

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parcer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de mestrado defendida por Ângelo Vieira dos Reis e aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de dezembro de 1993. Campinas, 11 de fevereiro de 1994.

Claudio Bianor Sverzut
Presidente do Banco

ANÁLISE ESPECTRAL DAS FORÇAS NO SISTEMA DE ENGATE

DE TRÊS PONTOS DO TRATOR AGRÍCOLA

POR

ÂNGELO VIEIRA DOS REIS *278*

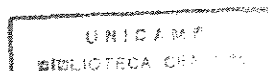
Orientador:

Prof. Dr. CLAUDIO BIANOR SVERZUT *t*

Dissertação apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola: Área de concentração: Máquinas Agrícolas.

Campinas - SP

Dezembro de 1993



Aos meus pais Hélió e Neusa que
tudo fizeram para que eu chegasse até
aqui, e à minha esposa Iolanda pelo
seu amor.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Claudio Bianor Sverzut, que sempre colaborou para tornar esta tarefa agradável e proveitosa.

Ao amigo e colega Pedro Henrique Weirich Neto que me abriu as portas desta Universidade.

Ao Prof. Nelson Luis Cappelli pelo constante apoio prestado ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luis Antônio Daniel pelas valiosas sugestões dadas no planejamento da amostragem do solo.

Ao Prof. Dr. Paulo R. G. Kurka pelo valoroso apoio prestado durante a fase de análise dos resultados.

Aos amigos Arcênio Sattler e Antônio Lilles T. Machado, e suas famílias pela acolhida em Campinas.

Ao colega e amigo Ednaldo C. Guimarães pela sua disponibilidade em discutir a parte estatística deste trabalho.

Ao colega Ruy Casão Júnior. pela participação fundamental durante os testes.

À funcionária Ana Paula Montagner que sempre esteve disponível para solução dos inevitáveis problemas administra-

tivos surgidos.

À amiga Márcia C. Valente e família pelo constante apoio e otimismo manifestado.

À Faculdade de Engenharia Agrícola pela facilidades materiais e de pessoal colocadas a disposição neste trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Máquinas Agrícolas pela constante boa vontade e eficiência na realização dos trabalhos necessários à esta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão das bolsas de estudo, sem as quais este estudo não teria se realizado.

À Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) pelo apoio prestado no início deste trabalho.

Ao Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA) da UNICAMP pela empréstimo da área onde foram realizados os testes.

Ao Centro de Tecnologia da Copersucar pelo empréstimo do trator sem o qual o experimento não se realizaria.

À Valmet do Brasil S.A. pela gentileza de transportar o trator até a área experimental.

À todas as pessoas e entidades que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1- Objetivo geral	4
2.2- Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1- Controle automático do sistema de engate de três pontos	5
3.1.1- Parâmetros de controle e estabilidade	7
3.2- Interação ferramenta-solo	9
3.2.1- Modelos matemáticos e outras considerações	9
3.2.2- Experimentos de campo	12

3.2.3- Aplicação a sistemas de controle	14
3.3- Análise de sinais	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1- Material	20
4.1.1- Trator	20
4.1.2- Escarificador	21
4.1.3- Dinamômetro de engate de três pontos (D3P)	22
4.1.4- Gravador de sinais	23
4.1.5- Chave digital	24
4.1.6- Conversor analógico/digital (A/D)	25
4.1.7- Penetrógrafo	25
4.1.8- Área experimental	25
4.2- Métodos	26
4.2.1- Descrição geral dos testes	26
4.2.2- Montagem do experimento	27
4.2.2.1- Tratamentos	27
4.2.2.2- Denominação dos tratamentos	28
4.2.2.3- Repetições	28
4.2.2.4- Orientação dos tratamentos	30
4.2.3- Calibração dos instrumentos	32
4.2.3.1- Módulo condicionador de sinais do D3P	32
4.2.3.2- Gravador de sinais	33
4.2.3.3- Penetrógrafo	33
4.2.4- Execução do experimento	34
4.2.4.1- Limpeza da área	34
4.2.4.2- Velocidade de deslocamento do conjunto trator-	

implemento	35
4.2.4.3- Seqüência de operações	36
4.2.5- Discretização dos sinais	36
4.2.6- Programa de controle do conversor A/D	38
4.2.7- Programa de análise	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1- Análises do solo	43
5.1.1- Índice de cone	43
5.1.2- Teor de água	45
5.1.3- Peso específico	46
5.2- Forças no D3P (dinamômetro de três pontos)	47
5.3- Velocidades observadas	48
5.4- Espectro de freqüência	49
5.4.1- Presença de harmônicos	51
5.4.2- Eliminação de ruídos mecânicos	57
5.4.3- Efeito da velocidade de operação	59
5.4.4- Influência do número de hastes	61
5.4.5- Efeito da posição dos transdutores	61
5.5- Análise e discussão do experimento	63
6. CONCLUSÕES	67
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
8. ANEXOS	71
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
10. APÊNDICE	89
11. ABSTRACT	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Forças típicas em sistema de controle de tração. (Fonte: ALDERSON (1984))	6
Figura 2- Representação bidimensional do plano de ruptura do solo. (Fonte: BOCCAFOGLI et al. (1992))	11
Figura 3- Trator, dinamômetro de três pontos, escarificador e suporte da instrumentação	21
Figura 4- Esquema simplificado do D3P com o posicionamento dos transdutores e sistema de eixos ...	23
Figura 5- Demarcação da área experimental e orientação dos tratamentos	31
Figura 6- Índice de cone a 30 cm de profundidade	44
Figura 7- Teor de água do solo a 15 cm de profundidade.	45
Figura 8- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três do tratamento um .	49
Figura 9- Espectro de frequência em T1 em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois	52

Figura 10- Espectro de freqüência em T2 em Hz, transdu- tor três e média aritmética entre os transdu- tores um e dois	53
Figura 11- Espectro de freqüência em T3 em Hz, transdu- tor três e média aritmética entre os transdu- tores um e dois	54
Figura 12- Espectro de freqüência em T4 em Hz, transdu- tor três e média aritmética entre os transdu- tores um e dois	55
Figura 13- Espectro de freqüência em T5 em Hz, transdu- tor três e média aritmética entre os transdu- tores um e dois	56
Figura 14- Espectro de freqüência em T6 em Hz, transdu- tor três e média aritmética entre os transdu- tores um e dois	57
Figura 15- Índice de cone a 5 cm de profundidade	77
Figura 16- Índice de cone a 10 cm de profundidade	78
Figura 17- Índice de cone a 15 cm de profundidade	78
Figura 18- Índice de cone a 20 cm de profundidade	79
Figura 19- Índice de cone a 25 cm de profundidade	79

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Velocidades médias de deslocamento do conjunto to	48
Tabela 2- Resumo das frequências (Hz) por transdutor e por tratamento descontados os ruídos	58
Tabela 3- Coeficientes de correlação (R) entre os transdutores um e dois, um e três, e dois e três nos tratamentos	62
Tabela 4- Análise granulométrica das amostras do solo. (Fonte: Espíndola (1991))	72
Tabela 5- Análise de variância do peso específico do solo	80
Tabela 6- Teste de Tuckey para as médias de peso espe- cífico do solo dos tratamentos	80
Tabela 7- Teste de Tuckey para as médias de peso espe- cífico do solo dos tratamentos a 0 cm de profundidade	81
Tabela 8- Teste de Tuckey para as médias de peso espe- cífico do solo dos tratamentos a 15 cm de	

profundidade	81
Tabela 9- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo dos tratamentos a 30 cm de profundidade	81
Tabela 10- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade	82
Tabela 11- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T1	82
Tabela 12- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T2	82
Tabela 13- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T3	83
Tabela 14- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T4	83
Tabela 15- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T5	83
Tabela 16- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T6	84

RESUMO

Foi montado um experimento a nível de campo com a finalidade de estudar as características dinâmicas das forças horizontais na direção do movimento do conjunto trator-implemento observadas no sistema de engate de três pontos do trator através de um dinamômetro de três pontos em operação de escarificação. Os testes foram conduzidos em latossolo roxo textura muito argilosa a duas velocidades (4 e 6 Km/h) e três configurações no escarificador (sem hastes - implemento suspenso - uma haste e três hastes), com as hastes a 30 cm de profundidade. Após discretizados, os sinais obtidos para cada tratamento foram submetidos a uma análise pela transformada de Fourier, com o objetivo de se conhecer o seu espectro de frequência e identificar as frequências geradas pela relação solo-ferramenta, trator e implemento. Concluiu-se, entre outras coisas, que o procedimento de análise empregado é adequado ao trabalho com dados provenientes do solo, e que é possível usar a análise espectral para acessar características quantitativas e qualitativas da força de reação do solo.

