

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA AJUSTE DOS DADOS DE  
TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO**

**JULIANO RODRIGO LAMB**

**CASCADEL – PR**

**2006**



**JULIANO RODRIGO LAMB**

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA AJUSTE DOS DADOS DE  
TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial de avaliação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Odilon  
Pereira

**CASCADEL – PR**

**2006**

## JULIANO RODRIGO LAMB

“Sistema de informação para ajuste dos dados de tensão-deformação nos ensaios de compactação do solo”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*stricto sensu*” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Presidente: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Paulo Afonso Brancarense Costa  
Departamento de Estatística, UFPR

Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 13 de dezembro de 2006.

*Dedico este trabalho a Deus,  
aos meus pais e irmãos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a oportunidade de estar aqui e realizar este trabalho com serenidade e sabedoria.

Aos meus familiares que demonstraram apoio em todos os momentos difíceis e alegres desta jornada.

Ao professor João Cândido Bracarense, por sua fundamental participação neste trabalho, demonstrando, além de um caráter mediador no processo de ensino, um papel de amigo ao longo do curso.

Ao professor Suedêmio de Lima Silva, pela amizade, incentivo, e auxílio na realização deste trabalho, especialmente no desenvolvimento dos experimentos.

Aos colegas Roger Michels, Liane Piacentini, Cláudio Bazzi, Fernanda Catelan, Dirceu Melo e Valtinho, pela amizade e incentivo ao longo do curso e ao colega Milton Soares, pelas mensagens de apoio enviadas em minha caixa de *e-mail*.

Aos colegas, Marciano Lizzoni, Anderson Castellanos, Luciano Henrique, pela longa amizade, conselhos e paciência.

Agradeço a todos os amigos que souberam compreender a ausência do convívio social para a realização deste estudo.

Em especial, ao professor Joaquim Odilon, meu orientador, pela disposição em orientar, confiança, amizade, atenção e conselhos ao longo da realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1 O SOLO E O FENÔMENO DA COMPACTAÇÃO.....</u>	<u>3</u>
<u>2.2 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.....</u>	<u>7</u>
<u>2.2.1 Tipos de Ensaios de Compressão.....</u>	<u>7</u>
<u>2.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....</u>	<u>9</u>
<u>2.3.1 Penetrômetro de Placa.....</u>	<u>10</u>
<u>2.3.2 Oedômetro.....</u>	<u>13</u>
<u>2.4 CURVAS DE COMPRESSÃO DO SOLO.....</u>	<u>15</u>
<u>2.5 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO.....</u>	<u>17</u>
<u>2.5.1 Modelagem de Dados.....</u>	<u>19</u>
<u>2.5.2 Sistemas de Informação.....</u>	<u>20</u>
<u>2.5.3 O Ciclo de Vida Clássico.....</u>	<u>22</u>
<u>2.5.4 Sistemas para Filtragem de Dados.....</u>	<u>25</u>
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>28</u>
<u>3.1 LOCALIZAÇÃO.....</u>	<u>28</u>
<u>3.2 MATERIAIS.....</u>	<u>28</u>
<u>3.2.1 Ensaios in Situ.....</u>	<u>28</u>
<u>3.2.2 Ensaios Confinados.....</u>	<u>29</u>
<u>3.3 MÉTODOS.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.1 Ensaios in Situ.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.1.1 Equação de ajuste dos dados.....</u>	<u>33</u>
<u>3.3.1.2 Mecanismo para filtragem de dados.....</u>	<u>34</u>
<u>3.3.2 Determinação da reta virgem e de compressão secundária.....</u>	<u>35</u>
<u>3.3.3 Ensaios em laboratório.....</u>	<u>36</u>
<u>3.4 TECNOLOGIA EMPREGADA.....</u>	<u>36</u>
<u>3.4.1 Especificação do Banco de Dados.....</u>	<u>37</u>

<a href="#">3.4.2 Especificação de Ferramentas de Desenvolvimento.....</a>	<a href="#">38</a>
<a href="#">3.4.2.1 Sybase© Powerdesigner©.....</a>	<a href="#">38</a>
<a href="#">3.4.2.2 IBExpert.....</a>	<a href="#">39</a>
<a href="#">3.4.2.3 Borland© Delphi©.....</a>	<a href="#">39</a>
<a href="#">3.4.3 Especificação de Metodologias.....</a>	<a href="#">41</a>
<a href="#">3.4.3.1 Orientação a objetos.....</a>	<a href="#">41</a>
<a href="#">3.4.3.2 3Tier 43</a>	
<a href="#">4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</a>	<a href="#">44</a>
<a href="#">4.1 XPRESS – SOFTWARE.....</a>	<a href="#">44</a>
<a href="#">4.1.1 Módulo para Ensaio in Situ.....</a>	<a href="#">45</a>
<a href="#">4.1.2 Módulo para Ensaio Laboratoriais.....</a>	<a href="#">53</a>
<a href="#">4.2 ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....</a>	<a href="#">56</a>
<a href="#">4.2.1 Ensaio in Situ.....</a>	<a href="#">56</a>
<a href="#">4.2.2 Ensaio em Laboratório.....</a>	<a href="#">61</a>
<a href="#">5 CONCLUSÕES.....</a>	<a href="#">66</a>
<a href="#">REFERÊNCIAS.....</a>	<a href="#">67</a>
<a href="#">APÊNDICES.....</a>	<a href="#">73</a>
<a href="#">APÊNDICE A - DIAGRAMAS DE CASO DE USO.....</a>	<a href="#">74</a>
<a href="#">APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS CASOS DE USO.....</a>	<a href="#">76</a>
<a href="#">APÊNDICE C - DIAGRAMA DE CLASSE.....</a>	<a href="#">80</a>
<a href="#">APÊNDICE D - DIAGRAMAS DE SEQÜÊNCIA.....</a>	<a href="#">81</a>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do solo ensaiado em laboratório.....	63
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do solo.....	3
Figura 2 - Grau de saturação.....	4
Figura 3 - Ensaio de compressão não-confinado.....	8
Figura 4 - Ensaio de compressão parcialmente confinado.....	8
Figura 5 - Ensaio de compressão totalmente confinado.....	9
Figura 6 - Esquema de um penetrômetro de placa montado em um trator.....	10
Figura 7 - Penetrômetro de placa desenvolvido por BREDA (2003).....	11
Figura 8 - Modelos da deformação do solo durante compressão com uma placa.....	12
Figura 9 - Esquema de um oedômetro utilizado nos ensaios de compressão confinada.....	13
Figura 10 - Oedômetro desenvolvido por WEISS (2005).....	14
Figura 11 - Conjunto mecânico de compressão.....	15
Figura 12 - Método gráfico de Casagrande (1936) para determinar o ponto de pré-consolidação.....	16
Figura 13 - Dados, informação, conhecimento.....	18
Figura 14 - Sistemas de informação.....	21
Figura 15 - Componentes básicos de uma aplicação de processamento de informações.....	22
Figura 16 - Avaliação do projeto de interfaces.....	23
Figura 17 - O ciclo de vida clássico.....	24
Figura 18 - Relacionamento entre log (pressão) e second differences em um teste de compressão uniaxial.....	25
Figura 19 - Comportamento dos dados sem mecanismo de filtragem para um ensaio in situ.....	26
Figura 20 - Sistema de aquisição de dados cr510.....	29
Figura 21 - Oedômetro.....	30
Figura 22 - Amostra indeformada do solo.....	30
Figura 23 - Cápsula de metal, anel volumétrico e balança de precisão.....	31

Figura 24 - Momento de simulação da compactação causada pelo tráfego.....	32
Figura 25 - Trilho compactado pela passagem do trator.....	33
Figura 26 - Comportamento da deflexão dos pneus.....	34
Figura 27 - Alguns componentes do Zeos na paleta de componentes do Delphi©.....	40
Figura 28 - Mensagem de aviso de licença.....	41
Figura 29 - Construindo classes através de herança.....	42
Figura 30 - Exemplo para uma aplicação em três camadas.....	43
Figura 31 - Tela inicial do programa.....	44
Figura 32 - Ex. de arquivo tabulado.....	46
Figura 33 - Ex. de arquivo original.....	46
Figura 34 - Interface de leitura do arquivo de dados.....	47
Figura 35 - Identificação de parâmetros relacionados ao experimento.....	48
Figura 36 - Interface para o mecanismo de filtragem dos dados.....	49
Figura 37 - Interface filtragem fina.....	50
Figura 38 - Interface para construção das curvas.....	51
Figura 39 - Modo de visualização, com destaque para a sobreposição de cenários.....	52
Figura 40 - Determinação do ponto de pré-consolidação.....	53
Figura 41 - Cadastro de experimentos e amostras oedométricos.....	54
Figura 42 - Interface para determinação da curva de compressão, usando a deformação máxima.....	55
Figura 43 - Interface para determinação da curva de compressão do solo, usando o índice de vazios.....	56
Figura 44 - Curvas de compressão para uma passada do trator.....	57
Figura 45 - Comportamento do solo para cinco passadas do trator.....	57
Figura 46 - Curvas de compressão para dez passadas do trator.....	58
Figura 47 - Curvas para uma passada produzidas pelo software.....	58
Figura 48 - Curvas para cinco passadas produzidas pelo software.....	59
Figura 49 - Curvas para dez passadas do trator, produzidas pelo software.....	59
Figura 50 - Ponto de pré-consolidação para uma passada do trator.....	60
Figura 51 - Ponto de pré-consolidação para cinco passadas do trator.....	60
Figura 52 - Ponto de pré-consolidação para dez passadas do trator.....	61

Figura 53 - Comportamento do índice estrutural (Sem passadas do trator) em função da pressão, para três amostras.....	61
Figura 54 - Comportamento do índice estrutural (Uma passada do trator) em função da pressão, para três amostras.....	62
Figura 55 - Comportamento do índice estrutural (Cinco passadas do trator) em função da pressão, para três amostras.....	62
Figura 56 - Gráfico pressão versus deformação, sem passada do trator.....	64
Figura 57 - Gráfico pressão versus deformação, com uma passada do trator. .....	64
Figura 58 - Gráfico pressão versus deformação, com cinco passadas do trator. .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANSI	- <i>American National Standards Institute.</i>
BMP	- <i>Bitmap picture.</i>
CMM	- <i>Capability maturity model.</i>
CSV	- <i>Comma separated values.</i>
DAT	- Arquivo de dados.
e	- Volume de vazios.
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
GNU (GPL)	- <i>GNU's not Unix (General Public License).</i>
HTML	- <i>Hypertext markup language.</i>
kN	- Quilo Newton.
kPa	- Quilo Pascal – unidade de medida de pressão.
LGPL	- <i>Lesser general PUBLIC license.</i>
LMA	- Laboratório de Mecanização Agrícola.
Mb	- <i>Megabytes.</i>
MGA	- <i>American National Standards Institute.</i>
$M_s$	- Massa de sólidos.
$M_w$	- Massa de água.
NEEA	- Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola.
POO	- Programação orientada a objetos.
RAM	- <i>Random access memory.</i>
RTF	- <i>Rich text format.</i>
SGBD	- Sistema gerenciador de banco de dados.
SIG	- Sistemas de informações gerenciais.
SQL	- <i>Structured query language.</i>
$S_r$	- Grau de saturação.
TXT	- Documento de texto.
$u_a$	- Pressão do ar.
UML	- <i>Unified modeling language.</i>

$u_w$	- Pressão da água.
$V$	- Volume total.
$V_a$	- Volume de ar.
VCL	- <i>Virgin compression line.</i>
$V_s$	- Volume de sólidos.
$V_v$	- Volume de vazios.
$V_w$	- Volume de água.
XML	- <i>Extensible markup language.</i>
$\sigma$	- Pressão vertical.
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	- Tensões principais efetivas.
$\sigma_p$	- Pressão de pré-consolidação.

## RESUMO

A compactação do solo é um fenômeno danoso ao setor agrícola, intensificado com a adoção do modelo de produção atual que utiliza nos sistemas de cultivo máquinas pesadas que podem exercer pressões superiores à capacidade de suporte do solo. Com a compactação e compressão do solo ocorre uma redução do índice de vazios, face à expulsão do ar e da água que compõem o sistema, prejudicando a absorção de água e minerais pelas raízes das plantas e aumentando a resistência do solo à penetração. Dessa forma, torna-se importante a realização de ensaios de compressão para determinação dos índices de compactação, seja em campo por meio de ensaios *in situ* ou em ensaios laboratoriais. A dificuldade apresentada em ensaios desta natureza, está relacionada à análise dos dados obtidos e com a determinação das curvas de compressão e índice de pré-consolidação. Face a essa conjuntura procurou-se a utilização de sistemas de informação com o desenvolvimento de um aplicativo de banco de dados para o ajuste dos dados de tensão-deformação em ensaios *in situ* e em laboratório. O sistema foi desenvolvido usando o ambiente de desenvolvimento *Borland® Delphi®* com banco de dados *Firebird* e metodologias Orientada a Objetos e *3Tier*. Alimentado com dados provenientes de ensaios realizados, o *software* demonstrou eficiência na leitura e filtragem dos dados de ensaios *in situ*, segurança no armazenamento de todos os dados referentes aos ensaios, bem como agilidade e precisão na determinação das curvas de compressão do solo e na estimação do ponto de pré-consolidação. Os resultados ainda permitem concluir que o tráfego de máquinas, nas atividades em campo, intensifica o fenômeno da compactação e que o penetrômetro e o oedômetro são importantes na realização de ensaios de compressão do solo.

**Palavras-chave:** Tecnologia de informação, compactação do solo, ensaios *in situ*, ensaios de compressão uniaxial, sistema de filtragem de dados.

## ABSTRACT

### INFORMATION SYSTEM FOR DATA ADJUSTMENT OF STRENGTH- DEFORMATION ASSAYS OF SOIL COMPACTION

The soil compaction is a harmful phenomenon to the agricultural sector, intensified with the current model of culture adoption through the use of machines weighed in the culture systems, where these can exert superior pressures to the soil load support capacity. With the soil compaction and compression there is a reduction of the void ratios face to the air and water expulsion, that composes the system, harming the water absorption and minerals for the plants roots, as well as increasing the resistance of the ground to the penetration. By the way, it is formed becomes important the accomplishment of trials of compression for determination of the compaction levels, either in field through assays *in situ* or laboratory trials. The difficulty presented in trials of this nature, this related with the analysis of the gotten data and with the determination of the compression curves and stress point. Face this conjuncture one utilized the systems of information with the development of application of data base for the adjustment of the data of tension-deformation in trials *in situ* and laboratory. The system was developed using the environment of development Borland© Delphi© with data base Firebird and methodologies Oriented Objects and to 3Tier. With data proceeding from carried through trials, the *software* have demonstrated to efficiency in the reading and filtering of *in situ* trials data, security in the storage of all the referring data to the trials, as well as agility and precision in the determination of the curves of compression of the ground and in the esteem of the stress point. The results still allow concluding that, the traffic of machines in the activities in field intensify the phenomenon of the compaction, and that sinkage plate and oedometer are important in the accomplishment of trials of soil compression.

**Keywords:** Systems of information, soil compaction, trials *in situ*, uniaxial compression trials, filtering of data system.

## 1 INTRODUÇÃO

A compactação é um fenômeno intrínseco do solo. Seus efeitos são nocivos ao desenvolvimento das plantas, pois ocasionam uma redução no índice de vazios e aumento da densidade do solo, promovendo a diminuição no teor de água e, dessa forma, prejudicando desenvolvimento radicular e contribuindo para a formação deficiente de plantas, afetando, principalmente, a produção esperada. O fenômeno de compactação está relacionado a causas naturais como as fortes chuvas, mas o também ao uso inadequado de máquinas e implementos agrícolas, cujo tráfego desordenado é uma das causas principais de compactação do solo, no modelo de cultivo atual.

O crescimento do setor agrícola é fruto da difusão de tecnologias e do surgimento de órgãos especializados que promovem o desenvolvimento do agricultor. No entanto, ainda há carências no setor agrícola, no que se refere a sistemas de informação, por meio de aplicativos de banco de dados que processem os dados presentes nas diversas atividades agrícolas e apresentem relatórios em que sejam caracterizados os problemas de uma determinada área, possibilitando assim, as tomadas de decisão nas diferentes etapas do ciclo de produção, como preparação do solo, semeadura, tratos culturais e colheita.

De modo um geral, os analistas, os profissionais da área e os próprios empresários não incluem a qualificação da administração e da gestão dos empreendimentos agrícolas. Essa conjuntura pode comprometer a atividade, pois a redução dos custos de produção e a busca de novas técnicas para aumentar a produção são necessárias à permanência do agricultor em seu meio.

A informática, aliada ao desenvolvimento dos sistemas de informação, permite a modelagem das situações vividas no meio rural e a manipulação dos dados envolvidos para obtenção de informações que podem auxiliar o usuário, que muitas vezes é também o responsável pelas decisões na propriedade.

A realização de ensaios de compressão tem por objetivo o conhecimento do comportamento do solo, pela exposição a diferentes cargas, de modo a simular as cargas exercidas por máquinas e implementos agrícolas nas atividades de campo. O conhecimento do comportamento de cada solo permite que sejam plotadas as curvas de compressão e a determinação por meio delas de um índice conhecido como capacidade de suporte, isto é, o ponto em que ocorre uma intensificação nos danos causados pela compactação. Aproximadamente, a partir deste ponto o solo passa do estado elástico para o estado plástico.

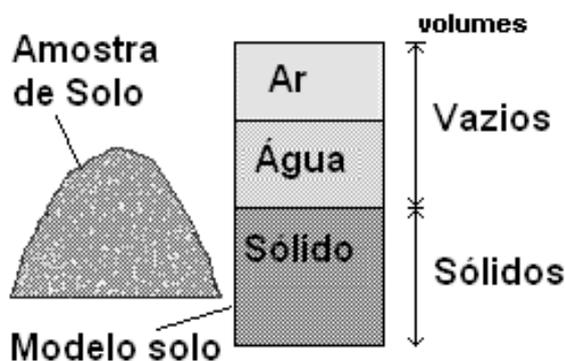
O desenvolvimento de um sistema de informação, baseado em um aplicativo de Banco de Dados promove maior agilidade e precisão na análise dos dados. De posse de um computador (portátil ou não) na realização do ensaio, pode-se ter rapidamente toda a filtragem dos dados permitindo uma análise correta. A utilização de um banco de dados permite a visualização e comparação com outros ensaios realizados, a qualquer momento. Esse sistema emite as informações resultantes do processo existente, baseado na modelagem do mundo real. Assim, é importante uma correta representação para que os dados produzidos estejam o mais próximo possível da melhor solução.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional (*software*) para o ajuste dos dados de tensão-deformação nos ensaios de compactação *in situ* ou em laboratório, fornecendo com rapidez e precisão as informações necessárias ao produtor rural para aplicação em sua propriedade.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O SOLO E O FENÔMENO DA COMPACTAÇÃO

O solo é um sistema composto por partículas sólidas e espaços vazios que podem estar preenchidos com água ou ar (MARANGON, 2005). Todo e qualquer estudo sobre o solo deve considerar esses três fatores e a sua correlação. A água ocupa a maior parte dos espaços vazios podendo ser deslocada quando submetida a diferenças de potencial (DAVISON & SPRINGMAN, 2006).



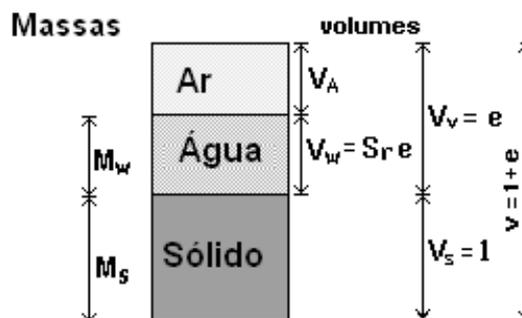
**Figura 1** - Componentes do solo.

Fonte: DAVISON e SPRINGMAN (2006).

Conforme SILVA FILHO, MIRANDA & NOGUEIRA (2001), é importante a distinção entre solos saturados e não-saturados, por suas diferenças comportamentais. A principal característica dos solos não-saturados, conforme esses autores, é a existência da água com pressão negativa ou sucção, definida como pressão do ar ( $u_a$ ) menos a pressão da água ( $u_w$ ). Assim, valores de sucção sempre são maiores ou iguais a zero.

Para DAVISON & SPRINGMAN (2006), o volume de água em um solo pode variar entre 0 (zero) e o volume de vazios ( $V_v$ ). O grau de saturação  $S_r$  para solos perfeitamente secos tem valor igual a 0 e para solos saturados tem valor igual a 1 e pode ser calculado pela Equação 1:

$$S_r = \frac{\text{volume de água}}{\text{volume de vazios}} = \frac{V_w}{V_v} \quad (1)$$



**Figura 2** - Grau de saturação.

Fonte: DAVISON & SPRINGMAN (2006).

em que:

- $M_w$  = Massa de água;
- $M_s$  = Massa de sólidos;
- $V_a$  = Volume de ar;
- $V_w$  = Volume de água;
- $V_v$  = Volume de vazios;
- $V_s$  = Volume de sólidos;
- $V$  = Volume total.

Para PACHECO (2004), duas fases isolantes caracterizam solos não saturados: uma fase sólida com presença de ar e uma fase líquida, que pode ser condutora de corrente elétrica. O espaço para condução da corrente reduz com a diminuição do grau de saturação, aumentando-se assim, a resistividade.

O manejo do solo é condicionado ao tipo de solo existente no local. O Ministério da Agricultura iniciou um processo de classificação dos solos existentes, pela Comissão de Solos, em 1947, um órgão precursor da Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, criada em 1973. Outra classificação dos solos bastante empregada é a de CAMARGO, KLAMT & KAUFFMAN (1987).

Para o processo de produção agrícola é importante o manejo do solo, permitindo assim, a obtenção de uma estrutura e um teor de água adequados, bem como o controle de ervas daninhas. Entre os fatores que influenciam o processo de mobilização do solo tem-se a condição de início das atividades, o formato da ferramenta e o seu movimento (PEREIRA, 2004).

