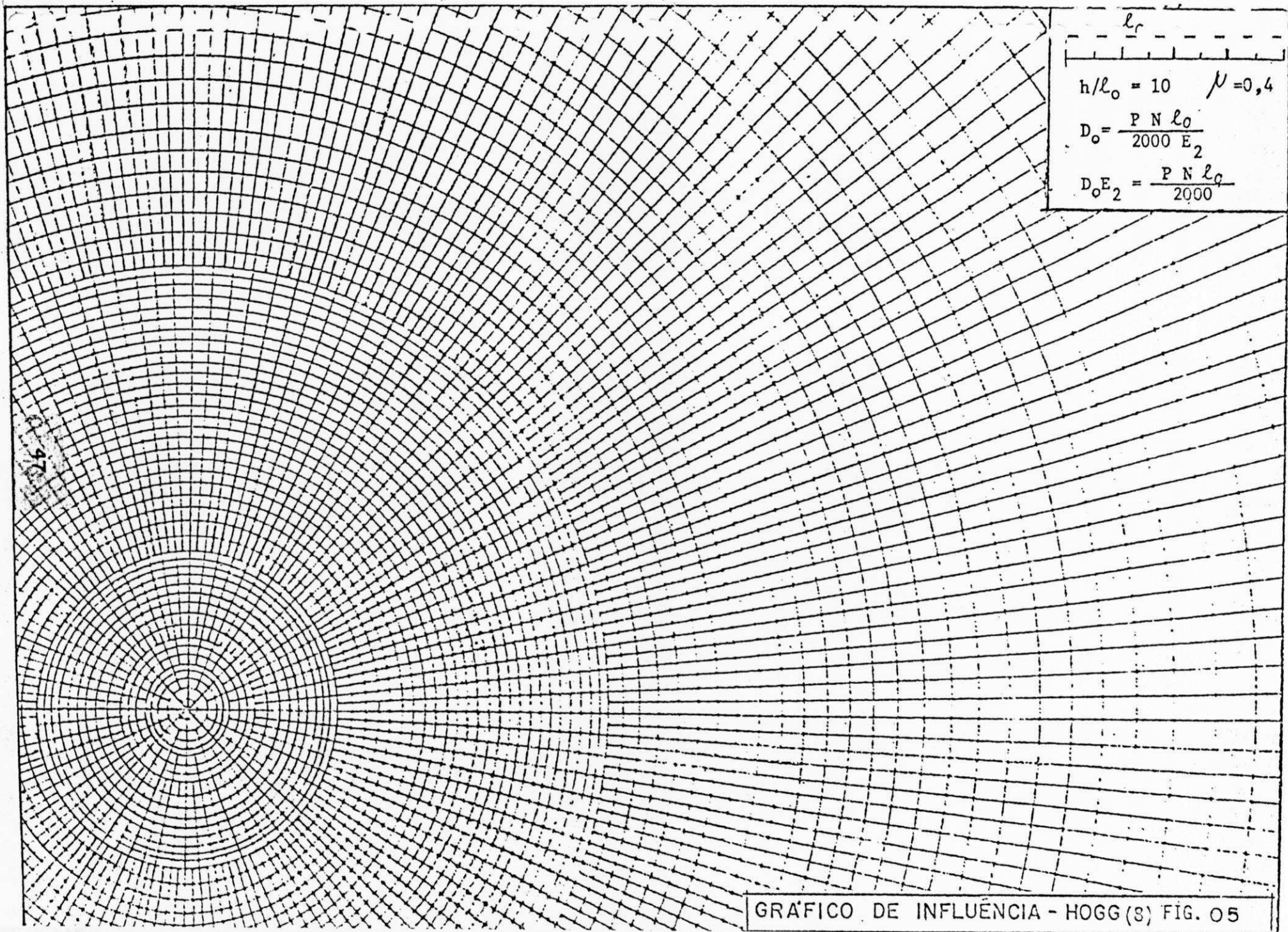


GRÁFICO DE INFLUÊNCIA - HOGG (8) FIG. 05

O Nomograma das Figuras 08 e 09, através dos seus desenhos ou de sua fórmula, possibilita o cálculo dos seguintes dados uma vez que se tenha realizado as medições deflectométricas para obtenção das Bacias de Deformação:

Comprimento Característico -  $l_0$

Elasticidade do Subleito -  $E_2$

A avaliação do Índice de Suporte Califórnia" a partir do módulo de elasticidade  $E_2$  é feito por uma relação do tipo:

$$ISC = E_2/K$$

onde: ISC - Índice de Suporte Califórnia;  
 $E_2$  - Módulo de Elasticidade do subleito em  $kg/cm^2$   
 $k$  - Constante

Para o cálculo do ISC adotou-se o valor de  $k = 70$  o mesmo escolhido pelos autores desta metodologia. A escolha de  $k = 70$  não foi feita ao acaso por tais pesquisadores, mas sim, mediante trabalho realizado em várias rodovias federais. Nelas os módulos de elasticidade do subleito ( $E_2$ ) foram estimados através de Bacias de Deformações interpretadas segundo o modelo de Hogg e os ISC do subleito foram calculados através de ensaios com amostras coletadas nos mesmos lugares de determinação das Bacias.

FIGURA 06

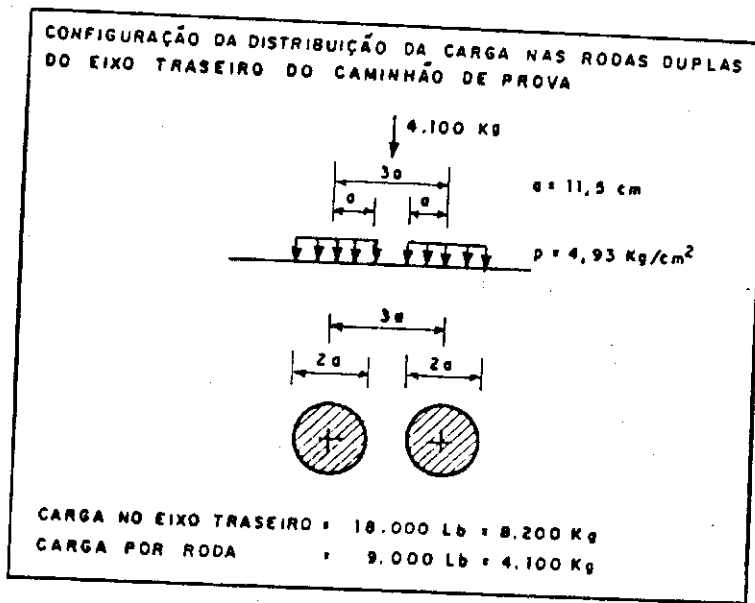


FIGURA 07

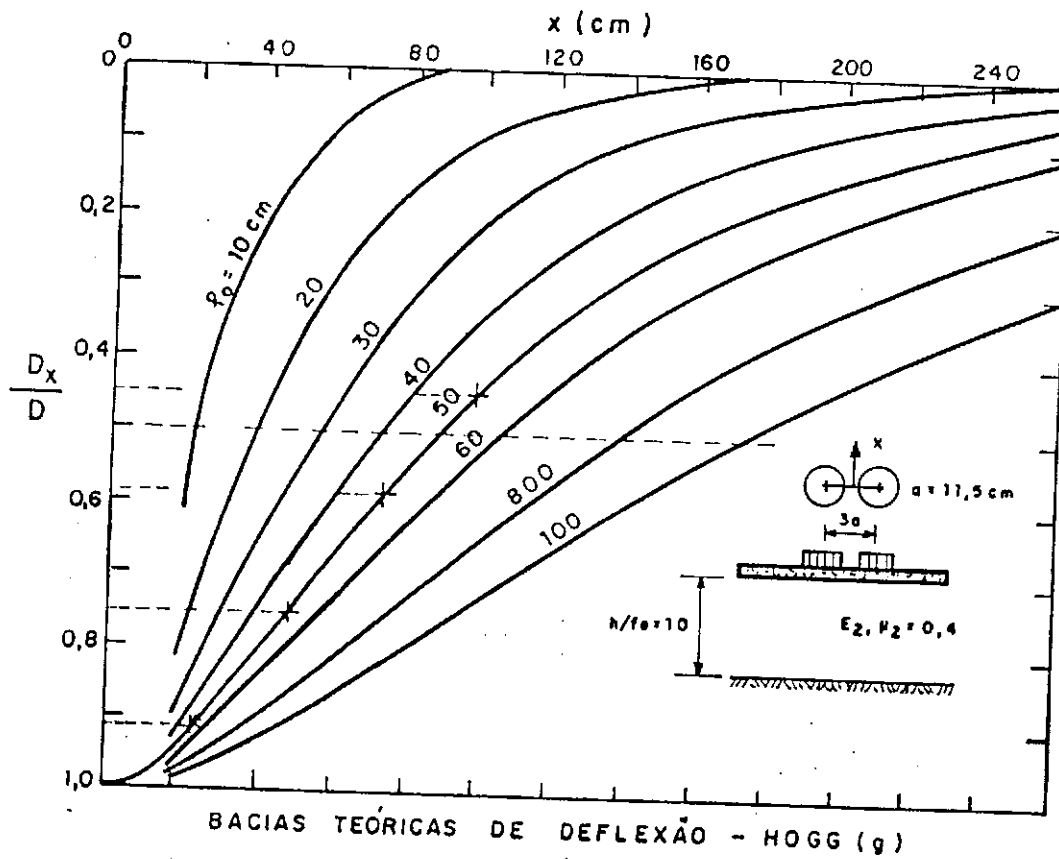




FIGURA 08 — MODELO DE HOGG  
 NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DE  $(E_2 D_0)$

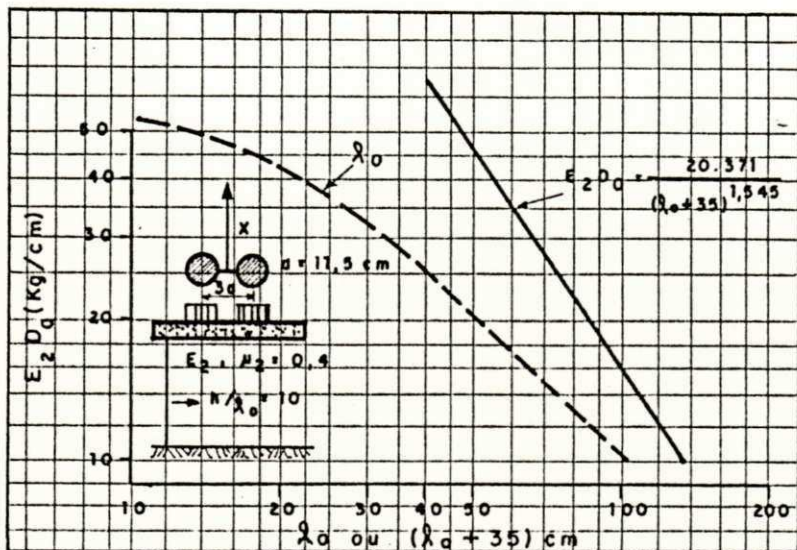
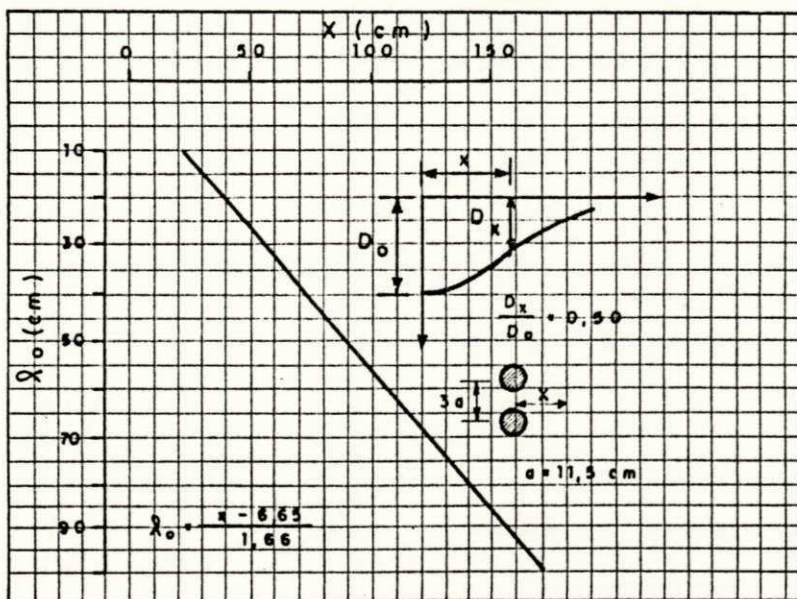


FIGURA 09 — MODELO DE HOGG  
 NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DE  $\lambda_0$



\*\* Sequência do Cálculo (Exemplo Explicativo)

a) Cálculo da distância x na qual a relação  $Dx/Do = 0,50$  é satisfeita.

$$\text{Equação da Bacia } Y = 1980,46 + 14633,97X$$

$$\text{Deflexão } Do = 59,493 \times 0,01 \text{ mm} = 0,050493 \text{ cm} = 0,00050493 \text{ m}$$

$$Dx/Do = 0,50 \dots Dx = 0,5 Do \dots Dx = 0,0002525 \text{ m}$$

substituindo o valor  $Y = 1/0,00025 = 3961,18$  na equação

$$X = \frac{3961,18 - 1980,46}{14633,97} = 0,1353 \text{ como } X = x2 \text{ temos}$$

$$X = 0,1353 = 0,3678 \text{ m} = 36,78 \text{ cm}$$

b) Cálculo do Comprimento Característico "lo" correspondente a distância X pelo Nomograma da Figura 09.

$$l_0 = \frac{x - 6,65}{1,66} = 18,156 \text{ m}$$

c) Cálculo do Módulo de elasticidade do subleito E2 ou a fórmula da Figura 08

$$E2 Do = \frac{20371}{(l_0 + 35) \cdot 1,545} = 43,9567 \text{ Kg.cm}$$

$$\text{Como } Do = 0,050493 \text{ cm. } E2 = \frac{43,957}{0,059493} = 870,58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{O ISC é estimado por } E2/70 = 870,58/70 = 12\%$$

### c.8 - Programa Computacional

Para facilidade de aplicação desta metodologia foi desenvolvido um programa especialmente concebido para uso em microcomputadores da linha PC, cujo fluxograma de entrada e saída de dados está representado no Quadro 07.

## 3.3.3 - ENSAIO PRESSIOMETRICO

### 3.3.3.1 - Descrição

O ensaio pressiométrico consiste em se colocar uma sonda expresssível cilíndrica em um furo de aproximadamente 34,5 mm de diâmetro e infla-la (Quadro 08). Uma unidade de controle na superfície é usada para gerar a pressão necessária para inflar a sonda. A pressão contra a parede do furo (P) e a expansão da cavidade (V) são anotadas e uma curva P x V é traçada (Quadro 08). O Módulo Pressiométrico (E) e o Módulo Pressiométrico de Recompressão (Ec) são obtidos a partir das inclinações das curvas pressiometricas corrigidas (Quadro 09). A curva P x V representa a curva Tensão x Deformação do solo no seu estado natural.

### 3.3.3.2 - Metodologia

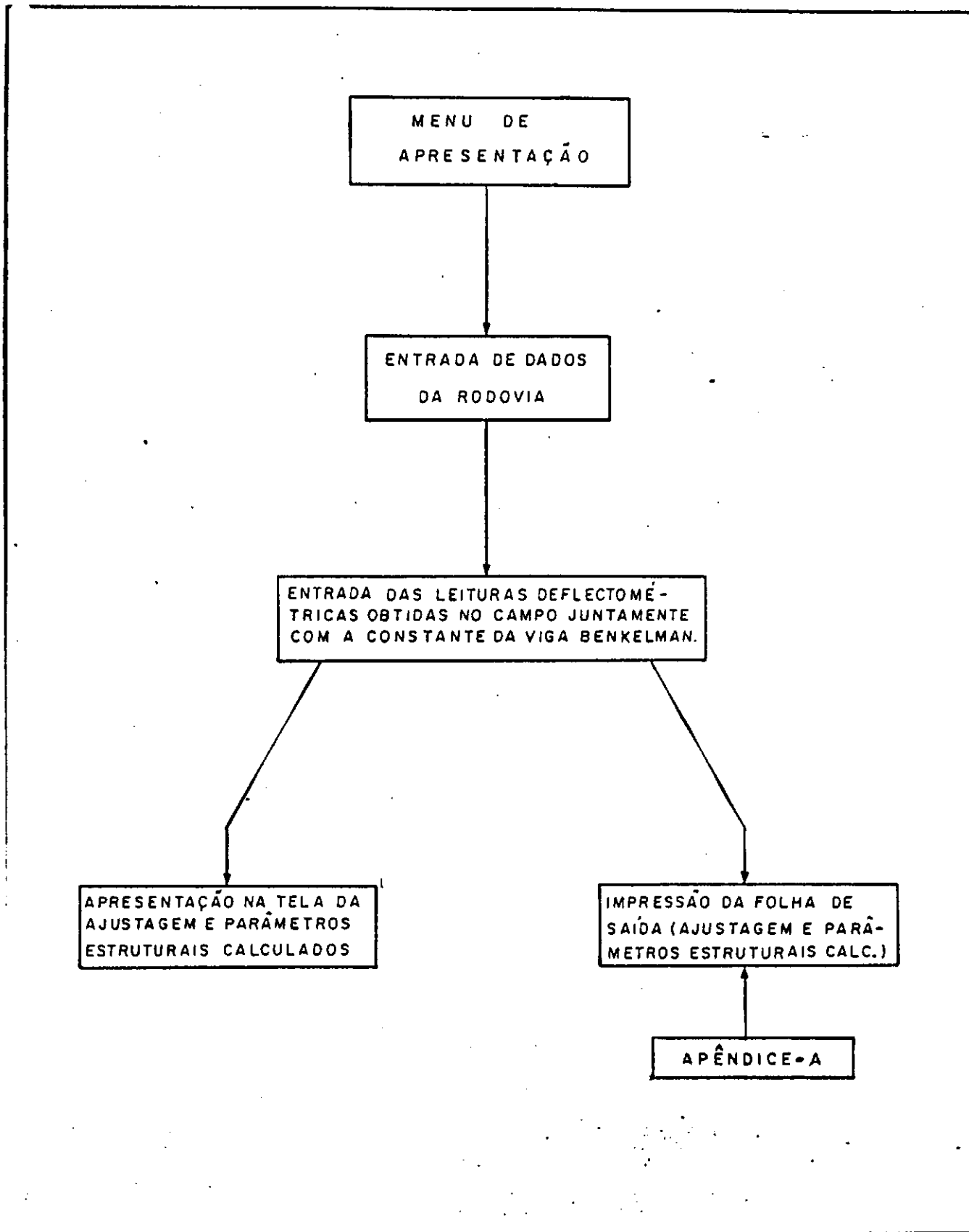
#### a) Preparação do Pressiômetro

Anteriormente à execução dos ensaios, foram executadas os seguintes procedimentos:

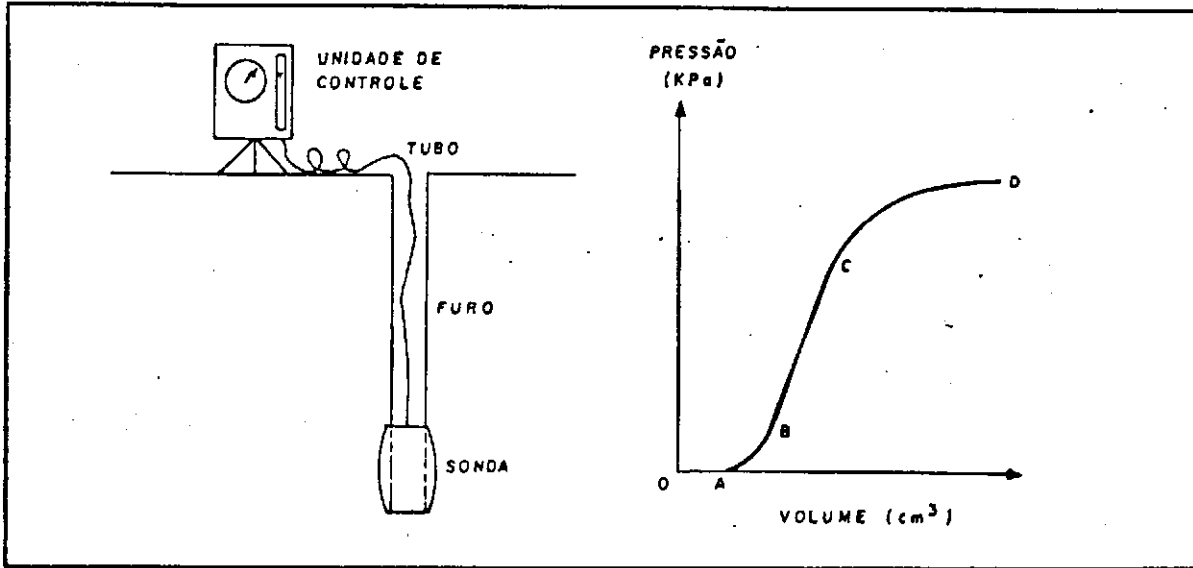
- Verificação da existência ou não de vazamentos e a saturação do circuito e sonda;



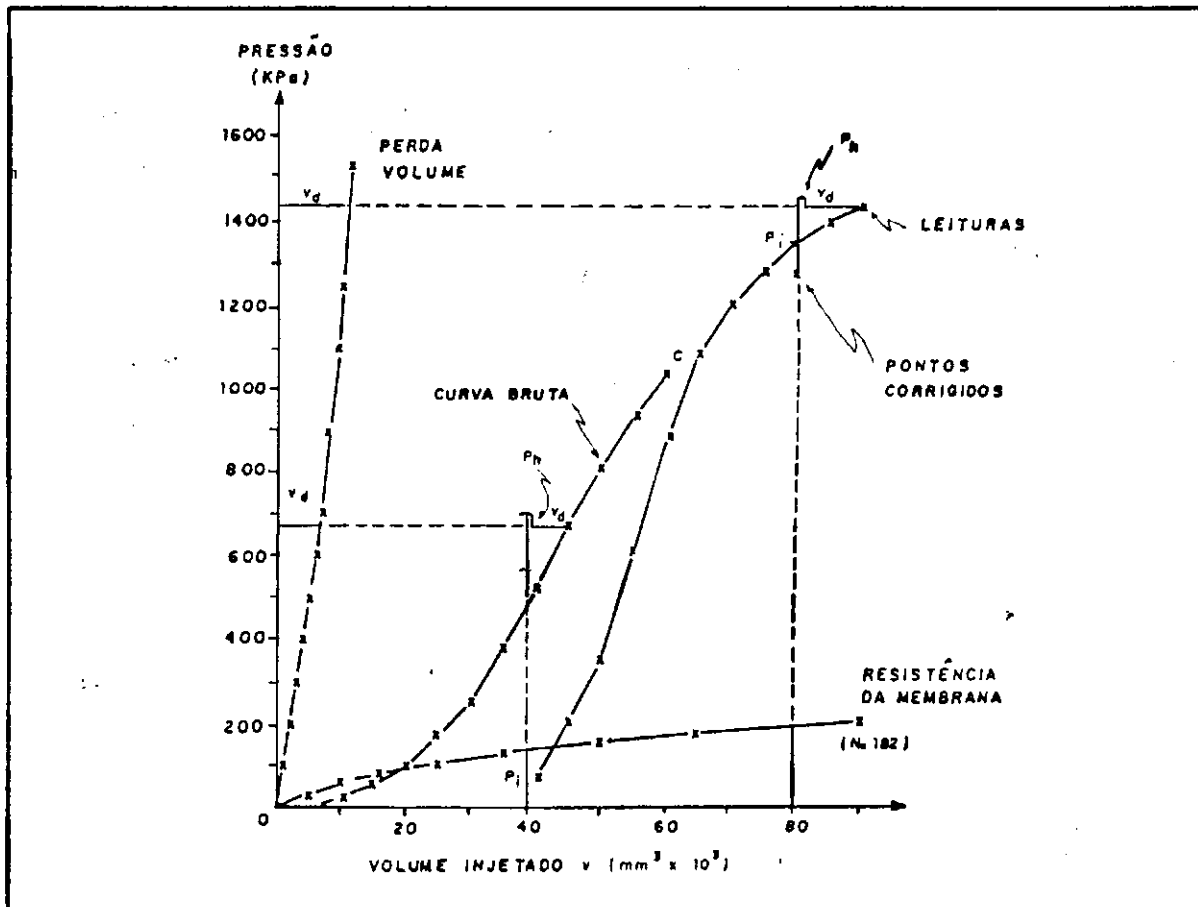
QUADRO 07 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AJUSTE DAS LEITURAS DEFLECTOMÉTRICAS E CÁLCULO DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS



QUADRO 08 ENSAIO PRESSIOMÉTRICO



QUADRO 10 CORREÇÃO GENÉRICA DE VOLUME E PRESSÃO DA CURVA PRESSIOMÉTRICA



- Calibração da Resistência da Membrana;
- Calibração da perda de volume;
- Fixação da leitura em zero.

#### b) Execução do Furo

Para a execução do furo utilizou-se um trado helicoidal operado manualmente, de aproximadamente 35 mm de diâmetro obtendo-se, o diâmetro e a profundidade desejada para realização do ensaio.

#### c) Realização do Ensaio

O ensaio foi realizado nas profundidades de 30 cm e 90 cm, sub-base e subleito. Objetivou-se, com isso, a correlação dos parâmetros estruturais pressiométricos com os parâmetros estruturais deflectométricos de sub-base e subleito, respectivamente.

A não realização do ensaio pressiométrico à profundidade correspondente à camada de base, se deveu à impossibilidade de execução do furo com o trado manual, devido à granulometria do solo laterítico, e ao limite de carga do pressiômetro utilizado (2000 Kpa). Não sendo possível, assim, a obtenção completa das curvas pressiométricas.

#### d) Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados do ensaio pressiométrico incluiu a correção das leituras de pressão e volume  $P_m$  e  $V_m$  (Quadro 10), o traçado da curva  $P$  versus  $V$  e o cálculo do Módulo Pressiométrico

(E) e do Módulo Pressiométrico de Recompressão (Ec) (Quadro 09). Inicialmente, foi feita a correção para perda de volume, isto porque existe uma pequena diferença entre o volume da água injetada e o volume lido na unidade de controle.  $V_m$  é o incremento real no tamanho da cavidade de solo, esta diferença é devido à expansão do tubo, compressão do revestimento da membrana da borracha e à compressão da água. O incremento em  $V$  é feito da seguinte maneira:

$$V = V_m - v \quad (1)$$

Em segundo, lugar a pressão foi corrigida para a pressão hidrostática  $P_h$  e a resistência da membrana  $P_i$ . Isto se faz necessário porque a pressão contra as paredes do furo é menor do que a pressão interior da sonda, a diferença é devida à resistência à expansão da membrana. A correção é feita da seguinte maneira:

$$P = P_m + P_h - P_i \quad (2)$$

$$\text{com } P_h = w'Z \quad (3)$$

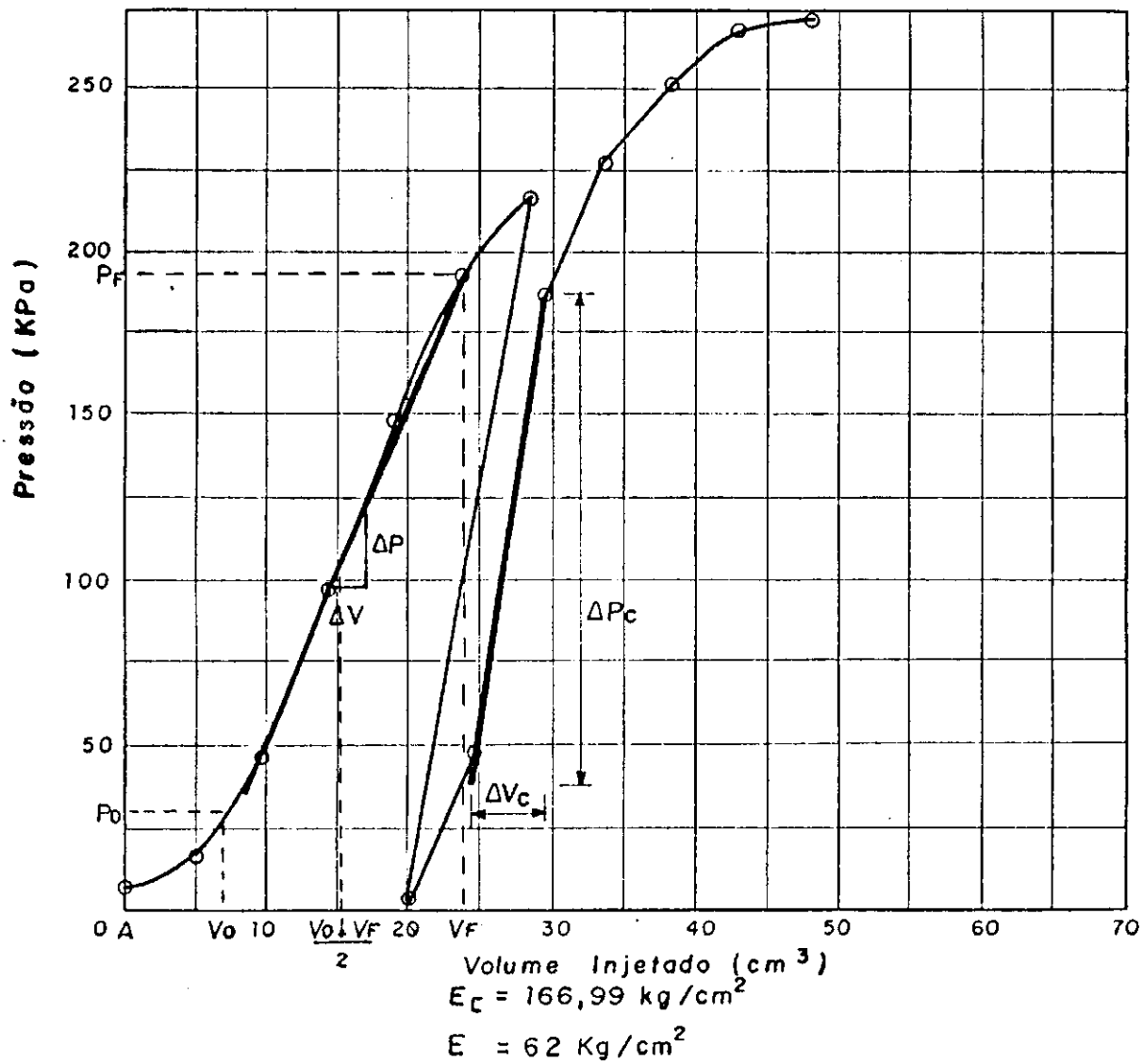
onde:  $w'$  - peso unitário da água

$Z$  - diferença de elevação entre o manômetro e o centro da sonda à profundidade do ensaio e  $P_i$  resistência da membrana.