INTRODUÇÃO

O sistema de engate de três pontos com acionamento hidráulico é equipamento padrão nos tratores agrícolas de rodas comercializados no país; e pode ser considerado como um dos seus sistemas mais importantes, pois transmite aos implementos, na grande maioria dos casos, a potência necessária à execução das tarefas agrícolas.

Este sistema é responsável pelo acionamento dos movimentos de levantamento e abaixamento de implementos montados ou semi-montados, e também pelo controle destes no que se refere à profundidade operacional e, conseqüentemente, à força de tração exigida, a qual é diretamente proporcional à profundidade do órgão ativo do implemento. Desta forma, um sistema de controle destas permite que o conjunto trator-implemento possa trabalhar em uma situação racionalizada de dispêndio de energia, já que, neste sistema de controle, a tração exigida pelo implemento é mantida em um nível compatível com as especificações do trator. Como esclarece MORLING (1979), *com este sistema o trator pode tirar o máximo proveito da força do solo sobre o implemento e*

da força da gravidade sobre a massa deste para melhorar a tração.

DWYER (1969) afirma que o fator mais importante na determinação da performance dinâmica do trator é o funcionamento de seu sistema de controle de tração. Portanto a compreensão da teoria de funcionamento dos sistemas de controle automático de implementos indicam as razões de suas limitações e podem sugerir formas de melhorias e simplificações que os tornem mais eficientes, especialmente pela utilização de um sistema de controle baseado no processamento de dados.

Os sistemas digitais de controle permitem uma flexibilidade operacional maior em relação aos sistemas convencionais utilizados no sistema hidráulico de três pontos no que se refere a otimização de novos projetos; superação de problemas técnicos, como por exemplo, a instabilidade do sistema de controle; menor necessidade de interferência do operador nos controles e também, entre outros; a exploração de novos parâmetros de controle que de outra forma seriam inviáveis devido às características intrínsecas dos sistemas convencionais.

Todavia, quando se pensa na implantação de um sistema digital, deve-se considerar quais os parâmetros de controle do sistema que serão utilizados. Os sistemas mecânicos (e também os sistemas digitais de que se tem notícia) se utilizam da magnitude da força de tração observada para efetuar o controle do implemento. Como se pode ver, um parâmetro quantitativo, que não considera o comportamento do solo a medida que a ferramenta

avança.

Desta forma, para que se possa utilizar de toda a potencialidade de um processamento eletrônico de informações é desejável que se identifique na força de tração, ou em suas componentes, características que levem a uma otimização do sistema de controle. Tal identificação visa buscar qualidades neste sinal que permitam ao sistema de controle predizer, com alguma confiança, o estado futuro da força de tração a que o trator estará sujeito.

Vários estudos neste sentido já vem sendo feitos, no entanto quase todos em caixa ou canal de solo, com ferramentas simplificadas e, em geral, de tamanho reduzido. O presente trabalho pretende dar mais um passo à frente nesta área, tendo por objetivo estudar a nível de campo as forças horizontais na direção de deslocamento do trator geradas no sistema de engate três pontos em operações de escarificação com vistas ao desenvolvimento *a posteriori* de um sistema de controle digital de tração baseado no processamento digital em tempo real destas informações.

OBJETIVOS

2.1- Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi levantar dados a nível de campo utilizando um Dinamômetro de Três Pontos (D3P) em operação de escarificação, visando a análise do espectro de frequência dos sinais obtidos.

2.2- Objetivos específicos

- Obter e analisar o espectro de frequência dos sinais das forças, horizontais na direção do deslocamento, observadas através do D3P.

- Comparar o espectro de frequência destes sinais nos pontos de acoplamento inferiores e no ponto de acoplamento superior.

- Identificar no espectro de frequências a ruptura cíclica do solo à frente da ferramenta.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- Controle automático do sistema de engate de três pontos

Originalmente o sistema hidráulico dos tratores agrícolas era utilizado apenas para levantar implementos montados, facilitando as manobras e o transporte. Com o avanço da técnica, este sistema incorporou também as funções de controle de profundidade e de tração.

Para compreender adequadamente os princípios que regem o controle tanto da profundidade como o da tração é necessário que se conheça, mesmo que sinteticamente, como descrito a seguir por ALDERSON (1984), as forças que agem no sistema de engate de três pontos quando o arado se move apenas horizontalmente. No diagrama da Fig. 1, o autor apresenta as forças básicas que devem ser levadas em conta em um sistema de controle de tração. Segundo o autor, o peso (W) do implemento deve ser considerado, assim como os componentes horizontal (L_x) e vertical (L_y) da reação do solo no implemento. A força L_x é o carregamento de tração do implemento, mas pela soma dos momentos em torno de A , é fácil verificar que a força F_L medida

nos braços inferiores também é afetada pelo peso do implemento e pela carga vertical do solo.

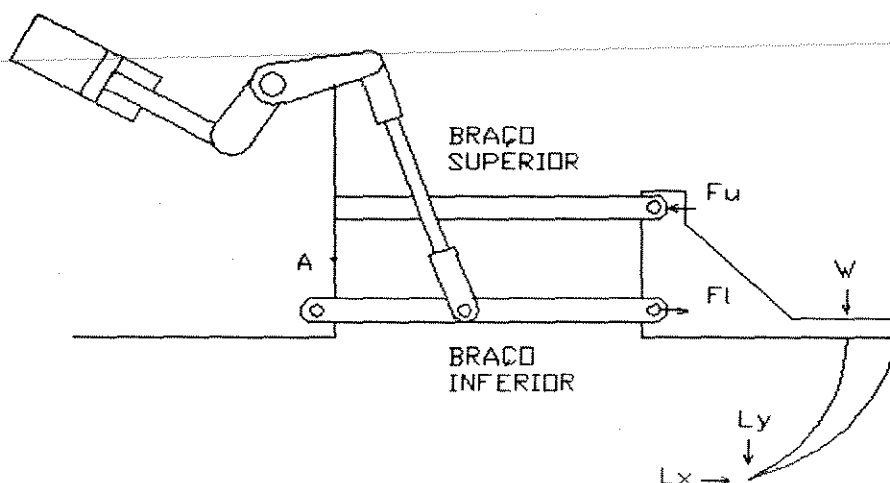


Figura 1- Forças típicas em sistema de controle de tração.

(Fonte: ALDERSON (1984)).

KEPNER et al. (1982) definem o controle automático de tração como: um sistema no qual a profundidade de trabalho do implemento é automaticamente ajustada para manter uma força de tração constante previamente selecionada. Em solos homogêneos, a força de tração é diretamente proporcional à profundidade de trabalho.

BERNACKI et al. (1972), apontam além da profundidade de trabalho, mais dois fatores que podem alterar a força de tração: a resistência específica do solo e a largura de corte do implemento.

O sistema de controle de tração típico apresenta dois ajustes, velocidade de reação, ou seja, o maior ou menor tempo

necessário para corrigir um desvio no valor da força de tração selecionada, e sensibilidade, que determina o valor do mencionado desvio. Vários autores (COWELL, LEN (1967); DWYER (1969); ALDERSON (1984)) mencionam a influência destes ajustes no desempenho do sistema no controle da profundidade de trabalho do implemento e da tração exigida no trator.

Na maioria dos sistemas de controle de tração existentes, os ajustes mencionados anteriormente são feitos pelo operador, de acordo com sua capacitação e experiência. Desta forma, a atuação do operador é decisiva. Levando em consideração as deficiências inerentes aos sistemas de controle mecânicos, que são ainda os mais utilizados, o desempenho do conjunto trator-implemento pode ser insatisfatório. Dwyer, Rogie (1971-72) *apud* ISMAIL et al. (1983), mostraram que mais da metade dos operadores observados ajustaram a alavanca de controle de tração durante o trabalho e que aproximadamente 40% destes ajustes foram feitos para prevenir uma possível parada do motor ou um patinamento excessivo.