Dados na literatura, relacionados à compressibilidade do solo, são limitados. Um dos resultados mais evidentes refere-se à formação de trilhos de pneus oriundos do tráfego em áreas com condições não apropriadas (EARL, 1997). Esses dados apresentam limitação pelas seguintes razões:

a) Cargas geradas por equipamentos agrícolas são menores do que de estruturas como prédios ou represas;

b) A maioria dos testes de compressão relatados na literatura foi realizada em solos saturados, enquanto que na agricultura a maior parte dos solos encontra-se não saturada nas operações realizadas em campo;

c) A compressibilidade de solos não saturados com vários graus de desenvolvimento estrutural difere consideravelmente de solos com camadas densas, maciço-estruturadas e subsuperficiais.

d) A maioria dos dados é oriunda de amostras ensaiadas em situações de laboratório, não representando as condições reais em campo.

Para descrever a compactação (expulsão do ar), consolidação (expulsão da água) e compressão (combinação da compactação, consolidação e movimento do solo com o mínimo de redução no seu volume, denominado deslocamento) é utilizado um termo de conceito amplo: deformação (EARL, 1997).

As causas da compactação estão relacionadas à ocorrência de fenômenos naturais, como chuvas fortes; dimensionamento inadequado de máquinas e implementos agrícolas e tráfego excessivo de máquinas, durante as atividades de manutenção das plantas ou preparo do solo. A ocupação do solo dessa forma gera uma rápida e contínua degradação (SOANE & VAN OUWERKERK, 1994; DAWIDOWSKI, MORRISON JUNIOR & SNIEG, 2001, PRADO & ROQUE; SOUZA, 2002).

Em sistemas agrícolas, verifica-se a presença do fenômeno da compactação pela utilização de meios baseados em tração animal ou mecanizados. A resposta do solo está diretamente associada à carga aplicada (REINERT, ROBAINA & REICHERT, 2003). A compactação realizada pelo tráfego de máquinas deve-se ao fato de que elas aplicam forças superiores à capacidade de suporte do solo (DAWIDOWSKI & KOOLEN, 1994).

A compactação do solo é um fenômeno cada vez mais comum e largamente combatido, pois a sua ocorrência acarreta um baixo desenvolvimento radicular das plantas, dificultando a obtenção de água e diminuindo o espaço poroso para o fornecimento de oxigênio, afetando diretamente a produção, de maneira negativa (LIMA, 2004).

A modernização do sistema de cultivo e do maquinário agrícola, não foi acompanhada por um aumento proporcional dos pneus, responsáveis por distribuir o peso das máquinas. No Brasil, é difundido o uso de pneus com bandas diagonais, cuja parte lateral é rígida, de modo que não ocorra uma moldagem sob o solo (STRECK, REINERT & REICHERT, 2004).

Conforme LAMB *et al.* (2006b), a redução do tráfego e um dimensionamento apropriado do maquinário, de modo a exercer pressões inferiores à capacidade do solo, resultarão em índices menores de compactação

As pressões exercidas sobre o solo tendem a aumentar a densidade, reduzindo, assim, a porosidade e o índice de vazios (REINERT, ROBAINA & REICHERT, 2003). Um grande número de variáveis está presente nesse processo de interação solo-máquina, de modo a dificultar a tomada de decisões por parte de agricultores (O'SULLIVAN, HENSHALL & DICKSON, 1999).

Fortes cargas, aplicadas pelos modernos equipamentos agrícolas, aumentam extremamente o potencial para uma compactação severa do solo. Os estudos de SALIRE, HAMMEL & HARDCASTLE (1994), demonstraram que eixos que exerçam cargas superiores a 90 kN contribuem consideravelmente para a compactação nas camadas abaixo da camada superficial do solo.

A compactação é danosa à estrutura do solo, por isso é importante a utilização de mecanismos para a determinação desses níveis. O penetrômetro

de placa é um instrumento muito eficiente nessa determinação, em campo (BREDA, 2003).

## 2.2 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Uma abordagem para avaliar a sucessão à compactação dos solos é baseada nos resultados de ensaios que utilizam penetrômetros de placa em conjunto com resultados provenientes de ensaios confinados de compressão. A análise desses resultados permite o conhecimento de maiores informações sobre o comportamento do solo frente a diferentes cargas (EARL, 1997).

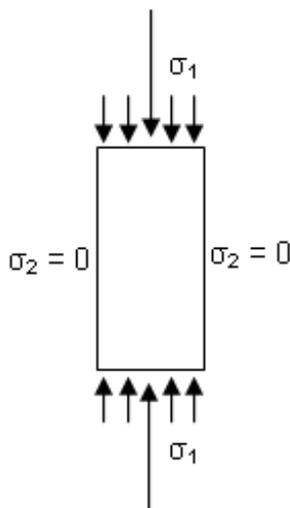
Ensaio confinados de compressão do solo e *in situ* (utilizando um penetrômetro de placa) podem ser aplicados para identificar componentes – quanto à compactação e deslocamento – no processo de deformação do solo sob aplicação de cargas (EARL, 1997).

EARL (1997) sugeriu a montagem de um equipamento de compressão em um trator contendo um mecanismo de penetração do solo com uma placa de aço e com instrumentos para realização de ensaios confinados para avaliação da natureza compressiva do solo.

### 2.2.1 Tipos de Ensaio de Compressão

Segundo Barata (1985), citado por WEISS (2005), os ensaios de compressão, realizados em laboratório ou *in situ*, podem ser classificados de acordo com o grau de confinamento imposto ao solo, em:

- a) ensaio de compressão não-confinado;
- b) ensaio de compressão parcialmente confinado;
- c) ensaio de compressão totalmente confinado.

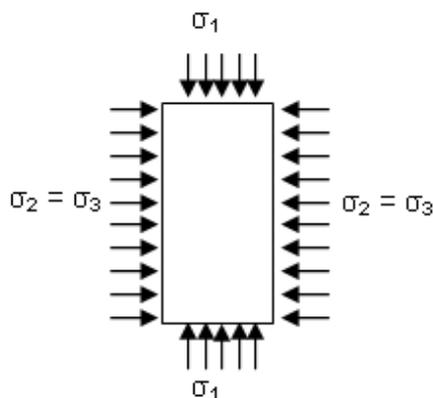


**Figura 3** - Ensaio de compressão não-confinado.

Fonte: Barata (1985) citado por WEISS (2005).

O ensaio de compressão uniaxial não-confinado (ou compressão simples) é aquele em que o esforço ( $\sigma_1$ ) é aplicado em uma única direção, permitindo que o corpo de prova se deforme nas outras direções, sem qualquer tipo de confinamento. Não se caracteriza a presença de nenhuma força lateral atuando ( $\sigma_2 = 0$ ) (Barata, 1985, citado por WEISS, 2005).

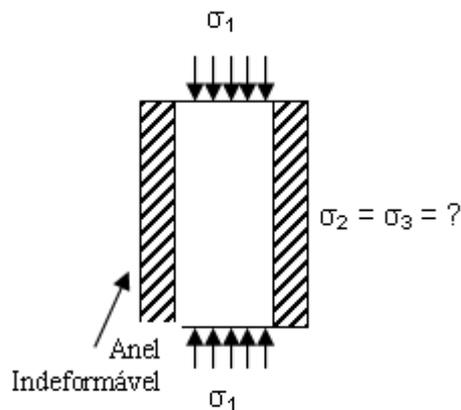
Os ensaios de compressão parcialmente confinados ocorrem, ainda segundo Barata (1985), citado por WEISS (2005), com a presença da pressão axial ( $\sigma_1$ ) e com pressão lateral ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) que impeça parcialmente a liberdade da deformação lateral.



**Figura 4** - Ensaio de compressão parcialmente confinado.

Fonte: Barata (1985), citado por WEISS (2005).

Os ensaios totalmente confinados são conhecidos como Ensaio de Adensamento, criados por Terzaghi ao desenvolver a Teoria do Adensamento e só podem ser realizados com a colocação do corpo-de-prova dentro de um recipiente (anel) indeformável, com a aplicação externa da pressão axial ( $\sigma_1$ ). O anel impede qualquer deformação lateral, pois o confinamento é total (Barata, 1985, citado por WEISS, 2005).



**Figura 5** - Ensaio de compressão totalmente confinado.

Fonte: Barata (1985), citado por WEISS (2005).

Segundo DAWIDOWSKI, MORRISON JUNIOR & SNIEG (2001), ensaios de compressão *in situ*, utilizando o penetrômetro de placa, não podem ser considerados realmente como não-confinados, mas como parcialmente confinados.

### 2.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

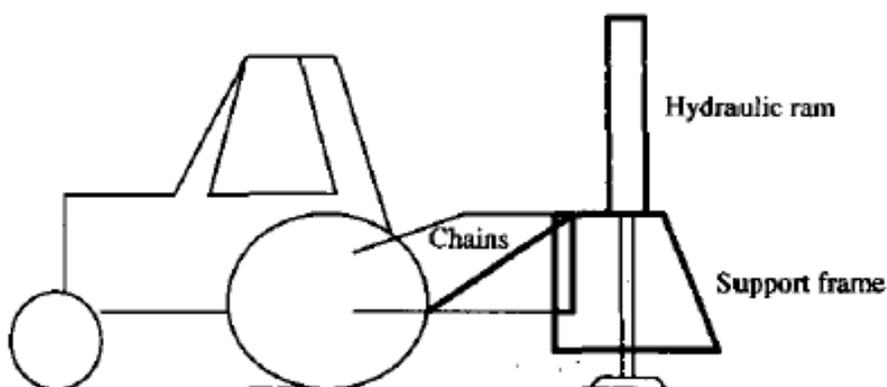
O penetrômetro de placa, utilizado em ensaios de campo, é uma ferramenta que permite a visualização do comportamento do solo mediante diferentes níveis de tráfego. No entanto, seus resultados são condicionados ao ambiente com a mesma característica do cenário de realização da pesquisa (DAWIDOWSKI, MORRISON JUNIOR & SNIEG, 2001).

Ensaio de compressão oedométrica são popularmente usados, conforme MOREIRA (2005), face à simplicidade de sua realização, bem como ao fato das condições de deformação apresentarem semelhanças às encontradas em situações reais.

Verifica-se que ambos os métodos produzem curvas similares para os estágios iniciais de compactação do solo. Contudo, a partir do ponto de compactação os resultados tornam-se divergentes (DAWIDOWSKI, MORRISON JUNIOR & SNIEG, 2001). Os autores recomendam ainda, que seja estudada a existência de uma possível relação matemática entre essas curvas, de modo a convergirem os resultados.

### 2.3.1 Penetrômetro de Placa

Conforme ALEXANDROU & EARL (1995), o penetrômetro de placa é formado basicamente por uma placa em contato com o solo, onde uma força conhecida é aplicada e um mecanismo monitora a distância de deslocamento da placa (Figura 6). Equipamentos dessa natureza já são usados há muito tempo, no entanto, as dimensões da placa não foram padronizadas.



**Figura 6** - Esquema de um penetrômetro de placa montado em um trator.

Fonte: ALEXANDROU & EARL (1995).

O penetrômetro de placa de aço, desenvolvido por BREDA (2003), consiste em uma estrutura modular com chapa de aço ABNT 1020, formatada

para suportar as forças exercidas pelo sistema hidráulico do trator durante os ensaios de compactação. É acoplado diretamente ao trator por quatro parafusos dispostos simetricamente, fixados na carcaça de transmissão.



**Figura 7 -** Penetrômetro de placa desenvolvido por BREDA (2003).

O equipamento utiliza o sistema hidráulico do trator para acionamento do pistão de compressão. No entanto, devido à necessidade de se controlar a pressão hidráulica e, conseqüentemente da carga sobre o solo, foi adicionado um comando hidráulico de duas vias, com uma válvula de controle de pressão (BREDA, 2003).

A medição da força exercida pela placa no solo, de acordo com BREDA (2003), é realizada por célula de carga com capacidade de 50 kN. Para medição da profundidade da penetração da placa utilizou-se de um sensor a laser. Ambos os sensores possuem saída para o mecanismo de aquisição de dados Micrologger cr510.

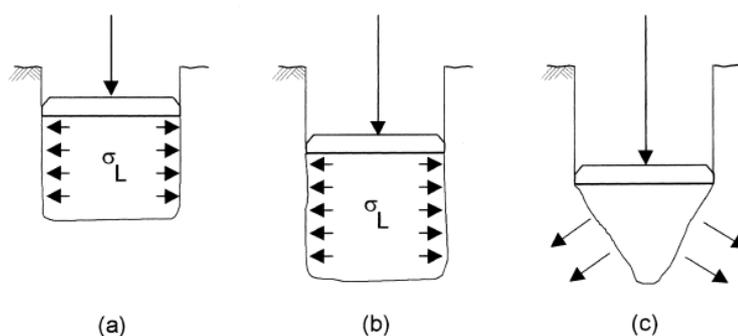
Bernstein (1913) e Bekker (1960), citados por EARL (1997), investigaram o relacionamento entre carga e penetração, usando testes de penetração no solo, com uma placa. Embora esses testes fornecessem dados *in situ* importantes, segundo EARL (1997), existem duas considerações a serem feitas, sobre o tipo de experimento realizado: (a) a área de contato e de pressão dos pneus de um trator é muito grande sendo impraticável a utilização

de placas com o mesmo tamanho e carga; (b) os testes não dispõem de informação suficiente na seqüência do processo de deformação que ocorre logo abaixo da placa.

EARL (1997) verificou a necessidade de amenizar esses inconvenientes, pela montagem do equipamento em um trator e com a realização de testes paralelos ao de penetração no solo, gerando maiores informações acerca do comportamento do solo abaixo da placa de compressão e observou que esse comportamento, durante um ensaio de compactação com um penetrômetro de placa possui três fases:

- a) compactação, com pressão lateral constante;
- b) compactação, com aumento na pressão lateral; e
- c) deslocamento do solo lateralmente.

Na Figura 8 observa-se que, inicialmente, uma carga é aplicada e o solo diretamente abaixo da placa compacta (expulsão do ar), observado na fase (a). Com o aumento da carga, a pressão lateral do solo ( $\sigma_L$ ), imediatamente abaixo da placa, começa a aumentar (b) excedendo à pressão da área confinada. A partir desse ponto tem-se o deslocamento e compactação (c).

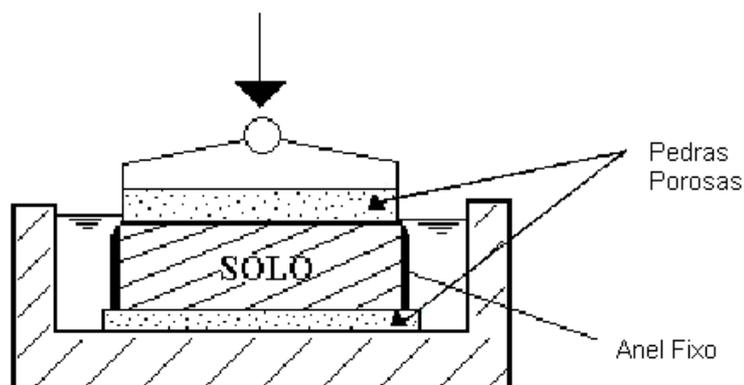


**Figura 8** - Modelos da deformação do solo durante compressão com uma placa.

Fonte: EARL & ALEXANDROU (2001).

### 2.3.2 Oedômetro

Segundo MOREIRA (2005), os ensaios em laboratório são realizados para descrever e classificar o solo, investigando suas propriedades e determinando os valores de seus parâmetros. Dentre os testes de carga, destacam-se os ensaios de compressão unidimensional (compressão oedométrica), os ensaios de cisalhamento e os triaxiais.



**Figura 9** - Esquema de um oedômetro utilizado nos ensaios de compressão confinada.

Fonte: MARANGON (2005).

Ensaio de compressão uniaxial do solo em laboratório utilizam o princípio de Terzaghi e são conhecidos como ensaios de compressão oedométrica. É o mais antigo e mais conhecido método para a determinação de parâmetros de compressibilidade do solo (MARANGON, 2005).

Em ensaios de compressão oedométrica, explica MOREIRA (2005), a amostra de solo é acondicionada em um cilindro rígido de metal de modo que a deformação radial ou horizontal seja igual a zero. Discos porosos são colocados no topo e no fundo do aparelho, agindo como drenos, conforme o mecanismo da Figura 9. Desse modo, a deformação axial é igual à deformação volumétrica.

WEISS (2005) projetou, construiu e validou um sistema de compressão uniaxial para estimativa da compactação do solo. O sistema possibilita a

compressão de amostras indeformadas do solo em anéis de 2,4 cm ou 4,8 cm, com 7,0 cm de diâmetro.



**Figura 10** - Oedômetro desenvolvido por WEISS (2005).

O acionamento do pistão hidráulico é realizado com um sistema acionado por ar-comprimido. Para medir a variação do deslocamento do solo, utilizou-se uma régua linear (transdutor) cujos valores são indicados em um *display* digital (WEISS, 2005).

O conjunto mecânico de compressão, visualizado na Figura 11, acondiciona a amostra de solo entre pedras de absorção feitas com arenito. Dessa forma o teor de água existente na amostra de solo pode ser drenado, aliviando-se a poropressão (pressão neutra) interna do solo, ao se aplicar a tensão de compressão.



**Figura 11** - Conjunto mecânico de compressão.

No aparato convencional, conforme MOREIRA (2005), a tensão axial é aplicada em estágios, simplesmente com a adição ou remoção de cargas, pois a deformação axial pode ser facilmente medida. As poropressões no topo são iguais a zero e dependendo do oedômetro, a poropressão no fundo poderá ou não ser medida com a drenagem na parte inferior do aparelho.

## 2.4 CURVAS DE COMPRESSÃO DO SOLO

Os níveis de compactação, que permitem estimar as alterações na qualidade estrutural do solo, podem ser entendidos pelo índice de vazios do solo e entendidos com a construção das curvas de compressão uniaxial (LIMA, 2004).

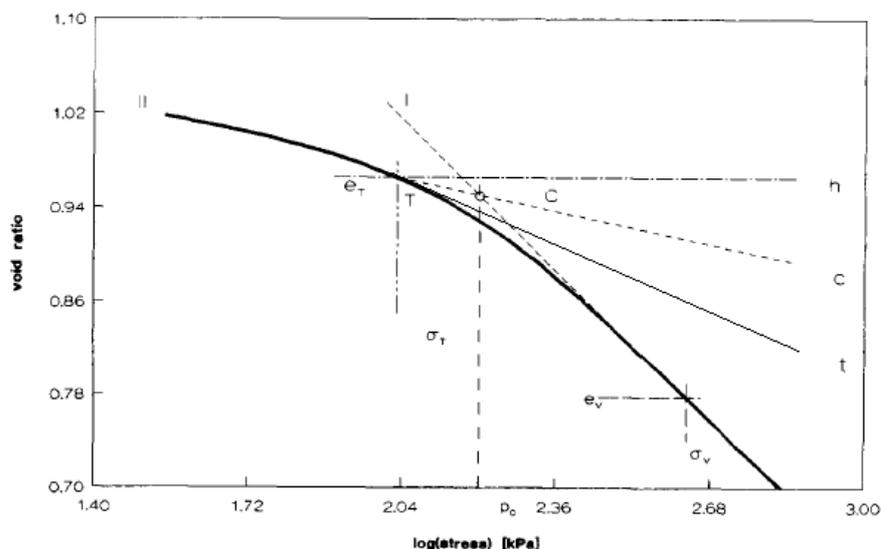
As chamadas curvas de compressão são expressas graficamente pelo relacionamento do logaritmo da pressão aplicada *versus* algum parâmetro relacionado ao solo, como a densidade ou o índice de vazios, dentre outros (KELLER *et al.*, 2004, SILVA *et al.*, 2003, DIAS JUNIOR *et al.*, 2006).

Cada classificação de solo existente produzirá um comportamento característico, porquanto sua composição pode variar apresentando propriedades como densidade ou teor de água, específicos. No entanto,

pressões de compactação ocasionam um aumento na densidade e redução no índice de vazios (REINERT, ROBAINA & RICHERT, 2003).

A pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) do solo divide a curva de compressão em duas regiões: a curva de compressão secundária (a), com deformações recuperáveis e a curva de compressão virgem (b), com deformações não recuperáveis (DIAS JUNIOR *et al.*, 2006, SILVA *et al.*, 2003). Para que a compactação não seja acentuada o solo deve ser cultivado ou trafegado na região de compressão secundária. (SILVA *et al.*, 2003).

O método de Casagrande (Figura 12) para determinação do ponto de pré-consolidação é amplamente aceito (DAWIDOWSKI & KOOLEN, 1994; SILVA *et al.*, 2003).



**Figura 12** - Método gráfico de Casagrande (1936) para determinar o ponto de pré-consolidação.

Fonte: DAWIDOWSKI & KOOLEN (1994).

Para Casagrande (1936), citado por DAWIDOWSKI & KOOLEN (1994), primeiro é necessária a determinação da reta (I) virgem de compressão (*virgin compression line* - VCL). Determinando-se na seção precedente do gráfico (II) o ponto (T), que corresponde ao menor raio da curvatura, pode-se traçar uma tangente (t) a este ponto e uma linha horizontal (h). Uma linha bisetriz (c) divide o ângulo entre essas duas linhas em partes iguais. O ponto de

interseção (C) entre a bissetriz (c) e a linha virgem (l) corresponde, aproximadamente, à carga de pré-consolidação do solo.

A pressão de pré-consolidação é usada, conforme DIAS JUNIOR *et al.* (2004), como uma estimativa da capacidade de suporte dos solos parcialmente saturados. Ainda segundo esse autor, usualmente a pressão de pré-consolidação é obtida em laboratório, por meio de ensaios de compressão uniaxial com equipamentos sofisticados.

Com o estudo de um método alternativo da avaliação de pré-consolidação, DIAS JUNIOR *et al.* (2006) concluíram que as pressões de pré-consolidação podem ser utilizadas na determinação da compactação do solo, auxiliando na decisão sobre a realização de operações mecanizadas ou não nos solos caracterizados.

## 2.5 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO

Segundo NORTON (1996), a informação é qualquer item tangível que afete uma organização. As corporações necessitam de informações para a tomada de decisão nos mais variados setores, como características de produtos, esforços de marketing e investimento, dentre outros.

"Informação e conhecimento são, essencialmente, criações humanas, e nunca seremos capazes de administrá-los se não levarmos em consideração que as pessoas desempenham, nesse cenário, um papel fundamental" (DAVENPORT, 2000, p. 12).