#### e) Programa Computacional

Para as correções de volumes e pressão foi utilizado um programa computacional cuja listagem encontra-se no Apêndice - D. Após obtenção dos dados de pressão e volume corrigidos, foram traçadas as curvas pressiométricas com o auxílio do programa

QUADRO 09 - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA (ESTACA-769-LE-PROF 90cm)



Grafit software produzido pela Copyright Golden Software, que permitiu o cálculo do Módulo Pressiométrico e o Módulo Pressiométrico de Recompressão com uma maior precisão, já que os mesmos dependem da determinação gráfica de suas inclinações.

#### f) Resultados Obtidos com Ensaio Pressiométrico

Como resultado do ensaio pressiométrico, obteve-se a curva Pressão x Volume. A curva pressiométrica teórica é mostrada no Quadro 08, onde se observa três regiões características: o trecho AB da curva corresponde ao começo do ensaio onde inicialmente a sonda é inflada, pressionando as paredes do furo até o restabelecimento das condições de repouso do solo. Assim, teoricamente, no instante em que se atinge o ponto B, um elemento de solo próximo à sonda encontra-se solicitado com as mesmas tensões que se encontrava antes da execução do furo. No ponto B é definido o volume inicial da cavidade,  $V_i = V_o + V_a$ .

onde:

$V_o$  = Abscissa do ponto B

$V_a$  = Volume inicial da sonda pressiométrica

A região compreendida entre os pontos B e C apresenta-se aparentemente linear. Esta quase linearidade é resultado de uma proporção direta entre a pressão aplicada e o aumento relativo do diâmetro do furo. Admite-se que nesta região possa atribuir um módulo de deformação constante, calculado com base na inclinação do seguimento BC. As coordenadas do ponto C são "Pf" e "Vf" onde "Pf" é conhecida como "Pressão de Creep" e a marca final da configuração linear da curva é o aparecimento da Deformação Plástica.

### g) Interpretação do Ensaio Pressiométrico

A interpretação do ensaio pressiométrico é feita de acordo com a teoria elastoplástica para expansão de uma cavidade cilíndrica, que, para nosso estudo, permitiu definir dois parâmetros estruturais fundamentais para avaliação das camadas ensaiadas, os quais são: Módulo Pressiométrico e o Módulo Pressiométrico de Recompressão (Módulo cíclico).

#### g.1) Módulo Pressiométrico (E)

O Módulo Pressiométrico é obtido da região BC (Quadro 08), aparentemente linear, que é considerada a fase elástica linear da curva pressiométrica corrigida. Assim, o Módulo Pressiométrico (E), pode ser determinado através da teoria da elasticidade linear para expansão de cavidade cilíndrica, considerando o solo como um meio elástico e infinito. Segundo Lamé (1852) a equação para expansão radial de uma cavidade cilíndrica é:

$$G = V \Delta p / \Delta v \quad (1)$$

onde:

G = Módulo de cisalhamento ou módulo de elasticidade transversal  
V = Volume da cavidade durante a fase elástica. Por convenção, para determinar o valor "V", para a curva pressiométrica, adota-se o volume médio,  $(V_0 + V_f)/2$  da fase considerada elástica. Assim,  $V = V_m = V_a + (V_0 + V_f)/2$ .  $V_a$  é igual ao volume inicial da sonda pressiométrica;  $\Delta p = (P_f - P_0)$ , e a variação da pressão na cavidade correspondente ao trecho elástico da curva pressiométrica;  $\Delta v = (V_f - V_0)$  é a variação de volume na cavidade correspondente ao trecho elástico da curva pressiométrica.

Assim, considerando  $V = V_m$ , temos que  $G = G_m = V_m \cdot Dp/Dv$ , onde  $G_m$  é o cisalhamento calculado com base na variação média do volume da cavidade ao longo do trecho  $V_o \dots V_f$  da curva pressiométrica.

Para a obtenção do Módulo Pressiométrico (E) é empregada a relação fornecida pela teoria da elasticidade linear, admitindo-se o material isotrópico e homogêneo (Baguelin, 1978).

$$E = 2 G_m \times (1+v) \quad (2)$$

Menard adota o valor 0.33 para o coeficiente de Poisson. Segundo Briuad e Shields (1979), uma vez que para os solos a variação desse coeficiente é limitada, o valor de 0,33 é uma média satisfatória.

Substituindo  $v = 0,33$  em (2) temos:

$$E = 2,66 G_m$$

ou ainda:

$$E = 2,66 \cdot V_m \cdot Dp/Dv \quad (3)$$

Substituindo os termos  $V_m$  e  $Dp/Dv$  na equação (3) por seus respectivos termos práticos encontramos:

$$E = 2,66 (V_a + (V_o + V_f)/2) \cdot (P_f - P_i) / (V_f - V_o) \quad (4)$$



## g.2) Módulo Pressiométrico de Recompressão (Ec)

A determinação do Módulo Pressiométrico de Recompressão (Ec) foi feita a partir da curva de recarregamento com a obtenção da inclinação da parte linear da fase cíclica do ensaio. Porém, para se executar a parte cíclica do ensaio, tornou-se necessário determinar, durante sua realização, o final da fase elástica do solo ( Ponto C - Quadro 08).

São poucas as publicações existentes que tratam de procedimentos de ensaios pressiométricos cíclicos e o uso de seus resultados. Baguelin (1978) orienta o ensaio de tensão controlada como método de determinação do fim da fase elástica do solo, porém Briaud (1979) discorda por achar que os incrementos de pressão executados no ensaio de pressão controlada dependem muito do operador.

Para realização do ensaio pressiométrico, utilizou-se o procedimento de ensaio de volume controlado, o mesmo adotado por Briaud e Shields (1979), ou seja, as leituras de pressão, após início do ensaio, foram feitas a cada 5,0 cm<sup>3</sup> de volume lido. Para determinação do ponto de recarregamento ou do início do ensaio cíclico, foi feita, a cada pressão lida, a diferença automática entre a pressão lida e a pressão lida anteriormente (Dpr). Durante o ensaio, "Dpr" tende a crescer e posteriormente, ao se aproximar do ponto de recarregamento, tende a decrescer. Quando "Dpr" torna-se menor do que o valor máximo de "Dpr", repetindo-se duas vezes essa diminuição, automaticamente é iniciada a fase cíclica do ensaio.

A fórmula para o cálculo do Módulo Pressiométrico de Recompressão foi a seguinte:

$$E_c = 2.66 ( V_c + (V_o + V_f) / 2 ) D_{pc} / D_{vc}$$

onde:

$V_c$  = Volume da sonda no início do ensaio;

$V_o$  = Volume no início do trecho linear da curva de recarregamento;

$V_f$  = Volume no fim do trecho linear da curva de recarregamento;

$D_{pc} / D_{vc}$  = Inclinação da curva de recarregamento.

### 3.3.4 - ENSAIOS DE LABORATORIO

#### 3.3.4.1 - Granulometria dos Agregados:

A Análise Granulométrica de Solos, por peneiramento foi executada segundo os procedimentos do método de ensaio DNER-ME 80-64.

#### 3.3.4.2 - Índice de Suporte Califórnia de Solos (ISC)

A determinação do valor relativo do Índice de Suporte Califórnia (ISC) dos Solos pelo Ensaio de Amostra Deformada (moldada na unidade ótima obtida em um dos ensaios de compactação de solos: (DPTm47 ou DPTm48) foi feita segundo os procedimentos do método de Ensaio DNER - ME 50-64.

#### 3.3.4.3 - Limite de Liquidez de Solos

O limite de Liquidez dos solos foi determinado segundo procedimentos do método de ensaio DNER-ME 44-71.

#### 3.3.4.4 - Limite de Plasticidade de Solos

O Limite de Plasticidade dos solos foi determinado segundo procedimentos do método de ensaio DNER-ME 82-63.

## CAPITULO - IV

### ANALISE ESTATISTICA DOS RESULTADOS

#### 4.1 - Introdução

Neste capítulo são descritos os processos de análise estatística utilizados para: As ajustagens das correlações propostas entre os parâmetros estruturais deflectométricos e os parâmetros estruturais pressiométricos; estudo do desempenho e condições estruturais das camadas do pavimento.

#### 4.2 - Estudo das Correlações Entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos e Parâmetros Estruturais Pressiométricos

Com base nos resultados obtidos nos pontos comuns ensaiados, iniciou-se o estudo estatístico para análise das correlações propostas. Para este estudo, utilizou-se um pacote estatístico computacional desenvolvido por técnicos da UNICAMP (ZULLO Jr. & ARRUDA F.B. ( Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais), que ajustou os valores obtidos nos ensaios, através de várias equações, como por exemplo: equações exponenciais, logarítmicas, cúbicas, lineares, etc. (Quadro 11) que submeteram os dados aos seguintes testes: a) Teste F (teste de significância da análise de variância); b) Coeficiente de Correlação (R).

## QUADRO-II

## MODELOS DISPONÍVEIS

MODELO	EQUAÇÃO	AJUSTE NÃO DEFINIDO
Linear	$Y = A + B * X$	----
Senoidal	$Y = A + B * \text{SEN}(.017453 * X)$	----
Exponencial	$Y = A * \text{EXP}(B * X)$	$Y \leq 0$
Recíproca	$Y = A * \text{EXP}(-B/X)$	$Y \leq 0, X \leq 0$
Hiperbólica	$Y = A * X / (B + X)$	$Y = 0, X = 0, X = -B$
Hiperbólica retangular	$Y = 1 / (A + B * X)$	$Y = 0, X = -A/B$
Monomolecular	$Y = C * (1 - A * \text{EXP}(-B * X))$	$Y \geq C$
Logística	$Y = C / (1 + A * \text{EXP}(-B * X))$	$Y = 0, Y \geq C$
Logística negativa	$Y = C / (1 + (X/A) * B)$	$Y = 0, Y \geq C, X \leq 0$
Gompertz	$Y = C * \text{EXP}(-A * \text{EXP}(-B * X))$	$Y = 0, C/Y \leq 1$
Alométrica linear	$Y = A * (X ** B)$	$Y \leq 0, X \leq 0$
Alométrica curvilínear	$Y = A * (X ** (B + C * \text{LOG}(X)))$	$Y \leq 0, X \leq 0$
Quadrática	$Y = A + B * X + C * (X ** 2)$	----
Cúbica	$Y = A + B * X + C * (X ** 2) + D * (X ** 3)$	----
Exponencial quadrática	$Y = A * \text{EXP}(B * X + C * (X ** 2))$	$Y \leq 0$
Exponencial cúbica	$Y = A * \text{EXP}(B * X + C * (X ** 2) + D * (X ** 3))$	$Y \leq 0$
Normal	$Y = A * \text{EXP}(-((X - Z) ** 2) / (S ** 2))$	$Y \leq 0$

#### 4.2.1 - Critério de Correlação

Procurou-se correlacionar os Módulos Pressiométricos usando-se a profundidade do ensaio pressiométrico como critério de correlação. Ou seja, Módulos Pressiométricos e Módulos Pressiométricos de Recompressão obtidos nas profundidades de 30 cm, foram ajustados com parâmetros estruturais de base e sub-base, obtidos nos ensaios defletoométricos, e Módulos Pressiométricos e Módulos Pressiométricos de Recompressão, obtidos a 90 cm de profundidade foram ajustados com parâmetros estruturais defletoométricos de subleito.

#### 4.2.2 - Correlações Propostas

- $D_{max.R}$  x Módulo de Recompressão (30cm)
- $D_{max.T}$  x Módulo de Recompressão (30cm)
- $E_2$  x Módulo de Recompressão (90cm)
- $ICB$  x Módulo de Recompressão (90cm)
- $E_2$  x Módulo Pressiométrico (90cm)
- $ICB$  x Módulo Pressiométrico (90cm)

### 4.3 - Análise Estatística dos Parâmetros Estruturais Defletoométricos.

#### 4.3.1 - Metodologia

Foi realizada uma amostragem sistemática de 67 pontos, distanciados 200 metros um do outro, Margem direita (Est.850 a 508) e Margem Esquerda (Est. 509 a 849), com o objetivo de obter as estimativas das diversas variáveis ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_D$ ,  $E_2$ , etc..),

dos quais obtiveram-se as respectivas Médias, seus Intervalos de Confiança, e Testes comparando essas Médias referênciais (Limites) encontrados na literatura, de acordo a metodologia exemplificada por Hosokawa e Souza (1987), baseado em Cochran(1963) e Yamane (1967). [Apendice - F].

## CAPITULO - V

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.1 - Introdução

O conteúdo deste capítulo engloba a apresentação dos resultados da pesquisa. Para uma maior compreensão, este capítulo foi dividido nos seguintes tópicos:

- Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico ao Longo de Todo o Trecho Estudado;
- Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico em Pontos Comuns Ensaaiados com o Pressiômetro de Pavimentação;
- Bacias de Deformação de Campo e Bacias de Deformação Ajustadas Obtidas com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada (Pontos Comuns);
- Módulos Pressiométricos de Recompressão Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90 cm de Profundidade;
- Módulos Pressiométricos Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90 cm de Profundidade;
- Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Feitas Entre Parâmetros Estruturais Deflectométricos x Módulos Pressiométricos de Recompressão;
- Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Feitas Entre Parâmetros Estruturais Deflectométricos X Módulos Pressiométricos;
- Ensaios de Laboratório

## 5.2 - Parâmetros Estruturais Obtidos com o Ensaio Deflectométrico ao Longo de Todo o Trecho Estudado (Margem Direita e Margem Esquerda)

No Apêndice - B, encontram-se inseridos todos os parâmetros estruturais deflectométricos ( $R_1, R_2, RD, M, ISC, E_2, X_{inf}, ICS, ICB, IDB$  e  $ID$ ) calculados a partir das ajustagens realizadas nas leituras deflectométricas de campo, com a viga Benkelman, a cada 200 metros, nas margens esquerda (Estaca 509-849) e margem direita (Estaca 850 - 508), ao longo do trecho, perfazendo um total de 7 Km de extensão.

No Quadro 12, estão inseridos os resultados da análise estatística dos parâmetros estruturais deflectométricos, que objetivou um conhecimento melhor do comportamento dos parâmetros resultantes para uma avaliação do trecho e fundamento estatístico teórico capaz de reforçar as análises estruturais finais.

A Sequência de orden do Quadro - 12 obedece a seguinte apresentação: Parâmetro Estrutural Avaliado; Média ( $\bar{x}$ ); Variância da Média ( $V_x$ ); Desvio Padrão da Média ( $VV_x$ ); Intervalo de Confiança de Média a 1% de significância; Teste "t" de Student bilateral e Limites Estruturais Estabelecidos pela Metodologia Adotada (L). Nos quais os resultados obtidos tinham de oscilar para mais ou para menos de acordo com o limite pré-estabelecido a fim de que a estrutura avaliada enquadre-se dentro de conceitos favoráveis quanto ao desempenho estrutural.



QUADRO 12 — ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS ESTRUTURAIS DEFLECTOMÉTRICOS.

PARÂMETROS	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	VARIÂNCIA ( $V\bar{x}$ )	DESVIO PADRÃO $\sqrt{V\bar{x}}$	INTERVALO DE CONFIANÇA DA MÉDIA A 1 %	"t" CALCULADO $t = \frac{\bar{x} - L}{\sqrt{V\bar{x}}}$	LIMITES ESTABELECIDOS
R <sub>1</sub>	207,02	11,91	3,4	216,2 — 197,84	31,48**	L ≥ 100
R <sub>2</sub>	288,73	118,07	10,87	317,63 — 259,83	17,36**	L ≥ 100
RD	8045,33	21855,64	147,84	8438,58 — 7652,08	17,21**	L > 5500
ISC	16,61	2,03	1,425	20,4 — 12,82	4,64**	L > 10
E <sub>2</sub>	1160,94	9683,72	98,41	1422,63 — 899,11	3,67**	L ≥ 800
ICS	16,13	0,4490	0,6701	17,91 — 14,38	-13,24**	L < 25
ICB	5,72	0,1937	0,44	6,89 — 4,55	-9,73**	L < 10
IDB	13,21	1,0923	1,045	15,99 — 10,43	-25,63**	L < 40

\*\* SIGNIFICÂNCIA A 1% EM RELAÇÃO AOS LIMITES ESTABELECIDOS, PELO TESTE "t" DE STUDENT.

A seguir serão apresentadas as principais observações no que diz respeito aos parâmetros estruturais defletoométricos e suas respectivas análises estatísticas:

- Raio de Curvatura "R1"

O parâmetro estrutural "R1", obteve média de 207.02m com um intervalo de confiança da média a 1% de significância de 197.84m a 216.2m. Este resultado permitiu afirmar, com uma confiança de 99%, que a verdadeira média de "R1" se encontra dentro desse intervalo.

Considerando o limite mínimo pré-estabelecido na metodologia, que classifica as camadas estruturais superiores com bom desempenho com "R1" acima de 100m, observou-se que, pela metodologia adotada e análise estatística obtida, as camadas superiores do pavimento se encontram em boas condições estruturais de trabalho.

- Raio de Curvatura "R2"

O parâmetro estrutural "R2" obteve média de 288.73m com um intervalo de confiança da média a 1% de significância de 259.83m a 317.63m, ou seja, é possível afirmar com 99% de confiança que a média de "R2" está inserida dentro deste intervalo.

Considerando o limite mínimo pré-estabelecido pela metodologia, que classifica as camadas estruturais com bom desempenho com "R2" acima de 100m, e considerando ainda, o alto índice de confiança do intervalo obtido e o teste de significância "t" de Student, observou-se que os resultados do parâmetro "R2" indicam

o bom desempenho das camadas superiores do pavimento.

Os parâmetros estruturais R1 e R2 são parâmetros que representam, em suas concepções, as camadas superiores do pavimento (Revestimento + Base) e, conseqüentemente, deveriam, por analogia, apresentar resultados que fossem, em sua maioria, próximos em valor absoluto e sem discrepâncias, em relação um ao outro. No entanto, os resultados obtidos em nosso trabalho demonstraram claramente uma distinção entre as estimativas dos parâmetros estruturais: o Raio de Curvatura "R1" apresenta média(x) e intervalo de confiança da média menores do que o Raio de Curvatura "R2", com uma precisão bem maior da estudada do R1, por conta da variância menor quando comparado ao "R2".

Estes resultados demonstraram que "R1" parece oferecer uma análise estrutural sujeita a poucas variações (Cv=1,64%) e "R2" oferece valores sujeito a variações mais altas (Cv=3,76%), com risco de superavaliar o ponto ensaiado.

#### - Produto "RD"

O produto "Rd" obteve média (x) de 8045.33 e um intervalo de confiança de média a 1% de significância de 7652.08 a 8438.58.

Os limites de 5500 e 10000 estabelecidos na metodologia adotada para o produto "RD" nos leva a considerar, após análise estatística, que o pavimento não é, em seu conjunto, de grande espessura. Porém, também não apresenta espessura pequena, que venha a comprometer o pavimento; não sendo assim, considerado um pavimento pouco espesso e de pequena resistência, mais, sim, um pavimento de espessura média.

- Índice de Suporte Califórnia do Subleito "ISC"

O Índice de Suporte Califórnia do Subleito (ISC) apresentou média ( $\bar{x}$ ) de 16.66% e intervalo de confiança da média a 1% de significância de 12.22% a 20.4%.

O limite pré-estabelecido, para efeito de análise deste parâmetro, foi de ISC maior ou igual a 10%, já que valores a partir deste limite enquadram o solo avaliado como estruturalmente adequado para o subleito.

Analisando este limite e os parâmetros estatísticos obtidos, fica claro que: o subleito encontra-se com a média do ISC dentro de um intervalo de confiança aceitável e, portanto, em boas condições.

- Módulo de Elasticidade Do Sub-leito "E2"

O valor médio obtido para o Módulo de Elasticidade do Subleito "E2" foi de 1160.94Kg/cm<sup>2</sup> com um intervalo de confiança da média a 1% de significância de 399.11Kg/cm<sup>2</sup> a 1422.63Kg/cm<sup>2</sup>.

Para efeito de avaliação estrutural do subleito, através desse parâmetro, adotou-se como limite mínimo o valor para "E2" de 800Kg/cm<sup>2</sup>, considerado por Euvaldo (1991), em sua classificação (quanto a resiliência), como valor mínimo para solos do Tipo II (Solos com Módulo Resiliente Médio).

Baseado no limite pré-estabelecido (E2 maior ou igual a 800Kg/cm<sup>2</sup>) e análise estatística obtida, conclui-se que: O subleito estudado apresenta Módulo Resiliente médio, sendo assim considerado em boas condições estruturais de funcionamento.

- Índice de Curvatura Superficial "ICS"

O Índice de Curvatura Superficial "ICS" apresentou média de  $16.13\text{mm}^{-2}$  com um intervalo de confiança da média a 1% de significância de  $14.38\text{mm}^{-2}$  a  $17.91\text{mm}^{-2}$ .

O limite pré-estabelecido pela metodologia, o qual condiciona o bom desempenho das camadas superiores a valores de "ICS" menores do  $25\text{mm}^{-2}$ , nos leva a uma avaliação positiva das condições estruturais, com relação aos resultados obtidos desse parâmetro, já que os mesmos estatisticamente são significativos.

- Índice de Curvatura da Base "ICB"

O Índice de Curvatura da Base "ICB" apresentou média de  $5.72\text{mm}^{-2}$  com um intervalo de confiança da média a 1% de significância de  $4.55\text{mm}^{-2}$  a  $6.89\text{mm}^{-2}$ .

O limite máximo adotado na metodologia para o Índice de Curvatura da Base, para efeito de avaliação estrutural do subleito, no qual o "ICB" está diretamente ligado, foi de  $10\text{mm}^{-2}$ , já que valores de "ICB" maiores do que este limite estão associados à Índices de Suporte Califórnia (ISC) menores do que 10%.

Considerando o limite adotado e análise estatística obtida, observou-se que em termos de subleito, há um desempenho positivo de tal estrutura.

- Índice de Destruição da Base "IDB"

O Índice de Destruição da Base "IDB" apresentou média de  $13.21\text{mm}^{-2}$  e intervalo de confiança da média a 1% de significância de  $10.43\text{mm}^{-2}$  a  $15.99\text{mm}^{-2}$ .

Para que o pavimento seja considerado com boa estrutura, Fabricio (1988) adota o limite máximo para "IDB" de  $40\text{mm}^{-2}$ . No qual, valores de "IDB", acima deste limite, são representativos de pavimentos pouco resistente (Rev + Base + Sub-base). Portanto, não é o caso do pavimento estudado, pois os parâmetros estatísticos demonstraram claramente o enquadramento do pavimento ao limite estabelecido para o "IDB".

### 5.3 - Parâmetros Estruturais obtidos com o Ensaio Deflectométrico em Pontos Comuns Ensaçados com o Pressiômetro de Pavimentação

No Apendice - A, estão inseridas as folhas de saída de impressão, Resultado do Programa Computacional Elaborado Especificamente para o ajuste das leituras deflectométricas obtidas no campo (Bacia de Deformação de Campo), e cálculo dos diversos Parâmetros Estruturais Deflectométricos de Avaliação ( $R_1, R_2, R_D, n, ISC, E_2, X_{inf}, ICS, ICB, IDB, ID$ ), bem como todos os dados relacionados com o trecho estudado (Rodovia, trecho, Km, data, etc...)

O conjunto destas folhas representa apenas os Resultados Obtidos nos Pontos Comuns de Ensaio, ou seja, pontos nos quais foram ensaiados com a viga Benkelman e o Pressiômetro de Pavimentação.

A realização em conjunto dos Ensaios Deflectométricos e Pressiométricos em Pontos Comuns possibilitou a Análise de Correlação e Ajustagens dos Parâmetros Estruturais obtidos em cada ensaio.



#### 5.4 - Bacias de Deformação de Campo e Bacias de Deformação Ajustadas Obtidas com o Ensaio Deflectométrico e Metodologia Adotada (Pontos Comuns)

No Apendice - A, estão inseridas as "Bacias de Deformação" de Campo e as "Bacias de Deformação" ajustadas, representativas dos respectivos Ensaios Deflectométricos Realizados em Pontos Comuns aos Ensaios Pressionétricos.

As "Bacias de Deformação" de campo foram plotadas com Deflexões Obtidas "In Situ" nas seguintes distâncias: (0.0; 0.125; 0.4; 0.6 e 1.0 metros). Já as "Bacias de Deformação" ajustadas foram plotadas com as deflexões obtidas das ajustagens realizadas pelo método dos mínimos quadrados, a partir da leituras deflectométricas "In Situ". As distâncias escolhidas para o cálculo e plotagem das deflexões e "Bacias de Deformação" respectivamente, foram as seguintes: 0.0; 0.126; 0.25; 0.3; 0.6; 0.9 metros.

Observou-se que, em todas as "Bacias de Deformação" ajustadas os seus coeficientes de correlação (R), respectivos das ajustagens realizadas foram acima de 0.9, sendo assim, bastante satisfatórios e possibilitando, desta maneira, a correção de possíveis distorções ou erros grosseiros realizados nas leituras deflectométricas de campo, função específica da ajustagem. Este procedimento resultou no cálculo de Parâmetros Estruturais mais representativos, já que os mesmos foram obtidos a partir das Deflexões ajustadas à nova "Bacia de Deformação".

## 5.5 - Módulos Pressiométricos de Recompressão Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90 cm de Profundidade

Nos Quadros 13 e 14 encontram-se os resultados dos Módulos Pressiométricos de Recompressão obtidos com o Pressiômetro de Pavimentação nas profundidades de 30 e 90 cm, respectivamente. Com isso, para cada ponto ensaiado obteve-se dois Módulos Pressiométricos de Recompressão distintos. Objetivou-se, desta forma, uma avaliação tanto da sub-base como do subleito e, conseqüentemente a verificação de possíveis correlações entre os Parâmetros Estruturais Pressiométricos, das respectivas camadas, com os Parâmetros Estruturais Deflectométricos obtidos com o Ensaio Deflectométrico.

Após plotagem das curvas pressiométricas corrigidas, Observou-se que a conformação das curvas pressiométricas obtidas para o cálculo dos Módulos Pressiométricos, apresentaram comportamentos ideais, segundo metodologia adotada. O que levou a determinação de Módulos Pressiométricos de Recompressão mais precisos e com pouca superestimação (Briaud 1979).

No Apêndice - E, encontram-se inseridas as curvas pressiométricas corrigidas com suas respectivas caracterizações (Estaca; Profundidade e Módulos Pressiométricos), as quais possibilitaram a determinação dos Módulos Pressiométricos de Recompressão em KPa, os quais depois foram transformados para Kg/cm<sup>2</sup>.

Como era de se esperar, os Módulos Pressiométricos de Recompressão obtidos a 30 cm (sub-base) de profundidade foram superiores aos Módulos Pressiométricos de Recompressão obtidos a 90cm (subleito). Isto se deve ao fato de que as camadas



QUADRO 13 — MÓDULOS DE RECOMPRESSÃO  
OBTIDOS A 30 cm DE PROFUNDIDADE

PROFUNDIDADE (cm)	MÓDULO DE RECOMPRESSÃO (Ec)
30	2490,34
<b>30</b>	635,23
30	854,70
30	763,53
<b>30</b>	469,74
30	1048,66
<b>30</b>	887,95
30	323,58
30	964,57
<b>30</b>	1317,95
30	1444,59
30	721,63

QUADRO 14 — MÓDULOS DE RECOMPRESSÃO  
OBTIDOS A 90 cm DE PROFUNDIDADE

PROFUNDIDADE (cm)	MÓDULO DE RECOMPRESSÃO (Ec)
90	239,48
90	219,44
90	175,37
90	116,75
<b>90</b>	166,99
90	119,30
<b>90</b>	199,80
90	315,10

superiores do pavimento apresentam indiscutivelmente, Módulos de Resiliência maiores do que os provenientes das camadas inferiores.

#### 5.6 - Módulos Pressiométricos Obtidos com o Ensaio Pressiométrico a 30 e 90 cm de Profundidade

Nos Quadros 15 e 16 estão inseridos os Módulos Pressiométricos obtidos com o Ensaio Pressiométrico realizado na profundidade de 30 cm (sub-base) e 90 cm (subleito).

A diferença lógica dos Módulos de Resiliência, entre as camadas ensaiadas (sub-base e subleito), resultou em dois Módulos Pressiométrico (E) distintos, com o valor do Módulo Pressiométrico (E) a 30 cm mais elevado, já que a camada de sub-base apresenta Módulo de Resiliência mais alto.

Os Módulos Pressiométricos obtidos para cada ponto ensaiado (E), apresentaram uma diferença significativa, em termos de avaliação estrutural, quando comparados aos Módulos Pressiométricos de Recompressão obtidos no mesmo ponto. Porém, essas diferenças se enquadram nas variações obtidas por Briaud em seus ensaios nos Aeroportos de Ottawa e Sarnia (Canadá 1979), variações essas observadas pela razão entre o Módulo Pressiométrico de Recompressão ( $E_c$ ) e Módulo Pressiométrico (E) [ $E_c/E$ ].

QUADRO 15  
MÓDULOS PRESSIOMÉTRICOS A 30 cm

PROFUNDIDADE (cm)	MÓDULO PRESSIOMÉTRICO (kg/cm <sup>2</sup> )
30	918,54
30	234,00
30	241,54
30	325,28
30	150,00
30	258,34
30	284,50
30	118,35
30	493,26
30	466,00
30	716,58
30	263,52

QUADRO 16  
MÓDULOS PRESSIOMÉTRICOS A 90 cm

PROFUNDIDADE (cm)	MÓDULO PRESSIOMÉTRICO (kg/cm <sup>2</sup> )
90	80,81
90	78,00
90	52,00
90	37,00
90	62,00
90	35,00
90	65,00
90	105,93

As curvas Pressiométricas corrigidas, as quais possibilitaram a determinação dos Módulos Pressiométricos, encontram-se inseridas no Apêndice - E juntamente com suas respectivas caracterizações ( Estaca; Profundidade; Módulos Pressiométricos;  $E_c/E$ ; etc...).