3.1.1 - Parâmetros de controle e estabilidade

A componente vertical da força do solo - ver L_y na Fig. 1 - é um aspecto teórico bastante polêmico quando se analisa os sistemas de controle de implementos. Tendo os seus efeitos sido interpretados de maneira diversa pelos vários autores pesquisados (COWELL, LEN (1967); DWYER (1969)).

A razão desta polêmica reside no fato da força vertical

ser, ao mesmo tempo, em função da geometria do sistema de engate, um fator que aumenta a capacidade do sistema perceber as variações na profundidade de trabalho e na superfície do terreno; e ainda um fator a reduzir a resposta do sistema ao sinal de controle, pois tende a cancelá-lo tão logo o sistema comece a agir. Além disto, a força vertical colabora para uma redução na estabilidade do sistema.

HALE (1973) apresenta o conceito de estabilidade como se segue: considerando um sistema em equilíbrio ou em repouso, *primeiro deve-se excitar o sistema, deslocá-lo de sua posição de equilíbrio. Se o sistema eventualmente retorna por si próprio para a sua posição original de equilíbrio, diz-se que é estável; se não volta, diz-se que é instável.*

Colocando-se o assunto dentro da perspectiva da Engenharia Agrícola, com uma abordagem voltada exclusivamente para os sistemas de controle de tração, DWYER et al. (1974) definem **instabilidade** como sendo movimentos erráticos que ocorrem no implemento quando a taxa de levante é suficientemente grande para permitir que o parâmetro de controle (no caso força de tração e/ou força vertical) varie mais que a força mínima de sensibilização durante o tempo de retardo (*delay-time*), que é o tempo entre a recepção do sinal e o início do movimento do implemento. Neste período de tempo o sistema fica insensível à mudanças no valor do parâmetro de controle.

Segundo CROLLA, PEARSON (1975) a estabilidade é o principal fator a limitar a performance de um sistema de controle

de tração.

Tempos de resposta entre 0,02 e 0,12 s (CROLLA, PEARSON (1975); TANH, SINGH (1979)), e tempo total de correção de profundidade de 1,0 s (KHATTI, PLATE (1974)), foram observados em sistemas mecânicos de controle.

Os estudos sobre o sistema de engate de três pontos e o seu controle são muito numerosos e com enfoques diferenciados como se observa em REIS, SVERZUT (1992), onde o assunto é revisado em detalhes e abordados aspectos como: implicações da variação dos ajustes do sistema e dos parâmetros de controle, localização de sensores e o uso da eletrônica no sistema de controle.

3.2- Interação ferramenta-solo

3.2.1- Modelos matemáticos e outras considerações

A compreensão das relações entre o solo e as ferramentas utilizadas para modificar-lhe as características, são de grande importância no projeto destas mesmas ferramentas (geometria, resistência e durabilidade), na qualificação e quantificação das forças desenvolvidas, na predição de desempenho de veículos e avaliação do volume de solo mobilizado.

Como as características desta interação são de interesse tanto para equipamentos agrícolas como para os de movimentação de terra em obras civis, há muitos estudos no assunto, e conseqüentemente inúmeros modelos de representação desta interação.

MCKYES (1978) formula um modelo de predição da força de tração e da geometria dos planos de ruptura do solo (aplicável a solos de consistência variada), em função de diversos coeficientes de atrito lâmina-solo e de várias relações largura/profundidade de lâminas estreitas. Além destes parâmetros, os resultados são uma função das características mecânicas do solo. O modelo prevê uma ruptura tridimensional do solo. Segundo o autor, a distância de ruptura do solo à frente e ao lado da lâmina decrescem quando estas são mais estreitas.

Embora este modelo pareça ser adequado ao presente estudo, é interessante que se comente mais alguns aspectos sobre a representação da interação ferramenta-solo. DECHAO, YUSU (1992) afirmam que os modelos por eles analisados, embora adequados aos seus propósitos, não consideram os seguintes aspectos: (a) a influência da taxa de ruptura na tensão de ruptura do solo e atrito solo-metal; (b) há solos que não apresentam planos de ruptura definidos, mas ao contrário, escoam pela superfície da ferramenta; (c) como a existência de planos de ruptura é pré-requisito, se torna difícil estender a análise para ferramentas de formatos variados e; (d) os modelos são desenvolvidos para hastes ou lâminas, havendo na prática um intervalo entre 0,5 e 1,0 (para valores da relação profundidade/largura) não coberto pelos modelos.

BOCAFFOGLI *et al.* (1992) se utilizaram do modelo de McKeys (1985) para verificar o comportamento cíclico da força de ruptura do solo. Este modelo, é apresentado na sua forma

bidimensional na Fig. 2. Pode-se notar pela linha curva que há ruptura do solo exatamente à frente da extremidade inferior da lâmina. Na sua forma completa, tridimensional, a superfície de ruptura estende-se até as laterais da ferramenta.

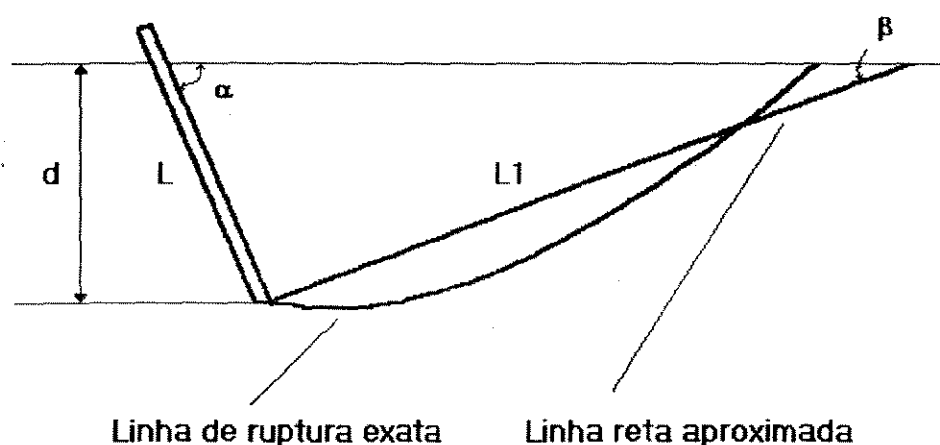


Figura 2- Representação bidimensional do plano de ruptura do solo. (Fonte: BOCCAFOGLI et al. (1992)).

Considerando o surgimento de planos de ruptura do solo à frente da ferramenta, como é constatado na validação dos modelos propostos, que este apresenta um comportamento visco-elástico, e levando em conta o deslocamento da ferramenta no solo, é de se supor que a resistência do solo à passagem desta varie no tempo. Portanto, a força que se opõem a este movimento deve ser de natureza também variável. Este fato é muito bem descrito por SALOKHE et al. (1989) para solos de textura

argilosa secos: ... as componentes horizontal e vertical da resistência do solo aumentam rapidamente, alcançando certos valores de pico. Na seqüência do movimento da haste, quando um determinado volume de solo entra em colapso à frente desta, ~~ambas as componentes da resistência do solo decrescem rapidamente de seus respectivos valores máximos para um conjunto de valores mínimos.~~ O processo recomeça tão logo a haste atinja uma nova porção de solo não movimentado.

Os pesquisadores deste assunto chegaram a outras conclusões referentes ao comportamento da força de tração, são elas: a força de tração aumenta numa função polinomial com a velocidade de corte, aumentando exponencialmente com a profundidade (DECHAO, YUSU (1992)); a tração aumenta linearmente com a velocidade e ao quadrado com a profundidade de trabalho (SINGH et al. (1991)). Estes últimos também concluíram que a profundidade não causou diferenças significativas na freqüência de ruptura do solo. Pelo modelo de MCKYES (1978) a distância entre o plano de ruptura e lâmina diminui com o decréscimo da largura desta, o que faz crer que as freqüências de ruptura variem para diferentes tipos de implementos.