**Figura 13** - Dados, informação, conhecimento.

Fonte: Adaptado de GORDON & GORDON (1999), citados por BEZERRA (2001).

A obtenção de boas informações e sua correta utilização pode ser o diferencial entre o sucesso ou não de uma empresa, permitindo que os dados obtidos sejam transformados em informações que promovam o conhecimento suficiente para utilizá-los, como apresentado na Figura 13. A informação não tem nenhum valor intrínseco, seu valor é determinado por aqueles que a usam. Muitas vezes, pode ser valorizada enquanto continua de posse de apenas um grupo restrito de pessoas ou empresas, explica NORTON (1996).

O advento da informática contribuiu para agilizar o processo em busca da informação. Criou-se então, conforme DAVENPORT (2000) o conceito de que investimentos astronômicos por parte de uma empresa em tecnologia seriam a solução para os problemas enfrentados.

Segundo PRESSMAN (1995), esses conceitos fazem parte dos mitos do *software*, em que idéias enganosas têm causado sérios problemas tanto a gerentes como ao pessoal técnico. Entretanto esses mitos são difíceis de serem modificados mesmo quando a existência dos *softwares* caminha para a quinta década.

A ecologia da informação vem combatendo esse dogma, fundamentado-se na maneira como as pessoas criam, distribuem, compreendem e usam a informação. O conceito de sociedade da informação é ascendente e necessita do envolvimento ativo do quadro humano, especialmente cientistas e pesquisadores em tecnologias de informação e comunicação (TAKAHASHI, 2000). O conceito de ecologia da informação não tem nenhum vínculo com a natureza, mas sim, com todo o ciclo de vida da

informação dentro da empresa, os lugares que percorre, os consumidores, enfim, metaforizando, a “cadeia alimentar” da informação.

Mesmo que um computador auxilie no processo de gerenciamento da informação, cabe aos usuários a tarefa de avaliar e tomar decisões com base nas informações, explica NORTON (1996). Existem três fatores, conforme esse autor, que afetam a qualidade e o valor da informação final: oportunidade, precisão e apresentação:

a) **Oportunidade:** o valor da informação está relacionado ao momento em que ela é necessária. Quanto mais urgente for a informação, mais as pessoas estarão dispostas a pagar para obtê-las;

b) **Precisão:** no que se refere a computadores, precisão significa a existência de maiores detalhes junto à informação. Informações perfeitas (100% completas e precisas) são inatingíveis, assim, toda informação é na verdade, um meio-termo que atinge essas metas.

c) **Apresentação:** a forma de apresentação de uma informação pode ser crucial, pois as pessoas, em geral, apresentam maior facilidade de entendimento de gráficos do que de números.

Por isso, em um sistema de informação é importante disponibilizar de maneiras diferentes a mesma informação para que ela seja absorvida da melhor forma pelo usuário final. A emissão de relatórios agradáveis e simplificados é fundamental ao entendimento do operador. O’SULLIVAN, HENSHALL & DICKSON (1999) apresentaram um modelo muito importante na estimação da compactação do solo, mas a interpretação dos resultados estava diretamente condicionada ao conhecimento dos operadores.

### 2.5.1 Modelagem de Dados

Pela modelagem é possível identificar padrões ou semelhanças em dois experimentos diferentes com algumas propriedades em comum. Os modelos matemáticos são comparados a um esqueleto humano. Existem pessoas magras, altas, baixas ou gordas, mas seus esqueletos sempre se

parecem. A despeito da aparência externa, a estrutura interna, a forma e a disposição dos ossos são as mesmas (GERSTING, 1993).

Modelos matemáticos são desenvolvidos para entender o fenômeno da compactação, mas todo o conhecimento já acumulado não tem sido utilizado em sistemas de apoio a decisão (ARAÚJO & SARAIVA, 2003). Tais sistemas forneceriam o acesso a informações que permitiriam minimizar o dano causado pela compactação pela diminuição das cargas de um aumento da área de contato dos pneus com o solo, por exemplo (O'SULLIVAN; HENSHALL; DICKSON, 1999).

A aplicação da tecnologia da informação pelo apoio ao processo de decisão, já tem apresentado benefícios econômicos. Produtores querem aplicar essa tecnologia no suporte operacional da propriedade, principalmente por meio de aplicações que auxiliem na tomada de decisões em tempo real (CANILLAS & SALOKHE, 2002).

Um modelo que estime e quantifique a compactação do solo permite que estudantes, por exemplo, explorem mais os fatores presentes no fenômeno da compactação pela dinâmica solo-máquina (O'SULLIVAN, HENSHALL & DICKSON, 1999).

EARL & ALEXANDROU (2001) concluíram, inicialmente, que modelos matemáticos para predizerem o modelo e a extensão do processo de deformação são baseados fundamentalmente nas propriedades mecânicas do solo e podem ser aplicados para diferenciar tipos de solo entre uma gama de condições.

## 2.5.2 Sistemas de Informação

Conforme o Glossário da Sociedade de Informação de Portugal (APDSI, 2005 p. 75), sistema de informação pode ser entendido como um

... sistema constituído por recursos humanos (pessoal), recursos materiais (equipamento) e procedimentos que possibilitam a aquisição, o armazenamento, o processamento e a difusão da informação pertinente ao funcionamento de uma empresa ou de uma organização, quer o sistema esteja informatizado ou não (Figura 14).

Um sistema de informação pode ser simplesmente considerado, conforme NORTON (1996), como sistemas ou regras que as empresas usam para acumular, organizar e dispensar informações. Surgem então os Sistemas de Informações Gerenciais (SIG), voltados a toda empresa ou organização que tenha uma estrutura administrativa.



**Figura 14** - Sistemas de informação.

Fonte: Gordon & Gordon (1999), citados por BEZERRA (2001).

Conforme Gordon & Gordon (1999), citados por BEZERRA (2001), um sistema de informações é composto pela combinação de tecnologia com dados, procedimentos para processar esses dados e das pessoas que utilizam o dado já processado (informação), de acordo com o esquema mostrado na Figura 14.

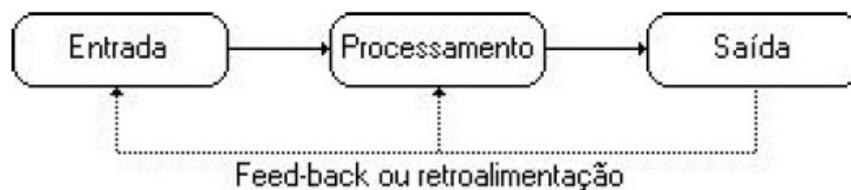
No desenvolvimento das atividades agrícolas percebe-se que os envolvidos não dispõem de um alto nível técnico e a maioria dos experientes proprietários agrícolas não vê vantagem significativa nos recursos da tecnologia da informação (CANILLAS & SALOKHE, 2002).

No nível mais básico, explica NORTON (1996) há somente 3 componentes básicos em uma aplicação de processamento de informações. A Figura 15 ilustra esse contexto.

**Entrada** é qualquer dado bruto coletado em toda a empresa, a **saída** é qualquer informação gerada pelo **processamento**, fase de agregação de valor à organização. O *feedback* ou retroalimentação é a fase em que se pode realizar o controle sobre o sistema, verificando-se, dentre outros fatores, se o que foi produzido era realmente o esperado.

No entanto, deve-se considerar que "a palavra chave para a introdução de tecnologias de informação nas pequenas propriedades rurais é a integração,

onde a informação desempenha importante valor nesse contexto", conforme LAMB & BEZERRA (2004, p. 2).



**Figura 15** - Componentes básicos de uma aplicação de processamento de informações.

Fonte: Adaptado de NORTON (1996).

A informática poderá facilitar a gerência dos novos sistemas produtivos que surgirão e para agilizar o processo decisório, permitindo um melhor planejamento das atividades agropecuárias, em busca da otimização da aplicação dos conceitos embutidos nesses sistemas. Nos últimos anos, a tecnologia da informação vem se difundindo no meio rural e tem se verificado que ela pode contribuir positivamente nos aspectos econômicos e ambientais. (MEIRA *et al.*, 1996).

NORTON (1996) destaca que antes da aplicação de sistemas de informação baseados em informática, uma organização precisa analisar exatamente quais informações são essenciais e visualizar como os componentes dessas informações interagirão.

### 2.5.3 O Ciclo de Vida Clássico

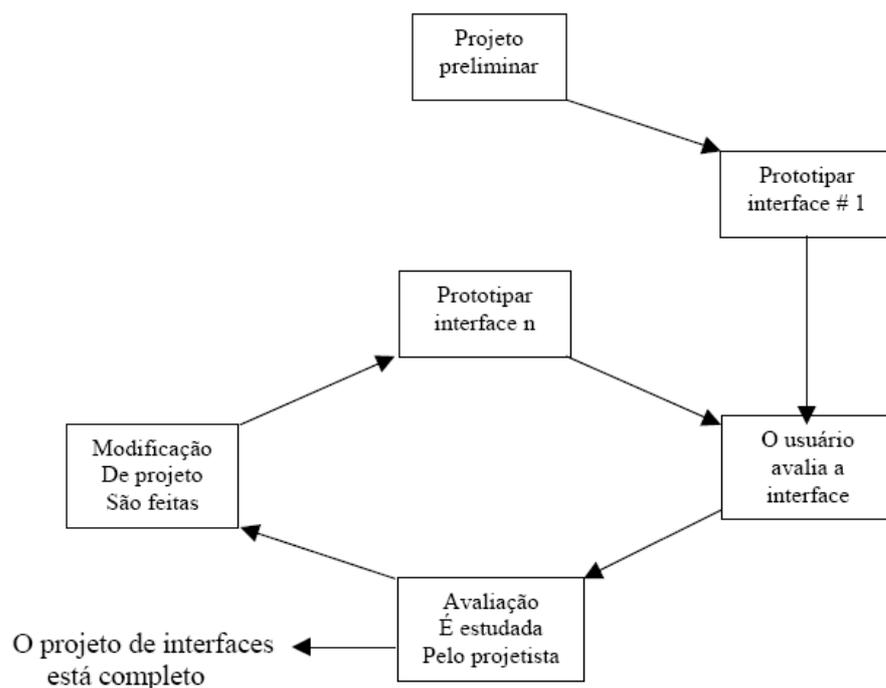
O paradigma de vida clássico da engenharia de *software* requer uma abordagem sistemática, seqüencial ao desenvolvimento do *software*, iniciando pelo sistema e avançando ao longo da análise, projeto, codificação, teste e manutenção, conforme PRESSMAN (1995), e abrange as seguintes atividades:

a) **Análise e engenharia de sistemas:** estabelecimento de requisitos para todos os elementos do sistema e atribuição de certo subconjunto desses

requisitos ao *software*. Esse passo é essencial quando o *software* deve fazer *interface* com outros elementos, tais como hardware, peopleware e banco de dados.

b) **Análise de requisitos de software:** intensificação da coleta de requisitos específicos ao *software*. Para entender a natureza do programa, os requisitos são documentados e revistos com o cliente, assim o analista pode compreender o domínio de informação para o *software*, bem como funções, desempenho e *interface* exigidos.

c) **Projeto:** processo de múltiplos passos concentrado em quatro atributos distintos: estrutura de dados, arquitetura de dados, detalhes procedimentais e caracterização da *interface*, conforme o diagrama da Figura 16. O projeto é documentado e torna-se parte da configuração do *software*.



**Figura 16** - Avaliação do projeto de *interfaces*.

Fonte: PRESSMAN (1995).

d) **Codificação:** tradução do projeto em uma linguagem legível por máquina.

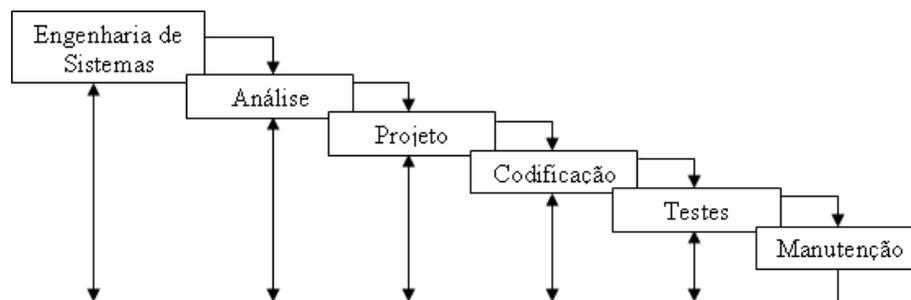
e) **Testes:** realização de testes concentrados nos aspectos lógicos internos do *software*, garantindo que todas as instruções tenham sido testadas

para se descobrir eventuais erros e garantir que a entrada definida produza resultados reais que concordem com os resultados exigidos.

f) **Manutenção:** fase de mudanças no *software*. Podem ser ocasionadas porque erros foram encontrados, porque o *software* precisa ser adaptado a fim de acomodar mudanças em seu ambiente externo ou porque o cliente exige acréscimos funcionais ou de desempenho.

O paradigma de vida clássico do *software* é apresentado na Figura 17 que, apesar de ser o mais antigo e amplamente usado, vem sofrendo críticas quanto a sua aplicabilidade em todas as situações. Conforme PRESSMAN (1995), pode-se citar, algumas dessas críticas:

a) Os projetos reais não seguem o fluxo seqüencial proposto, apresentando iteração com problemas na aplicação do paradigma.



**Figura 17** - O ciclo de vida clássico.

Fonte: PRESSMAN (1995).

b) O cliente apresenta dificuldades para declarar todas as suas exigências no início, contrariando assim, o pressuposto do ciclo do paradigma que não comporta a incerteza natural do início do trabalho.

c) Uma versão de trabalho do programa não estará disponível até um ponto tardio do cronograma do projeto.

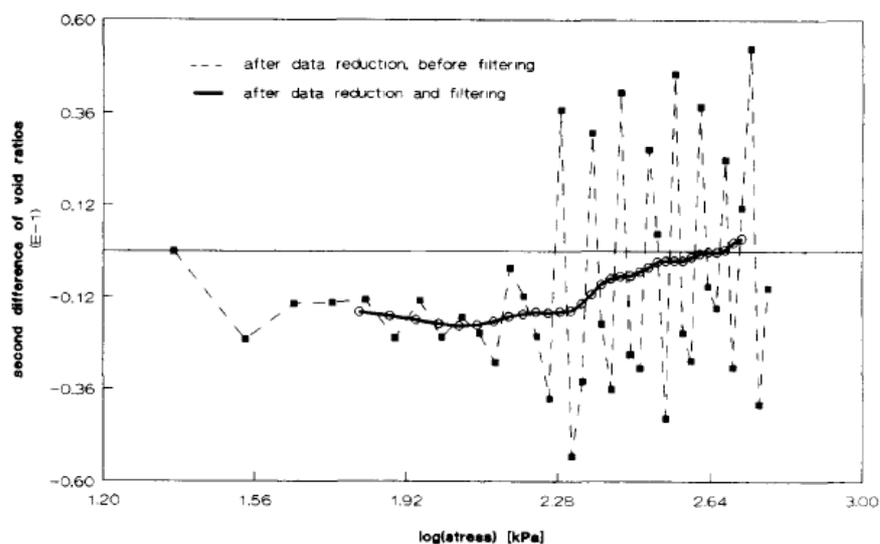
Mesmo diante de fragilidades, explica PRESSMAN (1995), o ciclo de vida clássico continua sendo significativamente melhor do que uma abordagem casual ao desenvolvimento do *software*. Dessa forma, criam-se padrões nos métodos de análise, projeto, codificação, teste e manutenção, os quais são muito semelhantes a todos os paradigmas da engenharia de *software*.

## 2.5.4 Sistemas para Filtragem de Dados

Uma dificuldade apresentada em ensaios de compactação diz respeito à grande quantidade de dados coletados pelo mecanismo de aquisição (LAMB *et al.*, 2006a, DAWIDOWSKI & KOOLEN, 1994).

Os experimentos são realizados com diferentes níveis de pressão e diferentes taxas de leitura. Assim, para uma análise adequada, os dados devem ser reduzidos por um mecanismo de filtragem (DAWIDOWSKI & KOOLEN, 1994).

A automação do processo de realização dos ensaios de compactação com a utilização do penetrômetro pode ocasionar alguns erros na coleta de dados. Mas, conforme MENEGATTI (2004) sistemas para filtragem de dados podem eliminar grande parte dos erros aumentando a qualidade da informação.



**Figura 18** - Relacionamento entre  $\log$  (pressão) e *second differences* em um teste de compressão uniaxial.

Fonte: DAWIDOWSKI & KOOLEN (1994).

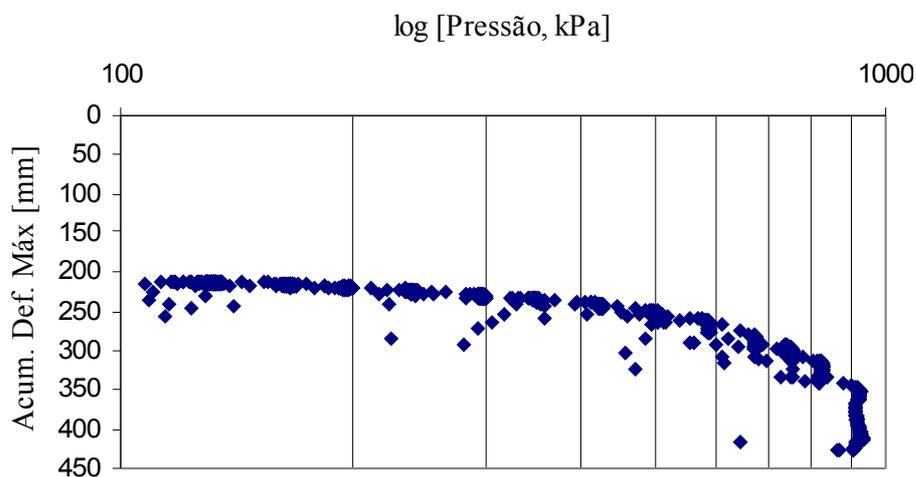
DAWIDOWSKI & KOOLEN (1994) face à grande quantidade de pares de dados obtidos em ensaios de compactação, desenvolveram um mecanismo para redução dos mesmos, baseado em **diferenças finitas**. Os resultados podem ser verificados na Figura 18. Basicamente, os dados eram transferidos

do sistema de aquisição de dados para uma planilha eletrônica (Lotus©), onde a análise era realizada.

Em sua planilha, DAWIDOWSKI & KOOLEN (1994) contemplam todos os passos necessários para a determinação do ponto de pré-consolidação. A grande contribuição, no entanto, está na criação de um mecanismo inicial para redução dos pares de dados para, em seguida, realizar a aplicação do método de CASAGRANDE (1936). Dessa forma, as soluções implementadas na planilha podem ser descritas como:

- a) Redução dos pares de dados;
- b) Filtragem dos dados;
- c) Determinação do menor raio da curvatura;
- d) Determinação da bissetriz;
- e) Extensão da reta virgem de compressão;
- f) Determinação do ponto de pré-consolidação.

Percebe-se que, conforme MENDES (1997), sistemas de filtragem de dados procuram reduzir as dificuldades encontradas na busca por informações mais precisas, de forma a trazer as informações requeridas em tempo, fornecendo um maior número de subsídios para a tomada de decisões.



**Figura 19** - Comportamento dos dados sem mecanismo de filtragem para um ensaio *in situ*.

Fonte: LAMB *et al.* (2006b).

LAMB *et al.* (2006b) apresentaram o comportamento do solo em ensaios de compactação com um penetrômetro de placa, sem nenhum tipo de mecanismo de filtragem, observando que a grande quantidade de dados dificulta uma análise mais detalhada do verdadeiro comportamento do solo. O gráfico pode ser visualizado na Figura 19 e verifica-se que se torna necessária a aplicação de um mecanismo de filtragem.

Um elemento a ser considerado na elaboração de mecanismos de filtragem é a utilização de um banco de dados. Um *software* de banco de dados amplia a capacidade de organizar os dados armazenados no computador, oferecendo muitos modos diferentes de buscar fatos específicos (NORTON, 1996).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

Os ensaios de compactação do solo *in situ* foram realizados no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola - NEEA, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, localizado geograficamente com coordenadas 24°48' de latitude sul e 53°26' de longitude oeste e altitude média de 760 metros. O solo local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 1999).

Os ensaios confinados foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola - LMA da UNIOESTE com amostras coletadas no NEEA.

#### 3.2 MATERIAIS

##### 3.2.1 Ensaio *in Situ*

Para os ensaios de compressão *in situ* utilizou-se um trator 4x2-TDA, Marca Ford, Série 7630, com um penetrômetro acoplado na parte traseira. Nos ensaios foi utilizado o penetrômetro de placa, desenvolvido por BREDA (2003), equipado com o mecanismo de aquisição de dados Micrologger cr510, produzido pela Campbell Scientific (Figura 20).



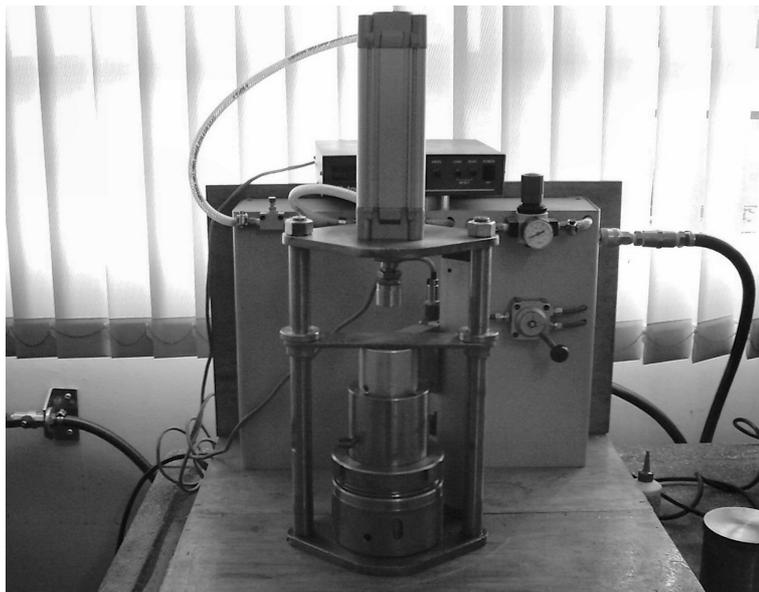
**Figura 20** - Sistema de aquisição de dados cr510.