A obtenção dos Módulos Pressiométricos nas camadas de sub-base e subleito, possibilitou o correlacionamento desses parâmetros estruturais com os parâmetros estruturais deflectométricos das camadas correspondentes.

#### 5.7 - Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Realizadas Entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos X Módulos Pressiométricos de Recompressão.

O Quadro 17 apresenta os resultados das correlações propostas e suas respectivas equações, obtidas com as ajustagens entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos e os Módulos Pressiométricos de Recompressão a 30 e 90 cm de profundidade.

A análise Estatística, realizada nas ajustagens obtidas foi baseada nos seguintes Parâmetros: Coeficiente de Correlação (R) e Teste de significância da análise de variância a 5% através da razão "F".

As ajustagens consideradas mais significativas e, teoricamente correlacionáveis segundo os critérios adotados, foram as seguintes: Módulo de Elasticidade do Subleito ( $E_s$  Kg/cm<sup>2</sup>), obtido através do modelo elástico simples de Hogg versus Módulo Pressiométrico de Recompressão a 90 cm; Índice de Curvatura da Base (ICB mm-2) versus Módulo Pressiométrico de Recompressão a 90cm; Deflexões Máximas de Campo ( $D_{máxR}$ ) X Módulo Pressiométrico de

QUADRO 17 — AJUSTAGENS OBTIDAS ENTRE OS PARÂMETROS DEFLECTOMÉTRICOS x MÓDULOS DE RECOMPRESSÃO.

Relação	Equação	A	B	C	D	Coefficiente de Correlação	Fator F	Nº de Pares
$D_{MAX. R}$ x Mod. 30	$Y = A \times EXP.(BX + CX^2 + DX^3)$	$2,198919 \times 10^8$	-0,8288232	$1,860544 \times 10^{-2}$	$-1,397431 \times 10^{-4}$	0,8840	9,5489	12
$D_{MAX. T}$ x Mod. 30	$Y = A \times EXP.(BX + CX^2 + DX^3)$	1277506	-0,5008032	$1,152737 \times 10^{-2}$	$-8,857335 \times 10^{-3}$	0,9222	15,2549	12
$E2. S$ x Mod. 90	$Y = A + BX$	46,94167	0,1612705	—	—	0,8090	11,3368	8
$fCB.$ x Mod. 90	$Y = A \times X^B$	485,4218	-0,533154	—	—	-0,7950	10,3353	8

$D_{MAX. R}$  —> Deflexão Máxima de Campo

$D_{MAX. T}$  —> Deflexão Máxima Calculada

$E2. S$  —> Módulo de Elasticidade do Subleito

$f.C.B.$  —> Índice de Curvatura da Base

MOD. 30 —> Módulo de Recompressão a 30 cm

MOD. 90 —> Módulo de Recompressão a 90 cm

Recompressão (30cm); Deflexões Máximas Ajustadas (DMáxT) X Módulo Pressiométricos de Recompressão (30cm).

Nos Quadros 17.1 e 17.2 estão representadas as simulações das ajustagens obtidas, correspondentes ao intervalo do número de pares de Pontos Ajustáveis, as quais dão uma idéia mais prática das diferenças entre os parâmetros estruturais calculados e os parâmetros estruturais obtidos em campo.

Nas Figuras 10 e 11 foram plotados os pontos correspondentes as Deflexões Máximas de Campo (mm-2) e ajustados em função do Módulo Pressiométrico de Recompressão (Kg/cm<sup>2</sup>) exponencialmente a 30 cm de profundidade. Observou-se, nas curvas obtidas das correlações propostas, que à medida que as Deflexões tendem a aumentar, o Módulo Pressiométrico de Recompressão tende a diminuir. O que é perfeitamente compreensível, já que materiais com Módulos Resilientes baixos, apresentam-se mais sensíveis às Deflexões.

As Figuras 12 e 13 são representativas das ajustagens obtidas entre o Módulo Pressiométrico de Recompressão e o Módulo de Elasticidade do subleito (E<sub>z</sub>), obtido através do modelo elástico simples de Hogg e o Índice de Curvatura da Base (ICB mm-2) respectivamente. A linearidade crescente, obtida entre o Módulo de Elasticidade do Subleito (E<sub>z</sub> Kg/cm<sup>2</sup>) e o Módulo Pressiométrico de Recompressão, é perfeitamente explicável por se tratar de dois Módulos de Resiliência, os quais tendem a aumentar ou diminuir conjuntamente, de acordo com o solo ensaiado. Por sua vez, o comportamento decrescente da curva obtida para a relação Índice de Curvatura da Base (ICB) X Módulo Pressiométrico de Recompressão, não apresenta nenhuma discordância com a relação

QUADRO 17-1 SIMULAÇÃO DE DADOS

$D_{MAXR} \times \text{MOD. 30} \quad Y = A \times \text{EXP}(BX + CX^2 + DX^3)$			$D_{MAXT} \times \text{MOD. 30} \quad Y = A \times \text{EXP}(BX + CX^2 + DX^3)$		
X	Y Estimado	Y Lido	X	Y Estimado	Y Lido
26	2393,226	2490,34	21,19	2396,175	2490,34
52	871,2742	635,23	47,00	889,5126	635,23
36	1057,6550	854,70	33,58	980,4743	854,70
56	735,1576	763,53	47,66	886,6525	763,53
56	735,1576	469,74	61,78	509,0252	469,74
54	813,3381	1048,86	50,49	863,0873	1048,86
40	973,4684	887,95	38,26	909,7106	887,95
64	310,7629	323,58	66,28	304,1124	323,58
56	735,1576	964,57	49,12	877,0719	964,57
32	1285,8480	1317,95	26,99	1338,7830	1317,95
44	950,2130	1444,59	44,09	895,1174	1444,59
56	735,1576	721,63	53,18	818,1556	721,63

QUADRO 17-2 SIMULAÇÃO DOS DADOS

ICB. x MOD. 90		$Y = A \times X^B$	E2.S x MOD 90		$Y = A + BX$
X	Y Estimado	Y Lido	X	Y Estimado	Y Lido
6,57	177,9226	239,48	870,18	187,2760	239,48
4,03	230,8863	219,44	1272,66	252,1842	219,44
7,81	162,2553	175,37	697,77	159,4714	175,37
9,93	142,7552	116,75	621,77	147,1342	116,75
5,80	190,1493	166,99	933,15	197,4312	166,99
8,63	153,8443	119,30	712,07	161,7776	119,30
8,86	151,7020	199,80	654,76	152,5952	199,80
2,19	319,6025	315,10	1534,55	294,4193	315,10



FIGURA 10 — CURVA REPRESENTATIVA DA AJUSTAGEM  $D_{MAXR} \times$  MÓDULO DE RECOMPRESSÃO

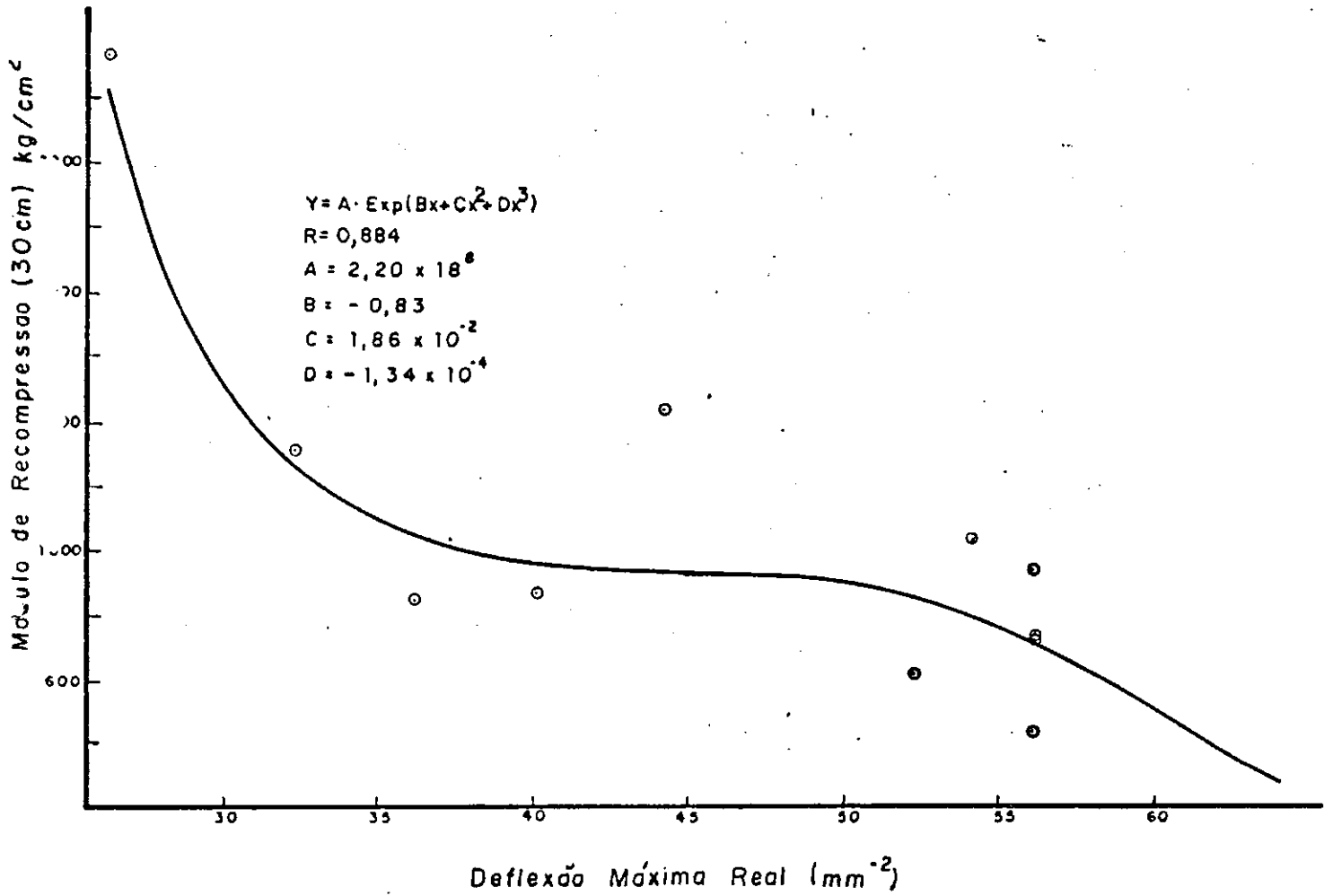


FIGURA II — CURVA REPRESENTATIVA DA AJUSTAGEM  $D_{MAX}^{TEORICA}$  x MÓDULO DE RECOMPRESSÃO

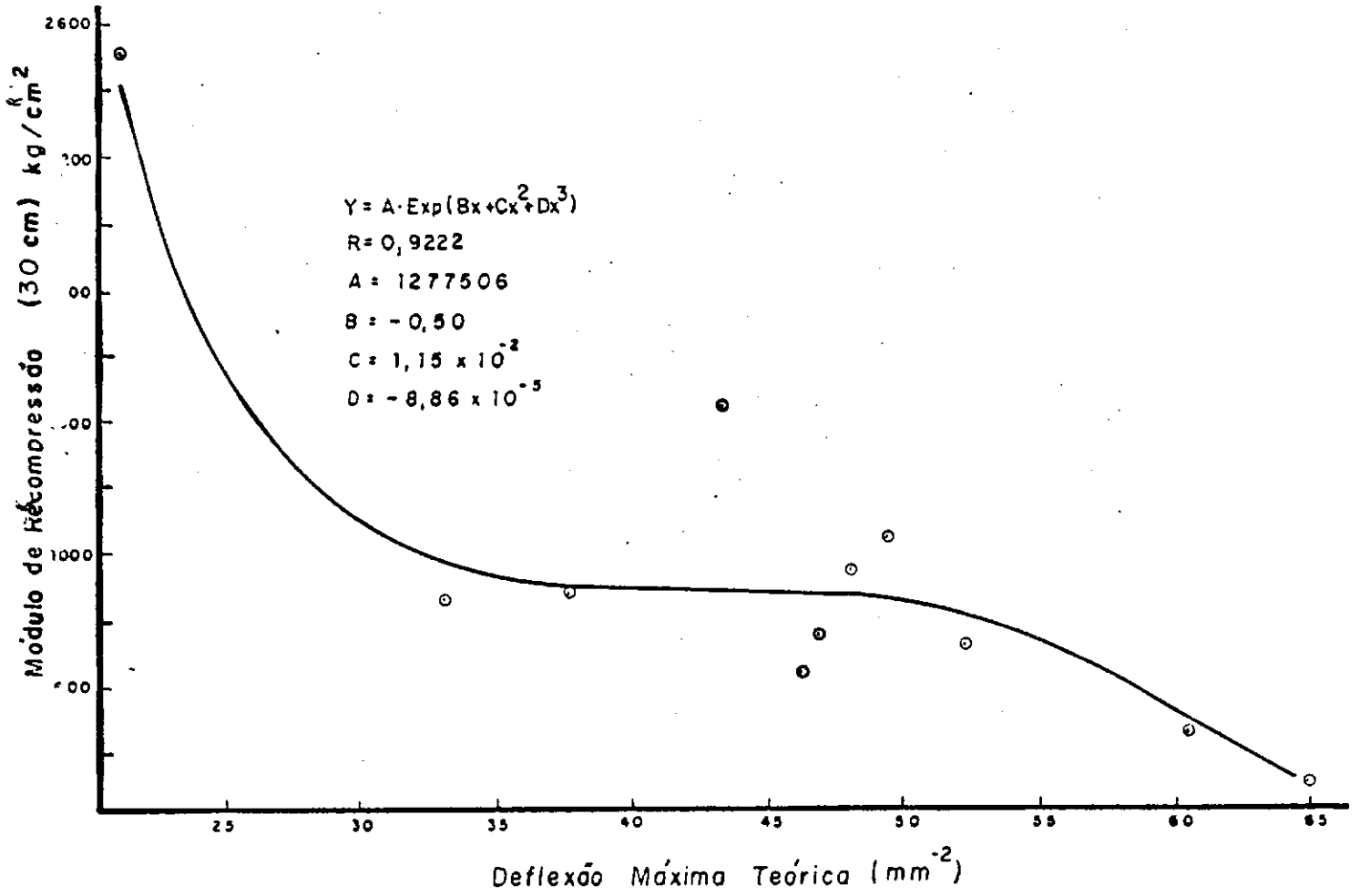


FIGURA 12 - GRÁFICO REPRESENTATIVO DA AJUSTAGEM  $E_2$  x MÓDULO DE RECOMPRESSÃO

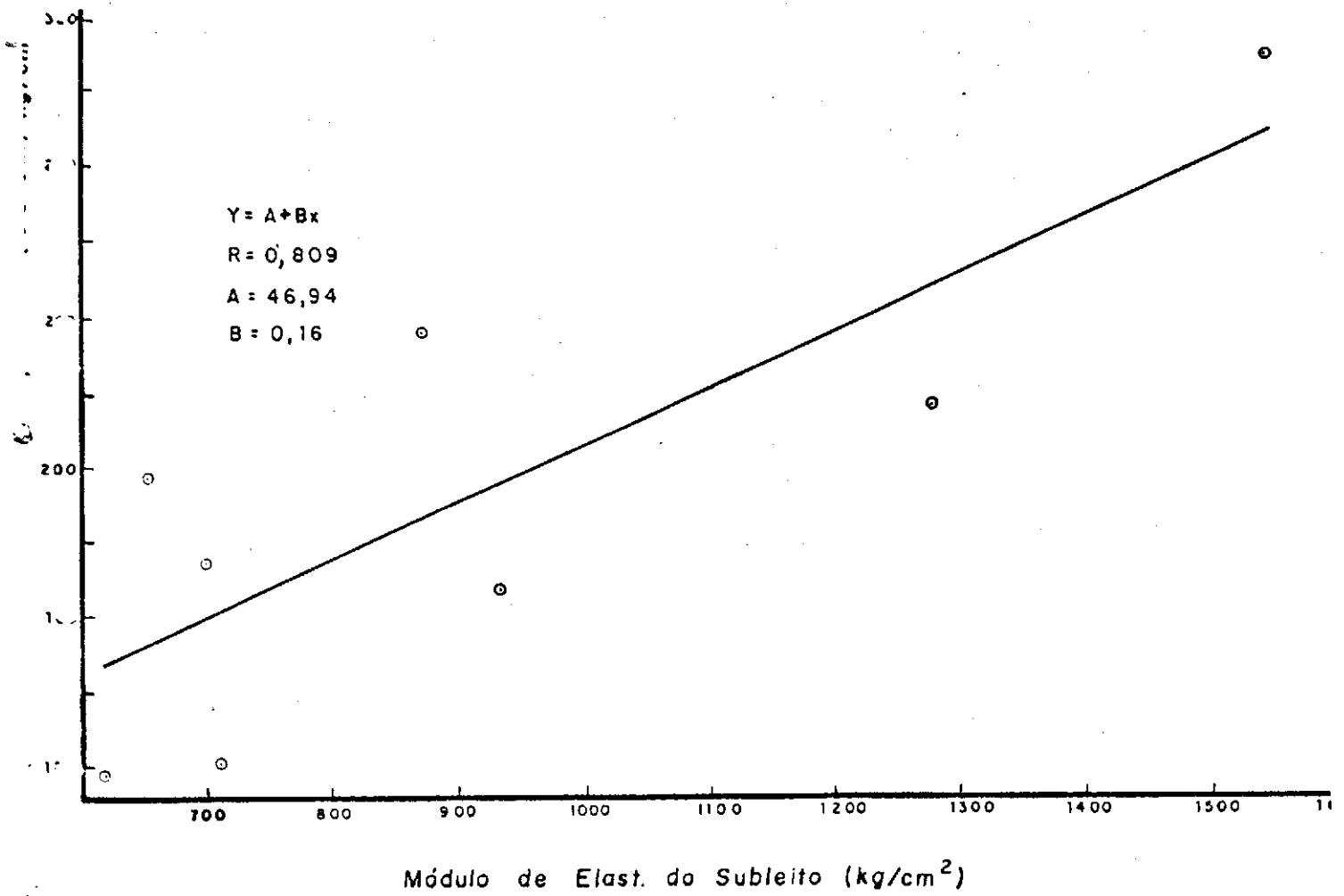
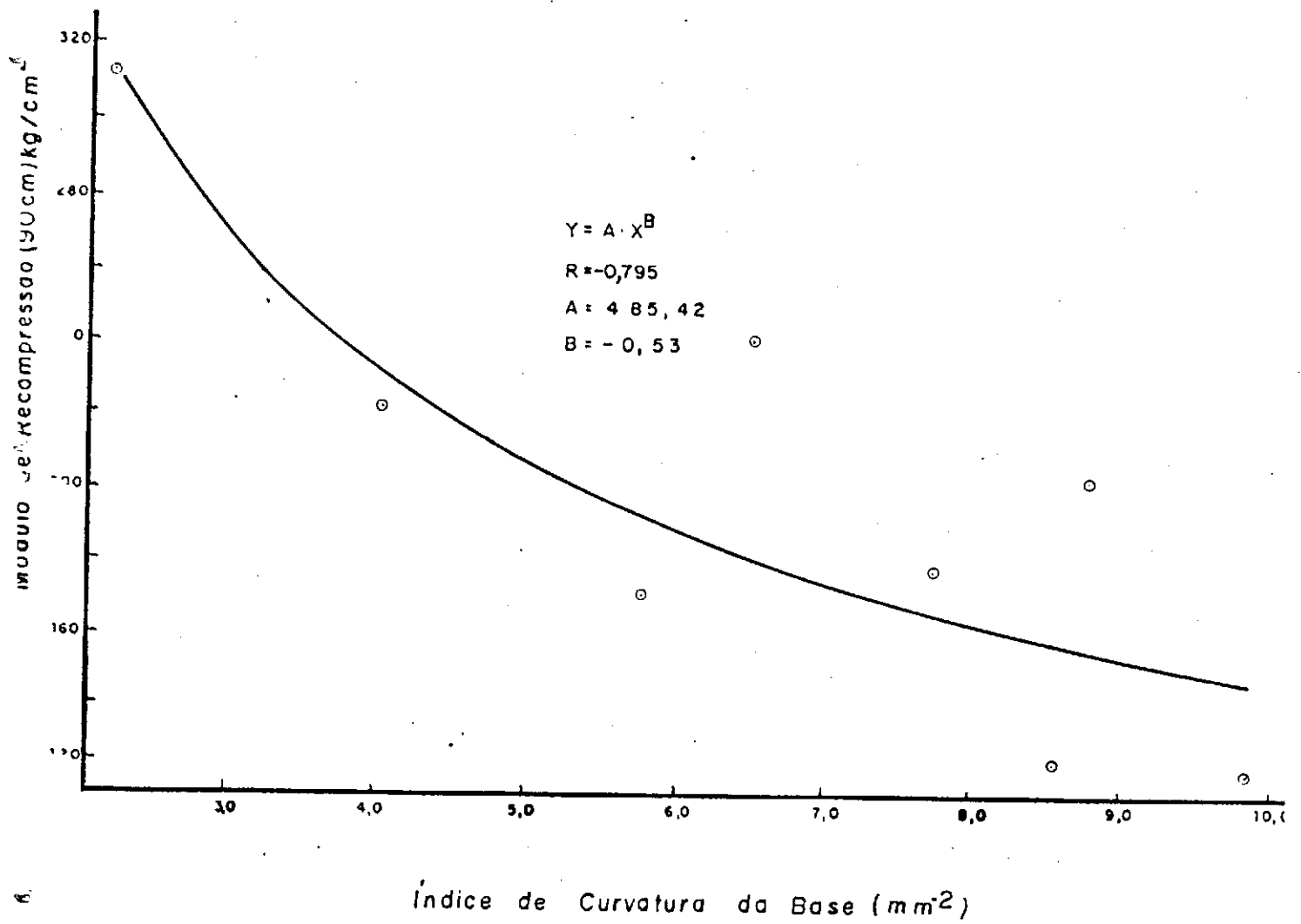


FIGURA 13 - CURVA REPRESENTATIVA DA AJUSTAGEM ICB x MÓDULO DE RECOMPRESSÃO



ICB X  $E_z$  (Fabricio, 1988).

#### 5.8 - Equações, Gráficos e Simulações Obtidos com as Ajustagens Realizadas entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos e Módulos Pressiométricos

O Quadro 18 apresenta os resultados das correlações propostas e suas respectivas equações obtidas com as ajustagens entre os Parâmetros Estruturais Deflectométricos e os Módulos Pressiométricos a 30 e 90 cm de profundidade.

A Análise Estatística, realizadas nas ajustagens obtidas, foi baseada nos seguintes parâmetros: Coeficiente Correlação (R) e teste de significância da análise de variância 5%, através da razão "F".

As ajustagens consideradas mais significativas e teoricamente correlacionáveis, segundo os critérios adotados, foram as seguintes: Módulo de Elasticidade do Sub-leito ( $E_2$  Kg/cm<sup>2</sup>), obtido através do modelo elástico simples de Hogg, versus Módulo Pressiométrico obtido a 90 cm de profundidade Kg/cm<sup>2</sup>; Índice de Curvatura da Base (ICB mm<sup>-2</sup>) versus Módulo Pressiométrico, obtido a 90 cm de profundidade em Kg/cm<sup>2</sup>.

Nos Quadros 18.1 e 18.2 estão representadas as simulações das ajustagens obtidas, correspondentes ao intervalo do número de pares de pontos ajustáveis, as quais dão uma idéia mais prática das variações entre os parâmetros estruturais obtidos em campo e os parâmetros estruturais calculados pelas equações determinadas nas às ajustagens.

QUADRO 18 — AJUSTAGENS OBTIDAS ENTRE OS PARÂMETROS DEFLECTOMÉTRICOS x MÓDULOS PRESSIOMÉTRICOS.

Relação	Equação	A	B	Coefficiente de Correlação	Fator F	Nº de Pares
$E_2$ x Mod. Pressiométrico	$Y = A + BX$	8,548903	0,0613066	+0,8480	15,3324	8
$I C B$ x Mod. Pressiométrico	$Y = A + BX$	117,529	-7,887255	-0,8720	19,0662	8

X	Y Estimado	Y Lido
870,18	61,89668	80,81
1272,66	86,57137	78,00
697,77	51,32681	52,00
621,77	46,66751	37,00
933,15	65,75716	62,00
712,07	52,20350	35,00
654,76	48,69002	65,00
1534,55	102,62700	105,93

QUADRO 18-1 SIMULAÇÃO DE DADOS  
E<sub>2</sub> x MOD. PRESSIOMÉTRICO

X	Y Estimado	Y Lido
6,57	65,70973	80,81
4,03	85,74336	78,00
7,81	55,92954	52,00
9,93	39,20855	37,00
5,80	71,78291	62,00
8,63	49,46198	35,00
8,86	47,64792	65,00
2,19	100,2559	105,93

QUADRO 18-2 SIMULAÇÃO DE DADOS  
ICB x MOD. PRESSIOMÉTRICO

Nas Figuras 14 e 15 foram plotadas os pontos correspondentes seguintes das correlações: Módulo de Elasticidade do subleito ( $E_2$  Kg/cm<sup>2</sup>), obtido através do modelo elástico simples de Hogg, versus Módulo Pressiométrico, obtido na profundidade de 90 cm em Kg/cm<sup>2</sup>; Índice de Curvatura da Base (ICB mm<sup>-2</sup>) versus Módulo Pressiométrico, obtido na profundidade de 90 cm em Kg/cm<sup>2</sup>.

O comportamento linear positivo da relação  $E_2$  X Módulo Pressiométrico como também a linearidade decrescente da ajustagem obtida entre ICB X Módulo Pressiométrico, por analogia ao item anterior desta apresentação, satisfazem teoricamente e estatisticamente as correlações propostas.

#### 5.9 - Ensaio de Laboratório

A análise conjunta envolvendo os resultados dos ensaios de laboratório e observações "in situ" das três amostras coletadas do subleito (Quadro 19) leva a concluir que as características granulométricas, de resistência e de plasticidade, se enquadram dentro dos padrões pré-estabelecidos para dimensionamento de pavimentos. Especificamente com relação ao Índice de Suporte Califórnia (ISC), observou-se que os valores obtidos em laboratório se aproximam dos valores obtidos através da metodologia baseada no Modelo de Hogg. Contudo, vale salientar que foram obtidas apenas três coletas e que seria necessária uma quantidade maior de amostra para uma observação melhor do comportamento entre os dois parâmetros.