Pela análise dos resultados obtidos por SALOKHE et al. (1989) há evidências de que, para um mesmo solo, a umidade influencia, tanto a amplitude como em período, o comportamento cíclico da resistência do solo.

3.2.2- Experimentos de campo

Até a presente data, a grande maioria dos estudos realizados para avaliar o comportamento dinâmico do solo quando submetido a diferentes tipos de operações, tiveram as suas partes experimentais conduzidas sob condições controladas, ou seja, em caixas ou canais de solo. Na bibliografia disponível foram encontrados alguns poucos que se ocuparam de experimentos de campo com o uso do conjunto trator-implemento.

SINGH *et al.* (1991) realizaram um experimento em solo de textura muito argilosa com um arado de aivecas montado para avaliar o efeito da variação cíclica da força de tração no sistema automático de controle de tração do trator. Uma das conclusões do estudo foi de que a ruptura do solo atingia $1 \pm 0,2$ metros à frente da aiveca nas faixas de velocidade e profundidade avaliadas. O sistema de controle de tração do trator utilizado respondeu apenas às variações de baixa frequência na força de tração. Segundo os autores, isto se deveu ao fato de que as amplitudes das variações nas frequências mais altas eram menores que a sensibilidade mínima do sensor usado (1,39 kN).

GEBRESENBET (1992) realizou um trabalho com um arado de aiveca de arrasto para validar um modelo de comportamento dinâmico do sistema arado-pneu-solo¹. Segundo o autor as forças de reação do solo atuando no arado agem como um amortecedor das vibrações observadas no trator. Foram caracterizadas as forças verticais ocorridas no arado (frequências ressonantes), mas

¹- pneu do arado.

como a ruptura cíclica do solo foi interpretada como uma interferência indesejável, o experimento foi conduzido em solos soltos previamente desagregados, denotando a preocupação do autor com este fato em experimentos a nível de campo.

3.2.3- Aplicação a sistemas de controle

Como foi visto anteriormente o sistema de controle de implementos do trator, ainda que seja, inegavelmente, um sistema eficiente na conservação de energia, apresenta problemas de difícil solução, decorrentes da sua incapacidade de avaliar as características mecânicas do solo em que está atuando. Em resumo, o sistema hidráulico do trator controla a força de tração e não o padrão de ruptura do solo pela ferramenta e o modo que este é afetado por fatores como teor de água e resistência específica do solo, velocidade de deslocamento e geometria da ferramenta.

Percebe-se que a força média de tração não é suficiente para caracterizar as propriedades dinâmicas do solo. Assim, dois tipos de solo com a mesma força média de tração podem se comportar de maneiras diferentes relativamente ao tipo de ruptura no momento da atuação da ferramenta.

Uma tendência nesta área de controles é associar à otimização do uso de energia, a qualidade do serviço executado no solo (condições ideais para o desenvolvimento vegetal e conservação de solo).

STAFFORD, YOUNG (1986) citam três razões que aconselham o

uso do controle e monitoramento pelo padrão de ruptura do solo, são elas: (a) o controle dinâmico da velocidade, profundidade e/ou geometria do implemento podem garantir a predominância de padrões de ruptura desejáveis; (b) pode minimizar os danos ao solo ao se trabalhar com teores altos de água, sem necessidade de esperar que estes teores diminuam e; (c) o sistema acompanharia as variações do teor de água e compactação do solo ao longo do terreno automaticamente. Este tipo de controle necessita de um sinal indicador do estado atual de ruptura do solo. Os autores concluíram que uma análise espectral da força de tração pode indicar o tipo de ruptura que esta ocorrendo no solo.

YOUNG *et al.* (1988) desenvolveram um procedimento para a caracterização física do solo usando modelos de autoregressão da força de tração da ferramenta de trabalho. Os resultados obtidos confirmaram a utilidade do método e indicaram a sua aplicabilidade a sistemas de controle de implementos.

Mais recentemente, BOCCAFOGLI *et al.* (1991) investigaram o uso da frequência de ruptura do solo como um parâmetro de controle automático de implementos, concluindo, entre outras coisas, que embora isto seja possível, ainda é necessário muitos estudos em alguns aspectos relevantes do problema como: (a) detecção automática da frequência de ruptura do solo; (b) avaliação automática de parâmetros de solo relevantes à função de controle; (c) determinação da função a ser otimizada durante a operação e; (d) a estratégia de controle a ser aplicada e sua

implementação prática.

3.3- Análise de sinais

Além dos trabalhos já comentados, YOUNG *et al.* (1988) citam vários pesquisadores que constataram variações cíclicas na força de tração induzida pelo solo em ferramentas de preparo.

Segundo STAFFORD, YOUNG (1986) é possível avaliar a periodicidade do sinal da força de tração de implementos que atuem no solo através da aplicação de uma Análise de Fourier, identificando componentes de frequência significativos.

A análise do sinal pode ser feita seguindo dois caminhos que oferecem resultados de certa forma semelhantes: calculando-se a Função de Densidade Espectral (PSD - do inglês *Power Spectral Density function*), ou então, calculando-se a Função de Autocorrelação do sinal. De acordo com BENDAT, PIERSOL (1971 e 1980) o PSD mostra como a variância de um processo seqüencial se distribui na frequência, ou ainda, mostra a taxa de variação do valor médio quadrado com a frequência. A Função de Autocorrelação pode ser interpretada como uma medida de quão bem os valores futuros dos dados podem ser estimados baseados em observações passadas, ou ainda, descreve a dependência geral dos valores dos dados em um tempo com valores em outro tempo. Os autores observam que enquanto esta última está historicamente ligada a matemáticos e estatísticos, o PSD foi desenvolvido mais diretamente como uma ferramenta de engenharia.

No que se refere à qualidade dos dados a serem estudados, LICSKO, HARRISON (1988) afirmam que *numa análise espectral das reações em operações com solo, cada força é considerada como sendo função não-determinística ou aleatória da variável independente tempo*. Tal afirmação é corroborada pelos demais autores consultados (STAFFORD, YOUNG (1986); YOUNG et al. (1988)). No entanto, os autores citados, com exceção dos primeiros, também afirmam esperar uma variação cíclica na força de tração devido à ruptura do solo à frente da ferramenta, o que parece ser paradoxal, pois assim os dados não seriam mais aleatórios. A questão fica mais clara quando se considera que nem todos os solos (em função de sua classificação, teor de água, peso específico e textura) apresentam planos de ruptura bem definidos, fazendo com que a força de tração seja de fato uma função aleatória da variável tempo.

Tal diferenciação se faz necessária para que se possa decidir sobre o tipo de análise a ser empregada: PSD ou FFT². Se os dados são considerados aleatórios o uso do PSD é mais indicado, enquanto que para dados com algum conteúdo determinístico (cíclico) uma análise apenas pela FFT evita que seja dada muita ênfase à parte não-determinística presente no sinal.

Os autores apresentados consideraram ainda os dados provenientes da reação do solo à passagem de uma ferramenta como sendo estacionários, ou seja, dado um conjunto de obser-

²- Do inglês *Fast Fourier Transform*, transformada rápida de Fourier.

vações os valores médios (média aritmética, média geométrica e autocorrelação) calculados sobre este conjunto de dados num determinado ponto no tempo não se alteram se for usado outro tempo qualquer para o cálculo (BENDAT, PIERSOL (1980)). Ou ainda, como define MARPLE (1987), *as estatísticas devem ser independentes da origem temporal selecionada.*

Um caso especial acontece quando os parâmetros citados, por não apresentarem variação, são calculados ao longo de uma mesma observação pertencente ao conjunto de observações (BENDAT, PIERSOL (1980)). Este fato, quando ocorre, facilita os procedimentos de cálculo para a análise espectral, pois a partir de apenas um conjunto de dados já é possível realizar a análise espectral. Outra facilidade resulta do fato de que as ferramentas matemáticas utilizadas para uma análise de dados estacionários são relativamente simples e disponíveis para o uso.

Segundo MARPLE (1987), em quase todos os casos práticos, os processos que são estacionários são também ergóticos, ou seja, cumprem os requisitos anteriormente citados. Os autores apresentam as condições matemáticas necessárias para que este caso especial se concretize para um determinado fenômeno.