Fonte: CAMPBELL SCIENTIFIC (2006).

A frequência de leitura dos dados foi determinada em 4 registros por segundo, pois deformações obtidas em intervalos menores aos adotados apresentam pouca relevância, além de que o número de excessivo de registros pode comprometer a capacidade de armazenamento do sistema de dados, aumentando a necessidade de descarregamento dos dados a cada novo ensaio.

### 3.2.2 Ensaios Confinados

Nos ensaios *in situ*, foi utilizado o mesmo trator usado para a coleta de amostras não deformadas do solo, em anéis volumétricos que foram posteriormente ensaiados, utilizando-se princípios da oedometria. Os experimentos confinados foram realizados com auxílio de um oedômetro desenvolvido por WEISS (2005), conforme pode ser visualizado na Figura 21.



**Figura 21** - Oedômetro

A coleta das amostras foi realizada com auxílio de ferramentas como enxada ou espátula, para limpeza superficial do solo retirando-se materiais que pudessem comprometer sua qualidade e para retirada do excesso de material nas bordas do anel, conforme verificado na Figura 22.



**Figura 22** - Amostra indeformada do solo.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em cápsulas de metal para que fossem mantidas as suas propriedades físico/químicas e,

posteriormente, pesadas. Os equipamentos podem ser visualizados na Figura 23.



**Figura 23** - Cápsula de metal, anel volumétrico e balança de precisão.

### 3.3 MÉTODOS

#### 3.3.1 Ensaio *in Situ*

Nestes ensaios, procurou-se evidenciar a influência do tráfego excessivo de máquinas no processo de compactação com a passagem do trator sob um mesmo trilho. O momento da passagem pode ser visualizado na Figura 24.



**Figura 24** - Momento de simulação da compactação causada pelo tráfego.

Passou-se com o trator uma vez sob o trilho e, em seguida, foi efetuada uma coleta em pontos ao longo do trilho do rodado do trator. Esta ação repetiu-se com cinco e dez passadas do trator. Os detalhes do trilho podem ser observados na Figura 25.

Para cada carga aplicada obedeceu-se um período de 30 segundos de compactação e um minuto de relaxamento. Os valores inicial e de incremento são aproximados, pois o manômetro disponível é utilizado para verificar o incremento do valor da pressão entre as cargas. Os valores reais de força aplicada pela placa de compactação são registrados pelo *Datalogger*.

Os dados adquiridos são transferidos a um microcomputador pessoal, por meio de um *software* próprio (*PC208w*®), pela *interface* serial de comunicação para análise posterior. Os dados são gravados em um arquivo com extensão *.dat*, em que as colunas de valores são separadas por **vírgulas** e o **ponto** é utilizado como separador de decimal.



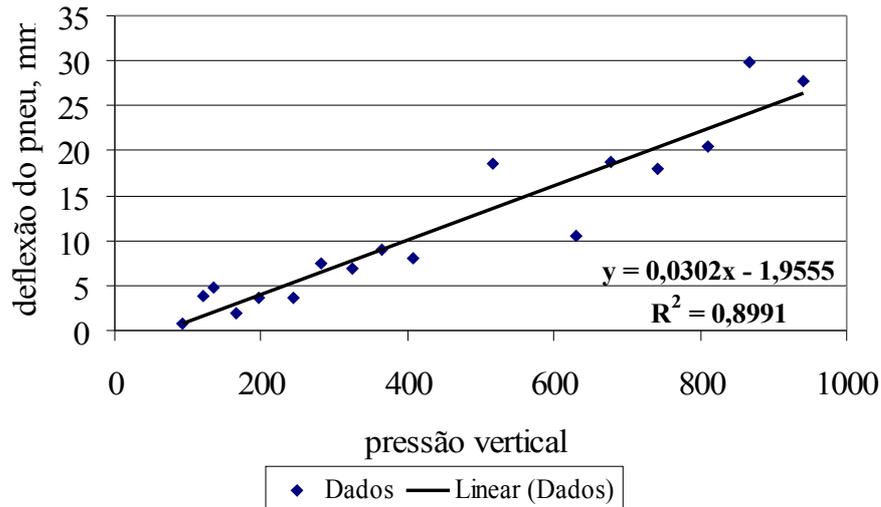
**Figura 25** - Trilho compactado pela passagem do trator.

#### 3.3.1.1 Equação de ajuste dos dados

Na realização de ensaios com o penetrômetro de placa, face à resistência do solo à penetração da placa de compactação, verifica-se uma tendência de levantamento da parte traseira do trator.

Com esse levantamento o cilindro continua a se expandir, como se estivesse penetrando no solo e o sensor de deslocamento continua monitorando e enviando as leituras ao *Datalogger*. No entanto, esses dados não representam o verdadeiro deslocamento da placa de compactação no interior do solo, sendo necessária a sua correção com uma equação de ajuste dos dados, eliminando os valores correspondentes à deflexão dos pneus.

Para obtenção da equação de ajuste foram realizados ensaios em uma superfície de concreto, que não permitia a sua deformação pela placa de compactação. Dessa forma, qualquer deformação obtida com o mecanismo de aquisição de dados representaria a deflexão dos pneus. A Figura 26 ilustra o comportamento dos dados obtidos.



**Figura 26** - Comportamento da deflexão dos pneus.

Aos dados obtidos adicionou-se uma linha de tendência linear, que fornece a equação do comportamento dos dados em função da pressão vertical aplicada ( $\sigma$ ), sendo:

$$y = 0,0302\sigma - 1,9555 \quad (2)$$

Dessa forma, pode-se conhecer o valor da deflexão dos pneus (mm), substituindo-se o valor da força ( $\sigma$ ) aplicada (kPa).

Para plotagem dos dados com a inserção de uma linha de tendência utilizou-se o *software Microsoft® Excel®*.

### 3.3.1.2 Mecanismo para filtragem de dados

O algoritmo para filtragem de dados é responsável pela redução dos pares de dados pela determinação dos parâmetros a seguir:

- pressão média;
- maior deformação;
- menor deformação;
- diferença entre a maior e menor deformação;
- correção com base na reflexão dos pneus durante o ensaio;

subtração da correção na diferença entre as deformações;  
somatório do valor proveniente da subtração, entre as diferentes pressões aplicadas no ensaio.

Dessa forma, todos os dados obtidos em uma carga do ensaio de compressão serão reduzidos a apenas um ponto no gráfico final. Observa-se que a aplicação cargas com um aumento planejado, resultará em uma maior proximidade, bem como uma maior quantidade de pontos na curva.

### 3.3.2 Determinação da reta virgem e de compressão secundária

Na ausência da adoção de um método analítico, as retas virgem e de compressão secundária são determinadas visualmente pelo usuário, que seleciona os pontos extremos e o sistema plota o gráfico correspondente, tanto para a reta virgem, como para a reta de compressão secundária.

Ao selecionar os pontos, o sistema considera os pontos contidos no intervalo e utiliza regressão linear simples, com base no procedimento de **mínimos quadrados** para melhor representar o comportamento dos dados obtidos nos ensaios.

Segundo COSTA NETO (1977), na regressão linear o primeiro passo consiste na determinação dos parâmetros  $S_{xy}$  e  $S_{xx}$ , correspondentes aos desvios-padrão das variáveis X e Y na amostra:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (3)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (4)$$

Aplicando-se esses parâmetros às equações (5) e (6), pode-se conhecer os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  da reta ( $y = a + bx$ ) a ser plotada.

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (5)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6)$$

Apesar de se aproximar do método de CASAGRANDE (1936), o ponto de pré-consolidação é estimado no encontro dessas duas retas, automaticamente pelo *software*.

### 3.3.3 Ensaios em laboratório

Foram coletadas amostras indeformadas do solo, para compressão no oedômetro, ao longo do trilho compactado pela passagem do trator em pontos aleatórios (Figura 25). Foram coletadas amostras sem passada do trator, uma passada e com cinco passadas.

Antes dos ensaios uniaxiais, as amostras coletadas no campo são pesadas com o auxílio de uma balança e, em seguida, são acondicionadas uma a uma, no interior da câmara de compressão do oedômetro e submetidas a diferentes pressões sucessivas, previamente determinadas (150, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 kPa). As pressões ocorrerão durante um período de um minuto com um intervalo de 2 minutos de relaxamento.

A pressão é visualizada pelo manômetro e a deformação é apresentada no visor digital. Os valores são anotados manualmente para posterior análise. Após a compressão, as amostras são levadas a uma estufa por um período de 24 horas. Após esse período seu peso seco é obtido para determinação do teor de água do solo, parâmetro básico para a determinação do índice estrutural do solo.

## 3.4 TECNOLOGIA EMPREGADA

O sistema foi desenvolvido utilizando-se recursos recentes que tendem a facilitar tanto o desenvolvimento por parte do programador com um ambiente mais organizado quanto a alimentação de dados por parte do usuário, que

desfruta de recursos de fácil assimilação e uso. No que se refere às técnicas, foram utilizadas metodologias em ascensão tanto no meio acadêmico como profissional, como a Metodologia Orientada a Objetos e *3Tier*.

O projeto do sistema, com diagramas de caso de uso, de classe e diagramas de seqüência, é especificado nos Apêndices A, C e D, respectivamente. A descrição dos casos de uso é detalhada no Apêndice B.

### 3.4.1 Especificação do Banco de Dados

Um banco de dados é um conjunto de informações com uma estrutura regular, normalmente, mas não necessariamente, armazenado em algum formato de máquina lido pelo computador. Há uma grande variedade de bancos de dados, desde simples tabelas armazenadas em um único arquivo até gigantescos bancos de dados com muitos milhões de registros.

Em sistemas computacionais, bases de dados são gerenciadas por um sistema de gestão de bancos de dados - SGBD. A apresentação dos dados pode ser semelhante à de uma planilha eletrônica, porém os sistemas de gestão de banco de dados possuem características especiais para armazenamento, classificação e recuperação dos dados.

A utilização do modelo *3Tier* ou 3 Camadas com uma classe de negócio contendo todas as instruções diretamente relacionadas ao banco, permite uma rápida alteração no modelo de armazenamento atual. Assim, em uma hipotética e eventual necessidade de mudança o sistema poderia ser adaptado facilmente a um outro banco de dados.

De acordo com a enciclopédia digital WIKIPÉDIA (2006), a persistência de dados pode ser definida, como o armazenamento “eterno” de dados, i.e., enquanto o dispositivo físico de armazenamento dure. Dessa forma, pode-se realizar a persistência pelos dados na memória, em arquivos ou sob o controle de um banco de dados, opção selecionada frente à capacidade de armazenamento de dados e facilidade na realização de operações com os dados armazenados.

Para a persistência dos dados de aplicação utilizou-se o *Firebird*, versão 1.5, versão *open-source* e livre do Interbase®. A escolha se deve ao fato de que essa ferramenta possui uma alta integração com as demais escolhidas e por não acarretar mais despesas com licenças.

Quanto à funcionalidade, ele atende a todas as características solicitadas, não comprometendo em nenhum momento a segurança do sistema. Um dos grandes diferenciais frente aos outros SGBDs é o uso da tecnologia *MGA* ou *Versioning*, para gerenciamento de concorrência.

Utiliza-se do padrão *ANSI SQL-92* para prover a manipulação dos bancos de dados e algumas funções que complementam tal padrão e a possibilidade de customização.

### 3.4.2 Especificação de Ferramentas de Desenvolvimento

#### 3.4.2.1 Sybase® Powerdesigner®

Na modelagem do sistema com a criação do banco de dados e na construção dos diagramas de classe, de seqüência e casos de uso, utilizou-se o *Sybase® Powerdesigner®*, versão 10, por ser uma ferramenta integrada ao tipo banco de dados escolhido e que permite a rápida criação do *design* obtido e concentra todos os diagramas – nos padrões da *UML*, o que proporciona uma rápida visão do sistema, facilitando ao programador a busca dos recursos necessários.

Dentre as ferramentas existentes, apresentou desempenho satisfatório na sincronia entre os modelos conceitual e lógico e faz tanto projeto quanto engenharia reversa. Além disso, suporta tecnologias mais recentes em desenvolvimento de aplicações, impulsionando às empresas na direção de padronizações, qualidade e certificações como a *Capability Maturity Model - CMM*.

### 3.4.2.2 *IBExpert*

Para a manutenção do banco de dados – criação de consultas em SQL e gerenciamento dos dados ali armazenados – utilizou-se o *IBExpert*, versão 2.5.0.49, distribuído pela *HK-Software*.

Algumas características desse programa é de que suporta bancos de dados *Interbase*, versões 4, 5, 6 e 7 e *Firebird*. Possui gerenciamento de direitos e usuários (*Grant* e *User Manager*). Permite a modelagem de dados com um assistente para criação de objetos.

O seu editor possui *hiperlinks* para todos os objetos do banco de dados (tabelas, *triggers*, *procedures*, *domains*), além de apresentar o recurso *code insight* ou *code completion*. Permite análise de performance de *queries* por meio de gráficos. Possui um construtor visual para *queries*, bastando arrastar com o *mouse* as tabelas desejadas e selecionando os campos a serem usados. Gera a documentação do banco de dados. Trabalha com mais de um banco ao mesmo tempo e exporta os dados para *Excel*®, *RTF* (*Word*®), *HTML*, *CSV*, *SYLK*, *DIF*, *TXT*, *LaTeX*, *XML*.

### 3.4.2.3 *Borland*® *Delphi*®

A implementação do sistema foi realizada com o *Borland*® *Delphi*®, versão 3 *Standard*, face à facilidade de desenvolvimento de aplicativos e contar com uma ampla documentação disponível.

O *Delphi*® é um ambiente de desenvolvimento de aplicações que permite o desenvolvimento de poderosas aplicações baseadas no *Microsoft*® *Windows*® com o mínimo de codificação. Oferece ainda, ferramentas de desenvolvimento, tais como *templates* de aplicações e *forms*, que permitem criar e testar rapidamente o protótipo de suas aplicações. Além de permitir a personalização do seu ambiente de trabalho, pode-se fazer a construção visual da *interface* por uma IDE, que permite a criação pela seleção de componentes da paleta.

O ambiente de desenvolvimento possibilita o uso de herança de formulários, em que os formulários ancestrais fazem uma grande parte do

trabalho em comum para os demais formulários, evitando, assim, uma maior redundância de código, além de permitir, dessa a forma, a padronização de telas e a seqüência em determinadas ações.

Apresenta ainda, a linguagem padrão *Object Pascal* e possibilita a utilização da metodologia orientada a objetos, cuja principal vantagem é a reutilização de código.

A versão 3 *Standard* do *Delphi*®, no entanto, não conta com nenhum componente de conexão nativa para o banco de dados selecionado, sendo voltada inicialmente para aplicativos com base de dados via *ODBC*.

A instalação do componente *open-source* *Zeos*, disponível em <http://sourceforge.net/projects/zeoslib>, permitiu a integração entre o ambiente de desenvolvimento e o banco de dados *Firebird*. Desenvolvido para todos os sistemas operacionais das famílias *Windows*®, *POSIX* e *Linux*, o componente está publicado sob as licenças *GNU General Public License* e *GNU Library* ou *Lesser General Public License (LGPL)*.



**Figura 27** - Alguns componentes do *Zeos* na paleta de componentes do *Delphi*®.

Seus componentes (Figura 27) permitem que a base de dados seja acessada diretamente no ambiente de desenvolvimento, agilizando assim o desenvolvimento da aplicação e auxiliando na utilização das metodologias de desenvolvimento adotadas.

Para a emissão de relatórios em modo texto utilizou-se o componente *FreeReport* da *Fast Reports Inc.*, publicado sob licença *GNU Library* e *General Public License*, conforme documento disponibilizado em <http://fast-report.com/en/products/free-report-license.html>.

O ambiente de desenvolvimento *Delphi*® 3 *Standard* apresenta deficiências quanto a componentes para a emissão de relatórios em modo gráfico, não apresentando nenhum componente nativo para essa

funcionalidade. Essas dificuldades foram superadas com a instalação do componente *TeeChart Pro*, versão 5.02, em sua versão *trial*, pois toda a funcionalidade dos recursos oferecidos é mantida, mesmo que uma mensagem seja mostrada uma vez ao usuário, a cada vez que ele acessar a *interface* de plotagem dos gráficos (Figura 28).



**Figura 28** - Mensagem de aviso de licença.

### 3.4.3 Especificação de Metodologias

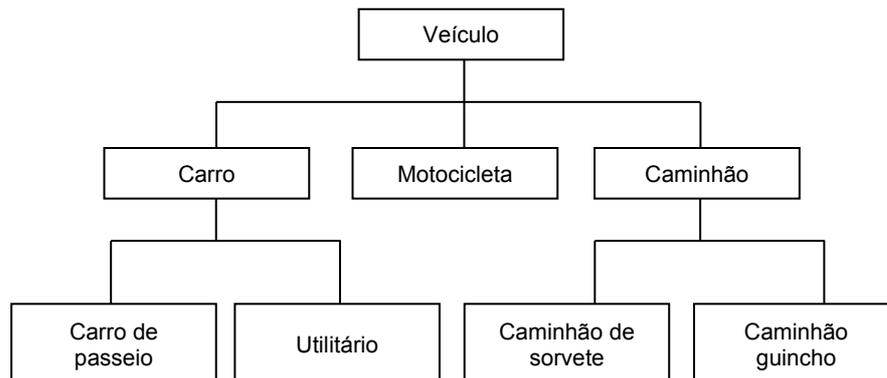
#### 3.4.3.1 Orientação a objetos

A metodologia orientada a objetos ou programação orientada a objetos (POO) é relativamente nova. Seu surgimento data da década de 70 e seu verdadeiro sucesso na década de 90, gerando muitas reações, tanto positivas quanto negativas, mas acabou se tornando uma nova metodologia de desenvolvimento de *softwares*, aumentando a produtividade por uma maior expansibilidade e pela reutilização de código, sua grande vantagem.

Segundo NORTON (1996), a POO consiste no encapsulamento das informações junto com as instruções sobre como manipulá-las. Esse agrupamento cria módulos independentes que podem ser usados várias e várias vezes, permitindo uma comunicação muito maior entre os programas e ainda que os programas sejam usados pelos outros, explica.

A orientação a objetos permite modelar de forma mais natural o mundo real, pois as estruturas de dados são vistas como objetos, ou seja, têm características e funções. A POO baseia-se nos conceitos de classes, objeto, encapsulamento, polimorfismo e herança.

- a) **Classe:** são moldes com os quais se criam objetos;
- b) **Objeto:** abstração que agrupa características e comportamentos;
- c) **Polimorfismo:** capacidade de tratar objetos de diferentes tipos de uma mesma maneira, desde que eles tenham um ancestral em comum;
- d) **Herança:** propriedade que permite que uma nova classe seja descrita a partir de outra classe já existente (Reutilização). Um exemplo de herança pode ser verificado no diagrama da Figura 29, onde a partir de uma classe: veículo, pode-se gerar outras classes contendo as mesmas características da classe-mãe.



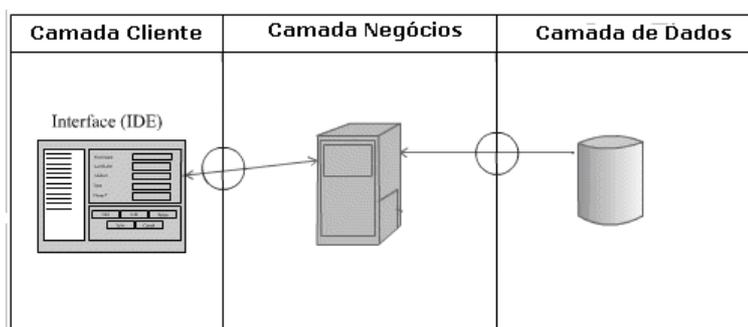
**Figura 29** - Construindo classes através de herança.

Conforme RUMBAUGH (1994), o desenvolvimento baseado em objetos é um processo conceitual independente de uma linguagem de programação até as etapas finais, Mesmo como uma ferramenta de programação, pode ter diversos alvos, incluindo linguagens convencionais de programação, bancos de dados e linguagens orientadas para objetos.

### 3.4.3.2 3Tier

A utilização da metodologia *3Tier* ou 3 Camadas prevê uma divisão bem definida da aplicação em 3 partes definidas: *interface*, regras de negócio e banco dos dados. Essa divisão pode ser observada na Figura 30.

O desenvolvimento de aplicações no modelo atual, com a ligação de componentes visuais, com campos de uma tabela no banco de dados pode representar uma facilidade momentânea no desenvolvimento de pequenas aplicações, mas conforme MOURÃO (2006), esse tipo de abordagem ocasiona sérios problemas com manutenção, *performance*, replicação de regras e distribuição.



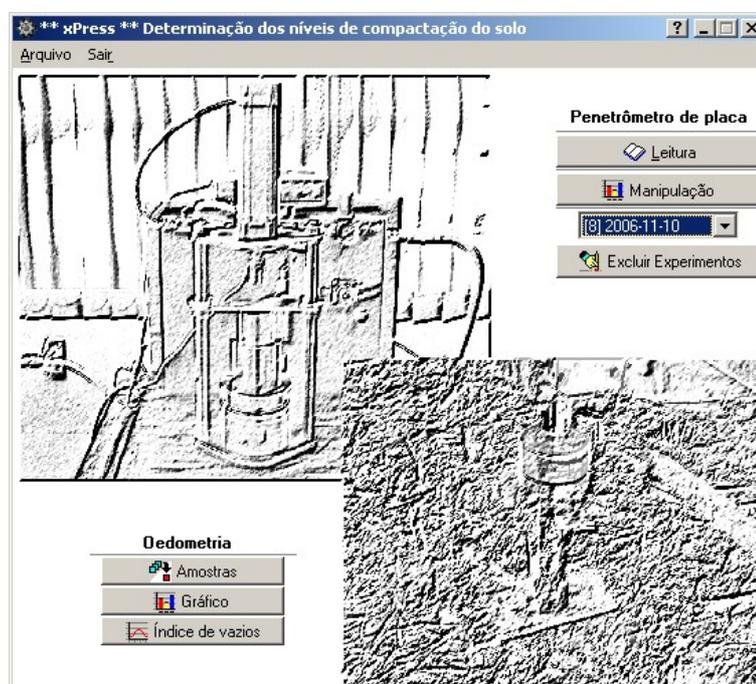
**Figura 30** - Exemplo para uma aplicação em três camadas.