Figura-14 GRÁFICO REPRESENTATIVO DA AJUSTAGEM  $E_2 \times$  MÓDULO PRESSIOMÉTRICO

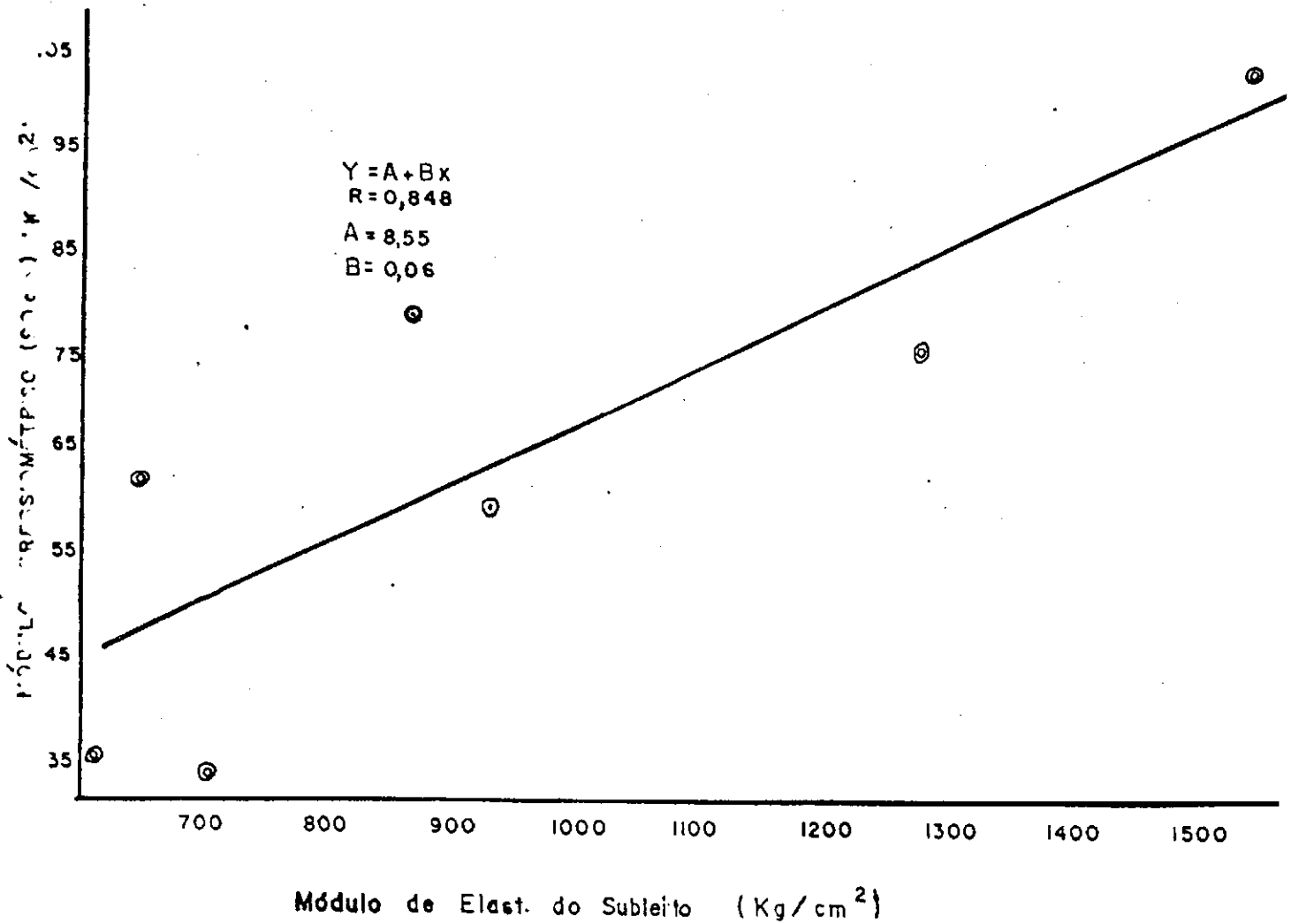
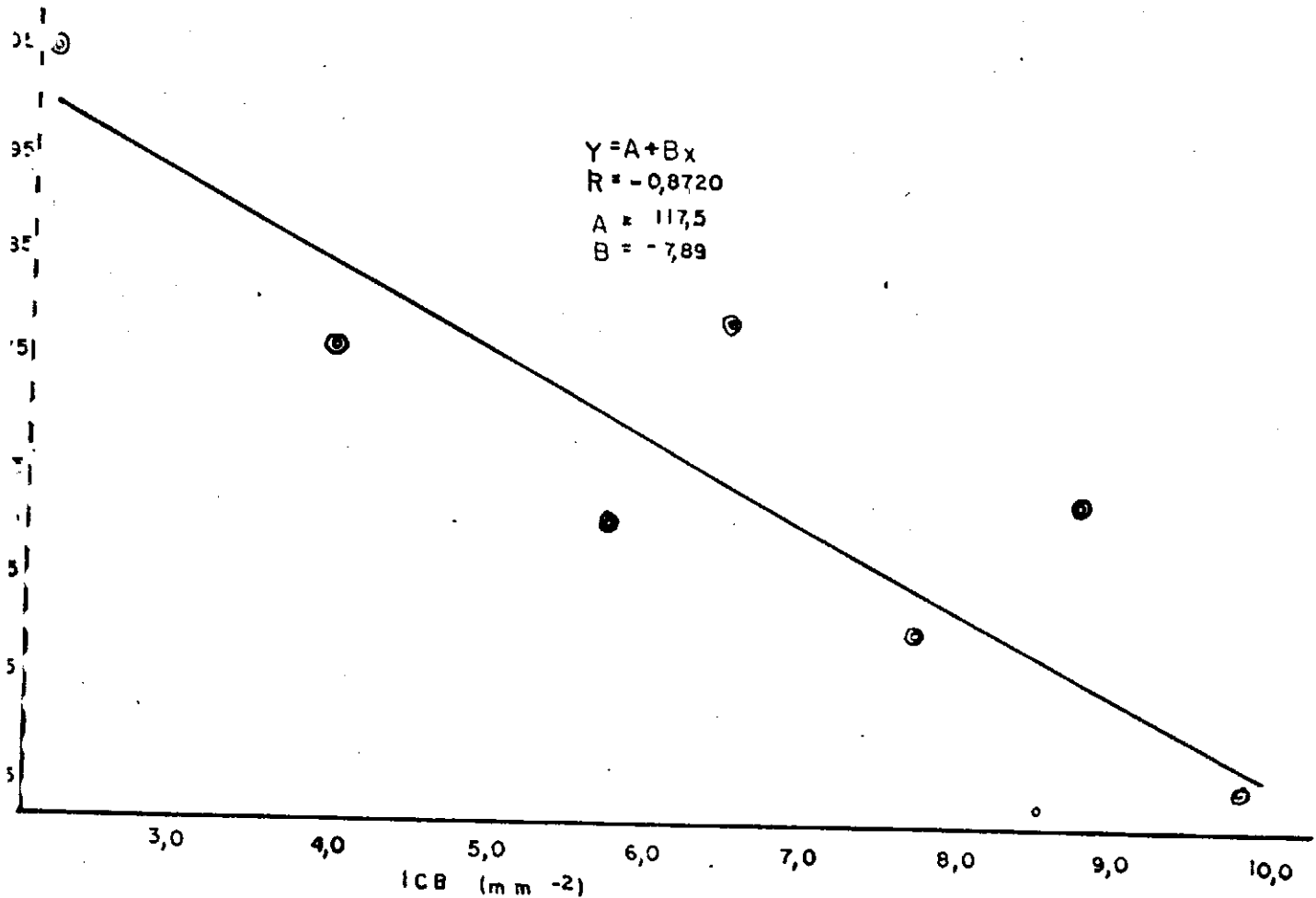


Figura - 15 GRÁFICO REPRESENTATIVO DA AJUSTAGEM E2 x MÓDULO PRESSIOMÉTRICO



QUADRO - 19 ENSAIOS DE LABORATORIO

ESTACA.	PROFUND.	ISC CALC	ISC LAB.	D <sub>máx</sub>	U <sub>ótima</sub>	LL	LP
709 LE	SUB-LEITO	9	6,4	1855	15,8	NL	NP
589 LE	SUB-LEITO	11	12,8	1925	11,7	NL	NP
784 LD	SUB-LEITO	10	16,2	1710	17,4	NL	NP
GRANULOMETRIA							
PENEIRAS	ESTACA 709-LE	ESTACA 589-LE	ESTACA-784-LD				
3/8	99,71	100	99,45				
No 4	99,55	99,9	99,28				
No 10	98,66	99,26	97,86				
No 40	72,95	73,2	71,70				
No 200	31,06	22,07	27,57				
Classif. AASHTO	A3	A3	A3				
IG	0	0	0				
PEDREGULHO Acima de 2,0mm	1,34%	0,74%	2,14%				
AREIA GROSSA 2,0 - 0,42mm	25,71	26,06	26,16				
AREIA FINA 0,42 - 0,074mm	41,89	51,13	44,13				
SILTE + ARGILA Abaixo/0,074mm	31,06%	22,07%	27,57%				
TOTAL	100%	100%	100%				

## CAPITULO - VI

### C O N C L U S Ő E S

Após análises dos resultados obtidos nesta pesquisa, considerando o campo limitado do estudo e o difícil controle das variáveis que influenciam ensaios "in situ", chegou-se as seguintes conclusões:

- Com relação a metodologia utilizada para obtenção de parâmetros estruturais deflectométricos;

A metodologia utilizada, através da interpretação das Bacias de Deformação, mostrou-se adequada e de forma bastante detalhada na avaliação estrutural de pavimentos flexíveis constituídos de solo laterítico, tanto do ponto de vista teórico como prático, o que facilitou a observação mais precisa do comportamento da base laterítica bem como das demais camadas que compõem o pavimento estudado.

- Com relação ao ensaio pressiométrico

O ensaio pressiométrico mostrou-se adequado na avaliação das camadas de sub-base e subleito do trecho estudado por apresentar características de versatilidade, economia e respaldo teórico, que satisfazem plenamente as exigências para um ensaio "in situ". Porém, por ser um método de ensaio relativamente novo, são necessários parâmetros estruturais referenciais para uma avaliação estrutural mais precisa.

- Com relação a camada de base laterítica

O comportamento estrutural da base laterítica estudada faz indicar, dentro dos limites de aceitabilidade estrutural/adoptados na metodologia, a viabilidade de utilização deste material (Jazida Sapé/Mari) como camada de base a que foi dimensionada.

- Com relação ao correlacionamento entre os parâmetros estruturais deflectométricos e pressiométricos.

Através da análise teórica e estatística das tendências comportamentais dos parâmetros estruturais dos respectivos ensaios, observou-se de maneira significativa as correlações entre:  $E2 \times E90cm$ ;  $E2 \times Ec90cm$ ;  $ICB \times E90cm$  e  $ICB \times Ec90cm$ . O que demonstrou: a viabilidade de determinação de parâmetros estruturais limites para o ensaio pressiométrico, baseado em outros ensaios, bem como respaldo teórico-interpretativo do ensaio pressiométrico na avaliação estrutural das camadas de sub-base e subleito de pavimentos flexíveis.

- Com relação ao pavimento como um todo.

As camadas estruturais do pavimento (REV + BASE + SUB-BASE + SUBLEITO), segundo critérios estruturais adotados na metodologia, encontram-se em boas condições estruturais.

## SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, observaram-se algumas particularidades que com seu conhecimento específico, poderiam vir a preencher de maneira mais abrangente os estudos realizados, de forma a diminuir as limitações detectadas.

Alguns procedimentos novos, de avaliação estrutural de pavimentos, poderiam contribuir, de forma bastante interessante, no estudo do comportamento dos solos lateríticos utilizados na construção de pavimentos rodoviários. Com isso, sugere-se:

- Estudo comparativo entre os parâmetros estruturais pressiométricos e os Módulos de Elasticidade, determinados pela retroanálise das Bacias de Deformação através do programa computacional Elsym5, objetivando o estabelecimento de limites estruturais de avaliação para o ensaio Pressiométrico.

- Avaliação de outros trechos pavimentados com solos lateríticos através dos Módulos de Elasticidade determinados pelo o programa Elsym5 e da metodologia baseada na interpretação das Bacias de Deformação, bem como a verificação do correlacionamento entre os parâmetros obtidos.

- Estudo estatístico das variações detectadas entre o Raio de Curvatura R1 e o Raio de Curvatura R2.

- Estudo de uma metodologia estatística para análise de parâmetros estruturais, baseado no critério de amostragem sistemática, objetivando a avaliação estrutural de pavimentos flexíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ARANDVICH, Luis., Avaliação de Pavimentos Flexíveis. In: Reunião Anual de Pavimentação, 18: 1983, Porto Alegre. Associação Brasileira de Pavimentação Anais... vol. - 01 - Porto Alegre - RS Setembro de 1983.
02. ASSUNÇÃO, L.C.X. Resiliência Sua Conceituação Teórica; In: Reunião Anual de Pavimentação, 14, 1978, João Pessoa - Anais... João Pessoa - Pb: Associação Brasileira de Pavimentação, 1978.
03. Associação Brasileira de Pavimentação, Utilização da Laterita na Pavimentação - Rio de Janeiro: 1976.( Boletim Técnico n. 09).
04. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Curso de Manejo Florestal: Amostragem para fins de Manejo. Brasília: 1987. 25 p.
05. BAGUELIN, F., Jezequel, J.F., Shields, D.. the Pressuremeter and Fondation Engineering. Clausthal Germany; Trans Tech, 1978.
06. BARATA, Fernando Emanuel., Elucubrações sobre Aspectos Geo técnicos interessantes Específicos e Diferenciáveis dos Solos Tropicais em Geral, Particularmente os do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais. Anais... Rio de Janeiro - RJ. 21 a 23 set/1981.

07. BEZERRA, P.S., & LUCENA, F.B., Avaliação Estrutural Utilizando se Ensaio de Prova de Carga Sobre Placas e Ensaio Pressiométricos. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos Projetos de Reforço, 02. Rio de Janeiro. Anais... Associação Brasileira de Pavimentação, 1989.
08. BRIAUD, J.L. The Pressuremeter: Application to Pavement Design, Canadá: University of Ottawa, Civil Engineering Department, 1979 (Ph.D. Dissertation)
09. BRIAUD, J.L., and SHIELDS, G.H., "A Special Pressuremeter and Test for Pavement Evaluation and Design", Geotechnical Testing Journal GTJODJ. vol.02 No.03, pp 143.153, set/1979.
10. BRIAUD, J.L., Pavement Design with the Pavement Pressuremeter. In: Third International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields 3 a 5 July/1990.
11. BRANCO, Fernando, Capacidade de Carga e Reforço de Pavimentos. Jornadas Luso Brasileira de Engenharia Rodoviária. Trabalhos Técnicos da Delegação Portuguesa. Rio de Janeiro - RJ, out/1984.
12. COCHRAN, W.G. Sampling techniques. 2 ed., New York: John Wiley, 1965. 428
13. DARTER Michael I. Maintenance-Free Life of Heavily Trafficked Flexible Pavements - Transportation Research Record Pavement Design Evaluation, and Performance, Washington D.C. - 1976.



14. DAL FABRO, EUVALDO. Dimensionamento e Avaliação Estrutural dos Pavimentos Novos das Rodovias D. Pedro I e Ligação Campinas-Sorocaba. In: Reunião Anual de Pavimentação, 25. São Paulo - SP. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Pavimentação, 1991. IV Sessão Técnica Avaliação, Manutenção, Análise Econômica e Gerência.
15. DNER - Métodos e Instruções de Ensaio - DNER-ME-24-78; DNER-PRO/11-79; DNER-PRO 07/78, DNER-PRO- 08-78, DNER-PRO-10-79-1979.
16. ELSYM5 - Interactive Microcomputer Version. Washington D.C.: Federal Highway Administration, 1987.
17. FABRICIO, J.M. Metodologia não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Através da Interpretação das Bacias de Deformação. Associação Brasileira de Pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 23. vol. 03, Florianópolis. Anais... Associação Brasileira de Pavimentação Florianópolis - Santa Catarina - out/1988.
18. FERREIRA, H.C., Lucena, F.B., Utilização de Solos Vermelhos Tropicais (Solos Lateríticos) como Matéria Prima para uso em Cerâmica Vermelha ou Estrutural, Cerâmica vol. 30 n.169,p.7 1984.
19. F.JUNIOR, José Leonar - Avaliação dos Efeitos Prováveis dos Limites Legais de Cargas por Eixo e da Sobrecarga sobre a Deterioração dos Pavimentos no Brasil. Reunião Anual de Pavimentação, 25, 1991. São Paulo - SP. Anais... São Paulo - SP: Associação Brasileira de Pavimentação, 1991. IV Sessão técnica, Avaliação, Manutenção, Análise Econômica e Gerência.
20. HASS, R., Surface Evaluation of Pavements: State of the ART in Pavement Rehabilitation; Proceduring of a Workshop-REP. Nº FHWA-RD-74-60 - WASHINGTON-1974.

21. HARVEY J. TREYBIG, FRED W. FINN e R.F. Mc CULLOUGH, Fatigue Criteria Development for Flexible Pavement Overlay Design (ABRIDGMENT) - Transportation Research Record Pavement Design Evaluation, and Performance, Washington, D.C. 1976.
22. HEYN, at all., 1987 "Merlin (Machine for Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation) - "Equipamento Simples para Avaliação de Irregularidades Longitudinais - XXII - RAPV - 1987.
23. HIENO, Kenji. Development Evaluation System Using the Falling Weight Deflectometer, ( Japan ). In: Simpósio Internacional de Projeto e Reforço. 02, vol. II, Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, set/1989.
24. HUMBERTO, S. Os Solos Lateríticos e a Pavimentação. In: Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 1970. Publicado em 1975.
25. HUDSON, W.R., The Role of Measurements in Pavements Evaluation. In: Simpósio sobre Instrumentação de Campo em Engenharia de Solos e Fundação. Rio de Janeiro - RJ. COPPE - UFRJ. nov/1975.
26. JOSE, E. M. Capacidade de Suporte dos Pavimentos. Análise Estrutural e Caracterização de Bases Granulares. In: Jornadas Luso Brasileiras de Engenharia Rodoviária. Trabalhos Técnicos da Delegação Portuguesa. Rio de Janeiro, Out/1984.
27. JORGE FLAMARION VASCONCELOS at Allii, Medidas de Irregularidades com Integrador IPR/DNER - ABPV - VOZ - 2 - Macaé-A1, Set/1987.

28. LYTTON, R.L. Condition Surveys for Pavements Structural Evaluation - Transportation Research Record Pavement Design Evaluation, and Performance, Washington D.C. , 1976.
29. LOPES, L.G.R. Concreções Lateríticas e sua Utilização na Construção Rodoviária. In: Seminário em Geotecnia de Solos Tropicais, 1987, Brasília. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. Brasília - D.F. 30 nov/1987.
30. LUCENA, F.B. Propriedades dos Materiais e Estudo Preliminar do Comportamento do Trecho da BR-104, Pavimentados com Mistura de Solos Lateríticos e Areia. In: Reunião Anual de Pavimentação, 23. 1983, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Associação Brasileira de Pavimentação, Florianópolis-SC. out/1983.
31. LUCENA, FRANCISCO BARBOSA, Solos Lateríticos e sua Utilização na Engenharia Rodoviária Relatório de Execução - DER-78 a Agosto - 1979, UFPB, Campus II, Campina Grande-PB
32. LIMA, R.C., Granulometria de Solos Lateríticos: Metodologia, Efeitos das Energias Térmica e Mecânica e Relação com a Composição Química e Mineralogia, Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 1983. (Dissertação de Mestrado).
33. McCULLOUGH, B.F., Distress Mechanism - General System for Low-Volume Asphalt Roads - Inf Series nº 169 (IS-167) - 1977.
34. MINISTERIO DOS TRANSPORTES - DNER., Reabilitação de Pavimentos (Materiais e Técnicas), Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR - Rio de Janeiro-RJ/1975.
35. MINISTERIO DOS TRANSPORTES - DNER. Métodos e Instruções de Ensaio - Análise Granulométrica de Solos por peneiramento - Método de Ensaio - DNER - ME 80-64.

36. MINISTERIO DOS TRANSPORTES - DNER. Métodos e Instruções de Ensaio - Limite de Plasticidade de Solos - Método de Ensaio - DNER - ME 82-63.
37. MINISTERIO DOS TRANSPORTES - DNER. Métodos e Instruções de Ensaio - Limite de Liquidez de Solos - Método de Ensaio - DNER - ME -44-71.
38. MINISTERIO DOS TRANSPORTES - DNER. Métodos e Instruções de Ensaio - Índice de Suporte California de Solos - Método de Ensaio - DNER - ME 50-64.
39. PAYANDEH, B. Relative Efficiency of two-dimensional Systematic Sampling. For. sci., v.16, n.3, p. 271-6.1970
40. PRESSLER, E.S. A Consideração das Deflexões na Avaliação Estrutural dos Pavimentos Asfálticos. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimento e Projeto de Reforço, 1979. Rio de Janeiro - RJ, Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 1979 9 a 14 de set/1979.
41. QUEIROZ, C.A.V. Modelo de Previsão de Desempenho de Pavimentos Asfálticos. In: Reunião Anual de Pavimentação, 11, 1983. Porto Alegre - RS: Anais... Porto Alegre: Associação Brasileira de Pavimentação, set/1983.
42. QUEIROZ, A.V. Alex T. Visser; Uma Investigação dos Módulos de Resiliência de Revestimentos Betuminosos Brasileiros, In: Reunião Anual de Pavimentação, 14, 1978. João Pessoa - PB: Anais... João Pessoa: Associação Brasileira de Pavimentação, Set. 1978.

43. PINTO, SALOMÃO. Análise de Medidas Obtidas com um Curvimetro de Pavimento em Rodovia Brasileira. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço. 1979. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 9 a 14 set/1979.
44. SOUSA, M.L. Utilização de Materiais lateríticos na Construção de Pavimentos no Brasil. International Road Federation. 10th IRF World Meeting. Rio de Janeiro, out/1984.
45. SUDENE e M.A. (Ministério da Agricultura). Levantamento Exploratório, Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, Rio de Janeiro - RJ: 1972 (Boletim Técnico n.15), Série Edofologia, n.8, Rio de Janeiro, 1972.
46. SUDENE, Departamento de Solos, Mapa de Regiões Bioclimáticas e Mapa de Isoietas, Recife, 1974.
47. UDIN, W. & HUDSON, R.W., Selection and Use of Dynamic Deflection Equipment and Analysis Package for Pavement Evaluation. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço, 02, vol. I. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro set/1989.
48. THE ASPHALT INSTITUTE, A Pavement Rating System for Low - Volume Asphalt Roads - Inf. Series n ° 169 (IS-167) - 1974.

C A P I T U L O - V I I

A P E N D I C E S

A P E N D I C E - A

PARÂMETROS ESTRUTURAIS E BACIAS DE DEFORMAÇÃO OBTIDOS COM O  
ENSAIO DEFLECTOMETRICO E METODOLOGIA ADOTADA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/559-LE

RESULTADOS	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	32.000 0,01mm
0.125 m	24.000 0,01mm
0.250 m	16.000 0,01mm
0.400 m	10.000 0,01mm
0.600 m	4.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	39.112 0,01mm
0.126 m	28.560 0,01mm
0.250 m	15.890 0,01mm
0.300 m	12.599 0,01mm
0.600 m	4.153 0,01mm
0.900 m	1.962 0,01mm

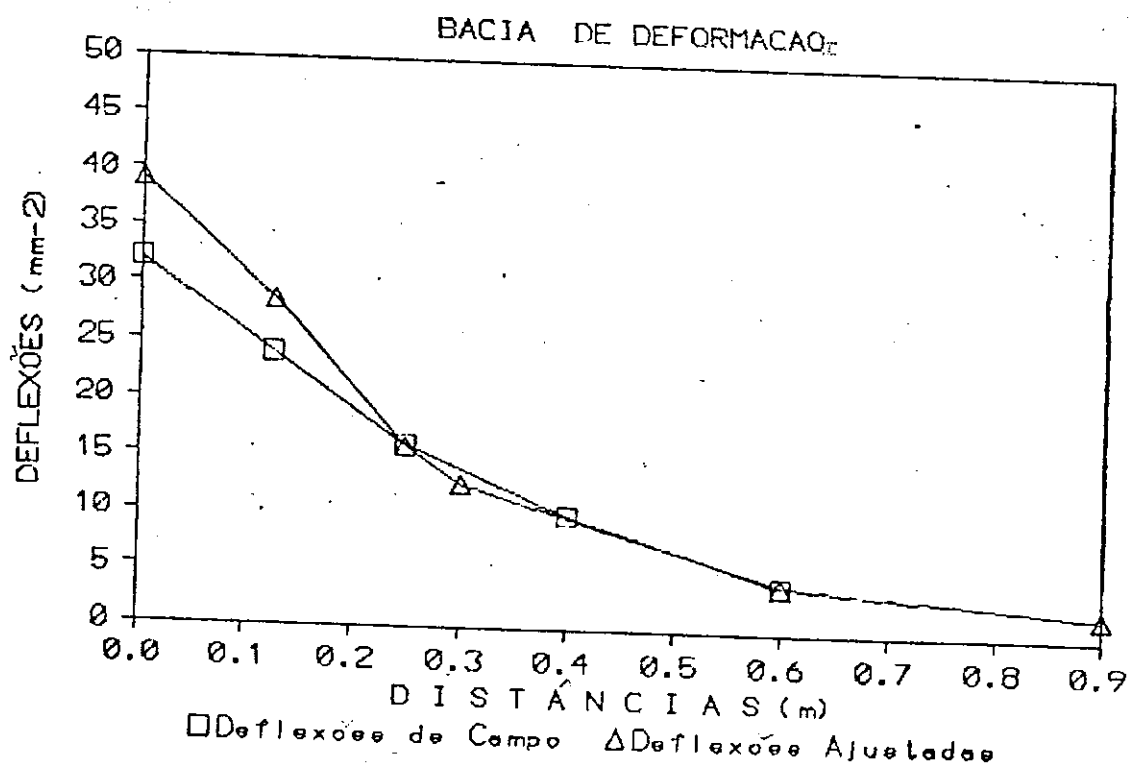
EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2556.79 + 59783.04 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9904

PARAMETROS ESTRUTURAIIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 54.67 m INFLEXAO Xinf = 11.94 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 134.57 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 26.51mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 2138.39 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 2.19mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 47.61 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 8.45mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 22 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0006  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 1534.55 Kg/cm<sup>2</sup>



BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/559-Le



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/574-LD

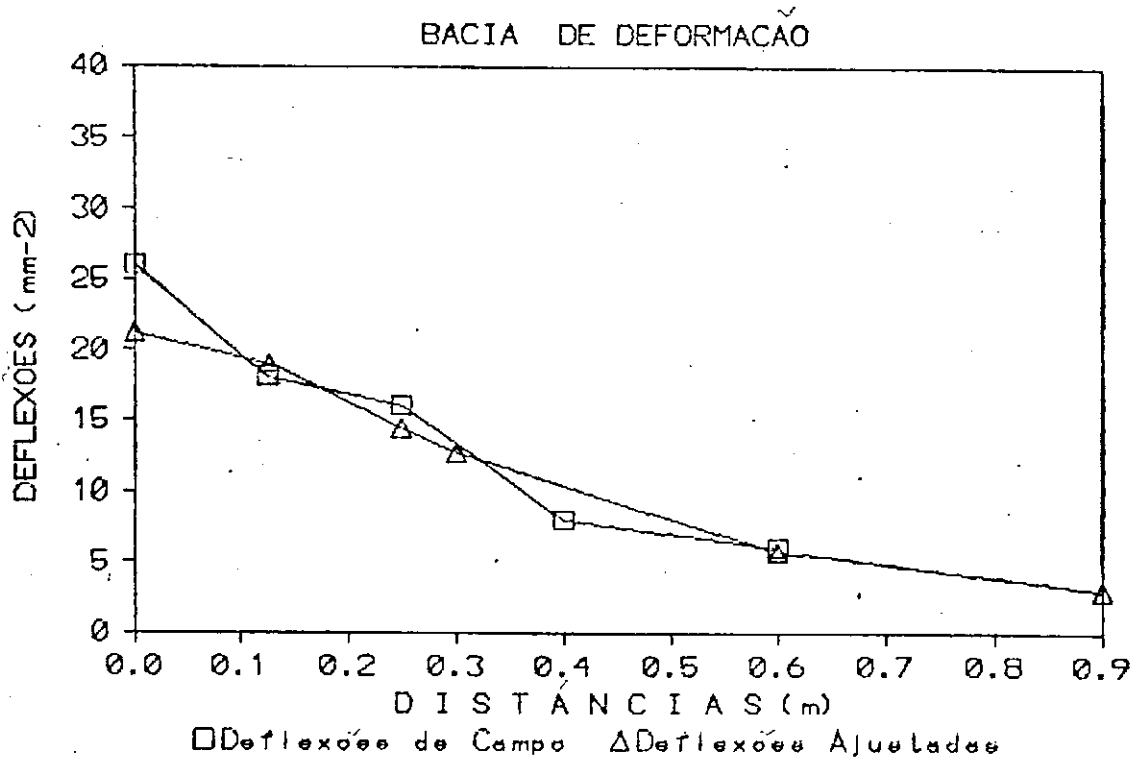
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	26.000 0,01mm
0.125 m	18.000 0,01mm
0.250 m	16.000 0,01mm
0.400 m	8.000 0,01mm
0.600 m	6.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CÁLCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	21.195 0,01mm
0.126 m	18.943 0,01mm
0.250 m	14.417 0,01mm
0.300 m	12.639 0,01mm
0.600 m	5.716 0,01mm
0.900 m	2.988 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 4718.15 + 35490.24 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO = 0.9722

PARÂMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 313.62 m INFLEXÃO  $X_{inf} = 21.05$  cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 461.06 m IND. DE CURV.SUPERF.  $ICS = 8.56mm^{-2}$   
 PRODUTO RD = 6647.12 IND. DE CURV. DA BASE  $ICR = 2.73mm^{-2}$   
 ACHATAMENTO  $M = 62.20$  % IND. DE DEST. DA BASE  $IDB = 6.92mm^{-2}$   
 IND.SUPPORT.CALIF.  $ISC = 30$  INCLINACAO DA DEFLEXAO  $ID = 0.0003$   
 MOD. DE ELAST.DO SUB.  $E2 = 2085.94$  Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/574-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUAÇÃO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/589-LE

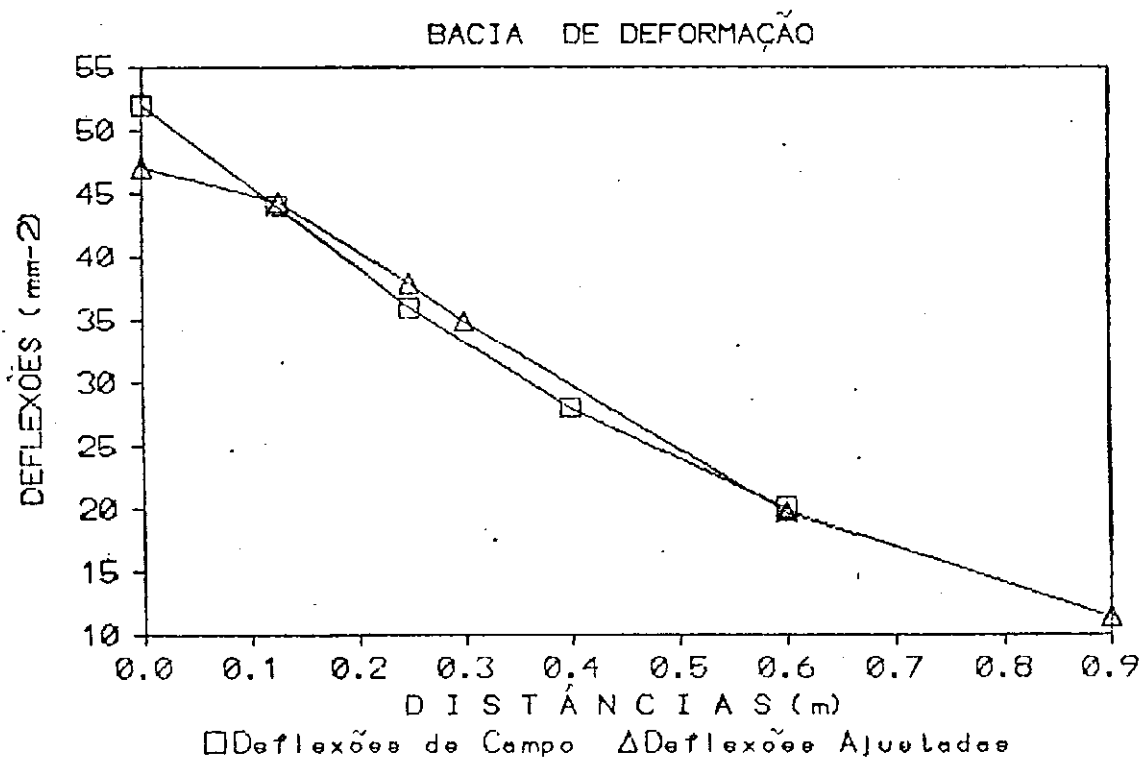
RESULTADOS	
DISTÂNCIAS INICIAIS	DEFLEXÕES DE CAMPO
0.000 m	52.000 0,01mm
0.125 m	44.000 0,01mm
0.250 m	36.000 0,01mm
0.400 m	28.000 0,01mm
0.600 m	20.000 0,01mm
DISTÂNCIAS PARA CÁLCULO	DEFLEXÕES CALCULADAS
0.000 m	47.022 0,01mm
0.126 m	44.318 0,01mm
0.250 m	37.880 0,01mm
0.300 m	34.895 0,01mm
0.600 m	19.674 0,01mm
0.900 m	11.392 0,01mm