Os cuidados que se deve tomar ao se fazer uma análise espectral confiável de um fenômeno em particular - neste caso, interações ferramenta-solo - levou LICSKO, HARRISON (1988) a dedicarem a maior parte deste seu trabalho ao desenvolvimento de uma metodologia de aquisição e análise de dados. O trabalho

destes autores aborda com profundidade os problemas relativos à taxa de aquisição adequada para experimentos com solo e fenômenos concernentes à própria análise, como o *aliasing*³, largura de faixa, remoção de média, *bias*, *janelamento* e outros.

OTNES, ENOCHSON (1978) dedicam um capítulo inteiro de seu livro na abordagem de problemas relativos a aquisição e pré-processamento de sinais destinados à análise espectral.

Adicionalmente, NEWLAND (1984) propõe uma seqüência de passos detalhada que devem ser seguida para obtenção da PSD pela análise digital de dados. As considerações vão desde a escolha da faixa de freqüência de interesse até ao *janelamento* no cálculo dos estimadores espectrais médios das faixas adjacentes de dados.

A identificação e quantificação dos erros inerentes a este tipo de estudo são discutidos por BENDAT, PIERSOL (1980).

³- Termo da língua inglesa para o qual, nesta aplicação, não foi encontrada uma tradução satisfatória. O problema é abordado com mais detalhes no sub-ítem 4.2.5.

MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Material

A seguir são apresentados os equipamentos e demais materiais utilizados na execução do experimento. Antecede cada caracterização um breve comentário sobre a utilização do material em questão.

4.1.1- Trator

Foi usado como fonte de potência para tracionar o arado escarificador e também como suporte para a instrumentação de medição e gravação de sinais (ver Fig. 3).

O trator utilizado tem potência de no mínimo o dobro necessário para realizar as tarefas do experimento, apresentando as seguintes características principais:

- marca e modelo: VALMET⁴ 138-4;
- potência no motor: 103 kW a 2300 rpm (SAE);
- peso aproximado durante o experimento: 8.135 kgf.

⁴- As marcas comerciais citadas no presente trabalho não implicam em recomendação das mesmas pelo autor.

- peso aproximado sobre o eixo dianteiro: 3.495 kgf.
 - peso aproximado sobre o eixo traseiro: 4.640 kgf.
 - rodado traseiro: 18.4 - 34 R1;
 - rodado dianteiro: 14.9 - 26 R1;
-
- sistema de engate de três pontos: categoria II;
 - sistema de tração: traseira com tração dianteira auxiliar.

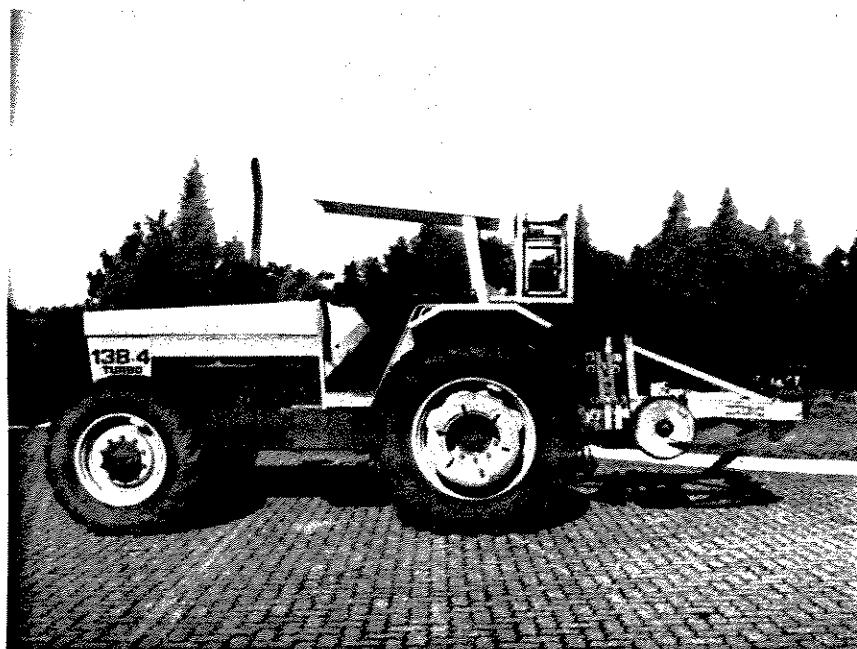


Figura 3- Trator, dinamômetro de três pontos, escarificador e suporte da instrumentação.

4.1.2- Escarificador

Foi o implemento utilizado para gerar as forças, no sistema de engate de três pontos, objeto do presente estudo. Na

verdade, este implemento é um subsolador de hastes rígidas com espaçamento regulável, que no entanto, devido a utilização que lhe foi dada, atuou como um escarificador. Apresenta as seguintes características:

-
- marca e modelo: MARCHESAM, SUPER TATÚ;
 - nº total de hastes: cinco;
 - tipo de haste: rígida inclinada;
 - tipo de engate: por três pontos (montado);
 - controle de profundidade: duas rodas de superfície reguláveis.

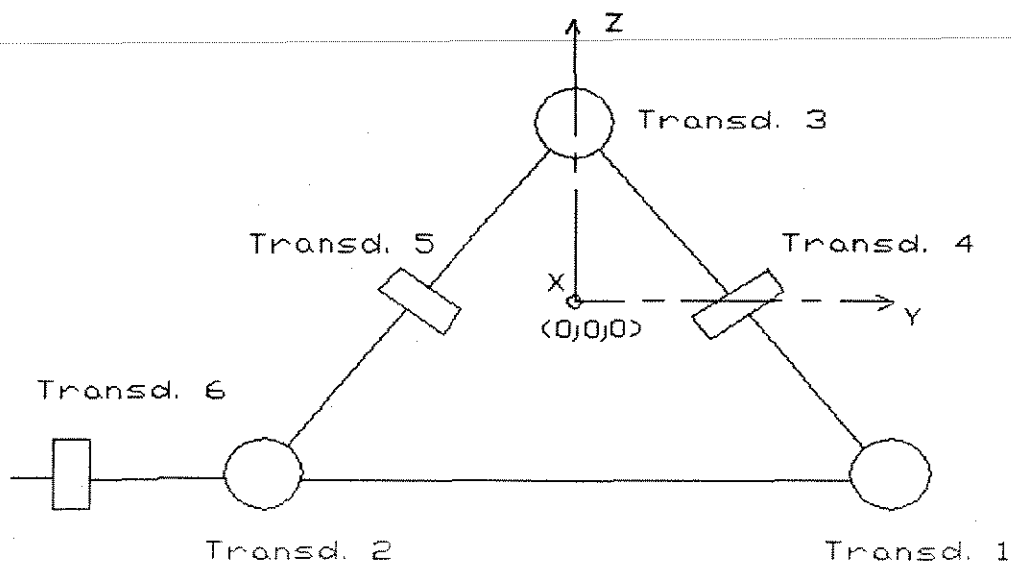
Foi adicionado um ponto de engate no terceiro ponto para adequá-lo às normas da ABNT (1984) e conseqüentemente poder acoplá-lo ao D3P.

4.1.3- Dinamômetro de engate de três pontos (D3P)

Equipamento responsável pelas medições das três forças e dos três momentos presentes no sistema de engate do trator. Projetado e construído no Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI.

O D3P é basicamente composto por uma estrutura com transdutores de força interposta entre o implemento e o trator e um módulo condicionador de sinais. Pode-se observar o conjunto montado na Fig. 3. Um esquema simplificado com o posicionamento dos transdutores de força é mostrado na Fig. 4. Equipamento semelhante foi utilizado por FERRETTI (1992). O princípio de funcionamento e o procedimento para cálculo das

forças e dos momentos é descrito no MANUAL DE OPERAÇÃO DO D3P (1992).



VISTA LATERAL

Figura 4- Esquema simplificado do D3P com o posicionamento dos transdutores e sistema de eixos.