Dessa forma, com a distinção entre as camadas de desenvolvimento, tem-se um aumento na facilidade de manutenção quando comparada à metodologia tradicional de desenvolvimento. A utilização do modelo *3Tier* torna menor o impacto de migração de banco de dados ou de linguagem de desenvolvimento, pois o código não terá que ser totalmente re-escrito, mas re-adequado à nova **sintaxe** da linguagem escolhida.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 XPRESS – SOFTWARE

A tela apresentada na Figura 31 corresponde à *interface* inicial do *software* desenvolvido, com os comandos necessários para acesso aos módulos responsáveis pelo processamento dos dados provenientes dos ensaios de compactação. Para a execução do programa é necessário um microcomputador equipado com um sistema operacional *Windows*® da *Microsoft*® e o gerenciador de banco de dados *Firebird*.



**Figura 31** - Tela inicial do programa.

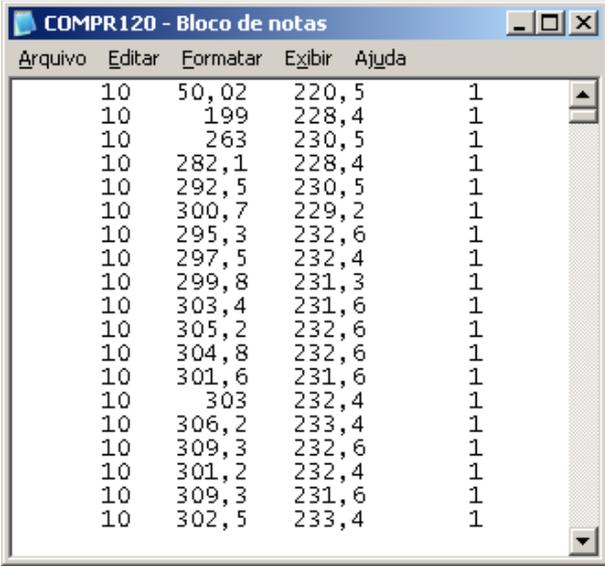
Como requisitos mínimos de *hardware* são necessários um microcomputador equipado com um processador da família *Pentium* com um *clock* de 400Mhz, 64Mb RAM e a existência de *interfaces* para transferência de arquivos, como uma unidade de disquete ou CD-ROM. A alteração dessa configuração influenciará na velocidade de processamento dos dados armazenados no banco.

Os comandos para realização das operações são disponibilizados nas *interfaces* de maneira simplificada, evitando-se comandos desnecessários que pudessem poluir a *interface*, prejudicando a operacionabilidade do recurso acessado. O *layout* de desenvolvimento obedeceu ao padrão de aplicativos desenvolvidos em ambiente *Windows*®, não exigindo uma maior familiarização do operador com o sistema.

Nos dois módulos desenvolvidos (1) para o processamento dos dados de ensaios *in situ* e (2) para processamento dos dados de ensaios de compressão uniaxial, o *software* demonstrou ser uma ferramenta ágil e precisa na filtragem de dados e determinação das curvas de compactação do solo. Os capítulos a seguir tratarão de cada módulo específico.

#### 4.1.1 Módulo para Ensaios *in Situ*

O módulo para a leitura do arquivo de dados solicita informações como a localização do arquivo, data e local de realização do experimento. Para seu processamento, o arquivo deve estar em um dos dois formatos suportados, demonstrados nas Figuras 32 e 33.

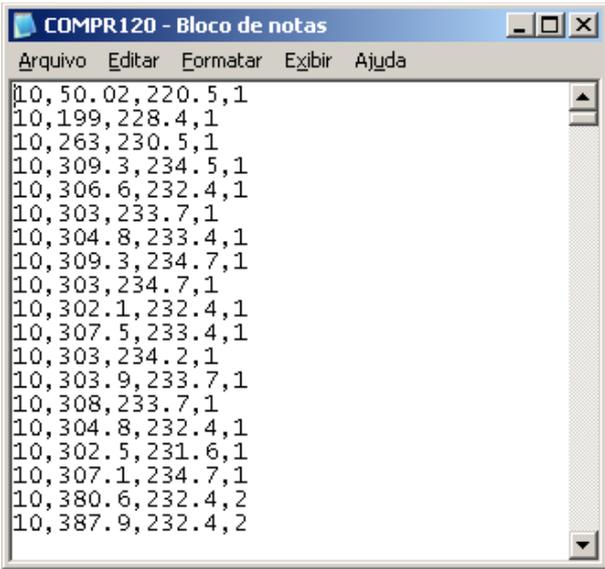


COMPR120 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

10	50,02	220,5	1
10	199	228,4	1
10	263	230,5	1
10	282,1	228,4	1
10	292,5	230,5	1
10	300,7	229,2	1
10	295,3	232,6	1
10	297,5	232,4	1
10	299,8	231,3	1
10	303,4	231,6	1
10	305,2	232,6	1
10	304,8	232,6	1
10	301,6	231,6	1
10	303	232,4	1
10	306,2	233,4	1
10	309,3	232,6	1
10	301,2	232,4	1
10	309,3	231,6	1
10	302,5	233,4	1