EQUAÇÃO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2126.69 + 8211.64 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO = 0.9929

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 275.39 m INFLEXÃO Xinf = 29.38 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 341.85 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 12.13mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 12949.21 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 8.28mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO K = 72.02 % IND. DE DEST. DA BASE IDR = 15.22mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 11 INCLINAÇÃO DA DEFLEXÃO ID = 0.0005  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 743.46 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/506-1e



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUAÇÃO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/604-LD

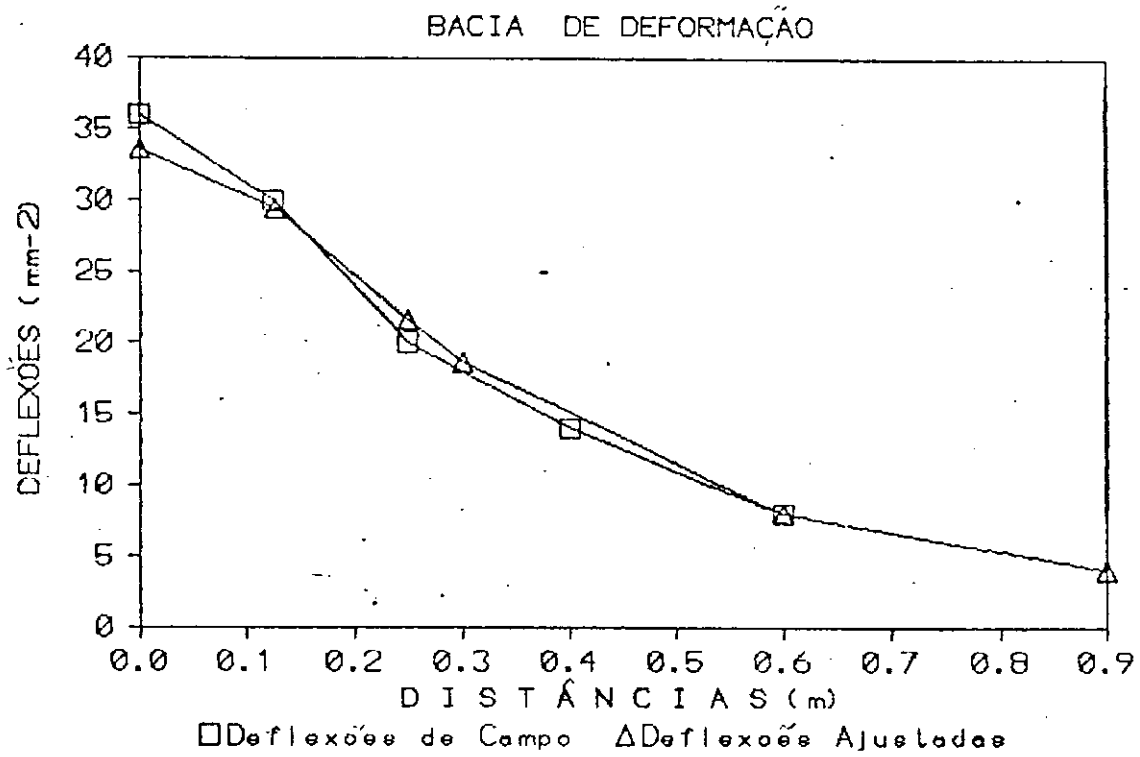
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXÕES DE CAMPO
0.000 m	36.000 0,01mm
0.125 m	30.000 0,01mm
0.250 m	20.000 0,01mm
0.400 m	14.000 0,01mm
0.600 m	8.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXÕES CALCULADAS
0.000 m	33.577 0,01mm
0.126 m	29.435 0,01mm
0.250 m	21.571 0,01mm
0.300 m	18.639 0,01mm
0.600 m	7.984 0,01mm
0.900 m	4.088 0,01mm

EQUAÇÃO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2978.27 + 26520.56 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO = 0.9985

PARÂMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 167.23 m INFLEXÃO Xinf = 19.35 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 260.30 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 14.94mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 5615.02 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 3.90mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO K = 59.76 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 10.66mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 20 INCLINAÇÃO DA DEFLEXÃO ID = 0.0004  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 1388.02 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/604-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUAÇÃO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/634-LD

RESULTADOS	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	56.000 0,01mm
0.125 m	48.000 0,01mm
0.250 m	36.000 0,01mm
0.400 m	24.000 0,01mm
0.600 m	20.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	47.655 0,01mm
0.126 m	44.663 0,01mm
0.250 m	37.672 0,01mm
0.300 m	34.493 0,01mm
0.600 m	18.863 0,01mm
0.900 m	10.747 0,01mm

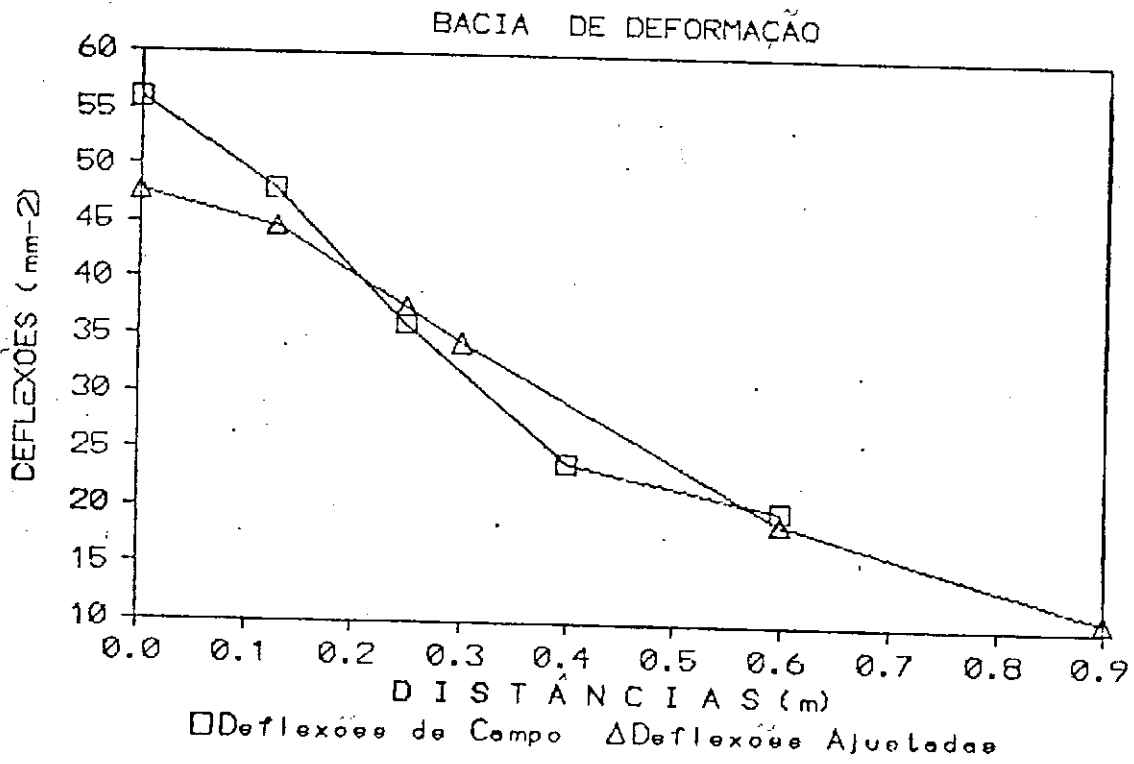
EQUAÇÃO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2098.41 + 8896.85 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO = 0.9567

PARÂMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 247.47 m INFLEXÃO  $X_{inf} = 28.04$  cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 313.04 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 13.16mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 11793.00 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 8.12mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO K = 70.65 X IND. DE DEST. DA BASE IDR = 15.63mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 11 INCLINAÇÃO DA DEFLEXÃO ID = 0.0005  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 760.09 Kg/cm<sup>2</sup>



BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/634-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS 11 - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUAÇÃO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/649-LE

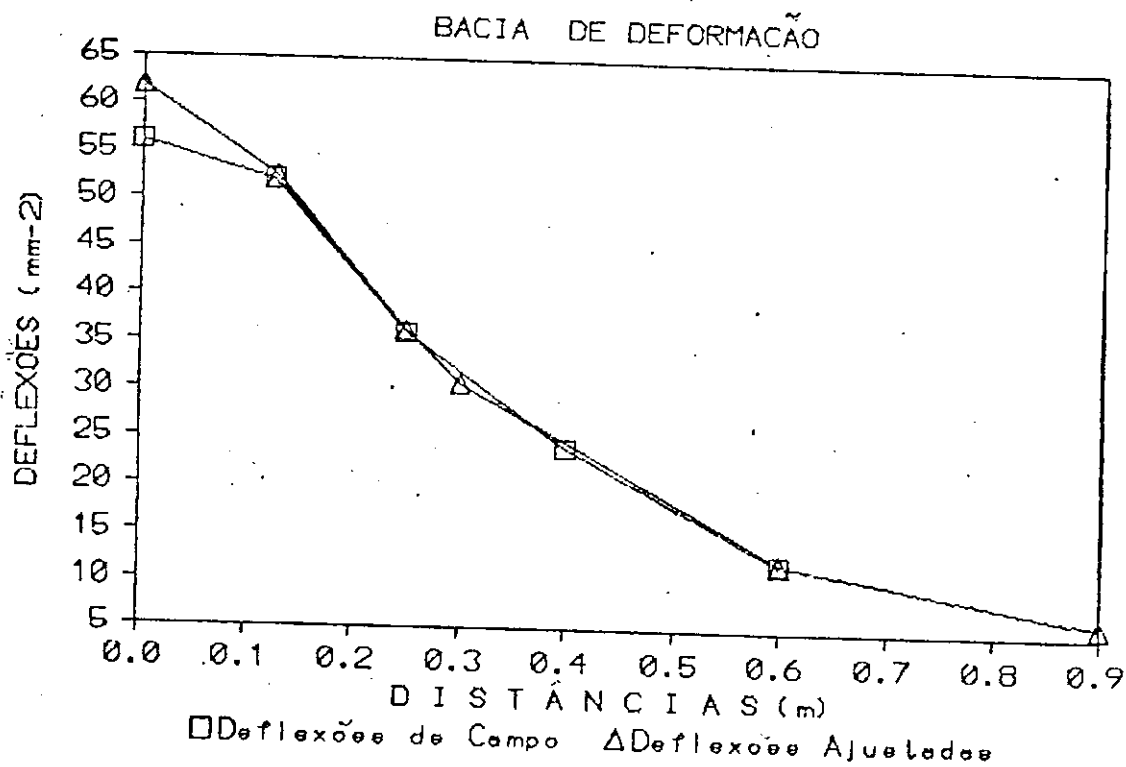
R E S U L T A D O S	
DISTÂNCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	56.000 0,01mm
0.125 m	52.000 0,01mm
0.250 m	36.000 0,01mm
0.400 m	24.000 0,01mm
0.600 m	12.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CÁLCULO	DEFLEXÕES CALCULADAS
0.000 m	61.780 0,01mm
0.126 m	52.455 0,01mm
0.250 m	36.272 0,01mm
0.300 m	30.696 0,01mm
0.600 m	12.232 0,01mm
0.900 m	6.108 0,01mm

EQUAÇÃO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 1618.64 + 18212.57 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO = 0.9968

PARÂMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 71.93 m INFLEXÃO Xinf = 17.21 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 122.51 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 31.08mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 4443.73 IND. DE CURV. DA BASE ICS = 6.12mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 56.49 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 18.46mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 12 INCLINAÇÃO DA DEFLEXÃO ID = 0.0008  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 808.08 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarahira-Est/649-Le



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/664-LD

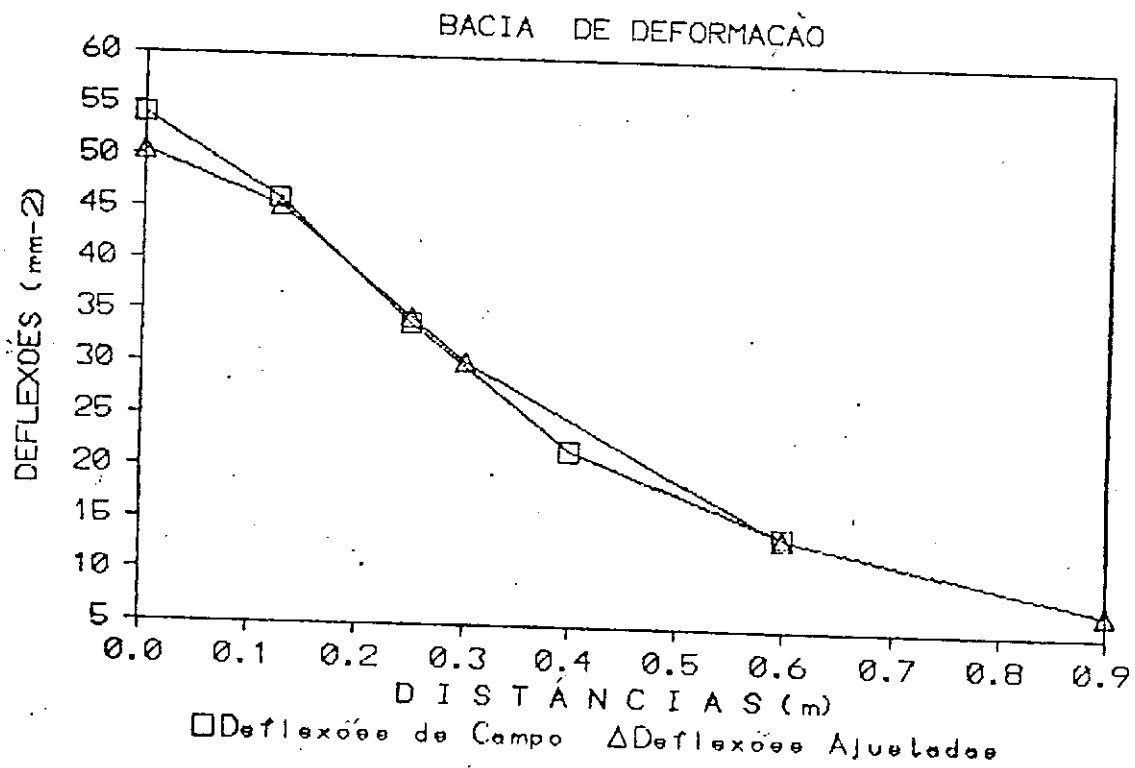
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	54.000 0,01mm
0.125 m	46.000 0,01mm
0.250 m	34.000 0,01mm
0.400 m	22.000 0,01mm
0.600 m	14.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	50.493 0,01mm
0.126 m	45.215 0,01mm
0.250 m	34.541 0,01mm
0.300 m	30.326 0,01mm
0.600 m	13.796 0,01mm
0.900 m	7.229 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 1980.46 + 14633.97 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9979

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 134.01 m INFLEXAO Xinf = 21.24 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 195.90 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 20.17mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 6766.66 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 6.57mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 62.46 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 16.53mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPPORT.CALIF. ISC = 12 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0006  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 870.58 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/664-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

km : EST/679-LE

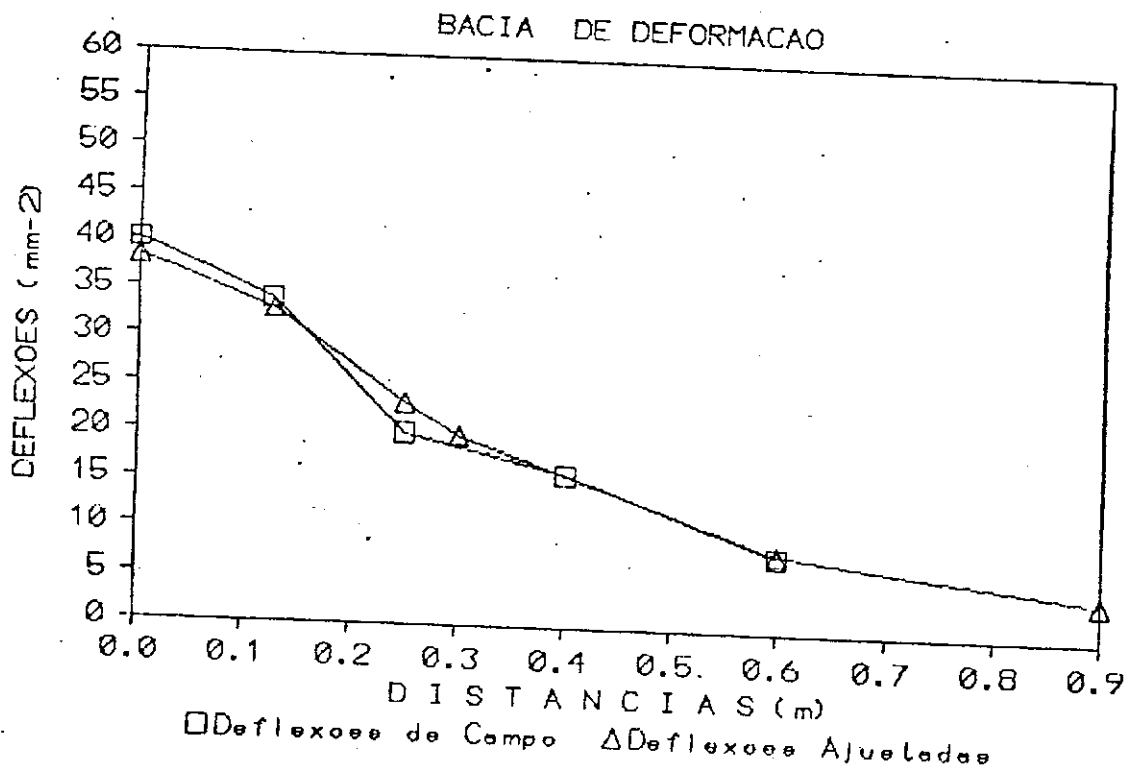
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	40.000 0,01mm
0.125 m	34.000 0,01mm
0.250 m	20.000 0,01mm
0.400 m	16.000 0,01mm
0.600 m	8.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	38.256 0,01mm
0.126 m	32.896 0,01mm
0.250 m	23.264 0,01mm
0.300 m	19.842 0,01mm
0.600 m	8.119 0,01mm
0.900 m	4.091 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2613.99 + 26952.96 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9922

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 126.76 m INFLEXAO Xinf = 17.98 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 208.44 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 18.41mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 4849.17 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 4.03mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO K = 57.70 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 11.72mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPPORT.CALIF. ISC = 18 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0005  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 1272.66 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMACAO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/679-Le



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/694-LD

RESULTADOS	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	64.000 0,01mm
0.125 m	58.000 0,01mm
0.250 m	44.000 0,01mm
0.400 m	28.000 0,01mm
0.600 m	16.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	66.284 0,01mm
0.126 m	58.286 0,01mm
0.250 m	42.962 0,01mm
0.300 m	37.203 0,01mm
0.600 m	16.062 0,01mm
0.900 m	8.249 0,01mm

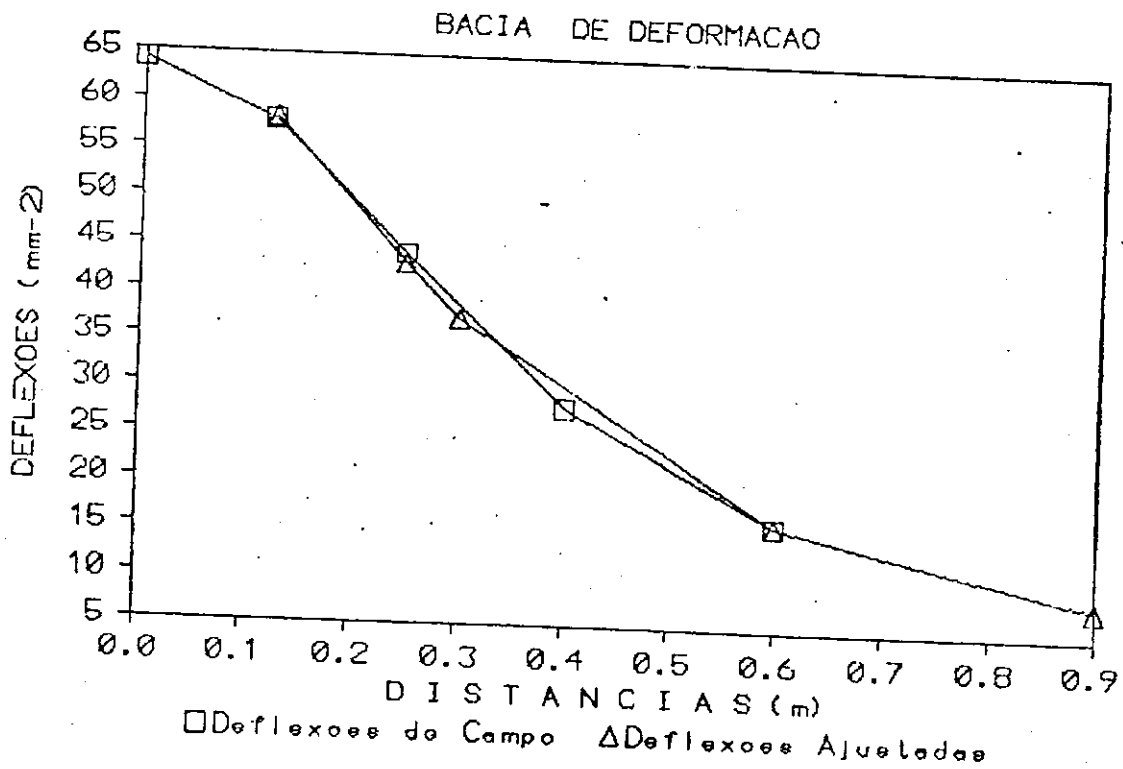
EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 1508.65 + 13103.53 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9997

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 86.85 m INFLEXAO Xinf = 19.59 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 133.99 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 29.08mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 5756.65 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 7.81mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO H = 60.12 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 21.14mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPORT.CALIF. ISC = 10 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0008  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 697.77 Kg/cm<sup>2</sup>



BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/694-Ld.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/784-LD

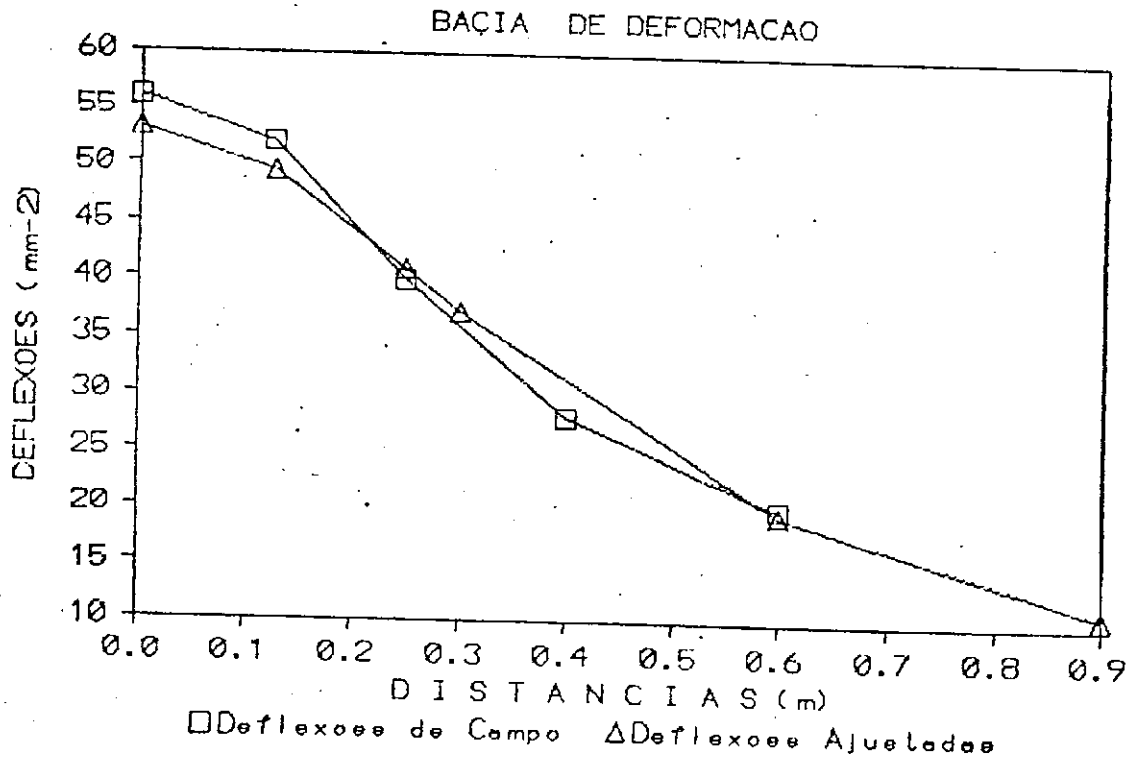
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	56.000 0,01mm
0.125 m	52.000 0,01mm
0.250 m	40.000 0,01mm
0.400 m	28.000 0,01mm
0.600 m	20.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	53.187 0,01mm
0.126 m	49.449 0,01mm
0.250 m	40.945 0,01mm
0.300 m	37.180 0,01mm
0.600 m	19.539 0,01mm
0.900 m	10.911 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 1880.17 + 8993.69 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9931

PARAMETROS ESTRUTURAI S CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 196.53 m INFLEXAO Xinf= 26.40 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 255.29 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 16.01mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 10452.75 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 8.63mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 68.88 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 17.64mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPORT.CALIF. ISC = 10 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0006  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 712.07 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMACAO  
Trecho-Sape/Guarahira-Est/764-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/754-LD

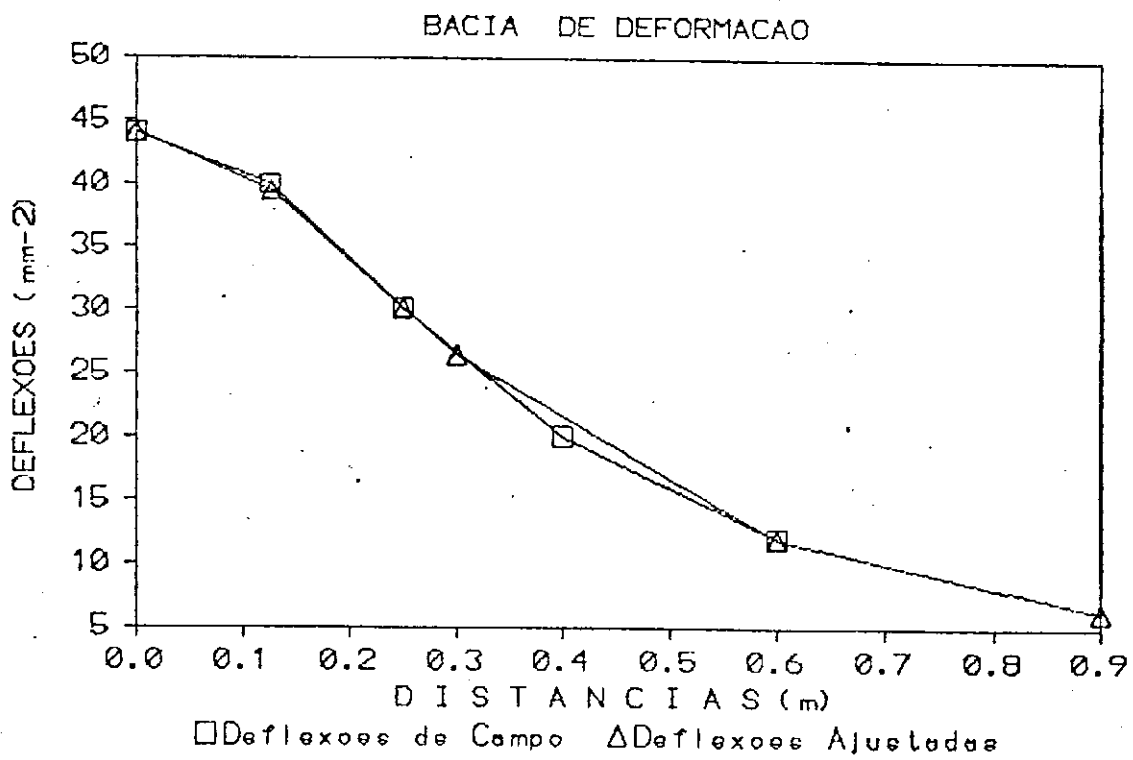
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	44.000 0,01mm
0.125 m	40.000 0,01mm
0.250 m	30.000 0,01mm
0.400 m	20.000 0,01mm
0.600 m	12.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	44.097 0,01mm
0.126 m	39.455 0,01mm
0.250 m	30.092 0,01mm
0.300 m	26.402 0,01mm
0.600 m	11.980 0,01mm
0.900 m	6.271 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2267.72 + 16887.40 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 1.0000

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 152.26 m INFLEXAO Xinf = 21.16 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 223.13 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 17.70mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 6714.25 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 5.71mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO H = 62.35 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 14.42mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 14 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0005  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 999.36 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sape/Guaradira-Est/754-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/739-LE