4.1.4- Gravador de sinais

Foi utilizado um gravador de fita magnética para registrar os sinais dos transdutores de força do D3P e da chave digital descrita no sub-ítem 4.1.5. Características principais do gravador:

- marca e modelo: KYOWA 510 B;
- n° de canais: 7 (6 para sinais e 1 para voz);
- tipo de fita: K-7 "bias normal" para audio;

- velocidade de fita utilizada: 9,52 cm/s;
 - nível de entrada empregado: 0 a 2 V;
 - possibilidade de ajuste independente do nível de entrada e do ganho de reprodução.
-

Uma fonte com entrada 12 VCC e saída 110 VCA foi necessária para alimentação do gravador. Esta fonte foi conectada à bateria do trator.

4.1.5- Chave digital

Como é de suma importância que os dados dos diferentes transdutores estejam sincronizados, foi necessário gravar um sétimo sinal, pois o conversor analógico/digital empregado (ver sub-ítem 4.1.6) não tinha capacidade de *digitalizar* os dados dos seis transdutores ao mesmo tempo.

Sendo o número de transdutores do D3P e o número de canais do gravador de sinais iguais, se tornou necessário a construção de uma chave digital com duas funções distintas: (a) gerar um sinal TTL compatível como o requerido pelo conversor analógico/digital para iniciar a conversão dos dados e; (b) chavear a passagem, ao gravador, do sinal de sincronismo citado e dos sinais de um dos transdutores do D3P.

Características da chave:

- alimentação: 12 V CC;
- sinal gerado: 5 V com queda para 0 V sem oscilações;
- tempo de retardo aproximado entre a geração do pulso e o chaveamento para sinal do transdutor: 1 s.

4.1.6- Conversor analógico/digital (A/D)

Esta placa A/D foi montada num microcomputador PC-AT 386 DX, e através de um programa adequado transformou os dados analógicos registrados em fita magnética em dados digitais para serem manipulados num microcomputador. Foi utilizada uma placa com as seguintes características:

- marca e modelo: DATA TRANSLATION, DT 2805;
- resolução: 12 bits;
- 8 canais com entrada diferencial ou;
- 16 canais com entrada simples;
- tipo de conversão: aproximações sucessivas;
- tempo de conversão: 25 μ s por ponto;
- precisão: ± 1 bit;

4.1.7- Penetrógrafo

Foi utilizado um penetrógrafo da marca SOILCONTROL modelo SC-60 para avaliar o Índice de Cone (IC) da área de testes em várias profundidades, assim como também a profundidade de trabalho da ferramenta. Foi empregado o cone normalizado tipo B conforme ASAE S313.2 (1991).

4.1.8- Área experimental

O experimento foi realizado na sub-parcela "E" do campo de testes do CPQBA (Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas) da UNICAMP no município de Campinas, SP (22° 52' latitude sul e 47° 05 longitude oeste).

Foi ocupada uma área total de 5.600 m² (80 x 70 m) num tipo de solo classificado por ESPÍNDOLA (1992) como *Latossolo Roxo textura muito argilosa*. Consultar o Anexo 1 para mais detalhes do tipo de solo.

A sub-parcela "E" vem sendo utilizada para a implantação de culturas anuais sistematicamente. No último ano foi plantada crotalária (*Crotalaria juncea*) como adubação verde. A cultura foi roçada aproximadamente 40 dias antes da realização do experimento.

4.2- Métodos

4.2.1- Descrição geral dos testes

Antes que se inicie a exposição da metodologia empregada neste experimento, é interessante que se faça um breve resumo, tendo sempre em mente os objetivos já enunciados.

Posicionado entre o trator e o escarificador, o D3P envia os sinais elétricos das componentes das forças observadas ao seu módulo condicionador de sinais e daí para o gravador, que também encontra-se instalado no trator numa estrutura porta instrumentos adequada (ver Fig. 3).

Os testes foram feitos com o escarificador trabalhando a uma profundidade média de 30 cm e a duas velocidades de deslocamento distintas.

O escarificador foi acoplado ao trator, através do D3P, pelo sistema de engate de três pontos. No entanto o sistema automático de controle de reação do trator foi bloqueado, pois

a correção da tração pelo deslocamento vertical do implemento não permitiria a manutenção da correta profundidade de trabalho e alteraria ciclicamente a força de tração a que o trator estaria sujeito. Com isto, estaria-se analisando o espectro de frequência do sistema automático de controle de tração e não aquele induzido pelo solo como é desejado.

A aquisição dos dados de força no D3P foi realizada no dia 17 de junho de 1993.

4.2.2- Montagem do experimento

4.2.2.1- Tratamentos

Os tratamentos analisados são em número de seis, compostos da combinação de dois fatores no conjunto trator-implemento:

- velocidade de deslocamento;
- número de hastes no escarificador.

Cada um dos fatores acima foi variado em dois níveis distintos, definidos em função do conjunto trator-implemento disponível para a realização dos testes, sendo:

- uma ou três hastes;
- quatro ou seis km/h.

Esta combinação forma os quatro tratamentos principais do experimento. Para que fosse facilitada a identificação de ruídos no espectro de frequência quando da análise dos resultados, optou-se pela realização de dois tratamentos extras, com o conjunto trator-implemento trafegando nas parcelas nas duas

velocidades escolhidas sem mobilizar o solo, conforme o proposto por LICSKO, HARRISON (1988). Forma-se, assim, os seis tratamentos do trabalho.

A área experimental foi subdividida em seis parcelas de 48 metros de comprimento por oito metros de largura cada uma.

A profundidade de trabalho, nos tratamentos com mobilização de solo, foi ajustada nas rodas de profundidade do escarificador para ser de 30 centímetros.

O espaçamento lateral entre as hastes foi ajustado para ser uma vez e meia maior que a profundidade de trabalho, sendo portanto de 45 centímetros.

As variáveis de resposta de cada tratamento serão as forças observadas no ponto de engate superior e nos pontos de engate inferiores.

4.2.2.2- Denominação dos tratamentos

- T1** (tratamento um): uma haste, quatro km/h.
- T2** (tratamento dois): uma haste, seis km/h.
- T3** (tratamento três): três hastes, quatro km/h.
- T4** (tratamento quatro): três hastes, seis km/h.
- T5** (tratamento cinco): zero hastes, quatro km/h.
- T6** (tratamento seis): zero hastes, seis km/h.

4.2.2.3- Repetições

Como o método de análise que esta sendo proposto (análise espectral) não esta baseado numa simples comparação entre as

variáveis de resposta de cada tratamento, a necessidade de se fazer repetições tem a sua importância diminuída.

Neste caso, o tamanho do conjunto de dados (ou tempo total de aquisição - T) de cada tratamento é um fator mais importante a determinar a confiabilidade da análise a ser feita, pois vai indicar, mesmo que de maneira indireta, a largura de faixa do espectro (B_e) ou resolução espectral, o tamanho de cada sub-conjunto de dados de análise (N) assim como o número de conjuntos n_d de tamanho N que serão necessários para que os resultados tenham significância.

BENDAT, PIERSOL (1980) propõem uma expressão como guia para a estimativa do erro aleatório (ϵ) a que se está sujeito no cômputo do espectro de frequência:

$$\epsilon = \frac{1}{\sqrt{n_d}} \quad (1)$$

onde: ϵ - erro aleatório;

n_d - n.º. de sub-conjuntos analisados.

É fácil observar que quanto maior for n_d , ou seja, quanto mais sub-conjuntos de dados se utiliza, menor será o erro. Os autores salientam que esta expressão não deve ser usada para obtenção de valores conclusivos do erro aleatório cometido, devendo servir apenas como um indicativo deste. Resultando que os tratamentos não apresentam repetições em outras parcelas, ficando a estabilidade estatística das variáveis de resposta a

cargo do grande comprimento das parcelas, e do conseqüente tempo de ensaio.

A análise espectral das variáveis de resposta para cada tratamento fornece curvas como resultado. É inevitável que se faça comparações entre elas, especialmente para verificar se as freqüências com maior densidade de força são semelhantes nos seis tratamentos. Assim, com a finalidade de manter homogêneas as condições de ensaio, tanto ao longo de cada parcela como entre elas, os tratamentos são orientados dentro da área experimental de forma conhecida, não aleatória.