**Figura 32** - Ex. de arquivo tabulado.



COMPR120 - Bloco de notas

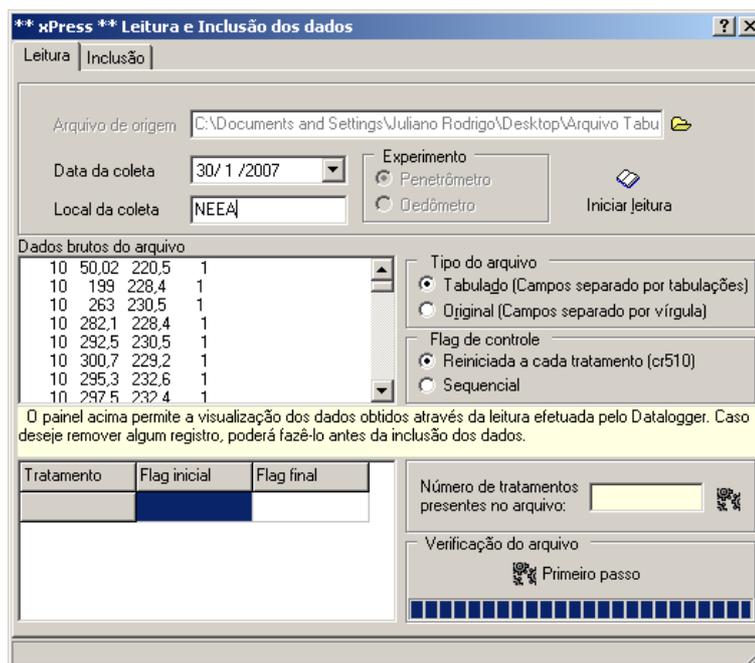
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```
10,50.02,220.5,1
10,199,228.4,1
10,263,230.5,1
10,309.3,234.5,1
10,306.6,232.4,1
10,303,233.7,1
10,304.8,233.4,1
10,309.3,234.7,1
10,303,234.7,1
10,302.1,232.4,1
10,307.5,233.4,1
10,303,234.2,1
10,303.9,233.7,1
10,308,233.7,1
10,304.8,232.4,1
10,302.5,231.6,1
10,307.1,234.7,1
10,380.6,232.4,2
10,387.9,232.4,2
```

**Figura 33** - Ex. de arquivo original.

A *interface* projetada para a leitura do arquivo de dados, visualizada na Figura 34, permite a leitura em dois formatos: o primeiro (Figura 32) com dados estruturados de maneira que tabulações sejam utilizadas para separação de campo e a **vírgula** como separador de decimal. O segundo (Figura 33) consiste no formato original do arquivo importado do mecanismo de aquisição de dados, usando o caractere **ponto** como separador de decimais e a **vírgula** como separador de campo. Ambos os arquivos, no entanto, devem conter 4 colunas

de dados. Os valores de força estão localizados na segunda coluna, os valores de deformação na terceira e os valores da *flag* de controle na quarta coluna. Os demais valores localizados em outras partes do arquivo não serão lidos. Caso, no arquivo original, esses dados se encontrem em posições não suportadas pelo programa, a alteração da posição pode ser feita com auxílio de uma planilha eletrônica.



**Figura 34** - Interface de leitura do arquivo de dados.

A quarta coluna, contendo a *flag* de controle é destinada ao controle do número de tratamentos em um ensaio. Usualmente na utilização no sistema de aquisição de dados cr510 esta *flag* é reiniciada com o desligamento do equipamento e utilização do novo tratamento. Outros sistemas de aquisição de dados podem utilizar *tags* seqüenciais. É necessário que o usuário informe a quantidade de tratamentos multiplicada pelo número de repetições, indicando as *flags* de início e fim de cada tratamento. Esse procedimento permite a construção de uma grade para informação do número de passadas e de repetição, antes do momento da inclusão dos dados na base do sistema.

A utilização de arquivos tabulados torna-se interessante à medida que não estejam mais disponíveis os arquivos originais, estando os dados já

transferidos para um aplicativo de planilha eletrônica, como o Microsoft® Excel®, para sua manipulação.

O usuário deverá informar os campos requeridos e selecionar as características do arquivo a ser analisado. Depois de informados os campos necessários deve-se chamar o procedimento de verificação da integridade do arquivo, clicando-se no botão **Primeiro passo**. O sucesso do procedimento permite a continuidade do processo com a inclusão dos registros na base de dados do sistema, utilizando-se a mesma tela, mas clicando na aba **Inclusão**, conforme ilustra a Figura 35.

Leitura Inclusão

Segundo passo

Pressão	Deformação	Ciclo	Cenário
50,02	220,5	1	0
199	228,4	1	0
263	230,5	1	0
282,1	228,4	1	0
292,5	230,5	1	0
300,7	229,2	1	0
295,3	232,6	1	0

Terceiro passo

Cenários válidos: Cenário 2, Cenário 3, Cenário 4, Cenário 5

Cenários inválidos: Cenário 6

Durante a coleta de dados podem ocorrer alguns erros. Desta forma, cenários inválidos não precisam ser inseridos no sistema. Nas caixas ao lado, essa seleção pode ser feita, permitindo a inserção ou não, de dados válidos somente.

O arquivo contém 7 cenários.

Cenários do experimento

	Passadas	Repetição	Área placa [cm²]
0	0	1	200,9
1	0	2	200,9
2	5	1	200,9
3	5	2	200,9
4	10	1	200,9
5	10	2	200,9
6	15	1	200,9

Cada cenário corresponde a uma determinada repetição com um determinado número de passadas.

Quarto passo

Quarto passo

Fase de inclusão no Banco de Dados do sistema

**Figura 35** - Identificação de parâmetros relacionados ao experimento.

Na tela representada pela Figura 35 são informados outros parâmetros relacionados ao experimento, como o número de passadas do trator, número da repetição e o valor da área da placa para cada cenário identificado pelo sistema. Cada cenário corresponde a um tratamento adotado, com um número específico de passadas do trator e uma determinada repetição, onde se realizou a aplicação de cargas com a placa durante um determinado período de tempo.

Apesar da existência do campo solicitando a informação do tamanho da placa, o *software* está restrito a utilização de dados provenientes de ensaios com uma placa de 200,9 cm<sup>2</sup>. A utilização de outros modelos de placas requer a determinação da curva de ajuste do levantamento do trator. No entanto, o campo “tamanho da placa” já foi inserido no banco não necessitando alterações na base de dados por ocasião de um *upgrade* no código.

No caso do acionamento acidental do pistão ou no comprometimento de grande parte de dados, pode não ser interessante a inserção destes registros, pois eles poderão não representar as características do solo ensaiado. A seleção dos cenários (tratamentos) válidos ou não pode ser feita antes da inclusão efetiva, ao se pressionar o botão **Quarto passo**, presente na *interface*. A inclusão dos registros no banco de dados permite a sua consulta posterior a qualquer momento fornecendo elementos para comparação com outros experimentos.

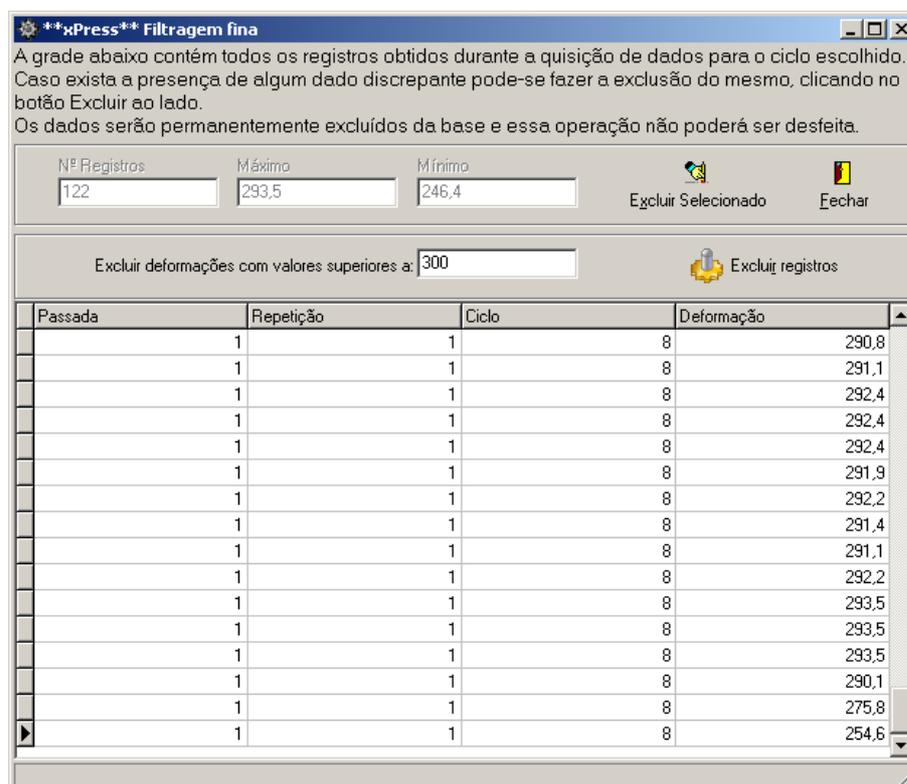
Após a inclusão dos dados pode-se reduzir a sua quantidade usando o mecanismo de filtragem presente neste trabalho, para permitir a construção das curvas de compressão do solo. O módulo de filtragem dos dados é visualizado na Figura 36.

Pressão (kpa)	Passada	Repetição	Ciclo	Def Max (mm)	Def Min (mm)	Def Fin (mm)	Dif (mm)	Correção	Dif Cor (mm)	Acumulado
148,1	1	1	1	234,7	220,5	226,5	14,2	2,52	11,7	11,7
186,8	1	1	2	236,9	226,5	225	10,4	3,69	6,7	18,4
230,9	1	1	3	239,8	225	232,1	14,8	5,02	9,8	28,2
294,6	1	1	4	243,5	232,1	227,3	11,4	6,94	4,5	32,7
305,6	1	1	5	252,7	227,3	233,4	25,4	9,69	15,7	48,4
444,1	1	1	6	260,9	233,4	235	27,5	11,46	16	64,4
530,7	1	1	7	277,1	235	246,4	42,1	14,07	28	92,4
601,5	1	1	8	293,5	246,4	246,4	47,1	16,21	30,9	123,3
665,7	1	1	9	301,4	246,4	260,9	55	18,15	36,8	160,1
763,6	1	1	10	330,3	260,9	273,4	69,4	21,11	48,3	208,4
843,5	1	1	11	386,1	273,4	321,8	112,7	23,52	89,2	297,6
910,1	1	1	12	460,5	321,8	460,5	138,7	25,53	113,2	410,8
130,6	1	2	1	215,4	208,3	210,9	7,1	1,99	5,1	5,1
164,9	1	2	2	218,3	210,9	210,4	7,4	3,02	4,4	9,5
196,1	1	2	3	221,5	210,4	213	11,1	3,97	7,1	16,6
239,9	1	2	4	226,3	213	213	13,3	5,29	8	24,6
295,3	1	2	5	232,6	213	218,3	19,6	6,96	12,6	37,2

Figura 36 - Interface para o mecanismo de filtragem dos dados.

Ao usuário basta a seleção do experimento desejado e pressionar o botão **Carregar** para listar o resultado obtido com o mecanismo de filtragem. O *grid* presente na *interface* apresentará então, um valor a cada ciclo de pressão

efetuado no ensaio, o qual se tornará um ponto na curva de compressão do solo. Conforme o algoritmo de filtragem adotado, cada carga aplicada durante um período de aproximadamente 30 segundos (aproximadamente 120 pares de dados) representa apenas uma linha nesta tabela e, conseqüentemente, um ponto no gráfico.



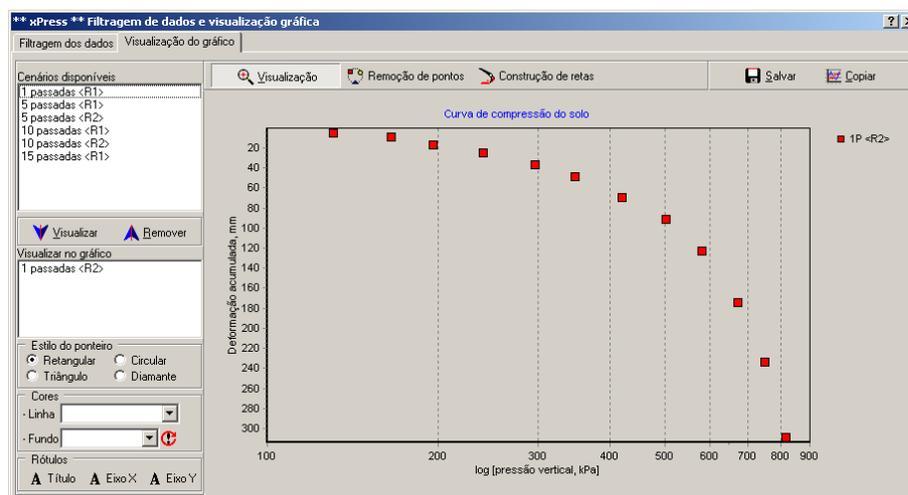
**Figura 37** - Interface filtragem fina.

Os dados obtidos podem ser impressos em um relatório texto ou exportados para o aplicativo Microsoft® Excel®. Se a apresentação dos dados para algum determinado ciclo ainda contemplar algum erro oriundo de falha na aquisição, o sistema dispõe de uma *interface* específica, como ilustra a Figura 37. Os erros discutidos referem-se a falhas na leitura dos reais valores produzidos pelos sensores (responsáveis pela medição da força ou deformação), apresentando valores exorbitantes com números muito superiores aos verificados no comportamento dos dados em um experimento. Na ausência de um melhor estimador para o real valor desse dado não

adquirido adequadamente, o usuário poderá fazer sua remoção, para que os demais dados referentes ao tratamento não sejam comprometidos.

A *interface* da Figura 37 exibe todos os dados específicos de um ciclo, após a aplicação do mecanismo de filtragem. Ela pode ser acessada com um duplo *click* sobre a linha do ciclo desejado, na Figura 36. Se a falha estiver relacionada somente a um registro pode-se selecioná-lo individualmente ou então estabelecer um limite e excluir os valores inapropriados, não comprometendo assim os demais ciclos e conseqüentemente o experimento.

Pelos dados padronizados e filtrados pode-se realizar a construção das curvas de compressão do solo, utilizando-se da mesma *interface* apresentada na Figura 38, mas clicando na guia **Visualização** do gráfico.



**Figura 38** - *Interface* para construção das curvas.

Na *interface* voltada à construção das curvas de compressão do solo, o usuário tem a sua disposição todos os cenários (tratamentos) cadastrados para o experimento selecionado no ato da filtragem. Para a plotagem da curva desejada basta um duplo *click* sob o cenário correspondente que a curva será determinada graficamente.

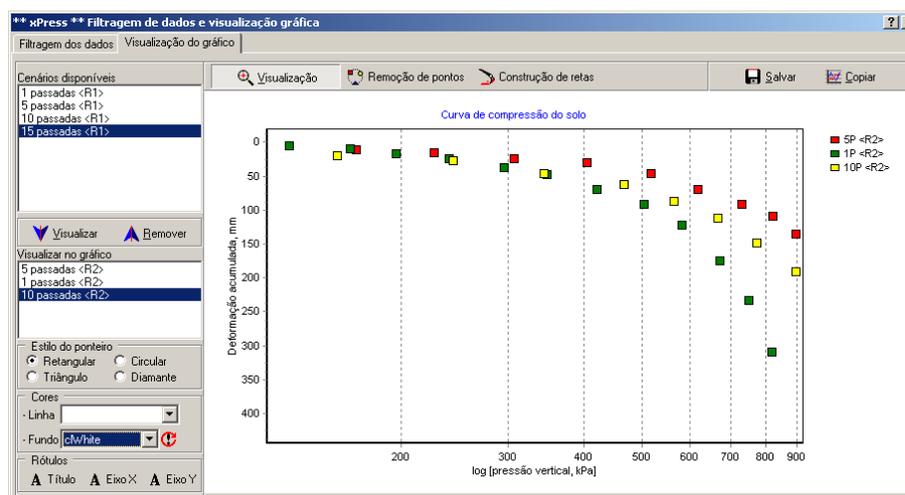
No gráfico da Figura 38, observa-se o comportamento do solo para a primeira repetição, com uma passada do trator.

Os gráficos obtidos podem ter os rótulos de seus eixos **x** ou **y** personalizados, assim como o título. As imagens podem ser salvas para o formato BMP (Imagem de *Bitmap*) ou copiadas para a **Área de transferência** e

transferidas diretamente para um editor de textos, por exemplo, sem a necessidade da utilização de outro aplicativo para manipulação de imagens.

Encontram-se disponíveis, ainda, opções para personalização do gráfico, tais como alteração da cor ou tipo do ponteiro, bem como cor de fundo da região de plotagem. A *interface* permite ainda a sobreposição de cenários permitindo a comparação entre os diferentes níveis de tratamento, conforme a Figura 39.

Observa-se ainda, a existência de três modos de operação nesta tela. O primeiro corresponde à construção e visualização das curvas de compressão; o segundo modo permite a remoção de algum ponto específico da curva final, através da seleção desse modo e de um *click* sobre o ponto desejado.

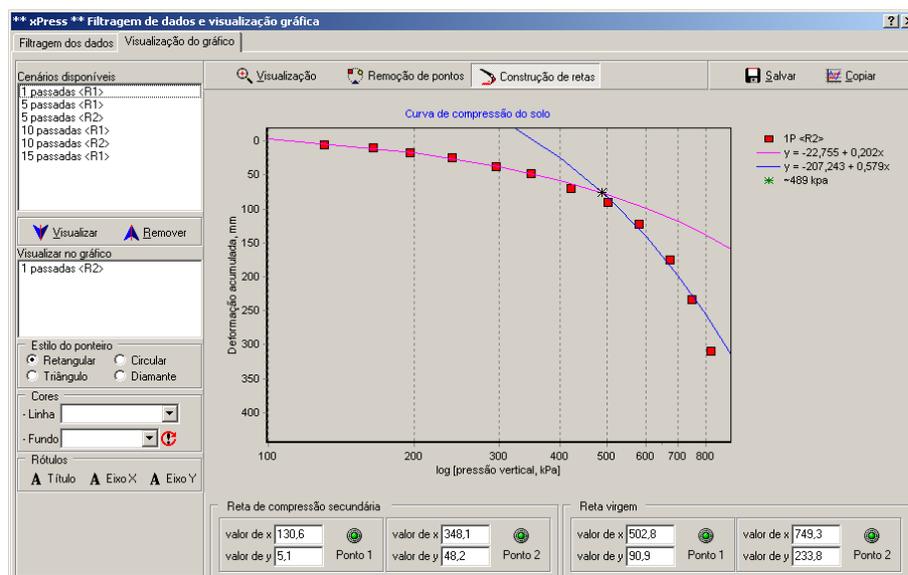


**Figura 39** - Modo de visualização, com destaque para a sobreposição de cenários.

No gráfico da Figura 39, observa-se a sobreposição de curvas de compressão para diferentes tratamentos (uma, cinco e dez passadas do trator). Verifica-se que a deformação do solo tende a diminuir com o aumento do tráfego e que os valores para cinco e dez passadas encontram-se próximos, o que pode indicar que o solo se encontra próximo de seu estado de pré-consolidação.

O terceiro modo desta *interface* é destinado à estimação do ponto de pré-consolidação do solo pela determinação visual das curvas virgem e de compressão secundária (Figura 40).

No modo de estimação do ponto de pré-consolidação, o usuário pode realizar a análise de um cenário por vez, não podendo sobrepor os tratamentos.



**Figura 40** - Determinação do ponto de pré-consolidação.

É importante ressaltar que o valor obtido para o ponto de pré-consolidação está condicionado à seleção do intervalo para construção das retas. Incluindo-se um novo valor neste intervalo, o valor de pré-consolidação do solo irá apresentar alterações.

#### 4.1.2 Módulo para Ensaios Laboratoriais

Para o processamento dos dados obtidos em ensaios laboratoriais são disponibilizadas as *interfaces* visualizadas nas Figuras 41, 42 e 43. A Figura 41 corresponde ao módulo para cadastro dos experimentos e suas respectivas amostras, ensaiadas no oedômetro.

The screenshot shows the 'xPress Oedometria' software interface. It is divided into several sections:

- Experimento (Experiment):** Fields for 'Código' (5), 'Local de coleta' (Neea), and 'Data' (4/11/2006). Buttons for 'Novo', 'Salvar', 'Excluir', and 'Sair' are present.
- Table:** A table listing experiments with columns 'Código', 'Data de coleta', and 'Local'.
 

Código	Data de coleta	Local
3	15/10/2006	Neea
4	22/10/2006	neea
5	4/11/2006	Neea
- Amostras (Samples):** Fields for 'Número' (10), 'Pressão (kPa)' (200), 'Def. Máx. (mm)' (0,77), 'Def. Final (mm)' (0,57), 'Peso úmido (g)' (250,69), 'Densidade' (1,35), and 'Teor de água (%)' (0,29). Buttons for 'Novo', 'Alterar', 'Salvar', 'Atual', and 'Excluir' are present. A 'Profundidade de coleta da amostra' section has radio buttons for '0 - 5 cm' (selected), '5 - 10 cm', and '10 - 20 cm'. A 'Filtrar pelo número da amostra' field is also present.
- Sample Data Fields:** 'Peso seco (g)' (223,97), 'Peso tara (g)' (133,1), and a 'Salvar' button.
- Warning:** A yellow box states: 'Este cadastro deverá ser feito separadamente após o cadastro da amostra'.
- Table:** A table listing samples with columns 'Amostra', 'Pressão (kPa)', 'Def. Máx. (mm)', 'Def. Final (mm)', 'Ps. Inicial (g)', 'Ps. Final (g)', 'Ps. Tara (g)', and 'Profund. (cm)'.
 

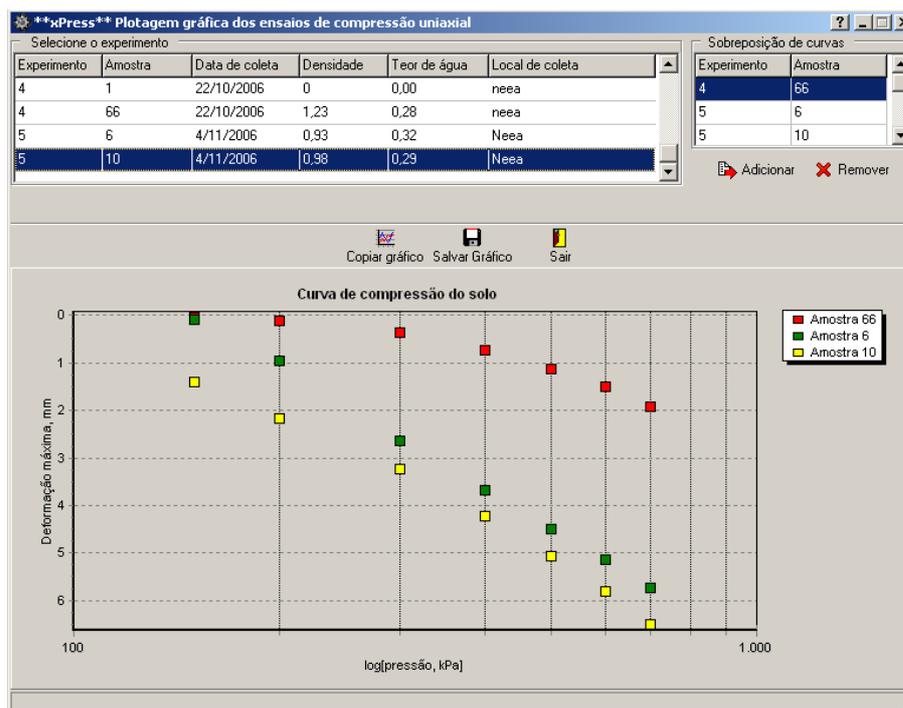
Amostra	Pressão (kPa)	Def. Máx. (mm)	Def. Final (mm)	Ps. Inicial (g)	Ps. Final (g)	Ps. Tara (g)	Profund. (cm)
10	300	1,07	0,82	250,69	223,97	133,1	0-5
10	500	0,83	0,54	250,69	223,97	133,1	0-5
10	150	1,4	0,89	250,69	223,97	133,1	0-5

**Figura 41** - Cadastro de experimentos e amostras oedométricos.

Caso o experimento já esteja cadastrado, basta selecioná-lo na grade correspondente. havendo amostras relacionadas a esse experimento, elas serão listadas na grade inferior, do contrário, o cadastro poderá ser efetuado facilmente, informando-se os dados como identificação da amostra, pressão usada, deformações máxima e final.

Ao cadastrar a primeira carga a qual a amostra foi submetida, o usuário deverá informar também, os pesos da amostra. Nas cargas seguintes, o sistema recupera os valores no banco, não sendo necessária uma nova digitação por parte do usuário.