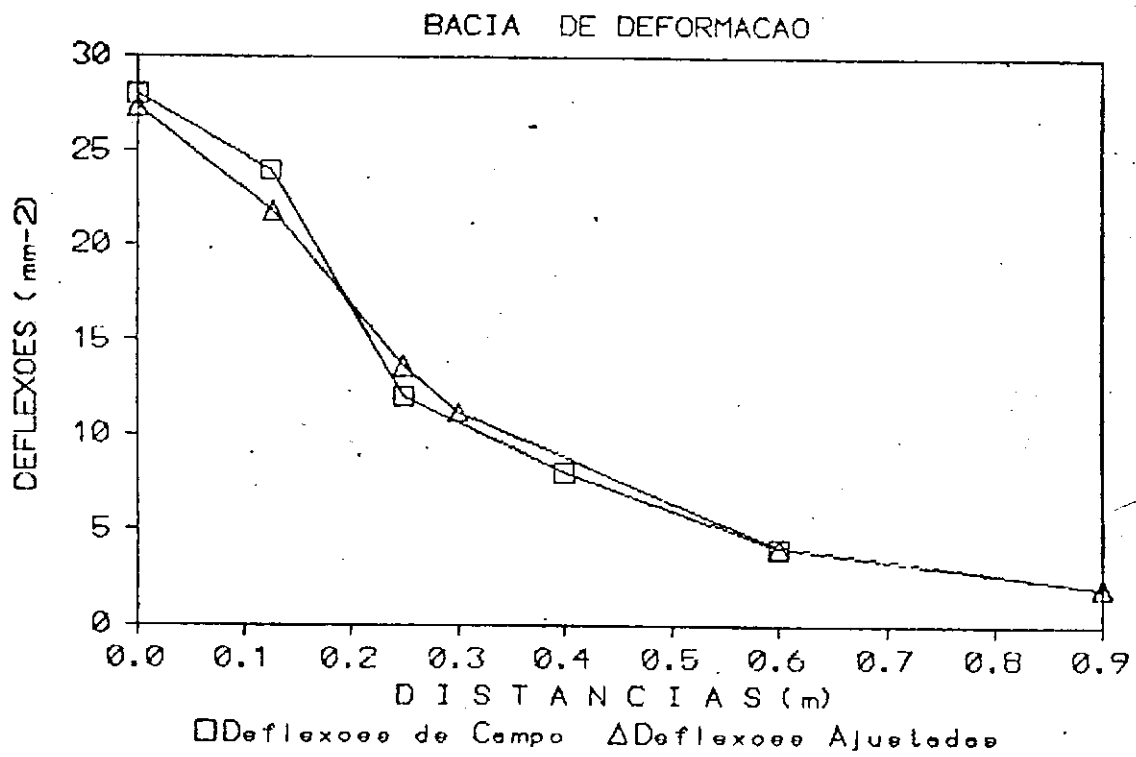
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	28.000 0,01mm
0.125 m	24.000 0,01mm
0.250 m	12.000 0,01mm
0.400 m	8.000 0,01mm
0.600 m	4.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	27.321 0,01mm
0.126 m	21.778 0,01mm
0.250 m	13.613 0,01mm
0.300 m	11.152 0,01mm
0.600 m	4.018 0,01mm
0.900 m	1.945 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 3660.13 + 58968.95 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9975

PARAMETROS ESTRUTURAI S CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 113.59 m INFLEXAO Xinf = 14.38 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 227.97 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 16.17mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 3103.43 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 2.07mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 51.84 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 7.13mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPPORT.CALIF. ISC = 29 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0004  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 2011.48 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMAÇÃO  
Trecho-Sage/Guarabira-Est/739-Le



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

**K<sub>n</sub>** : EST/724-LD

R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	56.000 0,01mm
0.125 m	48.000 0,01mm
0.250 m	32.000 0,01mm
0.400 m	24.000 0,01mm
0.600 m	16.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	49.128 0,01mm
0.126 m	44.912 0,01mm
0.250 m	35.825 0,01mm
0.300 m	32.011 0,01mm
0.600 m	15.652 0,01mm
0.900 m	8.452 0,01mm

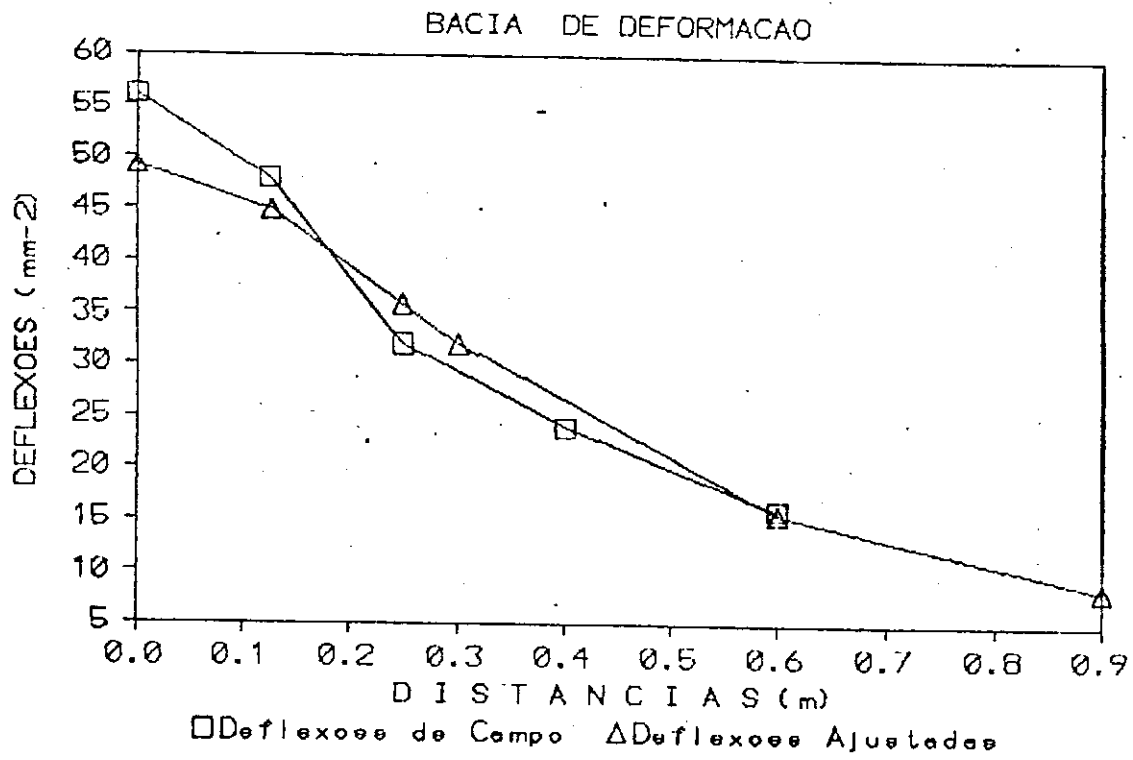
EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2035.50 + 12093.15 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9903

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 171.31 m INFLEXAO Xinf = 23.69 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 234.92 m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = 17.12mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 8415.92 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 7.20mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 65.67 x IND. DE DEST. DA BASE IDB = 16.36mm<sup>-2</sup>  
 IND.SUPPORT.CALIF. ISC = 12 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0006  
 MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = 832.21 Kg/cm<sup>2</sup>



BACIA DE DEFORMACAO  
Trecho-Sape/Guarabira-Est/724-Ld



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/709-LE

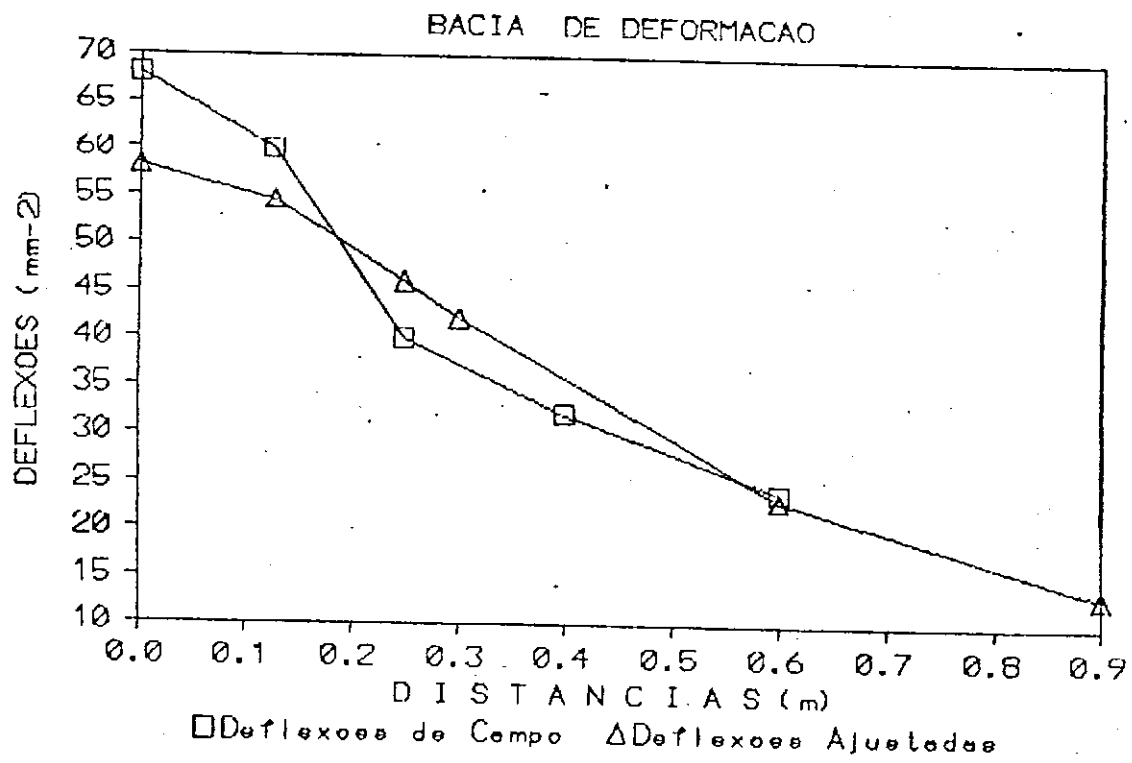
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	68.000 0,01mm
0.125 m	60.000 0,01mm
0.250 m	40.000 0,01mm
0.400 m	32.000 0,01mm
0.600 m	24.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	58.150 0,01mm
0.126 m	54.523 0,01mm
0.250 m	46.036 0,01mm
0.300 m	42.171 0,01mm
0.600 m	23.116 0,01mm
0.900 m	13.185 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 1719.70 + 7240.00 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9706

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 204.24 m INFLEXAO Xinf = 28.14 cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 257.98 m IND. DE CURV. SUPERF. ICS = 15.98mm<sup>-2</sup>  
 PRODUTO RD = 11876.39 IND. DE CURV. DA BASE ICB = 9.93mm<sup>-2</sup>  
 ACHATAMENTO M = 70.76 % IND. DE DEST. DA BASE IDB = 19.06mm<sup>-2</sup>  
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 9 INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = 0.0006  
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 621.27 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMACAO  
Trecho-Sape/Guarahira-Est/709-1e



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE  
 CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA  
 ALUNO : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES  
 ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN  
 AJUSTAGEM DA EQUACAO

RODOVIA : PB-055

TRECHO : SAPE/GUARABIRA

DATA : 21/12/91

Km : EST/769-LE

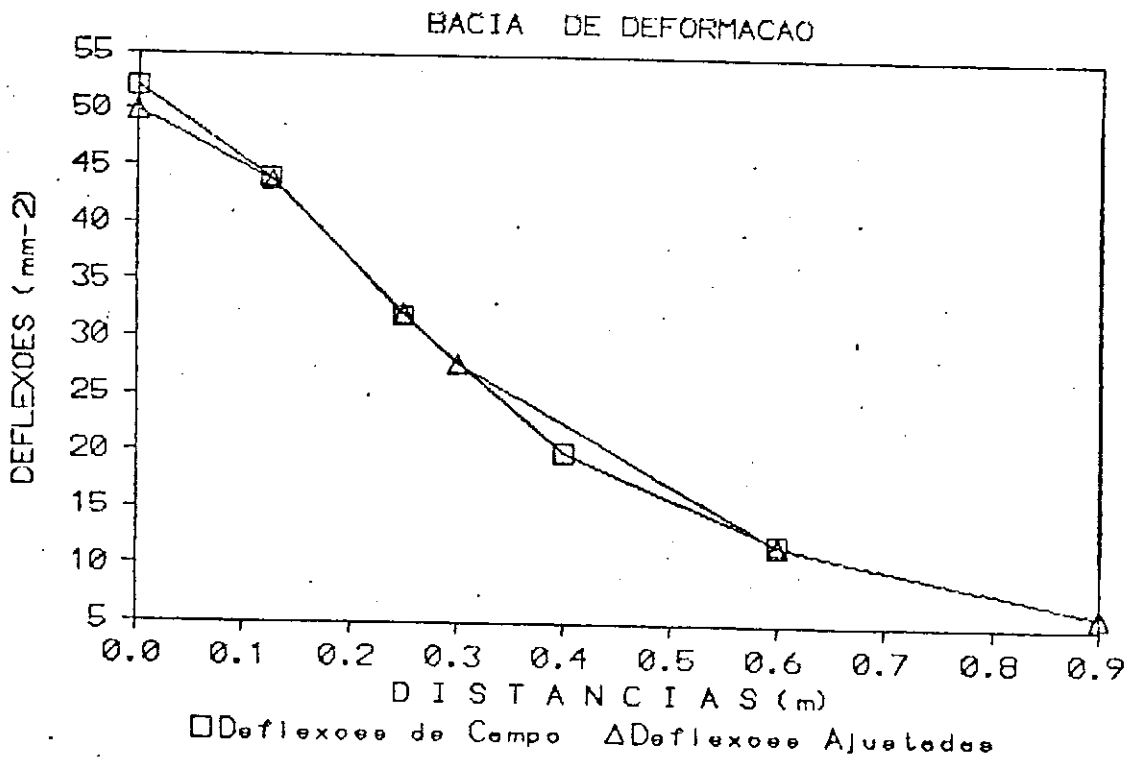
R E S U L T A D O S	
DISTANCIAS INICIAIS	DEFLEXOES DE CAMPO
0.000 m	52.000 0,01mm
0.125 m	44.000 0,01mm
0.250 m	32.000 0,01mm
0.400 m	20.000 0,01mm
0.600 m	12.000 0,01mm
DISTANCIAS PARA CALCULO	DEFLEXOES CALCULADAS
0.000 m	49.869 0,01mm
0.126 m	43.744 0,01mm
0.250 m	32.094 0,01mm
0.300 m	27.744 0,01mm
0.600 m	11.902 0,01mm
0.900 m	6.098 0,01mm

EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:  $Y = 2005.27 + 17768.54 X$   
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.9994

PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS

RAIO DE CURVATURA R1 = 113.15 m INFLEXAO  $X_{inf} = 19.40$  cm  
 RAIO DE CURVATURA R2 = 175.82 m IND. DE CURV. SUPERF.  $ICS = 22.13mm^{-2}$   
 PRODUTO RD = 5642.74 IND. DE CURV. DA BASE  $ICB = 5.80mm^{-2}$   
 ACHATAMENTO M = 59.83 x IND. DE DEST. DA BASE  $IDB = 15.84mm^{-2}$   
 IND. SUPORT. CALIF. ISC = 13 INCLINACAO DA DEFLEXAO  $ID = 0.0006$   
 MOD. DE ELAST. DO SUB. E2 = 933.15 Kg/cm<sup>2</sup>

BACIA DE DEFORMACAO  
Trecho-Sape/Guaranira-Est/769-Le



A P E N D I C E - B

PARÂMETROS ESTRUTURAIS OBTIDOS COM O ENSAIO DEFLECTOMETRICO E  
METODOLOGIA ADOTADA, AO LONGO DE TODO TRECHO ESTUDADO

EST	R1 (m)	R2 (n)	RD -	M %	ISC %	Zz Kg/cm2	XINF (cm)	ICS (mm-2)	ICB (mm-2)	IDB (mm-2)	ID -
509-E	360	511	7403	64	30	2073	22	8	3	3	0002
519-E	87	234	1854	46	41	2892	11	18	1	4	0005
529-E	271	445	4888	58	38	2698	18	8	2	5	0002
539-E	48	158	1365	43	33	2312	9	22	1	5	0004
549-E	244	318	10170	68	13	916	26	13	7	14	0004
559-E	55	134	2138	47	22	1534	12	26	2	8	0006
569-E	555	693	12656	72	22	1548	29	6	4	7	0002
579-E	217	301	8076	65	16	1116	23	13	5	12	0004
589-E	275	342	12949	72	11	743	29	12	8	15	0005
599-E	177	241	8623	66	12	833	24	16	7	16	0005
609-E	108	159	6528	62	11	735	21	28	8	19	0007
629-E	284	344	14766	79	9	638	31	12	9	16	0005
639-E	212	272	11046	69	10	713	27	15	8	18	0005
649-E	72	122	4443	56	12	808	17	31	6	18	0008
659-E	52	129	2120	47	21	1489	12	27	2	8	0006
669-E	198	270	8550	66	13	942	24	19	6	14	0005
679-E	127	208	4849	58	18	1272	18	18	4	12	0005
689-E	251	339	8919	66	16	1127	24	12	5	12	0004
699-E	104	171	4886	58	15	1038	18	22	5	14	0006
709-E	204	258	11876	71	9	621	28	16	9	19	0006
719-E	153	212	8022	65	11	791	23	19	7	17	0006
729-E	126	191	6122	61	13	938	20	20	6	16	0006

EST	R1 (m)	R2 (m)	RD -	M %	ISC %	Zz Kq/cm2	XINF (cm)	ICS (mm-2)	ICB (mm-2)	IDB (mm-2)	ID -
739-E	114	268	3103	52	29	2011	14	16	2	7	0004
749-E	269	385	7266	63	23	1591	22	10	4	9	0003
759-E	186	251	5847	66	12	844	24	16	7	16	0005
769-E	113	176	5642	60	13	933	19	22	6	16	0006
779-E	198	265	9202	67	12	852	25	15	7	15	0005
789-E	592	661	14313	73	18	1275	31	6	5	8	0006
809-E	219	372	4482	56	35	2435	17	10	2	6	0003
819-E	366	469	11067	70	18	1227	27	8	5	10	0003
829-E	252	316	12221	71	11	736	28	13	8	16	0005
839-E	252	316	12221	71	11	736	28	13	8	16	0005
849-E	306	401	9932	68	17	1187	25	10	5	11	0003
514-D	107	266	2082	47	44	3105	12	13	1	4	0003
524-D	662	774	18373	77	16	1094	35	5	5	8	0002
534-D	368	483	10031	68	20	1412	26	8	4	9	0003
544-D	306	402	9932	68	17	1187	26	10	5	11	0003
554-D	376	464	13398	72	14	968	30	9	6	11	0003
564-D	273	387	7359	64	23	1589	22	10	4	9	0003
574-D	313	461	6647	67	30	2085	21	8	3	7	0003
584-D	233	305	10210	68	12	843	26	13	7	14	0005
594-D	83	143	4373	56	14	958	17	26	5	15	0007
604-D	167	560	5615	59	20	1358	19	15	4	11	0004



EST	R1	R2	R0	M	ISO	Lz	XINF	IC3	ICB	IC2	IC1	IC0
-	(m)	(m)	-	%	%	kg/cm2	(cm)	(mm-2)	(mm-2)	(mm-2)	(mm-2)	(mm-2)
850-D	281	333	11084	69	9	607	27	17	10	20	0006	
844-D	79	124	5346	59	10	645	19	31	8	21	0004	
834-D	269	331	13498	73	10	684	30	12	9	16	0005	
824-D	105	160	5905	60	12	813	20	24	7	18	0007	
804-D	96	170	4032	55	17	1222	16	22	4	12	0006	
794-D	219	372	9378	67	17	1171	25	11	5	11	0004	
784-D	196	255	10452	69	10	712	26	16	9	18	0005	
774-D	283	363	11211	70	13	934	27	11	7	13	0004	
764-D	225	287	11371	70	10	728	27	14	8	16	0005	
754-D	152	232	6714	62	14	999	21	18	6	14	0005	
744-D	174	159	5637	60	20	1433	19	14	4	10	0004	
734-D	80	147	3703	54	16	1130	16	25	4	13	0006	
724-D	171	234	8419	65	12	832	24	17	7	16	0006	
714-D	156	249	5330	59	20	1268	29	16	4	11	0004	
704-D	92	135	6714	62	9	606	21	29	9	24	0007	
694-D	87	134	5737	60	10	698	19	29	8	21	0008	
684-D	216	264	12150	71	9	620	28	16	10	19	0006	
674-D	80	125	5474	59	10	684	19	31	8	22	0009	
664-D	134	196	6767	62	12	890	21	20	6	16	0006	
654-D	325	423	10325	69	17	1197	76	9	5	10	0003	
644-D	133	199	6195	61	19	968	20	14	6	15	0006	
634-D	247	313	11179	71	11	760	28	13	8	16	0005	
624-D	151	202	6666	62	14	1000	21	18	6	14	0005	
614-D	122	176	6950	63	11	264	21	22	7	19	0007	

A P E N D I C E - C

LISTAGEM DO PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AJUSTE E OBTENÇÃO DE  
PARÂMETROS ESTRUTURAIS DEFLECTOMETRICOS

```

GRAM VIGA_BENKELMAN;      USES PRINTER,CRT;

VAR

RESP:CHAR;
RODOVIA,TRECHO,DATA,KM      :STRING(20);
R_IMPRIME,REP               :STRING(3);
X,L,A,B,U,Y,DX,DJ,YB,P     :ARRAY [1..5] OF REAL;
XB,DXB,X_CALCULO           :ARRAY [1..6] OF REAL;
N,I,AJUDA,ISC              :INTEGER;
C,LF,D,E,F,K,W,R1,R2,RO    :REAL;
ICS,ICB,IDB,ID,XINF,M,RB    :REAL;
CONST_VIGA,DXT,YT,XT,LO,EZ  :REAL;
EXPONENL,J,S,CO,Z          :REAL;

      (* Calculo de Tangente *)

FUNCTION TAN(X:REAL):REAL;

BEGIN
      TAN:=SIN(X)/COS(X);
END;

      (* Mostra tela de abertura *)

PROCEDURE ENTRADA;
BEGIN
      TEXTCOLOR(0);
      GOTOXY(4,4);
      WRITE('UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA');
      GOTOXY(4,5);WRITE('CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE');
      GOTOXY(4,6);WRITE('CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA ');
      GOTOXY(4,7);WRITE('ALUNO      : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES');
      GOTOXY(4,8);WRITE('ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA ');
      GOTOXY(10,10);WRITE('PROGRAMA VIGA BENKELMAN');
      GOTOXY(8,12);WRITE('CALCULOS DE PARAMETROS ESTRUTURAIIS');
      GOTOXY(8,13);WRITE('DE PAVIMENTOS ATRAVES DA AJUSTAGEM');
      GOTOXY(8,14);WRITE('DA EQUACAO COM DADOS DEFLECTOMETRICOS');
      GOTOXY(8,15);WRITE('OBTIDOS NO CAMPO .');
      TEXTCOLOR(15);
      GOTOXY(4,17);WRITE('Tecla <ENTER> para inicio do programa. ');
      READLN;
END;

      (* Entrada dos dados da Rodovia *)

PROCEDURE LEITURA;
BEGIN
      REPEAT
      CLRSCR;
      HIGHVIDE0;
      TEXTBACKGROUND(012);
      TEXTCOLOR(15);
      GOTOXY(14,2);WRITE('***** ');

```

```

GOTOXY(14,3);WRITE('Y          PROGRAMA VIGA BENKELMAN          Y ');
GOTOXY(14,4);WRITE('Y          Y ');
GOTOXY(14,5);WRITE('Y          Entrada de dados da rodovia          Y ');
GOTOXY(14,6);WRITE('*****');
TEXTBACKGROUND(01);
TEXTCOLOR(14);
GOTOXY(14,11);WRITE('ENTRE COM A RODOVIA -->');READLN(RODOVIA);
GOTOXY(14,13);WRITE('ENTRE COM A TRECHO -->');READLN(TRECHO);
GOTOXY(14,15);WRITE('ENTRE COM O Km -->');READLN(KM);
GOTOXY(14,17);WRITE('ENTRE COM A DATA -->');READLN(DATA);
GOTOXY(14,24);WRITE('OS DADOS ESTAO CORRETOS ? (S/N)');READLN(RESF);
UNTIL (RESF='S') OR (RESF='s');
END;

```

(\* Entrada com os dados deflectometricos \*)

PROCEDURE LEITURAS\_DEFLECTOMETRICAS;

```

BEGIN
  REPEAT
    CLRSCR;
    HIGHVIDEO;
    TEXTBACKGROUND(010);
    TEXTCOLOR(15);
    GOTOXY(14,2);WRITE('*****');
    GOTOXY(14,3);WRITE('Y          PROGRAMA VIGA BENKELMAN          Y ');
    GOTOXY(14,4);WRITE('Y          Y ');
    GOTOXY(14,5);WRITE('Y          Entrada das leituras deflectometricas e Y ');
    GOTOXY(14,6);WRITE('Y          da constante da viga.          Y ');
    GOTOXY(14,7);WRITE('Y          Y ');
    GOTOXY(14,8);WRITE('*****');
    TEXTBACKGROUND(01);
    TEXTCOLOR(14);
    GOTOXY(14,10);
    WRITE('ENTRE COM A LEITURA FINAL      : ');
    READLN(LF);
    GOTOXY(14,12);
    WRITE('ENTRE COM A CONSTANTE DA VIGA : ');
    READLN(CONST_VIGA);
    I:=0;
    FOR N:=1 TO 5 DO
      BEGIN
        GOTOXY(14,14+I);
        WRITE('ENTRE COM A LEITURA ',N,'      : ');
        READLN(L[N]);
        I:=I+2;
      END;
    GOTOXY(14,24);WRITE('OS VALORES ESTAO CORRETOS ?(S/N)');
    READLN(RESF);
    UNTIL (RESF='S') OR (RESF='s');

    I:=0;
    FOR N:=1 TO 5 DO

```

```

BEGIN
  DJ[N]:=ABS(LF-L[N]);
  DX[N]:=DJ[N]*(CONST_VIGA);
  IF DX[N]<>0 THEN
    Y[N]:=100/DX[N]*1000;
  END;
END;

(* Calculo de E2 e CBR *)

PROCEDURE MDD_ELAST_DO_SURLEITO;

BEGIN

  DXT      := DXB[1]*0.00005;
  YT       := 10*(1/DXT);
  XT       := 100 * SQRT(ABS((YT-K)/W));
  LD       := ABS(XT-6.65)/1.66;
  EXPONENL := EXP(1.545*LN(LD+35));
  E2       := (20371)/(EXPONENL);
  E2       := (E2/(DXB[1]*0.001));
  ISC      := ROUND(E2/70);
  RG       := (LD*E2*0.1)/1.63;

END;

(* Imprime Resultados de ajustagem da equacao *)

PROCEDURE IMPRIME_RESULTADOS;
BEGIN
  WRITELN(LST,'-----');
  WRITELN(LST,'                      R E S U L T A D O S                      ');
  WRITELN(LST,'-----');
  WRITELN(LST,'          DISTANCIAS INICIAIS          :          DEFLEXOES DE CAMPO          ');
  WRITELN(LST,'-----');
  FOR N:=1 TO 5 DO
    WRITELN(LST,'          ',X[N]:16:3,' m          ',DX[N]:7:3,' 0,01mm          ');
  WRITELN(LST,'-----');
  X_CALCULO[1]:=0;
  FOR N:=2 TO 6 DO
    X_CALCULO[N]:=SQRT(XB[N]);
  WRITELN(LST,'          :          DISTANCIAS PARA CALCULO          :          DEFLEXOES CALCULADAS          ');
  WRITELN(LST,'-----');
  FOR N:=1 TO 6 DO
    WRITELN(LST,'          ',X_CALCULO[N]:16:3,' m          ',DXB[N]:7:3,' 0,01mm          ');
  WRITELN(LST,'-----');
  FOR AJUDA:=1 TO 3 DO WRITELN(LST);
  WRITELN(LST,'');
  WRITELN(LST,'EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:Y = ',K:1:2,' + ',W:1:2,' X');
  WRITELN(LST,'COEFICIENTE DE CORRELACAO = ',CO:4:4);
  WRITELN(LST,'');
  FOR AJUDA:=1 TO 3 DO WRITELN(LST);
  WRITELN(LST,'          PARAMETROS ESTRUTURAIS CALCULADOS');
  WRITELN(LST,'');
  WRITELN(LST,'');

```

```

WRITELN(LST,'RAIO DE CURVATURA R1 = ',R1:9:2,' m INFLEXAO Xinf= ',XINF:-3:2,' cm');
WRITELN(LST,'RAIO DE CURVATURA R2 = ',R2:9:2,' m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = ',ICS:-7:2,' mm-2');
WRITELN(LST,'PRODUTO RD = ',RD:9:2,' IND. DE CURV. DA BASE ICB = ',ICB:-7:2,' mm-2');
WRITELN(LST,'ACHATAMENTO M = ',M:9:2,' %', ' IND. DE DEST. DA BASE IDB = ',IDB:-7:2,' mm-2');
WRITELN(LST,'IND.SUPORT.CALIF. ISC = ',ISC:5,' INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = ',ID:-7:4);
WRITELN(LST,'MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = ',E2:9:2,' Kg/cm2');
FOR AJUDA:=1 TO 5 DO WRITELN(LST);
END;

```

(\* Mostra Resultados de ajustagem da equacao \*)

```

PROCEDURE MOSTRA_NA_TELA_RESULTADOS;
BEGIN
WRITELN('-----');
WRITELN(' : RESULTADOS :');
WRITELN(' |-----|');
WRITELN(' | DISTANCIAS INICIAIS | DEFLEXOES DE CAMPO |');
WRITELN(' |-----|');
FOR N:=1 TO 5 DO
WRITELN(' | ',X[N]:16:3,' m | | ',DX[N]:7:3,' 0,01mm |');
WRITELN(' |-----|');
X_CALCULO[1]:=0;
FOR N:=2 TO 6 DO
X_CALCULO[N]:=SGRT(XB[N]);
WRITELN(' | DISTANCIAS PARA CALCULO | DEFLEXOES CALCULADAS |');
WRITELN(' |-----|');
FOR N:=1 TO 6 DO
WRITELN(' | ',X_CALCULO[N]:16:3,' m | | ',DXB[N]:7:3,' 0,01mm |');
WRITELN(' |-----|');
WRITELN('');
WRITELN(' EQUACAO DA RETA OBTIDA COM 5 PARES DE PONTOS:Y = ',K:1:2,' + ',W:1:2,' X');
WRITELN(' COEFICIENTE DE CORRELACAO = ',CO:4:4);WRITELN;
TEXTBACKGROUND(10);
HIGHVIDEO;
TEXTCOLOR(128);
WRITE('TECLE <ENTER> PARA OBTENCAO DOS PARAMET. ESTRUTURAI S CALCULADOS ');
TEXTCOLOR(14);
TEXTBACKGROUND(1);
READLN;
CLRSCR;
M:=M*100;
MOD_ELAST_DO_SUBLEITO;
WRITELN('');
WRITELN(' PARAMETROS ESTRUTURAI S CALCULADOS');
WRITELN('');
WRITELN('RAIO DE CURVATURA R1 = ',R1:9:2,' m INFLEXAO Xinf= ',XINF:-3:2,' cm');
WRITELN('RAIO DE CURVATURA R2 = ',R2:9:2,' m IND. DE CURV.SUPERF. ICS = ',ICS:-7:2,' mm-2');
WRITELN('PRODUTO RD = ',RD:9:2,' IND. DE CURV. DA BASE ICB = ',ICB:-7:2,' mm-2');
WRITELN('ACHATAMENTO M = ',M:9:2,' %', ' IND. DE DEST. DA BASE IDB = ',IDB:-7:2,' mm-2');
WRITELN('IND.SUPORT.CALIF. ISC = ',ISC:5,' INCLINACAO DA DEFLEXAO ID = ',ID:-7:4);
WRITELN('MOD. DE ELAST.DO SUB. E2 = ',E2:9:2,' Kg/cm2');

TEXTBACKGROUND(10);
HIGHVIDEO;
TEXTCOLOR(128); GOTOXY(1,25);