4.2.2.4- Orientação dos tratamentos

Para orientar os tratamentos dentro da área experimental foram feitas uma série de determinações prévias (IC e textura) de forma a mostrar as direções das variações no solo que possam afetar as forças induzidas no implemento. Escolhida a direção do deslocamento do conjunto trator-implemento, foi feito um sorteio da ordem de execução dos tratamentos, para garantir a aleatoriedade dos ensaios.

A área experimental foi demarcada com piquetas numeradas e distanciadas entre si de oito metros, em uma malha quadrada de 49 pontos, totalizando 2.304 m² (48 x 48 m). Um esquema desta demarcação, juntamente com a localização dos tratamentos é apresentado na Fig. 5.

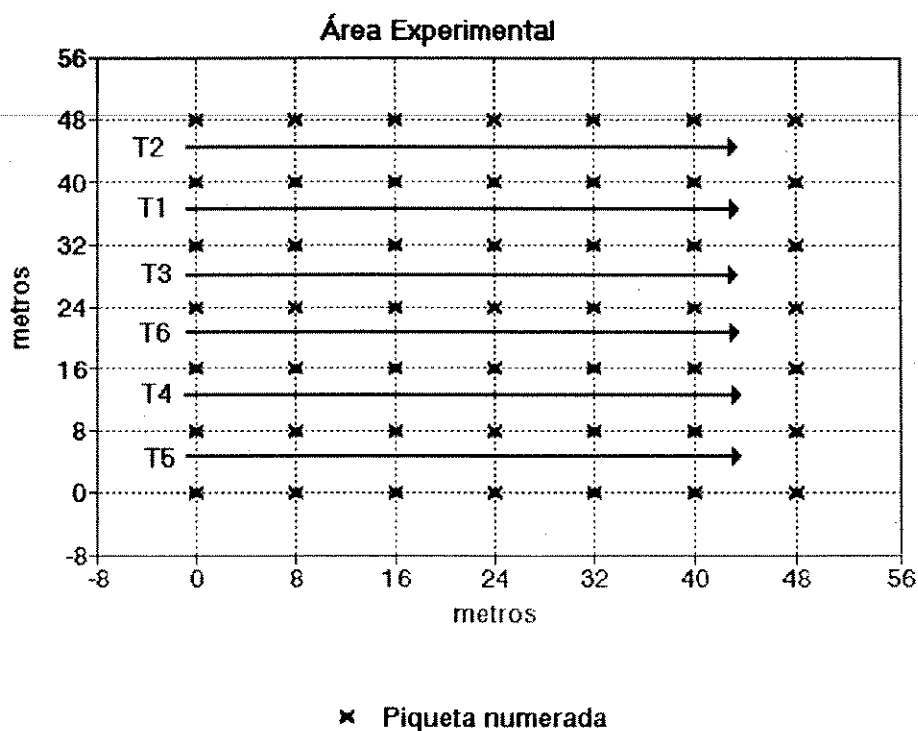


Figura 5- Demarcação da área experimental e orientação dos tratamentos.

Dentro desta área demarcada foram tirados dados de IC numa malha quadrada com quatro metros de lado, a uma profundidade de até 30 cm. Acompanhando esta determinação, no mesmo dia, junto a cada piqueta, foram tiradas com trado amostras de solo a 15 cm de profundidade, com o objetivo de determinar o teor de água. Não trata-se de um procedimento de cunho geoestatístico, pois se assim o fosse a distância entre amostras deveria ser bem menor, inviabilizando a aquisição dos dados com

o equipamento disponível para a área em questão. SILVA *et al.* (1989) estudando a variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo vermelho-escuro na região de Campinas, SP, constaram haver dependência entre as amostras para distâncias entre 55 e 100 cm. MANOR *et al.* (1991) em seu estudo de variabilidade espacial do IC concluíram que esta é bastante alta e que se deve principalmente às práticas de preparo do solo e ao tráfego de máquinas.

Após a escolha da direção dos testes, ao longo de cada parcela foram retiradas amostras de solo para determinação do peso específico do solo, com a finalidade de confirmar os dados já obtidos através do penetrógrafo. Para amostragem do solo foi utilizado um anel volumétrico de aço com diâmetro e altura igual a 50 milímetros. As amostras foram colhidas em cinco pontos igualmente espaçados (9,6 m) na diagonal de cada parcela, em três profundidades (0 a 50 mm; 125 a 175 mm e 250 a 300 mm).

4.2.3- Calibração dos instrumentos

4.2.3.1- Módulo condicionador de sinais do D3P

Antes que o escarificador fosse acoplado ao D3P, e após a estabilização térmica do circuito eletrônico e com os braços do sistema hidráulico na posição correspondente à profundidade operacional escolhida, cada um dos seis transdutores de força do dinamômetro foi zerado, e teve o seu ganho (constante de calibração) ajustado.

4.2.3.2- Gravador de sinais

O gravador utilizado permite o ajuste de zero e de nível de entrada (gravação), e de zero e ganho de saída (reprodução). Este aparelho dispõe ainda de um sinal de calibração interno, que foi ajustado para dois volts para que se fizesse um ajuste inicial do nível de entrada e do ganho de saída. Após este procedimento, usou-se o próprio sinal das constantes de calibração dos transdutores do dinamômetro para um ajuste fino do nível de gravação.

Durante o experimento, foi empregada uma fita magnética para cada tratamento. No início de cada uma delas foram gravados os sinais de calibração dos transdutores do D3P, para que no momento da digitalização dos dados o ganho de saída fosse adequadamente ajustado.

4.2.3.3- Penetrógrafo

Não é costumeiro que se faça uma calibração deste tipo de instrumento. No entanto, observou-se que a escala de força no ábaco de registro fornecido com o penetrógrafo não é linear, logarítmica ou outra que se pudesse identificar. Então, para maior confiabilidade nos dados obtidos, decidiu-se efetuar a calibração deste instrumento.

A calibração do penetrógrafo consistiu da aplicação de cargas conhecidas (através de uma prensa de deslocamento variável OTAWA do Laboratório de Propriedades Mecânicas de Materiais Biológicos da FEAGRI) sobre o elemento sensor do

penetrógrafo (constituído por um conjunto de molas helicoidais) e anotar as deformações ocorridas.

Deste procedimento resultou a equação de calibração abaixo, que foi obtida através de uma regressão linear dos dados de calibração, cujo coeficiente de determinação $R^2 = 0,9964$:

$$FP = -1,2323 + 2,3795 \times d \quad (2)$$

onde: **d** - deformação [mm];

FP - força aplicada [kgf].

Com este procedimento, os dados registrados nos ábacos eram a variação da deformação da mola com a profundidade. Com o uso da eq. (2) e da área da base do cone utilizado, obteve-se o IC em kgf/cm^2 .

4.2.4- Execução do experimento

4.2.4.1- Limpeza da área

Um dia antes da realização dos testes, a área foi limpa com o uso de uma roçadora. Esta limpeza se deu apenas na linha central de cada parcela, onde o conjunto trator-implemento iria trafegar.

No dia do experimento, a palha que se encontrava solta sobre o solo em cada parcela foi retirada manualmente a fim de evitar o seu acúmulo à frente das hastes do escarificador e introduzir erros não controlados no experimento. Não obs-

tante, nos tratamentos três e quatro (ambos com três hastes), notou-se um acúmulo de material nas hastes do implemento, resultado da palha da cultura anterior que ainda se encontrava presente fixada junto ao solo.

4.2.4.2- Velocidade de deslocamento do conjunto trator-implemento

Em todos os tratamentos o motor do trator foi operado a 1.800 rpm (rotação sem carga). Para obtenção da velocidade de quatro km/h foi engrenada a marcha **L3** (3ª baixa), e para a velocidade de seis km/h foi usada a marcha **M2** (2ª média). Também em todos os tratamentos o trator foi operado com a tração dianteira auxiliar ligada, para garantir a uniformidade da velocidade de deslocamento durante os tratamentos.