Depois de ensaiadas, o sistema possibilita a construção da curva de compressão usando dois parâmetros diferentes. O primeiro, visualizado na Figura 42, realiza a construção da curva usando o logaritmo da pressão (kPa) *versus* a deformação máxima (mm) obtida.

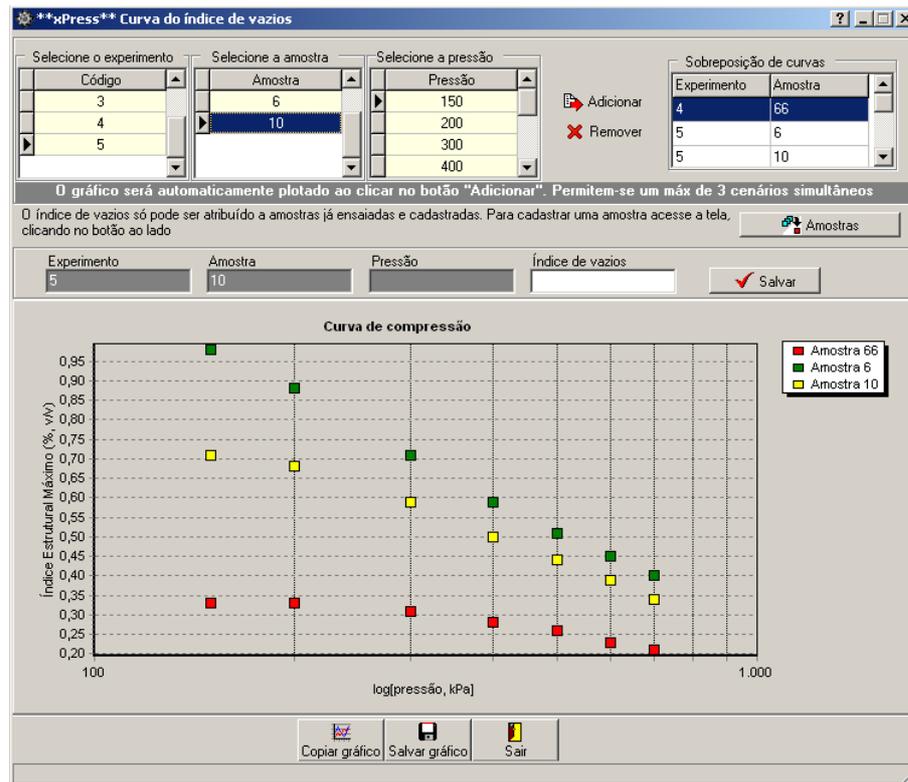


**Figura 42** - Interface para determinação da curva de compressão, usando a deformação máxima.

O segundo modelo de curva de compressão implantado no sistema consiste na plotagem do gráfico, usando o logaritmo da pressão (kPa) *versus* o índice de vazios (% ,  $v/v$ ). Sua interface correspondente pode ser visualizada na Figura 43. O sistema limita-se ao cadastro do índice de vazios que deverá ser obtido, usando mecanismos não abordados no *software*. No entanto, a cada valor cadastrado, os valores da curva são atualizados demonstrando o comportamento do solo.

As duas interfaces (Figuras 42 e 43) apresentam princípios de funcionalidade semelhantes. Para a plotagem das curvas basta a seleção da amostra e um *click* no botão **Adicionar**. O sistema permite a plotagem simultânea de até 3 amostras.

Os gráficos obtidos podem ser salvos no formato BMP (Imagem de *Bitmap*) ou copiados para utilização em um editor de textos, utilizando-se para isso, os botões na barra de ferramentas.

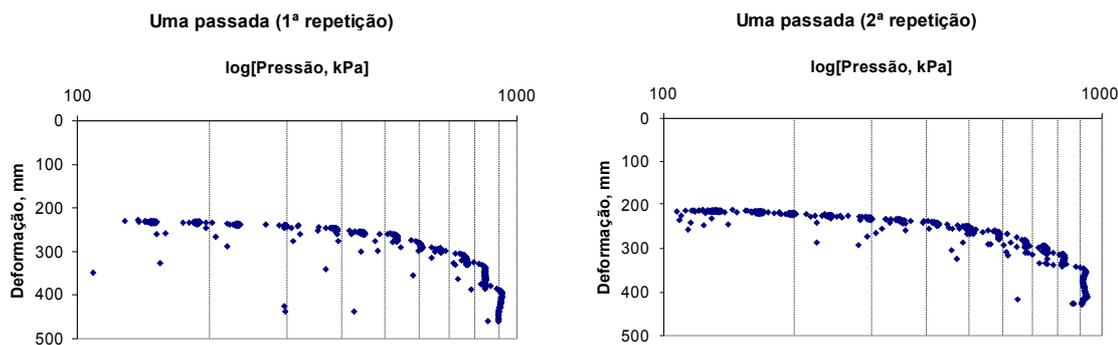


**Figura 43** - Interface para determinação da curva de compressão do solo, usando o índice de vazios.

## 4.2 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

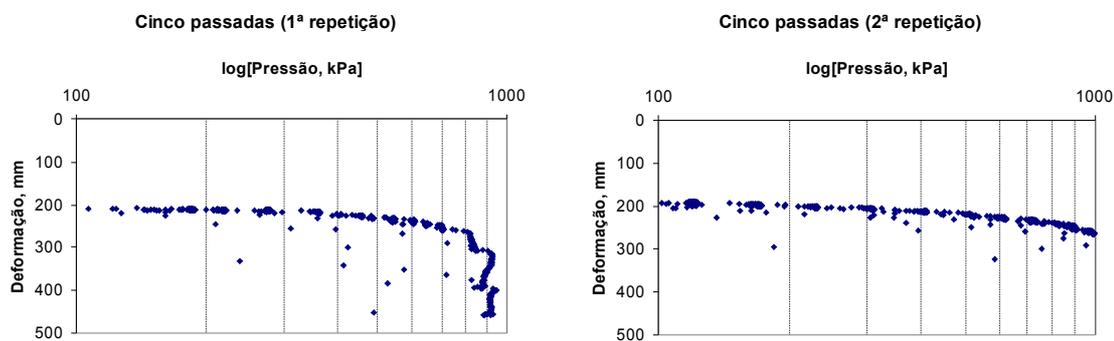
### 4.2.1 Ensaios *in Situ*

As curvas de compressão (sem a utilização do *software*) para os ensaios *in situ* podem ser observadas na Figura 44 - uma passada do trator, Figura 45 - Cinco passadas do trator e Figura 46 - dez passadas do trator.



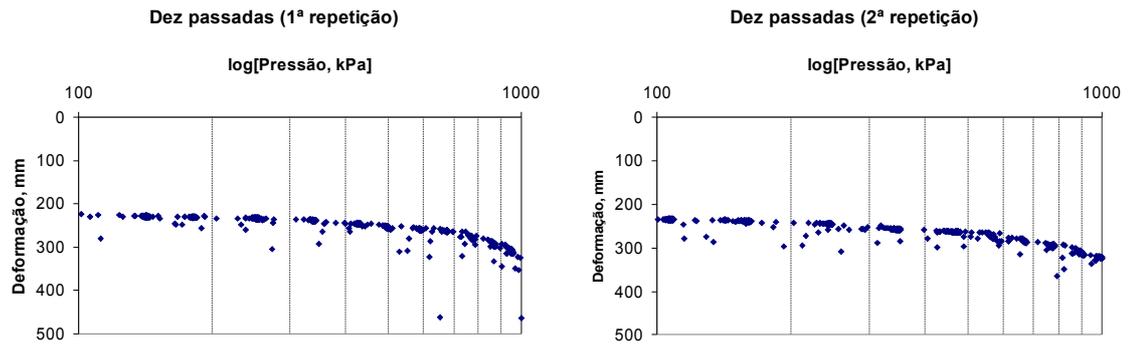
**Figura 44** - Curvas de compressão para uma passada do trator.

As curvas das Figuras 44, 45 e 46 foram obtidas com dados provenientes do arquivo de dados sem nenhuma redução nos pares de dados, havendo somente a transformação da força (N) para pressão (kPa). Verifica-se que as deformações iniciais obtidas possuem valores próximos a 20 cm. Essa deformação deve-se ao fato de ser considerada a altura do equipamento em relação ao solo, no instante do acionamento.



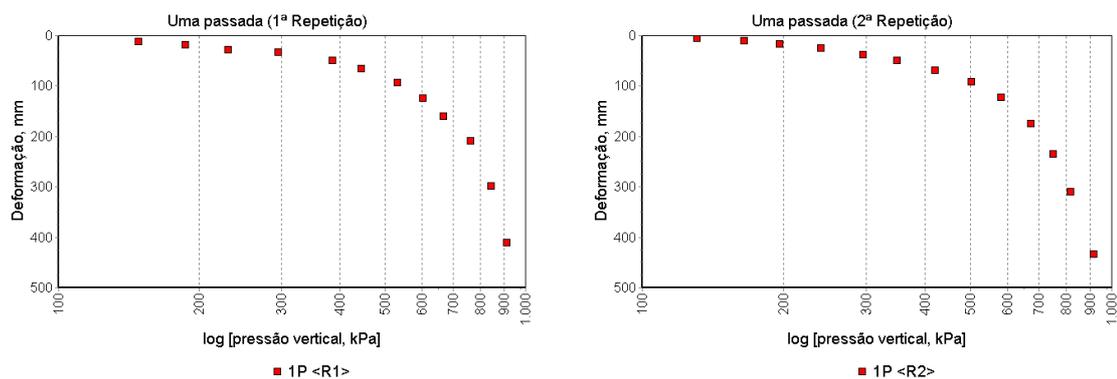
**Figura 45** - Comportamento do solo para cinco passadas do trator.

Observa-se que para as duas repetições com uma passada do trator e para a primeira repetição com cinco passadas, as deformações máximas foram obtidas com pressões próximas a 900 kPa, enquanto que para a segunda repetição de cinco passadas e para as curvas de dez passadas o solo suportou pressões superiores a 1000 kPa, face seu alto grau de compactação.



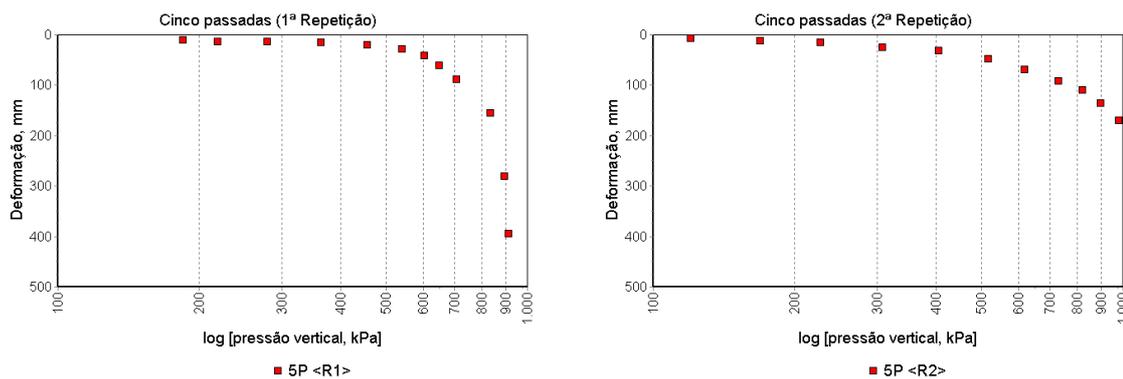
**Figura 46** - Curvas de compressão para dez passadas do trator.

Após a análise dos dados com auxílio do *software* desenvolvido, podem ser obtidas curvas que refletem o comportamento do solo com a aplicação de cargas, fazendo-se que as curvas tendam para deformação zero com pressão zero (Figuras 47,48 e 49).



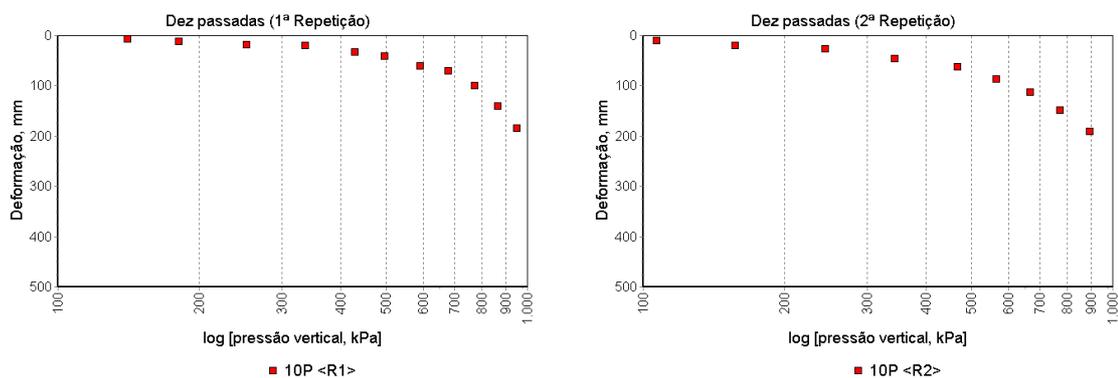
**Figura 47** - Curvas para uma passada produzidas pelo *software*.

Com o processamento realizado pelo *software* são eliminados os valores obtidos com a altura do equipamento e com a deflexão dos pneus, como pode-se verificar na Figura 47, para uma passada do trator.



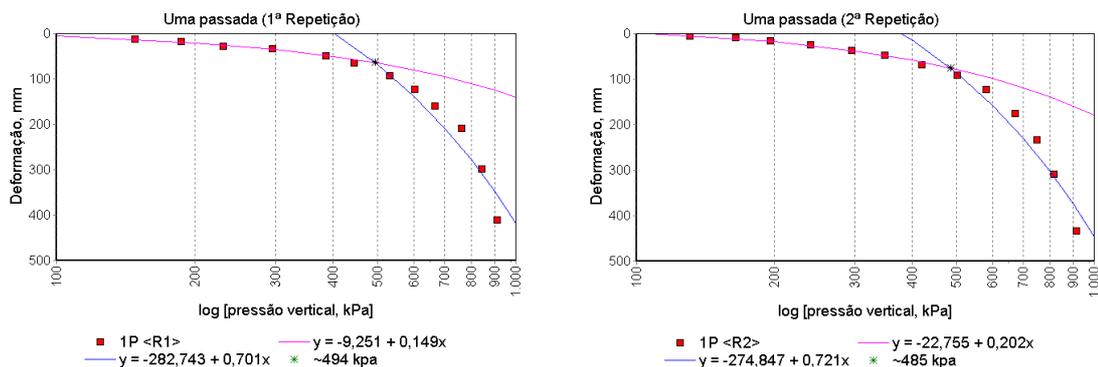
**Figura 48** - Curvas para cinco passadas produzidas pelo *software*.

Pode-se observar pelas curvas de cinco passadas – especialmente a segunda repetição – e de dez passadas, Figuras 48 e 49, respectivamente, que as deformações obtidas são próximas, indicando que o solo não apresenta mais capacidade de deformação, obtida com valores inferiores a 20 cm.



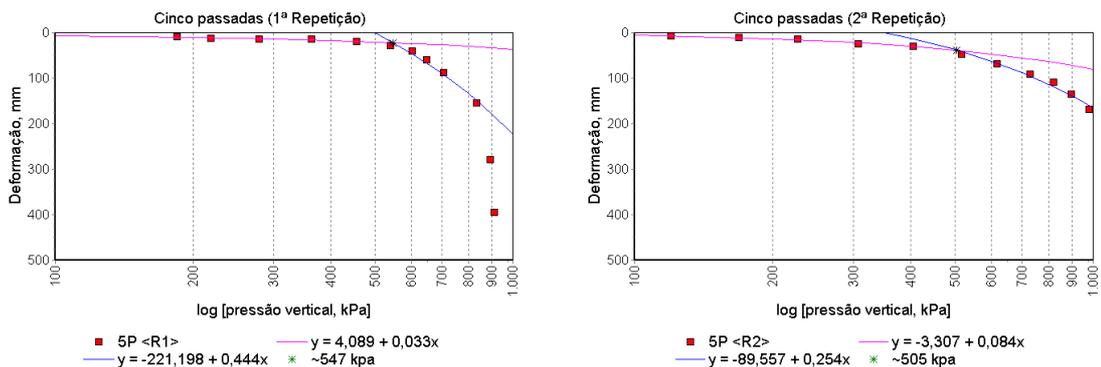
**Figura 49** - Curvas para dez passadas do trator, produzidas pelo *software*.

Os valores para o ponto de pré-consolidação estimados pelo *software* para uma passada podem ser observados na Figura 50, com um valor médio de 489 kPa.



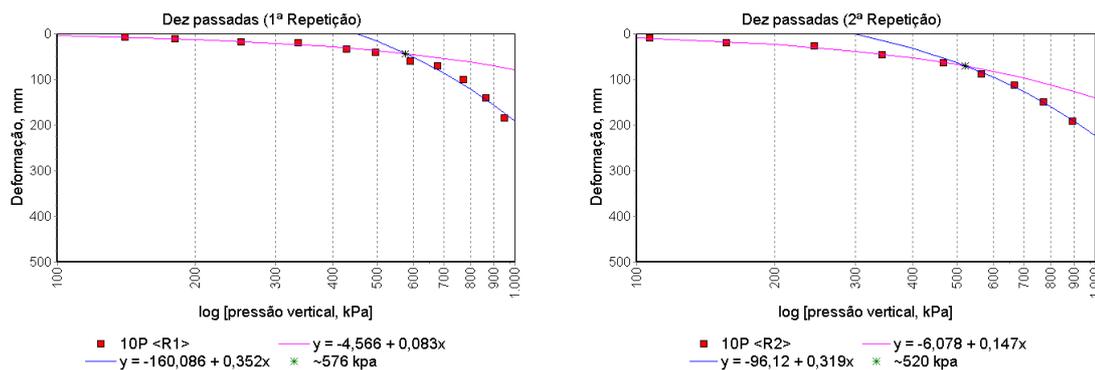
**Figura 50** - Ponto de pré-consolidação para uma passada do trator

Para cinco passadas do trator esse valor médio foi de 526 kPa e pode ser observado na Figura 51.



**Figura 51** - Ponto de pré-consolidação para cinco passadas do trator.

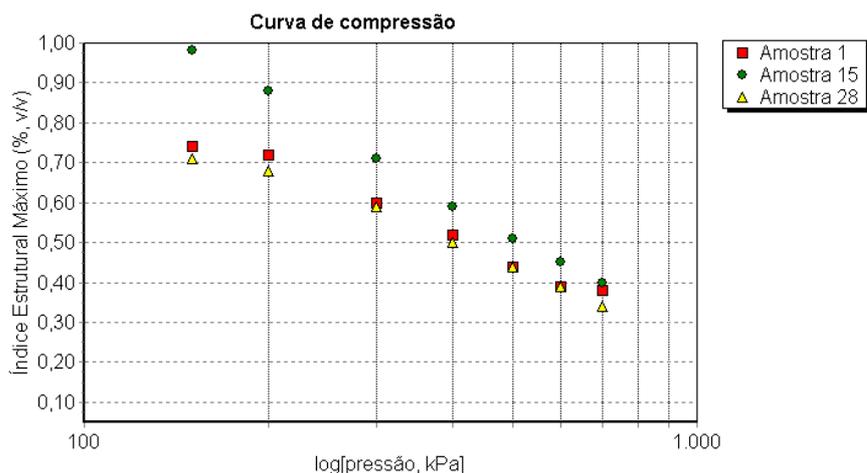
Para dez passadas do trator o valor médio obtido do ponto de pré-consolidação foi de 548 kPa, visualizado na Figura 52.



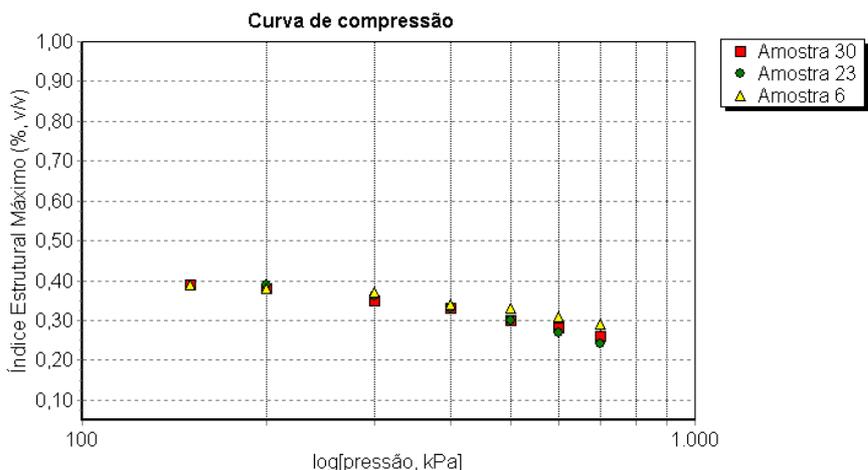
**Figura 52** - Ponto de pré-consolidação para dez passadas do trator.

#### 4.2.2 Ensaios em Laboratório

Para o ensaio sem passadas o índice de vazios estruturais se comportou inversamente proporcional ao logaritmo da pressão (Figura 53). Para as pressões de 150 a 700 kPa, os índices de vazios estruturais máximos obtidos no ensaio sem passadas corresponderam, respectivamente a 1,0% e 0,35%.

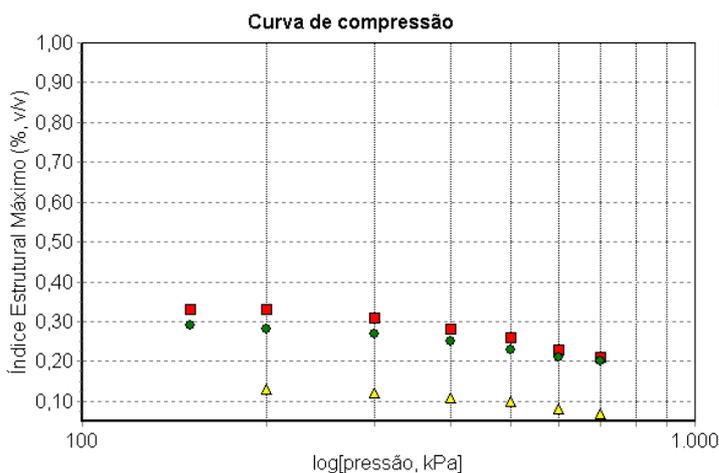


**Figura 53** - Comportamento do índice estrutural (Sem passadas do trator) em função da pressão, para três amostras.



**Figura 54** - Comportamento do índice estrutural (Uma passada do trator) em função da pressão, para três amostras.

No ensaio com uma passada apresentado na Figura 54, para as pressões correspondentes de 150 a 700 kPa, os índices de vazios corresponderam a 0,40% e 0,25%, enquanto que no ensaio com cinco passadas, esses índices corresponderam a 0,30% e 0,05%, conforme a Figura 55.



**Figura 55** - Comportamento do índice estrutural (Cinco passadas do trator) em função da pressão, para três amostras.

Em todos os casos verificou-se que o índice de vazios estrutural do solo diminui com o aumento do número de passadas do trator. Os resultados mostram pequena redução com o aumento da carga aplicada no ensaio com uma e cinco passadas.

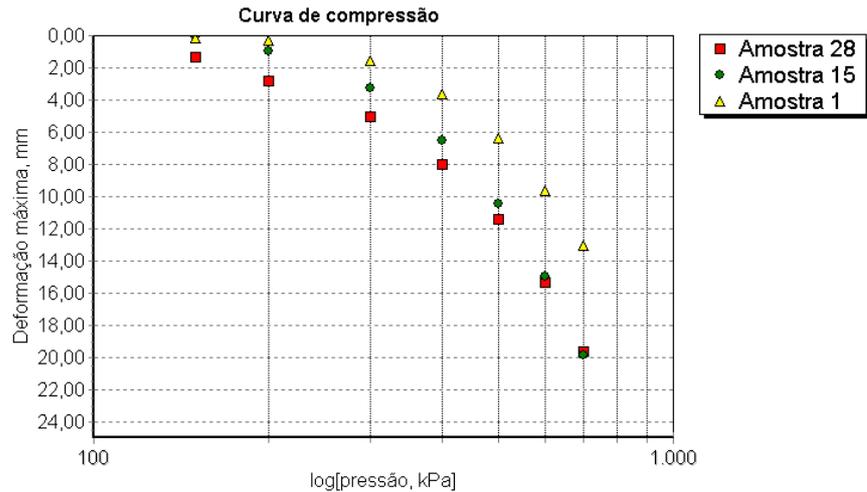
Os dados da Tabela 1 comprovam as diferenças obtidas pelas curvas de compressão, pelos resultados de densidade do solo, mostrando que a densidade aumentou com o número de passadas do trator e que o teor de água também é pertinente no fenômeno da compactação do solo. As curvas de compressão permitem verificar que o solo em estudo apresentou um histórico de compactação, pois o aumento do número de passadas do trator resultou em uma diminuição cada vez menor do índice de vazios estrutural, indicando a quase consolidação do solo amostrado neste experimento.

**Tabela 1 -** Características do solo ensaiado em laboratório

	AMOSTRA	DENSIDADE DO SOLO (g.cm <sup>-3</sup> )	UMIDADE
Testemunha	28	0,98	29%
	15	0,93	32%
	01	1,02	32%
01 passada	06	1,20	28%
	30	1,18	30%
	23	1,17	32%
05 passadas	09	1,24	31%
	25	1,33	31%
	08	1,23	28%

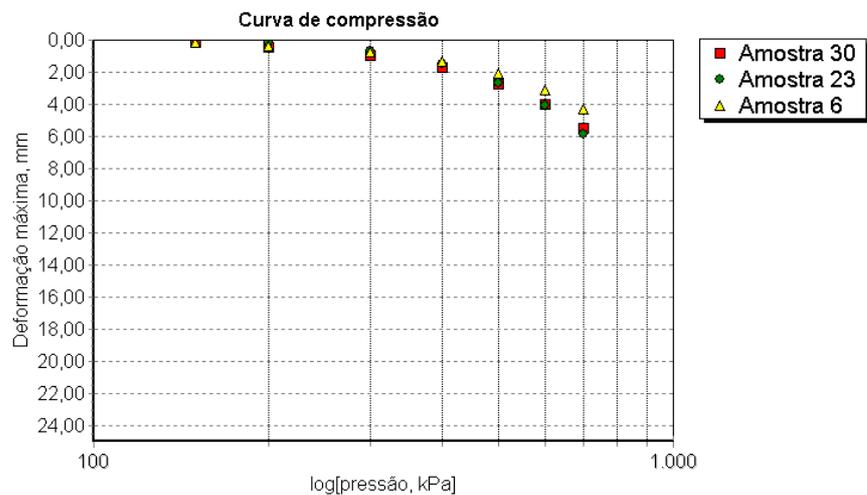
Nas curvas de compressão do solo, utilizando-se a deformação obtida (mm) *versus* pressão (kPa), pode-se verificar que as deformações apresentam diminuição com o aumento do número de passadas do trator.

O gráfico da Figura 56 apresenta o comportamento do solo sem passada do trator. Observa-se uma deformação máxima de, aproximadamente, 2 cm, indicativo da grande capacidade de compactação apresentada pelas amostras ensaiadas. Neste ensaio foi observado ainda que o solo, nesse estado, apresentou um grande relaxamento, com deformações finais aproximadas de 1,4 cm.



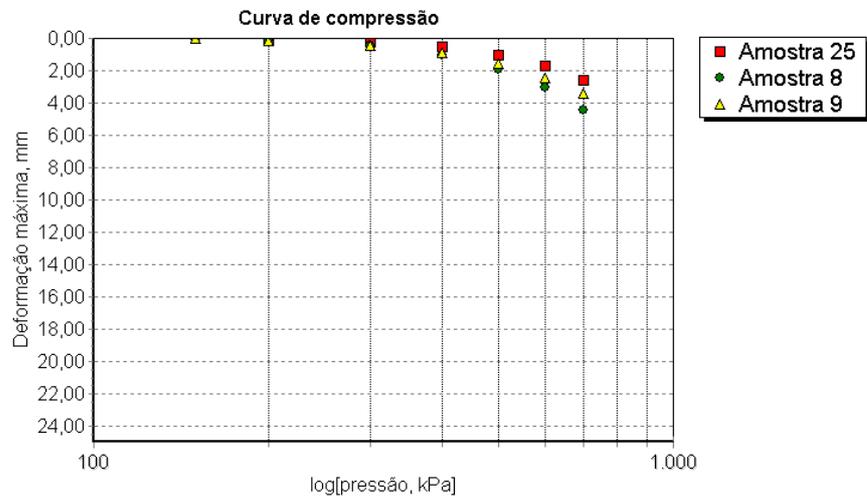
**Figura 56** - Gráfico pressão *versus* deformação, sem passada do trator.

As curvas obtidas com uma e cinco passadas do trator (Figuras 57 e 58, respectivamente) apresentam valores mais próximos, contrastantes aos do ensaio realizado com amostras sem passadas do trator.



**Figura 57** - Gráfico pressão *versus* deformação, com uma passada do trator.

As deformações máximas obtidas para uma passada do trator foram de 6 mm (Figura 57), enquanto que com cinco passadas do trator, obtiveram-se deformações máximas um pouco superiores a 4 mm (Figura 58).



**Figura 58** - Gráfico pressão *versus* deformação, com cinco passadas do trator.

## 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, com o desenvolvimento desse sistema de informação (**xPress**) e a realização dos ensaios *in situ* e em laboratório, conclui-se que:

- A análise das curvas geradas pelo sistema permite ao produtor verificar o comportamento do solo face o tráfego de máquinas, fornecendo elementos para o dimensionamento da maquinaria, de modo a amenizar os efeitos da compactação.
- As retas virgem e de compressão secundária podem ser determinadas utilizando-se a regressão linear com base na técnica dos mínimos quadrados, permitindo a obtenção do ponto de pré-consolidação de modo similar ao método de CASAGRANDE (1936).
- A grande quantidade de dados obtida nos ensaios de compactação submetida à execução do mecanismo de redução dos pares de dados fornece elementos satisfatórios para construção das curvas de compressão do solo, demonstrando o real comportamento do solo para cada carga aplicada.
- O programa promove a rapidez na separação do arquivo de dados de ensaios, permitindo identificação dos tratamentos e suas repetições.
- As informações relativas aos ensaios armazenadas no programa podem ser facilmente recuperadas garantindo agilidade e precisão na determinação das curvas de compressão do solo e estimação do ponto de pré-consolidação.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDROU, A.; EARL, R. *In situ* determination of the pre-compaction stress of a soil. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Bedford – UK, v. 61, p. 67-72, 1995.

ARAÚJO, A. G.; SARAIVA, A. M. Fuzzy modeling of soil compaction due to agricultural machine traffic. In: CONFERENCE EFITA 2003, Debrecen, Hungary. **Anais...**, Debrecen, Hungary, [s.n.], 2003, p. 97-102.

ASSOCIAÇÃO PARA A PROMOÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO - APDSI. In: **Glossário da sociedade de informação**. Portugal: APDSI, 2005. Disponível em: <<http://purl.pt/426/1/>>. Acesso em: 21 jan. 2006.

BARATA, F. E. Propriedades mecânicas dos solos. In: \_\_\_\_\_. **Uma introdução ao projeto de fundações**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos. 1985, p. 1-12.

BEKKER, M. G. **Off-the-road Locomotion**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1960.

BERNSTEIN, R. **Probleme zur experimentellen motorpflugmechanik**. (Problems experienced with an experimental self-propelled plough). Der Motorwagen, 1913.

BEZERRA, C. A. **Projeto de sistemas de informação baseado em qualidade**: uma abordagem voltada à pequena empresa. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BREDA, C. A. **Desenvolvimento de um penetrômetro de placa de aço e avaliação em campo da compactação do solo**. 2003. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **Sistema de aquisição de dados cr510**. Disponível em: <http://www.campbellsci.ca/Catalogue/prfull/cr510.jpg>. Acesso em: 10 de set. de 2006.

CANILLAS, C. E.; SALOKHE, V. M. A decision support system for assessment in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 221-230, 2002.

CASAGRANDE, A. The determination of preconsolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL Mechanics and Foundation Engineering, 1, Cambridge, 1936. **Proceedings...** Cambridge: A. Casagrande, 1936, v.3. p.60-64.

COSTA NETO, P. L. de O. **Estatística matemática**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p.

DAVENPORT, T. H. Informação e seus sabores: uma introdução. In: \_\_\_\_\_. **Ecologia da informação**: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. São Paulo: Futura, 2000. p. 11-25.

DAVISON, L.; SPRINGMAN, S. **Basic mechanics of soils**. Disponível em: <http://fbe.uwe.ac.uk/public/geocal/SoilMech/basic/soilbasi.htm>. Acesso em: 27 nov. 2006.

DAWIDOWSKI, J. B.; KOOLEN, A. J. Computerized determination of the preconsolidation stress in compaction testing of field core samples. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, p. 277-282, 1994.

DAWIDOWSKI, J. B.; MORRISON JUNIOR, J. E.; SNIEG, M. Measurement of soil layer strength with plate sinkage and uniaxial confined methods. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. Saint Joseph - MI, v. 44, n. 5, p. 1059-1064, 2001.

DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. Método alternativo de avaliação da pressão de pré-consolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-0683200400050002&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0683200400050002&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 18 Out 2006. doi: 10.1590/S0100-06832004000500002.

EARL, R. Assessment of the behavior of field soils during compression. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Bedford – UK, v. 68, p. 147-157, 1997.

EARL, R.; ALEXANDROU, A. Deformation processes below a plate sinkage test in sandy loam soil: theoretical approach. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 38, p. 163-183, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

GERSTING, J. L. **Fundamentos matemáticos para a ciência da computação**. Tradução: Lucio L. Fialho; Manoel M. Filho. Rio de Janeiro: LTC, 1993. 518 p.

GORDON, J. R.; GORDON, S. R. **Information systems: a management approach**. 2. ed. Orlando : The Dryden Press, 1999.

KELLER T.; ARVIDSSON J.; DAWIDOWSKI J. B.; KOOLEN A. J. Soil precompression stress II. A comparison of different compaction tests and stress–displacement behavior of the soil during wheeling. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 97-108, 2004.

LAMB, J. R.; BEZERRA, C. A. Sistema administrativo para pequenas propriedades agrícolas. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA AGROPECUÁRIA, 1, 2004, Santarém - Portugal, **Anais...** Santarém - Portugal: APDTICA, 2004. p. 23-24.