```

```
WRITE('TECLE <ENTER> PARA CONTINUAR ');
TEXTCOLOR(14);
TEXTBACKGROUND(1);
READLN;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE TEXTO(ROD,TREC,DAT,KM:STRING);
```

```
  BEGIN
    WRITELN(LST,'');
    WRITELN(LST,'UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - CCT - CAMPUS II - CAMPINA GRANDE');
    WRITELN(LST,'CURSO DE POS-GRADUACAO EM GEOTECNIA ');
    WRITELN(LST,'ALUNO      : JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES ');
    WRITELN(LST,'ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA ');
    WRITELN(LST,'');
    FOR AJUDA:=1 TO 3 DO WRITELN(LST);
    WRITELN(LST,'          BACIA DE DEFORMACAO COM A VIGA BENKELMAN');
    WRITELN(LST,'          AJUSTAGEM DA EQUACAO');
    WRITELN(LST,'');
    FOR AJUDA:=1 TO 3 DO WRITELN(LST);
    WRITELN(LST,'RODOVIA  : ',ROD:~20,'          TRECHO : ',TREC:~15);
    WRITELN(LST,'');
    WRITELN(LST,'DATA    : ',DAT:~9,'          Km      : ',KM:~12);
    WRITELN(LST,'');
    FOR AJUDA:=1 TO 3 DO WRITELN(LST);
  END;
```

```
PROCEDURE MENU;
```

```
  BEGIN
    TEXTBACKGROUND(128);
    CLRSCR;
    HIGHVIDE0;
    TEXTBACKGROUND(012);
    TEXTCOLOR(06);
    WINDOW(14,5,66,23);
    CLRSCR;
    FOR N:=3 TO 50 DO
      BEGIN
        GOTOXY(N,2);
        WRITE(CHR(205));
      END;
    FOR N:=3 TO 50 DO
      BEGIN
        GOTOXY(N,18);
        WRITE(CHR(205));
      END;
    GOTOXY(51,2);WRITE(CHR(187));
    FOR N:=3 TO 17 DO
      BEGIN
        GOTOXY(51,N);
        WRITE(CHR(186));
      END;
```

```

GOTOXY(51,18);WRITE(CHR(188));
GOTOXY(2,2);WRITE(CHR(201));
FOR N:=3 TO 17 DO
  BEGIN
    GOTOXY(2,N);
    WRITE(CHR(186));
  END;
GOTOXY(2,18);WRITE(CHR(200));

END;

PROCEDURE MODIFICA_COR_TEXTO;

BEGIN

  CLRSCR;
  WINDOW(15,1,150,24);
  TEXTCOLOR(14);
  TEXTBACKGROUND(1);
  HIGHVIDEO;
END;

      (* PROGRAMA PRINCIPAL *)
BEGIN

  MENU;
  ENTRADA;
  CLRSCR;
  WINDOW(1,1,80,25);
  TEXTBACKGROUND(1);

  REPEAT
    LEITURA;
    MODIFICA_COR_TEXTO;
    LEITURAS_DEFLECTOMETRICAS;
    X[1]:=0;X[2]:=0.125;X[3]:=0.25;
    X[4]:=0.40;X[5]:=0.6;
    FOR N:=1 TO 5 DO
      BEGIN
        U[N]:=SQR(X[N]);
        A[N]:=SQR(U[N]);
        B[N]:=U[N]*Y[N];
      END;
    C:=0;D:=0;E:=0;F:=0;
    FOR N:=1 TO 5 DO
      BEGIN
        C:=C+U[N];
        D:=D+A[N];
        E:=E+B[N];
        F:=F+Y[N];
      END;

    K:=(F*(-1)*D+C*E)/((-5)*D+SQR(C));
    W:=(F-5*K)/C;

```



```

XB[1]:=0;XB[2]:=0.0158;XB[3]:=0.0625;
XB[4]:=0.09;XB[5]:=0.36;XB[6]:=0.61;

FOR N:=1 TO 6 DO
  BEGIN
    YB[N]:=K+W*XB[N];
    DXB[N]:= 100/YB[N]*1000;
  END;

R1 := SQR(K)/(2*W);
R2 := (6250/(2*(DXB[1]-DXB[3])));
RD := R1 * DXB[1];
ICS := DXB[1]-DXB[4];
ICB := DXB[5]-DXB[6];
IDB := DXB[4]-DXB[5];
ID := TAN((DXB[1]-DXB[5])/600*0.01);
XINF := SQR(ABS(K / (3 * W)))*100;
M := (DXB[1]+DXB[4]+DXB[5])/(3*DXB[1]);
J := SQR(C);
G := SQR(F);

FOR N:=1 TO 5 DO
  P[N]:=SQR(Y[N]);

Z:=0;

FOR N:=1 TO 5 DO
  Z:=Z+P[N];

CO:=(5*E-C*F)/((SQR(5*D-J)*SQR(5*Z-B)));

CLRSCR;

MOSTRA_NA_TELA_RESULTADOS;
CLRSCR;
GOTOXY(10,15);
WRITE(' DESEJA IMPRIMIR OS RESULTADOS ? (SIM / NAO) --> ');
READLN(R_IMPRIME);
IF ((R_IMPRIME='SIM') OR (R_IMPRIME='S')) THEN
  BEGIN
    TEXTO(RODDVIA,TRECHO,DATA,KM);
    IMPRIME_RESULTADOS;
  END;
CLRSCR;
GOTOXY(10,15);
WRITE(' DESEJA POR NOVOS DADOS ? (SIM / NAO) --> ');
READLN(REP);
UNTIL ((REP='N')OR(REP='NAO'));
CLRSCR;

END.

```

A P E N D I C E - D

LISTAGEM DO PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CORREÇÃO DE PRESSÃO E

VOLUME DO ENSAIO PRESSIOMETRICO

.on 154

program pressiometro;

uses crt, printer;

(declaracao das variaveis)

```
var PM,      { pressao lida }
    VM,      { volume lido }
    VI,      { correcao de volume }
    V,       { volume corrigido }
    PI,      { correcao da pressao }
    P,       { pressao corrigida }
    PMP:     { pressao em PSI }

    ARRAY [1..30] OF REAL;

    M,       { densidade da agua }
    PH,      { correcao da pressao devido a pressao da coluna d'agua }
    COTA,    { distancia da superficie ao centro da sonda na prof. do ensaio }
    Z:      { diferenca de nivel entre o manometro e a sonda na prof. do ens. }

    REAL;

    C,       { numeros de pontos obtidos no ensaio (pressao x deformacao) }
    A,       { variavel de controle p/ o comando de repeticao }
    FURD:    { numero do furo de ensaio }

    INTEGER;

Resp
:CHAR;
```

PROCEDURE LINHA;

Var X: INTEGER;

BEGIN

```
    write (1st,'a');
    For X := 1 To 9 Do
        write (1st,'a');
    For X := 1 To 11 Do
        write (1st,'a');
    For X := 1 To 23 Do
        write (1st,'a');
    For X := 1 To 24 Do
        write (1st,'a');
    writeln (1st,'0');
```

END;

PROCEDURE LINHA\_TELA;

Var X: INTEGER;

BEGIN

```
    write ('a');
```

```

For X := 1 To 9 Do
  write ('a');
  write ('a');
For X := 1 To 11 Do
  write ('a');
  write ('a');
For X := 1 To 23 Do
  write ('a');
  write ('a');
For X := 1 To 24 Do
  write ('a');
  writeln ('0');

```

```
END;
```

```

PROCEDURE LINHA2;
  Var Y: INTEGER;
  BEGIN
    write (1st,'ç');
    For Y := 1 To 70 Do
      write (1st,'f');
      writeln (1st,'GGGE');

```

```
END;
```

```

PROCEDURE LINHA2_TELA;
  Var Y: INTEGER;
  BEGIN
    write ('ç');
    For Y := 1 To 70 Do
      write ('f');
      writeln ('GGGE');

```

```
END;
```

```
procedure mostra_na_tela;
```

```
Begin
```

```

writeln ('yoooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooo ');
writeln ('0 FURD N: ', FURD, ' YYYYYYYYYYYY PROFUNDIDADE DO ENSAID - ', COTA:5:1, 'cm 0');
LINHA2_TELA;
writeln ('0VOL.(cm3)0 PRES.(Psi)0 VOL. CORRIGIDO-(cm3) 0 PRESS. CORRIGIDA-(KPa) 0');
LINHA_TELA;

```

```
For A:= 1 to C do
```

```
Begin
```

```

write ('0 ', VM [A]:6:1, ' 0 ', PMP [A]:8:1, ' 0 ');
writeln (V [A]:6:1, ' 0 ', P [A]:8:1, ' 0 ');
LINHA_TELA;

```

```
End;
```

```
writeln;writeln;
End;
```

```
procedure imprima_resultados;
```

```
Begin
```

```
writeln (1st,'yaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa ');
writeln (1st,'O FURO N: ', FURO, ' YYYYYYYYYYYY          PROFUNDIDADE DO ENSAIO - ', COTA:5:1, 'cm 0');
LINHA2;
writeln (1st,'OVOL.(cm3)O PRES.(Psi)O VOL. CORRIGIDO-(cm3) O PRESS. CORRIGIDA-(KPa) 0');
LINHA;
```

```
For A:= 1 to C do
```

```
Begin
```

```
write (1st,'0 ', VM [A]:6:1, ' 0 ', PMP [A]:8:1, ' 0 ');
writeln (1st,V [A]:6:1, ' 0 ', P [A]:8:1, ' 0 ');
LINHA;
```

```
End;
```

```
End;
```

```
Begin
```

```
clrscr;
```

```
writeln ('PROGRAMA P/ CORRECAO DE LEITURAS PRESSIOMETRICAS. ');
writeln ('_____');
write ('NUMERO DO FURO ?:');
```

```
    { leitura do numero do furo }
```

```
readln (FURO);
write ('COTA DO ENSAIO-(cm) ?:');
```

```
    { leitura da cota do ensaio }
```

```
readln (COTA);
write ('DESNIVEL ENTRE CENTRO DA SONDA E MANOMETRO-(cm) ?:');
```

```
    { leitura da altura de coluna d'agua }
```

```
readln (Z);
write ('DENSIDADE DA AGUA-(g/cm3)?:');
```

```
    { leitura da densidade da agua }
```

```
readln (W);
write ('NUMERO DE COORDENADAS A SER CORRIGIDA ?:');
```

```
    { leitura do numero de coordenadas }
```

```
readln (C);
```

```
for A := 1 to C do
```

```
Begin
```

```
    writeln ('LEITURA DAS COORDENADAS- VOL.x PRESSAO:');
    write ('VOLUME ', A, ' ?:');
```

```

readln (VM [A]);
write ('PRESSAO ', A, ' ?:');
readln (PMP [A]);
                                { conversao de PSI p/ KPa }
PM [A] := PMP [A]/0.145;

VI [A] := -0.01163+ 7.639477964E-03 * PM [A]
          -2.8100795619E-09 * PM [A]*PM [A]*PM [A]
          -4.7427644091E-08 * PM [A]*PM [A]
          +1.03136898786E-12 *PM [A]*PM [A]*PM [A]*PM [A];

V [A] := VM [A] - VI [A];

PI [A]:= -0.48135317+ 0.99164345* V [A]
          -4.62984132E-03 * V [A]*V [A]
          +1.78923959791E-05 * V [A]*V [A]*V [A];

PH := Z * W/10;

P [A] := PM [A] + PH - PI [A];

End;

Clrscr;

mostra_na_tela;

writeln('Deseja imprimir resultados (S/N) ? ');

Repeat
  readln(Resp);
Until (Resp='s') or (Resp='S') or (Resp='n') or (Resp='N');

If (Resp = 's') or (Resp='S') then
  imprima_resultados;