LAMB, J. R.; PEREIRA, J. O.; BRACARENSE, J. C.; MICHELS, R. N. Aplicação de sistemas de informação na determinação da compactação do solo. In: CONGRESSO DA MATEMÁTICA E SUAS APLICAÇÕES, 2006, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: UFPR/UNIOESTE/Parque Tecnológico Itaipu, 2006a. 1 CD-ROOM.

LAMB, J. R.; PEREIRA, J. O.; BRACARENSE, J. C.; SILVA, S. L.; MICHELS, R. N. Sistema de informação para filtragem de dados utilizados com penetrômetro de placa na determinação da compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa - PB. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006b. 1 CD-ROOM.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Solos e nutrição de plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MARANGON, M. **Compressibilidade e adensamento dos solos**. Disponível em: [http://www.geotecnia.ufjf.br/MECSOL/Cap\\_tulo\\_03\\_2005\\_1%5B1%5D.pdf](http://www.geotecnia.ufjf.br/MECSOL/Cap_tulo_03_2005_1%5B1%5D.pdf). Acesso em: 15 dez. 2005.

MEIRA, C. A. A.; MANCINI, A. L.; MAXIMO, F. A.; FILETO, R.; MASSRUHA, S. M. F. S. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 175-194, 1996.

MENDES, R. D. Inteligência artificial: sistemas especialistas no gerenciamento da informação. **Revista Ciência da Informação**, Brasília, v. 26, n. 1, jan./abr. 1997. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-19651997000100006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19651997000100006&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 13 Out 2006. Pré-publicação. doi: 10.1590/S0100-19651997000100006.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Removal of errors in yield maps through raw data filtering. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p.126-134, jan./apr. 2004. ISSN 1415-4366.

MOREIRA, M. S. **Um modelo de elementos finitos para a análise acoplada de problemas de adensamento com simetria axial**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS, 2005.

MOURÃO, I. W. **Falando em camadas**. Disponível em: <http://www.activedelphi.com.br/modules.php?op=modload&name=Downloads&file=index&req=getit&lid=6>. Acesso: 25 set. 2006.

NORTON, P. **Introdução à informática**. Tradução: Maria C. S. R. Ratto. São Paulo: Makron Books, 1996. 619 p.

O'SULLIVAN M. F.; HENSHALL J. K.; DICKSON J. W. A simplified method for estimating soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 325-335, 1999.

PACHECO, A. O. **Ensaio com cone resistivo em solos saturados**. 2004. 95 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PEREIRA, J. O. **Dinâmica dos solos nos sistemas de interação solo-máquina**. Notas de aula da disciplina: Dinâmica dos solos nos sistemas de interação sólo-máquina, ministrada pelo Professor Dr. Joaquim Odilon Pereira, no Programa de pós-graduação em Engenharia agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no período de junho a agosto de 2004.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1795-1801, dez. 2002.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**. São Paulo: Makron Books, 1995.

REINERT, D. J.; ROBAINA, A. D.; REICHERT, J. M. Compress - *Software* e proposta de modelo para descrever a compressibilidade dos solos e seus parâmetros. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto - SP, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

RUMBAUGH, J. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Tradução: Dalton Conde de Alencar. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 652 p.

SALIRE, E. V.; HAMMEL, J. E.; HARDCASTLE, J. H. Compression of intact subsoils under short-duration loading. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, p. 235-248, 1994.

SILVA FILHO, F. C.; MIRANDA, M. I. A.; NOGUEIRA, J. F. Construção de modelos físicos para simulação de fenômenos de hidráulica de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA - COBENGE 29, Porto Alegre, 2001. **Anais....** Porto Alegre: ABENGE, 2001. 1 CD-ROOM.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto, avaliada por meio da pressão de pré-consolidação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 961-971, 2003.

SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction problems in World agriculture. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (edit). **Soil compaction in crop production**. Developments in Agricultural Engineering 11, Amsterdam: Elsevier, 1994, 662 p.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760. maio/jun. 2004.

TAKAHASHI, T. (Org.) **Sociedade da informação no Brasil**: Livro Verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.

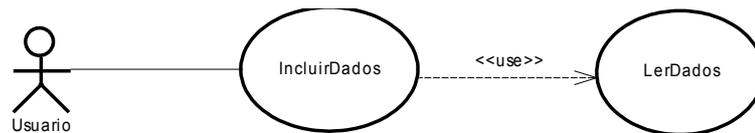
WEISS, A. **Projeto, construção e validação de um sistema de compressão uniaxial para estimativa da compactação do solo**. 2005. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

WIKIPÉDIA. **Persistência de dados**. Wikimedia Foundation. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Persist%C3%Aancia\\_de\\_dados&oldid=2043071](http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Persist%C3%Aancia_de_dados&oldid=2043071)>. Acesso em: 13 Set. 2006.

## APÊNDICES

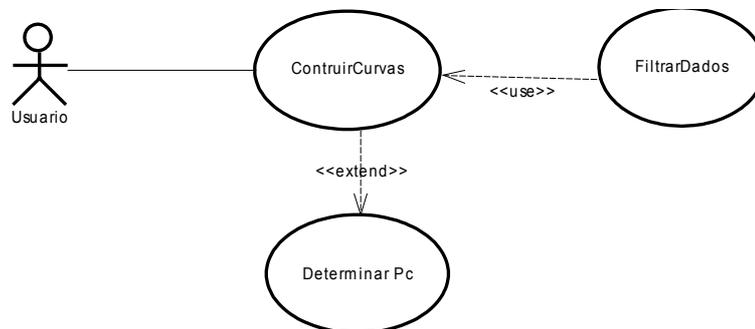
## APÊNDICE A - DIAGRAMAS DE CASO DE USO

- Inclusão dos dados



**Figura 59** - Diagrama de caso de uso: inclusão dos dados.

- Construção das curvas



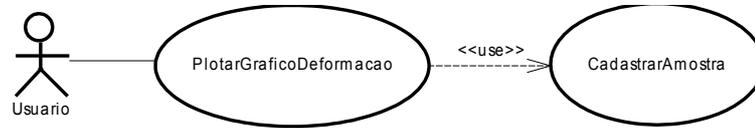
**Figura 60** - Diagrama de caso de uso: construção das curvas.

- Cadastrar experimento



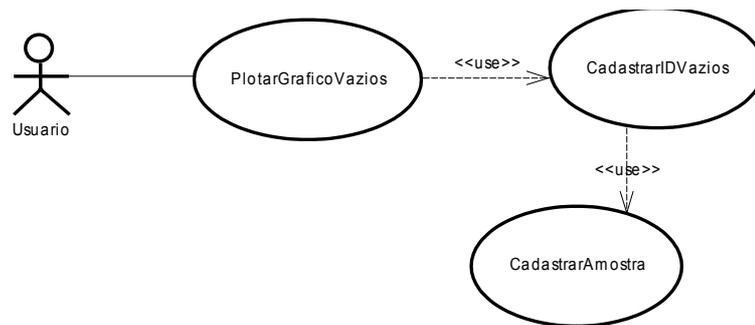
**Figura 61** - Caso de uso Cadastrar experimento.

- Determinar curva de compressão através da deformação



**Figura 62** - Diagrama de caso de uso: curva deformação.

- Determinar curva de compressão através do índice de vazios



**Figura 63** - Diagrama de caso de uso: curva vazios.

## APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS CASOS DE USO

- Leitura dos dados

O caso de uso **LerDados** consiste na representação da leitura do arquivo de dados pelo sistema. Esta representação permite a ocorrência de um cenário: **leitura**. O cenário normal de **leitura** tem como pré-requisito a existência do arquivo contendo os dados coletados pelo mecanismo de aquisição. O roteiro a ser seguido consiste em selecionar a localização do arquivo, informar a data e o local de realização do experimento. Ao pressionar-se o botão **Iniciar leitura** o sistema exibe em um *listbox* os dados brutos do arquivo. Em seguida deve-se selecionar o formato dos dados contidos no arquivo (tabulado ou original) e pressionar o botão **Primeiro passo**. Pós-condições: Arquivo de dados verificado quanto a inconsistências e número de tratamentos determinado.

- Inclusão dos dados

O caso de uso **IncluirDados** consiste na representação da inclusão dos registros na base de dados do sistema. Esta representação permite a ocorrência de um cenário: **inclusão**. O cenário normal de **inclusão** tem como pré-requisito a leitura do arquivo de dados gerado pelo mecanismo de aquisição. O roteiro a ser seguido consiste na identificação de possíveis tratamentos/cenários inválidos e na informação dos parâmetros **número de passadas**, **número da repetição** e **área da placa**. Depois de informados os valores correspondentes, deve-se pressionar o botão **quarto passo** para a inclusão efetiva dos registros no banco de dados. Pós-condição: registro incluído.

- Construção das curvas e determinação do Pc.

O caso de uso **ConstruirCurvas** consiste na representação gráfica do comportamento dos dados após a filtragem. Esta representação permite a ocorrência de um cenário: **plotagem**. O cenário normal de **plotagem** tem como pré-requisito a realização da filtragem dos dados de um ensaio. O roteiro consiste na seleção do(s) cenário(s) ou tratamento(s) desejado(s) a ser(em) plotado(s). Pós-condição: determinação gráfica da curva selecionada.

O caso de uso **FiltrarDados** consiste na representação da aplicação do mecanismo de filtragem dos registros incluídos na base de dados do sistema. Esta representação permite a ocorrência de um cenário: **filtragem**. O cenário normal de **filtragem** tem como pré-requisito a existência de no mínimo um experimento cadastrado. O roteiro é dado pela seleção da data do experimento desejado e informação do percentual de descarte. Os dados filtrados são carregados ao pressionar-se o botão **carregar**. Pós-condição: dados filtrados.

O caso de uso **DeterminarPc** consiste na estimativa gráfica do ponto de pré-consolidação do solo. Esta representação permite a ocorrência de um cenário: **plotagem**. O cenário normal de **plotagem** tem como pré-condição a existência de um gráfico plotado no sistema. O roteiro consiste em selecionar os pontos inicial e final da reta de compressão secundária e reta virgem, clicando-se nos botões **ponto 1** e **ponto 2** respectivo à cada reta. Pós-condição: valor do ponto de pré-consolidação estimado.

- Cadastrar experimento

O caso de uso **CadastrarExperimento** consiste na representação da inclusão dos registros referentes aos ensaios oedométricos na base de dados do sistema. Esta representação permite a ocorrência do cenário normal **inclusão** e do cenário alternativo **exclusão**. O cenário normal de **inclusão** não possui pré-requisitos. O roteiro a ser seguido na informação dos campos necessários: data e local de realização do experimento. Depois de informados

os valores pode-se pressionar o botão **Salvar** para inclusão dos registros na base de dados. Pós-condição: registro incluído.

O cenário alternativo de **exclusão** tem como pré-requisito a existência de no mínimo um experimento oedométrico cadastrado. A seqüência dos passos consiste em selecionar o experimento desejado a ser excluído e pressionar o botão **Excluir**. Pós-condição: registro excluído.

- Cadastrar amostra

O caso de uso **CadastrarAmostra** representa a inclusão dos registros referentes a amostras submetidas a ensaios de compressão uniaxial na base de dados do sistema. Esta representação permite a ocorrência do cenário normal **inclusão** e dos cenários alternativos **alteração** e **exclusão**.

No cenário normal de **inclusão** tem-se como pré-requisito a existência de no mínimo um experimento do oedômetro cadastrado. O roteiro consiste na alimentação dos campos: número da amostra, pressão aplicada, deformações máxima e final, pesos úmido, seco e da tara. Em seguida, deve-se salvar os dados, pressionando o botão **Salvar**. Pós-condição: registro incluído. No cenário alternativo de **alteração** o pré-requisito é a existência de no mínimo uma amostra ensaiada cadastrada. A seqüência dos passos a serem tomados diz respeito à seleção da amostra desejada e alteração dos valores nos campos desejados, confirmando a operação com o botão **Alterar**. Pós-condição: registro alterado. No cenário alternativo de **exclusão** o pré-requisito é a existência de pelo menos uma amostra ensaiada cadastrada. A seqüência dos passos consiste na seleção da amostra desejada confirmando a operação com o botão **Excluir**. Pós-condição: registro excluído.

- Determinar curva de compressão através da deformação

O caso de uso **PlotarGraficoDeformacao** representa a determinação gráfica dos registros referentes as amostras submetidas a ensaios de compressão uniaxial. Permite a ocorrência do cenário normal de **plotagem**. No

cenário normal de **plotagem** tem-se como pré-requisito a existência de no mínimo, uma amostra ensaiada e cadastrada. O roteiro consiste na seleção da amostra desejada e *click* no botão **Adicionar**. Pós-condição: determinação gráfica da curva selecionada.

- Determinar curva de compressão através do índice de vazios

O caso de uso **CadastrarIDVazios** representa a inclusão do índice de vazios para cada amostra ensaiada em experimentos de compressão uniaxial cadastrada. Esta representação permite a ocorrência do cenário normal **inclusão** e do cenário alternativo **alteração**.

No cenário normal de **inclusão** tem-se como pré-requisito a existência de um experimento do oedômetro cadastrado. O roteiro consiste na seleção da amostra desejada e alimentação do campo índice de vazios. Em seguida, deve-se salvar os dados, pressionando o botão **Salvar**. Pós-condição: registro incluído. No cenário alternativo de **alteração** o pré-requisito é a existência de no mínimo uma amostra ensaiada cadastrada. A seqüência dos passos a serem tomados é idêntica ao cenário de **Inclusão**, uma vez que o mesmo botão é capaz de alterar ou incluir elementos. Pós-condição: registro alterado.

O caso de uso **PlotarGraficoVazios** representa a determinação gráfica dos registros referentes as amostras submetidas a ensaios de compressão uniaxial. Compreende a ocorrência do cenário normal de **plotagem**. No cenário normal de **plotagem** tem-se como pré-requisito a existência de no mínimo uma amostra ensaiada, com o respectivo índice de vazios cadastrado. O roteiro consiste na seleção da amostra desejada e *click* no botão **Adicionar**. Pós-condição: determinação gráfica da curva selecionada.

## APÊNDICE C - DIAGRAMA DE CLASSE

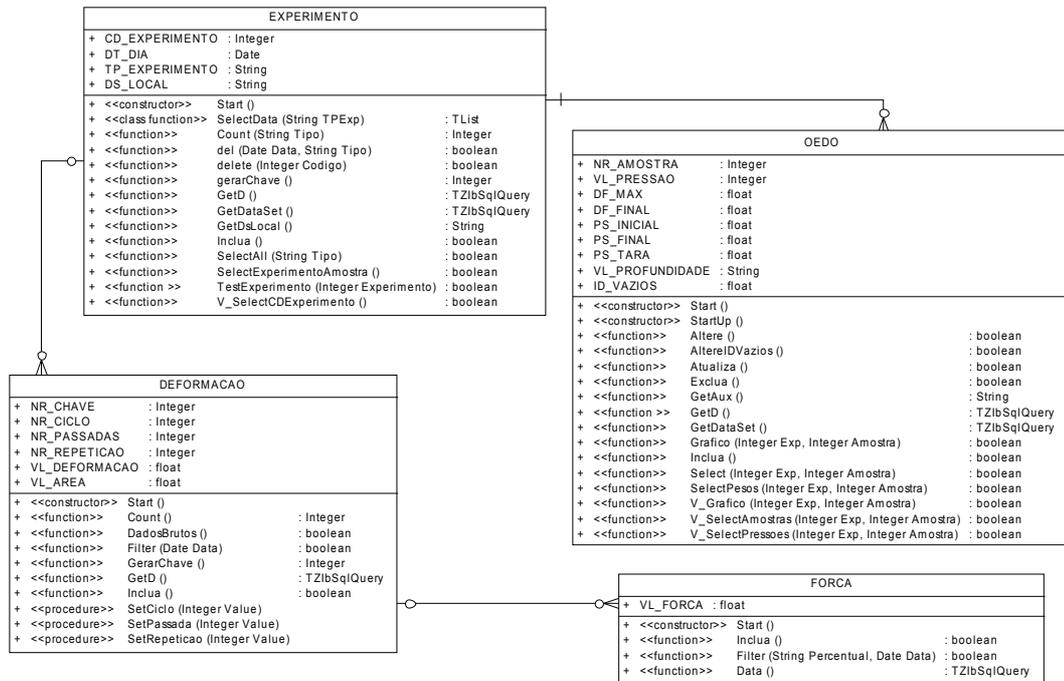


Figura 64 - Diagrama de classes.

## APÊNDICE D - DIAGRAMAS DE SEQÜÊNCIA

- Inclusão dos dados

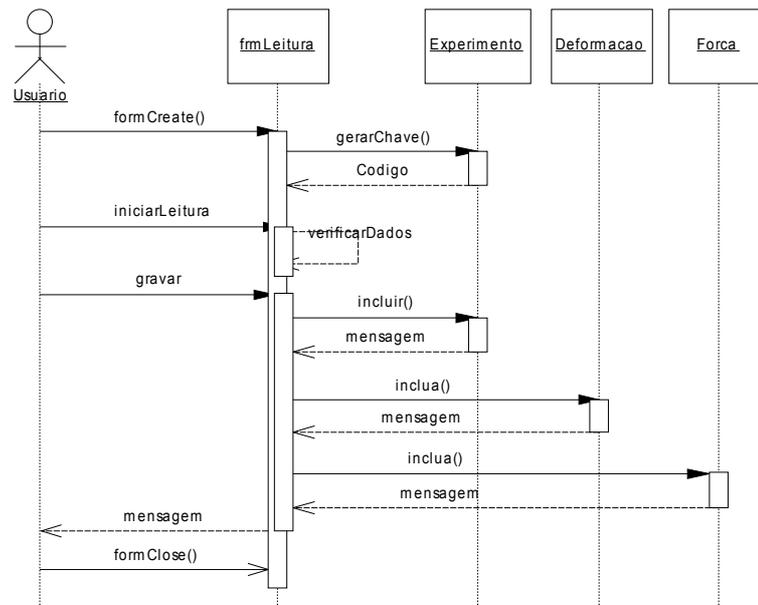


Figura 65 - Diagrama de seqüência: inclusão dos dados.

- Cadastrar experimento

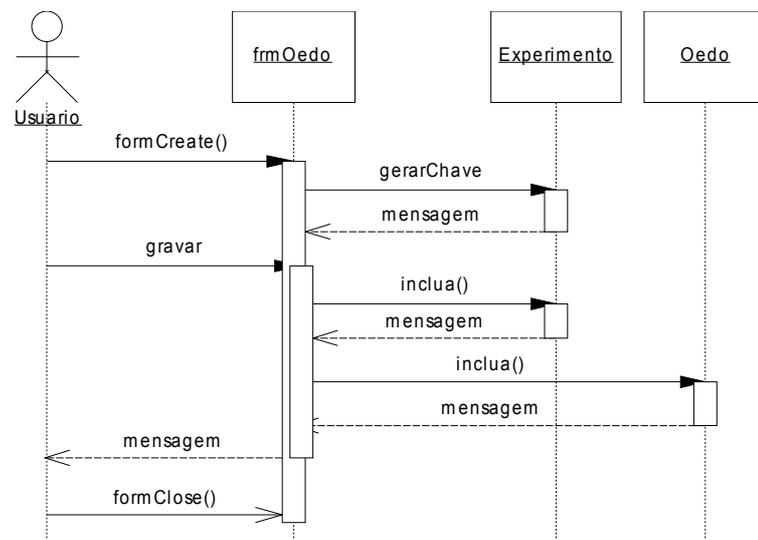
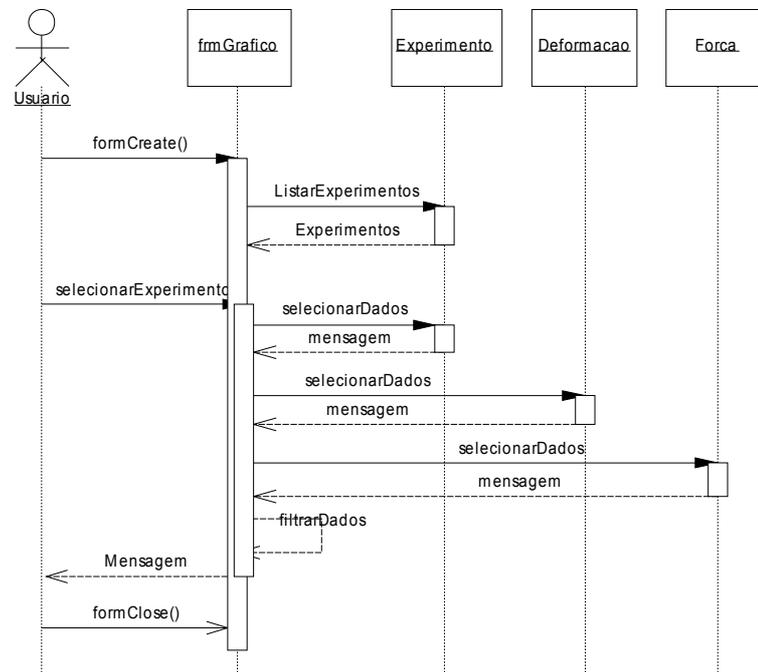


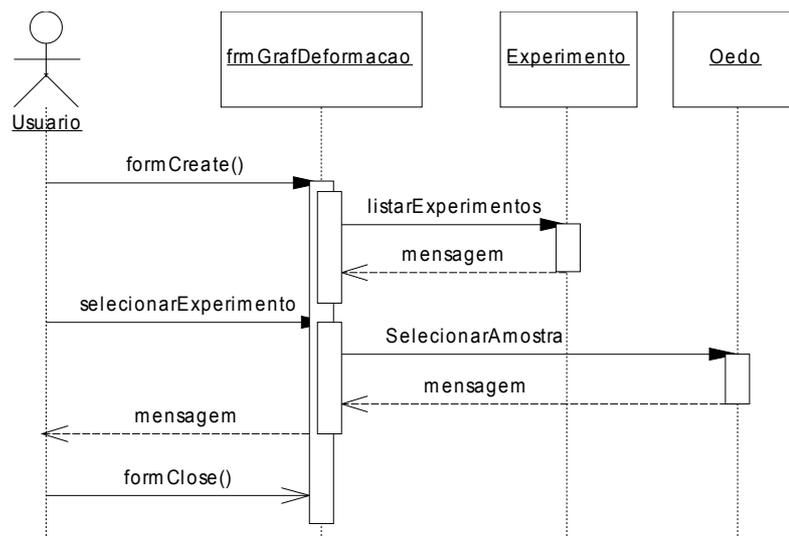
Figura 66 - Diagrama de seqüência: cadastrar experimento.

- Construção das curvas de compressão



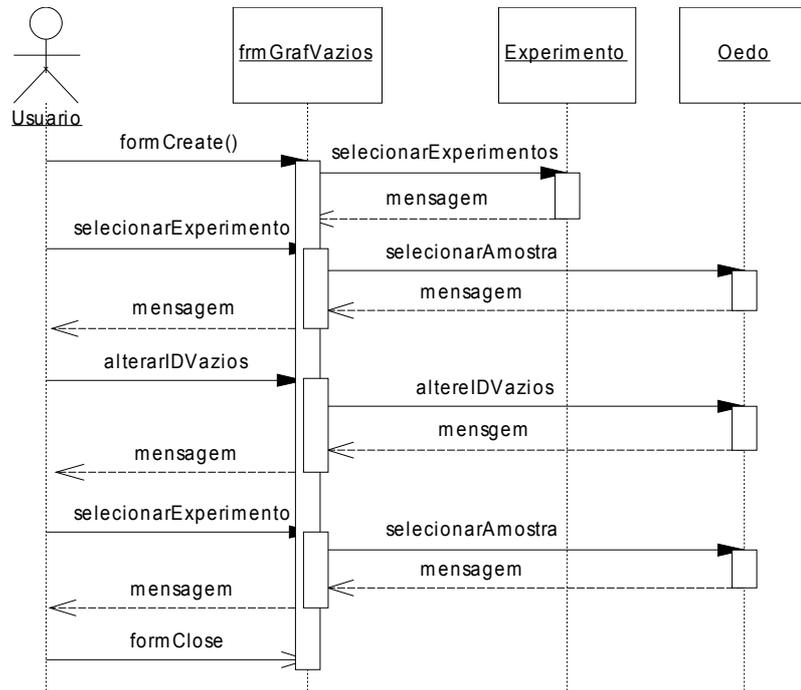
**Figura 67** - Diagrama de seqüência: construção das curvas.

- Determinar curva de compressão através da deformação



**Figura 68** - Diagrama de seqüência: curva deformação.

- Determinar curva de compressão através do índice de vazios



**Figura 69** - Diagrama de seqüência: curva vazios.