```

End

A P E N D I C E - E

CURVAS PRESSIOMETRICAS CORRIGIDAS PARA CALCULO DO MODULO PRESSIO-  
METRICO E MODULO PRESSIOMETRICO DE RECOMPRESSÃO

FIGURA - A — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 784-LD

PROF. = 90 cm

$E_c = 119,3 \text{ kg/cm}^2$

$E = 35 \text{ kg/cm}^2$

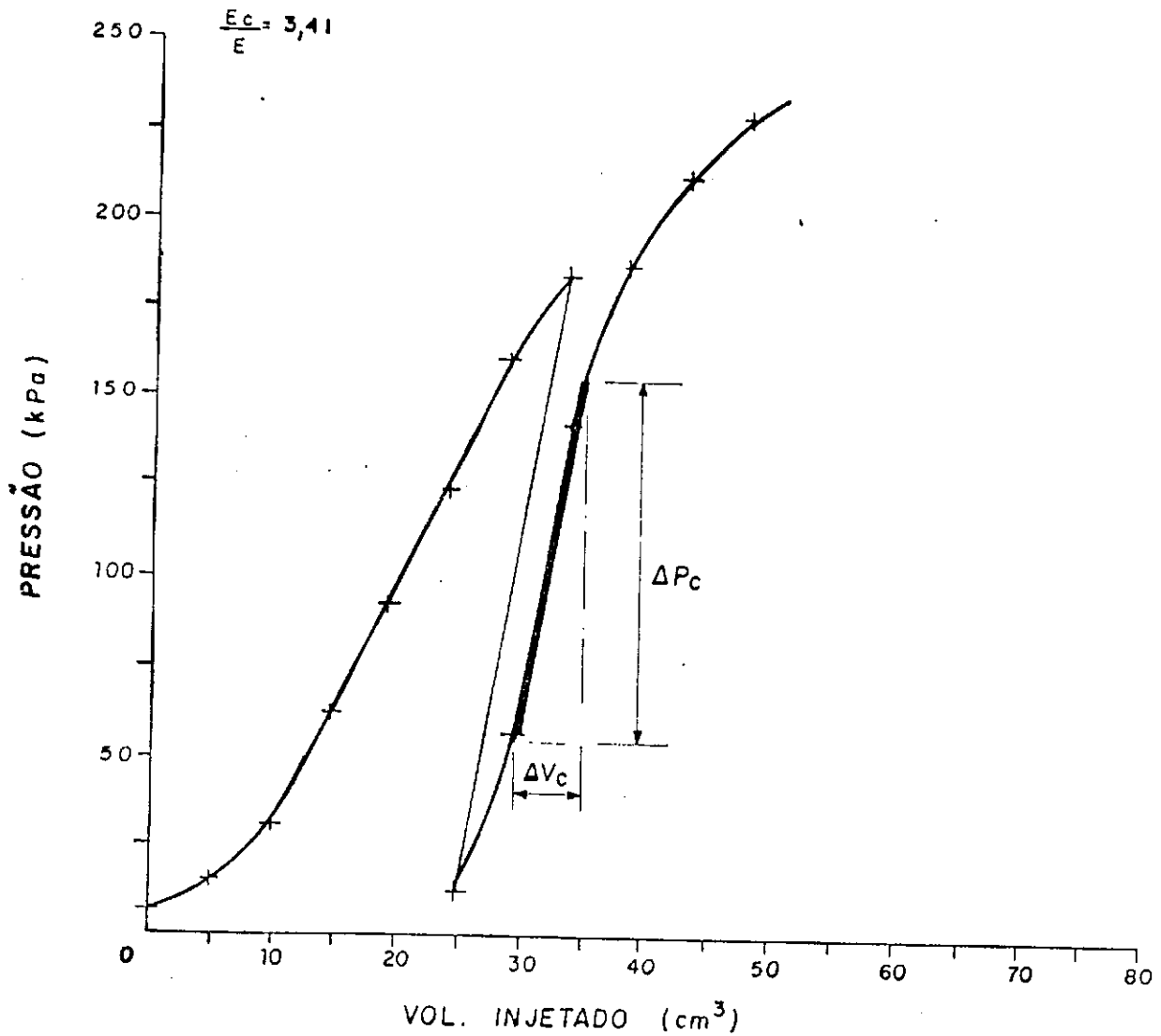




FIGURA - B - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 119 - LE

PROF. = 90 cm

$E_c = 199,80 \text{ kg/cm}^2$

$E = 65 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{E_c}{E} = 3,07$$

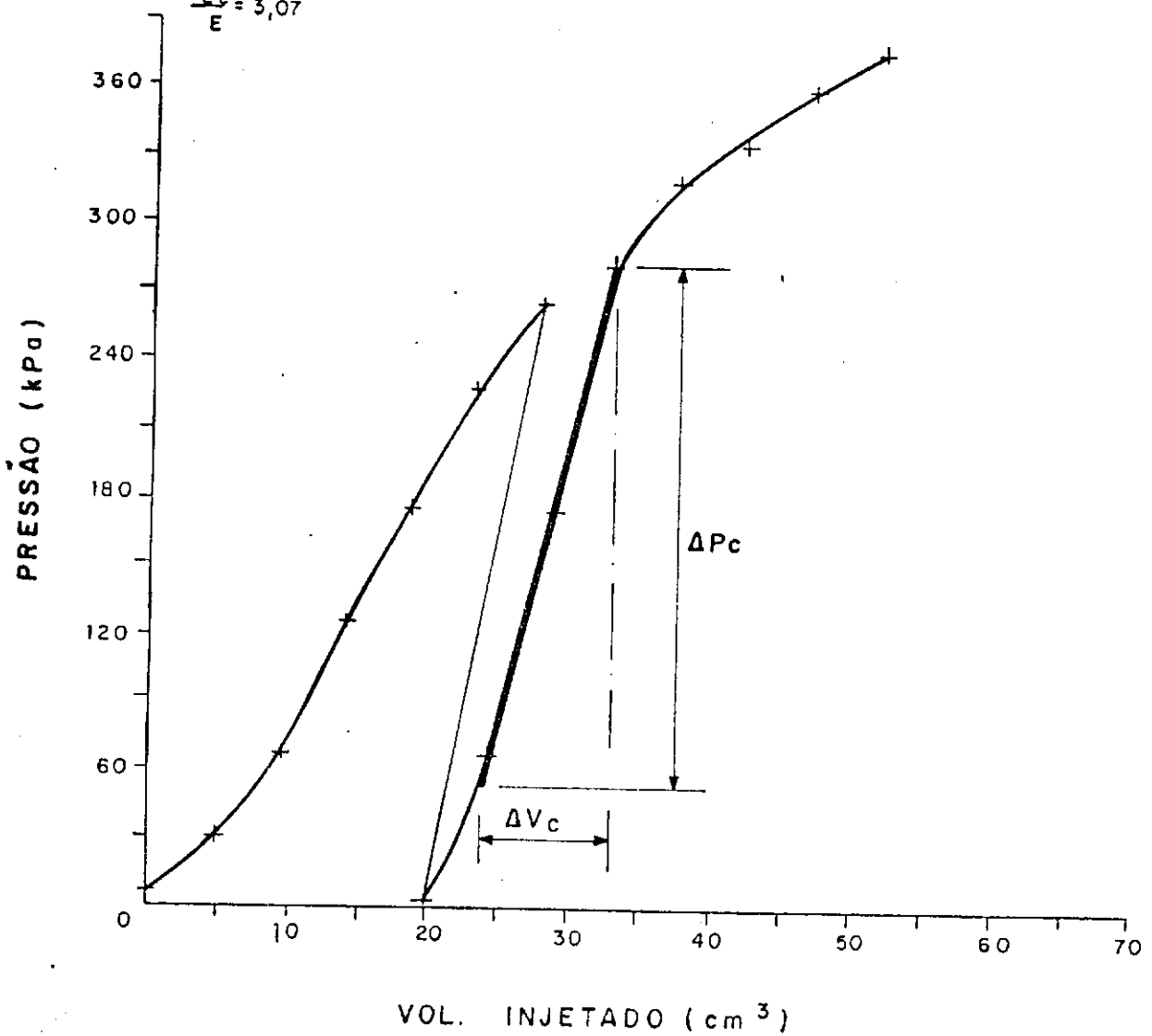


FIGURA - C — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA = 769-LE

PROF. = 90 cm

$E_c = 166,99 \text{ kg/cm}^2$

$E = 62 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{E_c}{E} = 2,7$$

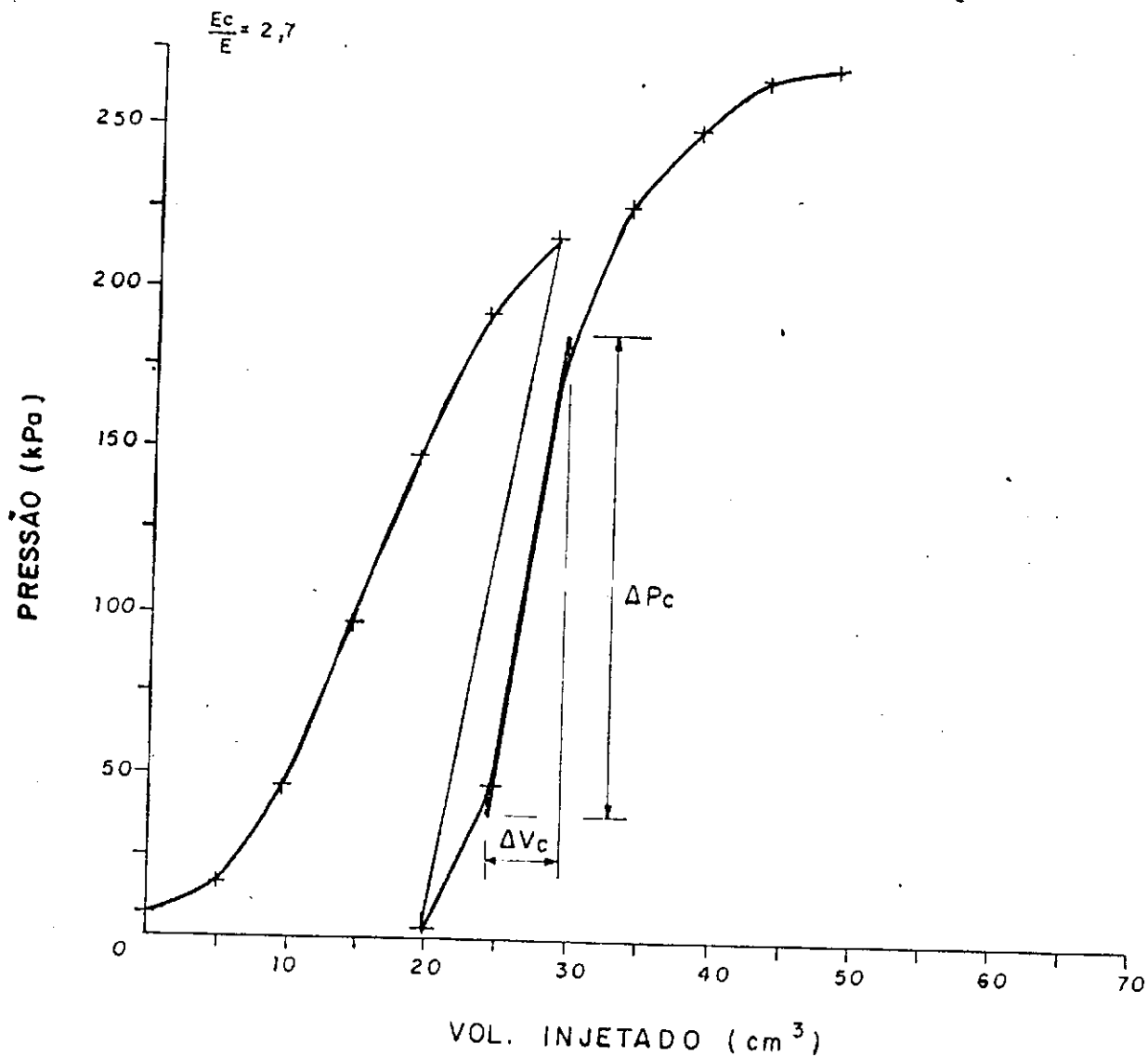


FIGURA - D — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA: = 664 - LD

PROF. = 90 cm

$E_c = 239,48 \text{ kg/cm}^2$

$E = 80,81 \text{ kg/cm}^2$

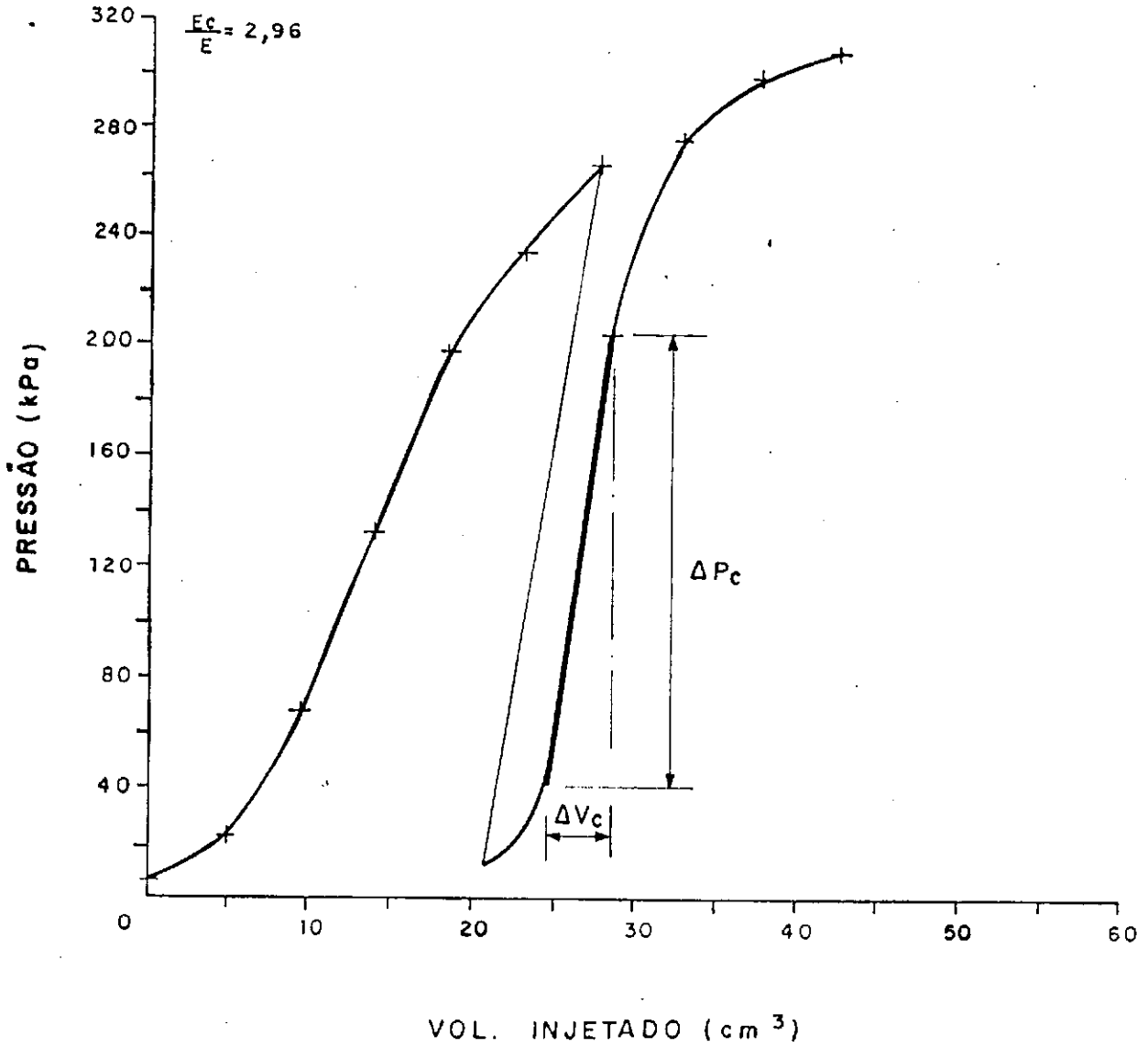


FIGURA - E — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 559- LE

PROF. = 90 cm

$E_c = 315,10 \text{ kg/cm}^2$

$E = 105,93 \text{ kg/cm}^2$

$E_c = 2,97$

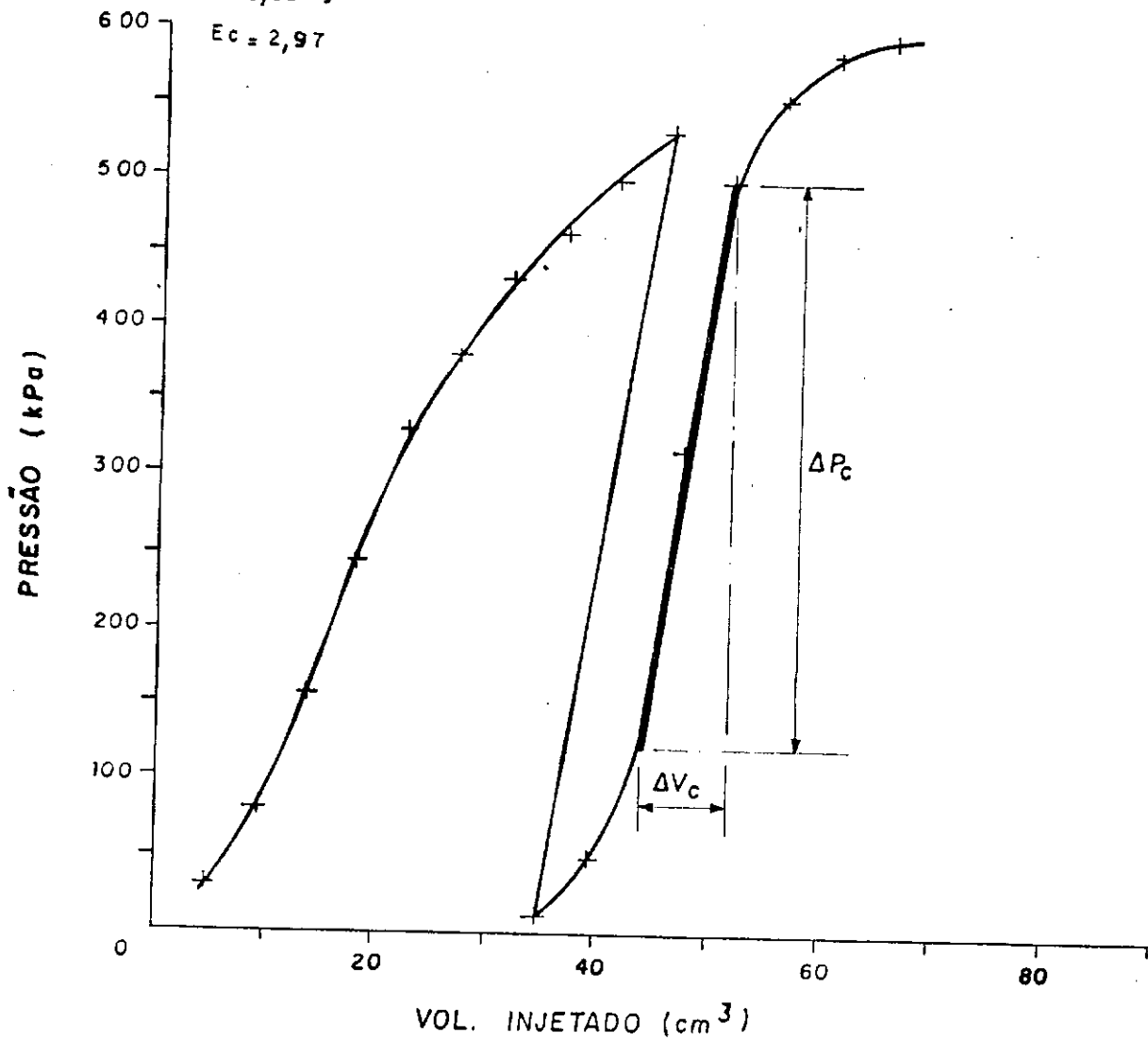


FIGURA - F - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 679 - LE

PROF. : 90 cm

$E_c = 219,44 \text{ kg/cm}^2$

$E = 78 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{E_c}{E} = 2,81$$

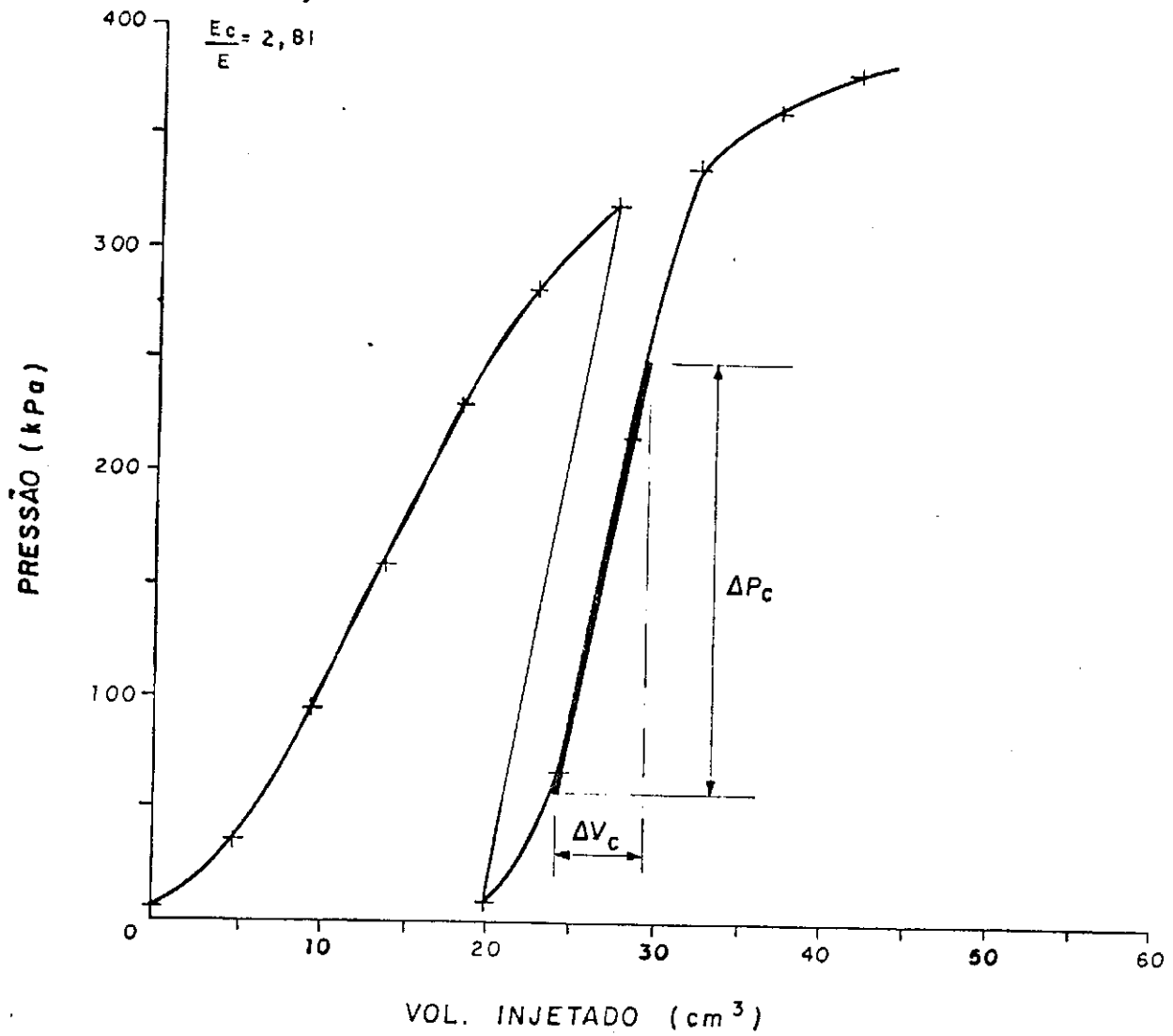


FIGURA - G — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 694-LD

PROF. = 90 cm

$E_c = 175,37 \text{ kg/cm}^2$

$E = 52 \text{ kg/cm}^2$

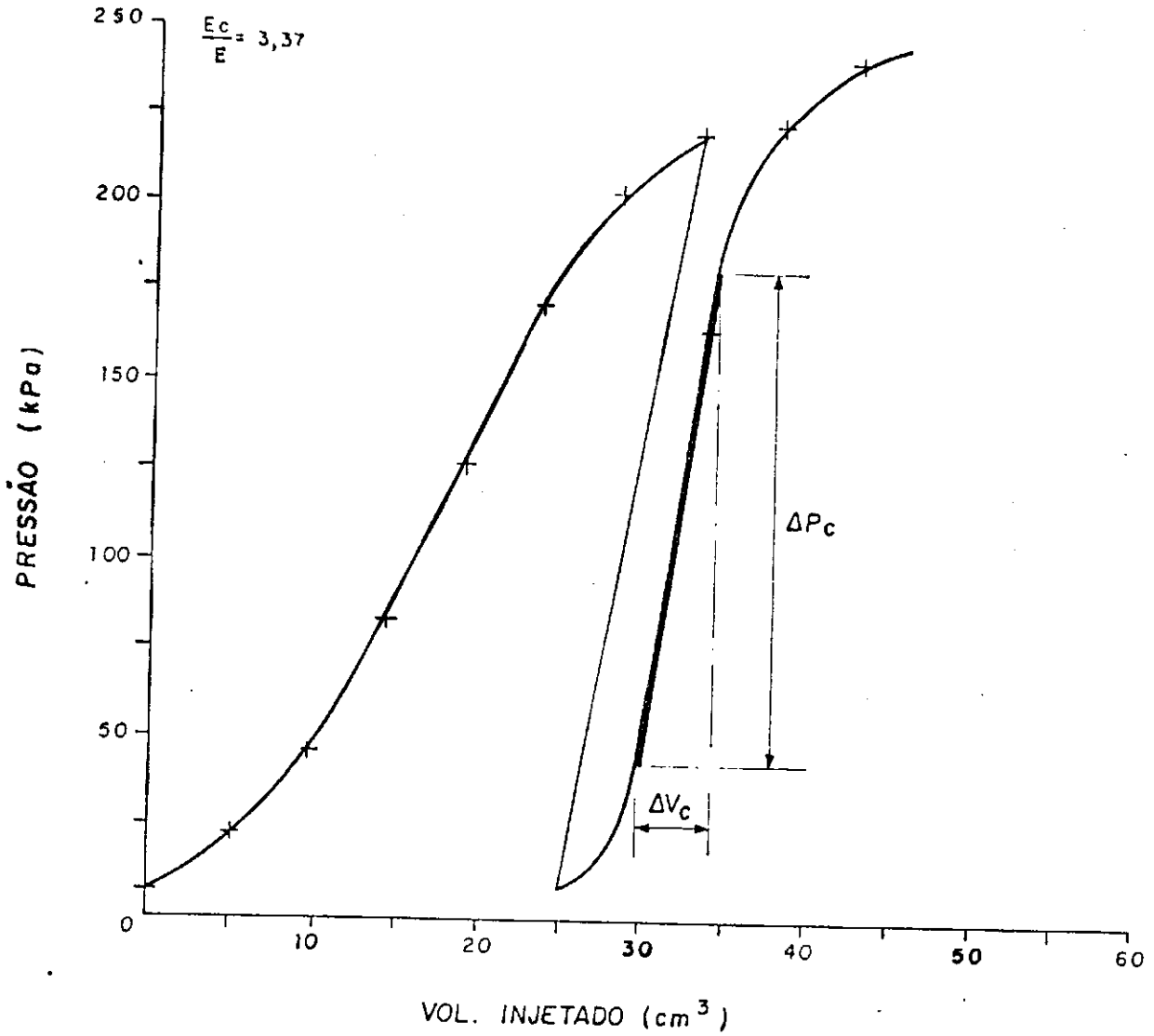


FIGURA - H - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 679 - L. E .

PROF. = 30 cm

$E_c = 887,95 \text{ kg/cm}^2$

$E = 284,5 \text{ kg/cm}^2$

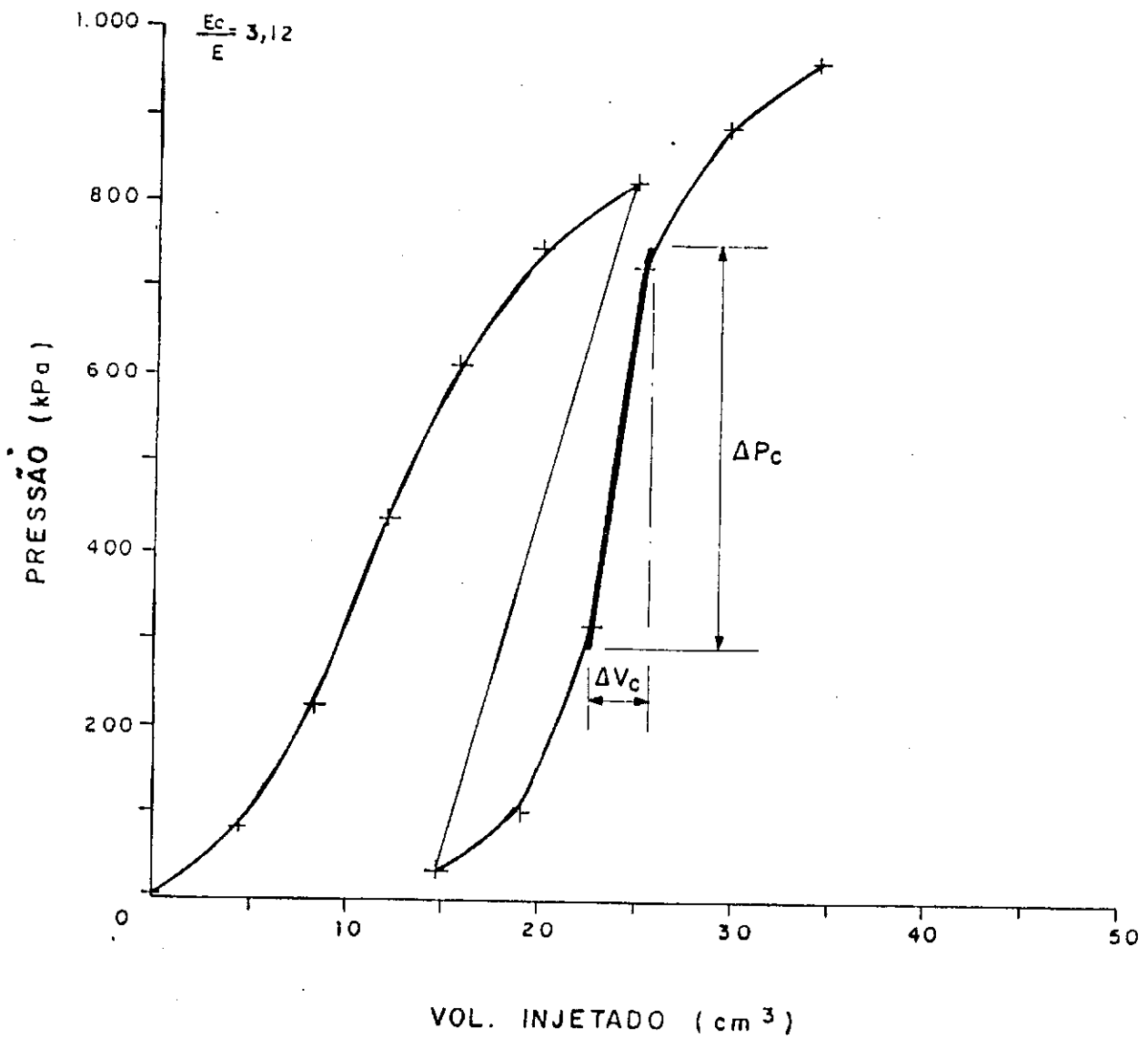


FIGURA - I — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 664 - LD

PROF. = 30 cm

$E_c = 1048,86 \text{ kg/cm}^2$

$E = 258,34 \text{ kg/cm}^2$

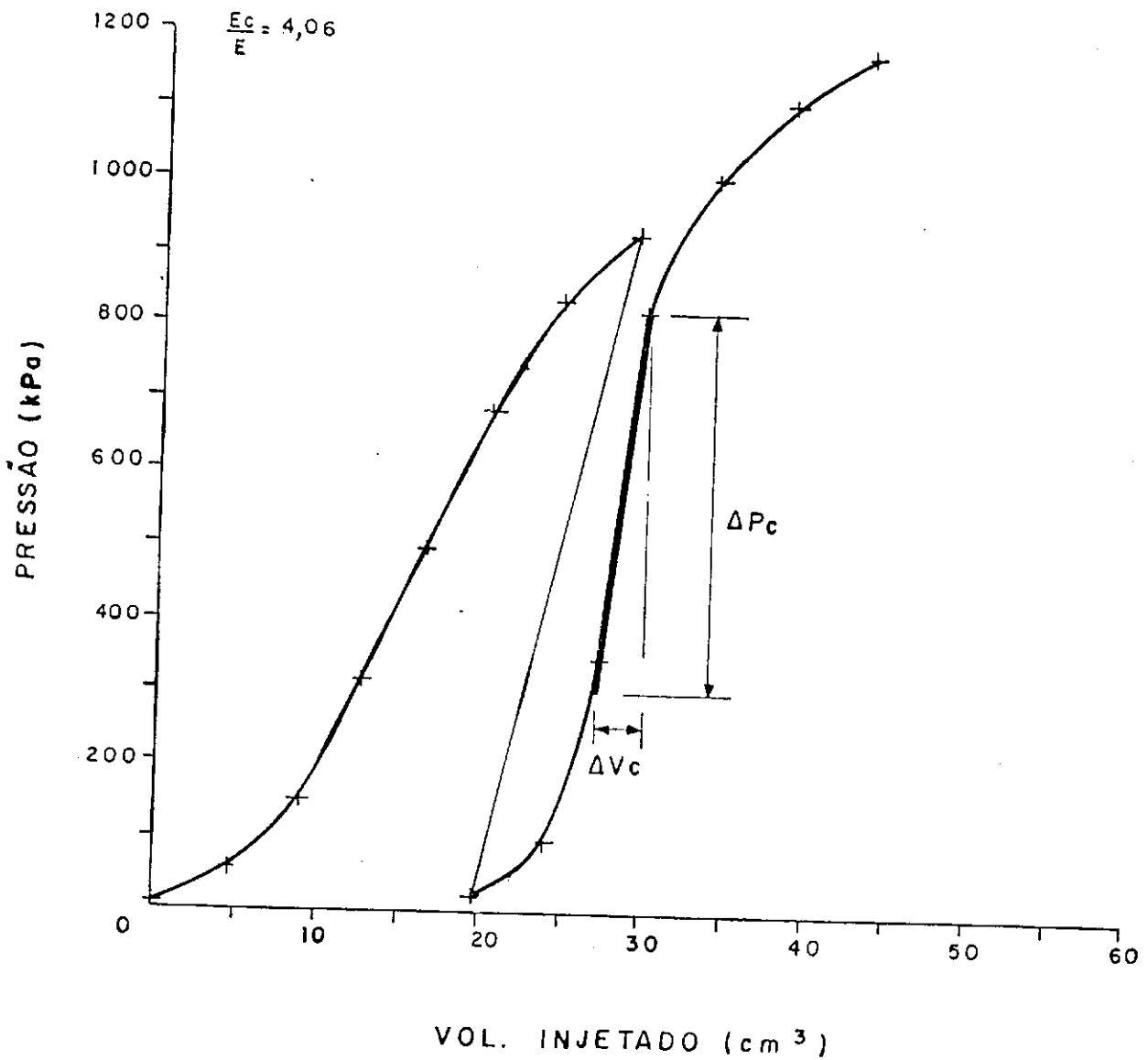




FIGURA - J — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 784 - LD

PROF. = 30 cm

$E_c = 721,63 \text{ kg/cm}^2$

$E = 263,52 \text{ kg/cm}^2$

$\frac{E_c}{E} = 2,74$

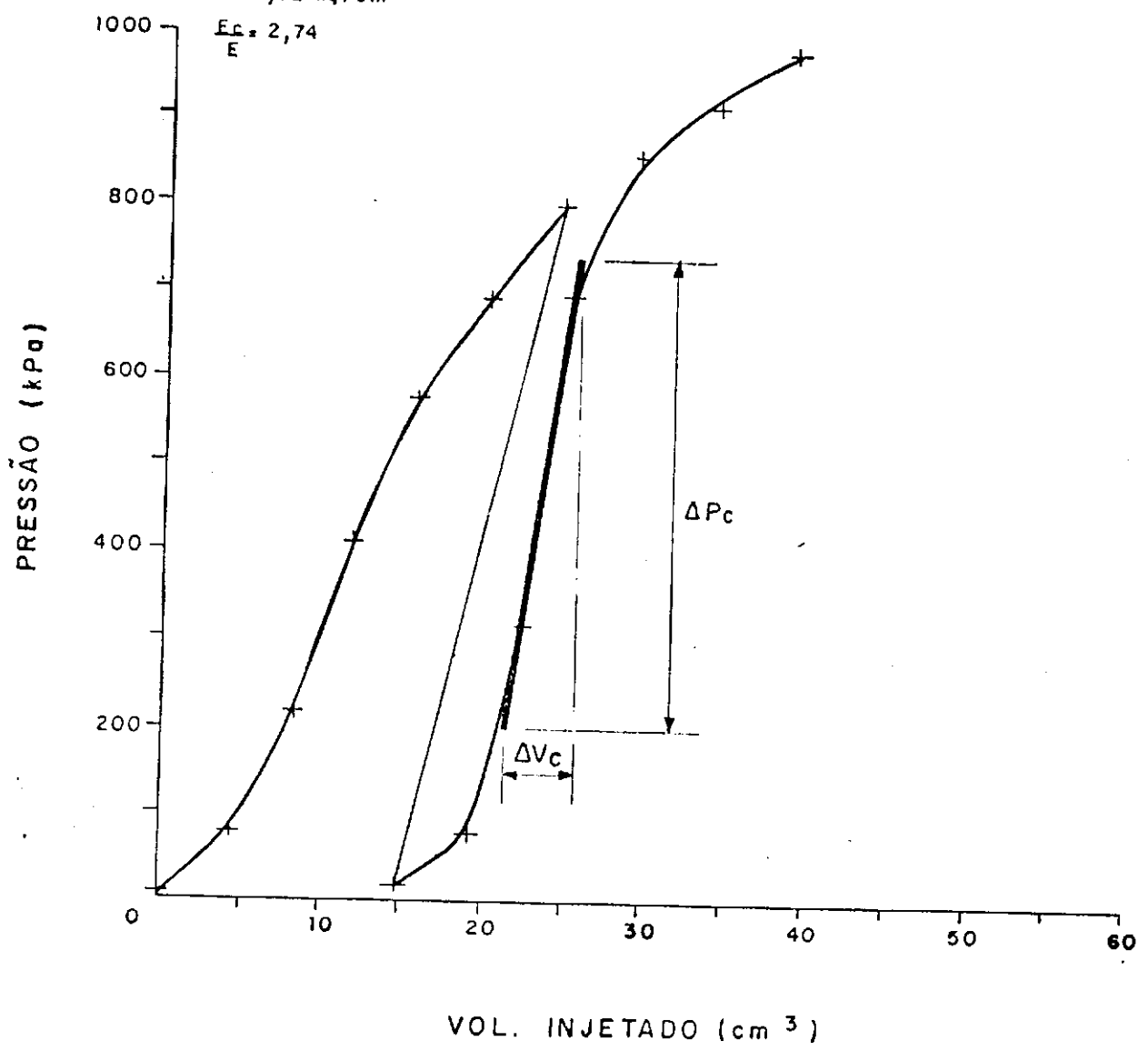


FIGURA - L - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA : 574 - L D

PROF. = 30 cm

$E_c = 2490,34 \text{ kg/cm}^2$

$B = 918,54 \text{ kg/cm}^2$

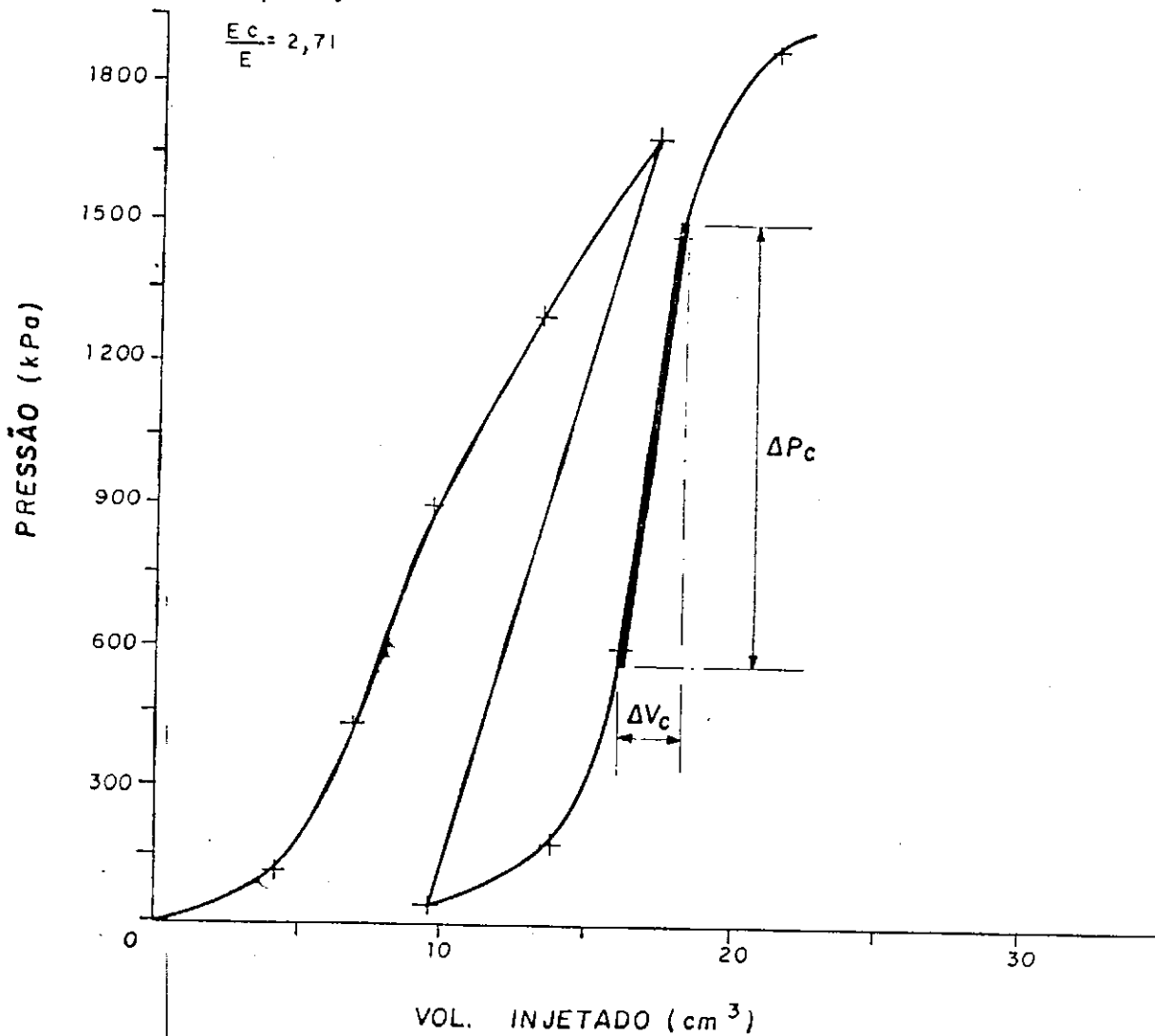


FIGURA - M - CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO .

ESTACA : 739 - LE

PROF. = 30 cm

$E_c = 1317,95 \text{ kg/cm}^2$

$E = 466 \text{ kg/cm}^2$

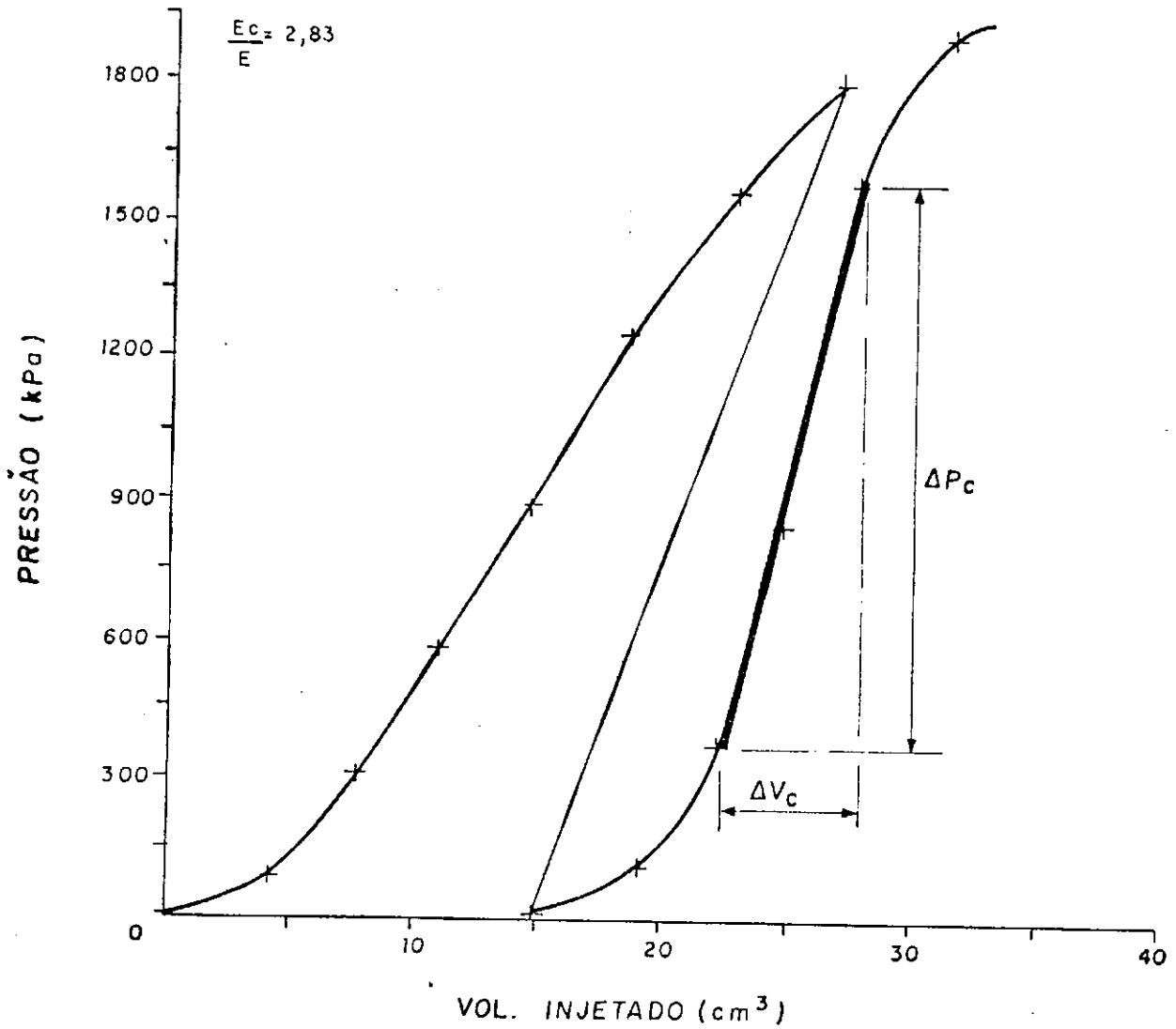


FIGURA - N — CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA PARA CÁLCULO DO MÓDULO PRESSIOMÉTRICO E DE RECOMPRESSÃO.

ESTACA = 724 - L.D

PROF. 30 cm

$E_c = 964,37 \text{ kg/cm}^2$

$E = 493,26 \text{ kg/cm}^2$