Os tratamentos foram cronometrados para que se pudesse conhecer a velocidade média real de operação do implemento. Este dado permitirá que, após a análise dos dados, as frequências resultantes em Hz (ciclos por segundo) possam ser transformadas em cpm (ciclos por metro) da seguinte forma:

$$\frac{\frac{\text{ciclos}}{\text{segundo}}}{\frac{\text{metro}}{\text{segundo}}} = \frac{\text{ciclos}}{\text{metro}} \quad (3)$$

Este artifício tornará possível a comparação das frequências obtidas em cada tratamento.

4.2.4.3- Seqüência de operações

Em cada um dos tratamentos, com o trator já posicionado aproximadamente dez metros antes do início da parcela e com o implemento totalmente abaixado (livre), a seguinte seqüência de operações era observada:

- (a) colocar a fita K-7, previamente idendificada com o número do tratamento, no gravador;
- (b) acionar os botões *PAUSE*, *DRIVE* e *RECORD* (simultaneamente) no gravador;
- (c) elevar a rotação do motor do trator à 1.800 rpm e engrenar a marcha pré-selecionada;
- (d) colocar o trator em movimento, com a conseqüente penetração das hastes do implemento no solo (em **T5** e **T6** o implemento permaneceu suspenso);
- (e) liberar a tecla "PAUSE" do gravador de sinais;
- (f) acionar a chave digital conjuntamente com o cronômetro quando da passagem do D3P pela linha de balizas que indicavam o início da parcela;
- (g) parar o cronômetro;
- (h) suspender o implemento quando da passagem do D3P pela linha de balizas que indicavam o final da parcela e;
- (i) conduzir o conjunto trator-implemento, por fora da área experimental, para a parcela do próximo tratamento.

4.2.5- Discretização dos sinais

Antes que se iniciasse a conversão dos dados, foi

necessário a determinação de alguns parâmetros de aquisição de dados. Os passos seguintes serão um apanhado daqueles sugeridos por BENDAT, PIERSOL (1980), NEWLAND (1984) e LICSKO, HARRISON (1988).

A primeira, e talvez mais importante, etapa é a determinação das freqüências principais que devem ocorrer no sinal. Como se sabe, uma das causas mais relevantes da geração cíclica dos sinais de força é a existência de planos de fratura do solo à frente da ferramenta. STAFFORD (1986) e LICSKO, HARRISON (1988) são unânimes ao afirmar que os planos de fratura se geram a taxas de até 20 cpm (ciclos por metro), considerando-se as velocidades médias utilizadas de 1,11 m/s (4 km/h) e de 1,67 m/s (6 km/h) tem-se então freqüências máximas entre 22 e 33,3 Hz. Deve-se considerar no entanto que o escarificador trabalhou também com três hastes, o que pode gerar freqüências de até 100 Hz, pois as três hastes podem estar vibrando fora de fase. Então, este é o valor que o processo de análise deverá ter capacidade de identificar.

Pelo Teorema de Nyquist, a taxa de aquisição deve ser no mínimo duas vezes superior à freqüência que se quer avaliar. Assim o Δt (intervalo de tempo entre duas aquisições sucessivas) deve ser de 0,005 s (200 Hz). Este valor foi utilizado em outros estudos semelhantes (BOCCAFOGLI et al. (1992); PALMER, GLASBEY (1990)).

Como a duração dos tratamentos variou entre 26,02 e 51,72 s, e a taxa de aquisição foi fixada em 200 Hz (200 dados por

segundo) o tamanho das amostras teoricamente deveria ficar entre 5.200 e 10.344 dados, no entanto, por questões de memória no momento da *digitalização* o tamanho das amostras variou de 5.200 a 8.000 dados. Estes valores são importantes, pois a razão entre **T** e **N** (tamanho das sub-amostras) deve ser maior possível ($T/N \geq 15$ é sugerido por LICSKO, HARRISON (1988)) para que os resultados da análise tenham estabilidade estatística.

Um ponto que mereceu especial atenção durante esta etapa de discretização dos sinais foi o fenômeno conhecido por *aliasing* que, simplifadamente, consiste do aparecimento no espectro de freqüências expúrias devido a baixas taxas de *digitalização* empregada. OTNES, ENOCHSON (1978) afirmam ser este um dos maiores problemas na discretização de sinais. Segundos os autores, isto ocorre se uma senóide cuja a freqüência é maior que $1/2T$ for discretizada a intervalos maiores do que **T**. Neste caso, a senóide aparecerá no espectro como uma freqüência mais baixa. Os autores apresentam o tratamento matemático necessário a estas afirmações, donde se concluiu que, se fosse utilizada outra taxa de amostragem, seria possível determinar a ocorrência ou não do fenômeno de *aliasing*. Assim sendo, além da taxa de aquisição de 200 Hz, foram feitas também algumas discretizações exploratórias a taxas de 400 Hz, ou seja, a intervalos de 0,0025 s. Este procedimento demonstrou a inexistência do fenômeno.

4.2.6- Programa de controle do conversor A/D

A operação do conversor A/D utilizado se faz quase que completamente através de programas em BASIC. Neste trabalho, foi utilizado como base o programa MANEP07 que consta no manual do conversor (DATA TRANSLATION (1985)).

Este programa só inicia a aquisição de dados quando o circuito do conversor é ativado pela borda de descida de um sinal externo TTL compatível no canal J-49 do barramento de comunicação.

Como este sinal externo foi gravado, juntamente com os sinais de cada um dos transdutores de força, no início de cada tratamento, foi possível fazer a *digitalização* dos dados analógicos de um canal do gravador por vez, sem que fosse perdida a relação temporal entre eles.

A *digitalização* dos seis canais de uma só vez impossibilitaria a aquisição de dados de todo o tempo de duração de um tratamento. Isto se deve ao fato de que a linguagem BASIC não acessa memória acima de 64 kbytes.

A listagem do programa usado encontra-se no Anexo 2.

4.2.7- Programa de Análise

De posse do conjunto de dados **T** de cada tratamento iniciou-se a análise espectral propriamente dita, seguindo as orientações constantes na bibliografia e também baseado em notas de aula (IM 331 - Processamento de sinais em sistemas

mecânicos)⁵.

Os fundamentos do programa de análise já haviam sido desenvolvidos em aula⁵ com o auxílio de sub-rotinas constantes do programa MATLAB do Departamento de Matemática Aplicada do IMECC. Posteriormente, este algoritmo foi melhorado pela metodologia do *Periodograma de Welch* apresentado por MARPLE (1987).

Este tipo de método tem por objetivo melhorar a forma do periodograma resultante da análise através do cálculo da média dos estimadores espectrais de pseudo-conjuntos de dados extraídos do sinal que se quer analisar. Assim, os dados são divididos em sub-conjuntos sobrepostos, e posteriormente analisados.

As etapas necessárias à implementação deste periodograma, e outras, constantes no programa são descritas a seguir.

A primeira etapa do cálculo consiste na subdivisão da amostra em n_d sub-conjuntos, sobrepostos de **N-S** dados conforme a equação:

$$n_d = \frac{T-N}{S+1} \quad (4)$$

onde: **T** - tamanho total da amostra;

N - tamanho dos sub-conjuntos e;

S - avanço entre sub-conjuntos adjacentes obtido por:

5- Notas de aula. **IM 331 - Processamento de sinais em sistemas mecânicos**. Campinas, UNICAMP, Fac. de Eng. Mecânica, 1º sem. 1992, Prof. Dr. Paulo R. G. Kurka.

$$S=N-(0,65xN)$$

(5)

Assim, o segundo sub-conjunto terá ainda **N-S** dados já avaliados no primeiro sub-conjunto. Este fato tende a equalizar o tratamento de cada ponto, dando a um ponto que recebeu um peso pequeno em um segmento, um peso maior no próximo. Outra decorrência importante é que, através deste método, a variância dos estimadores espectrais é diminuída pois estes são obtidos de um número maior de repetições.

A seguir, é feito o cálculo da média aritmética dos valores de cada sub-conjunto. O valor encontrado é então subtraído do respectivo sub-conjunto, de forma que a sua média se torne nula. Tal procedimento é necessário para evitar o surgimento de um pico de densidade junto à frequência zero, que poderia ser induzido por pequenas variações lentas no valor da média dos dados.

Cada uma das chamadas *janelas* é então multiplicada pela curva de Hann⁶, que tem a forma aproximada de um sino. Este procedimento atenua os erros de truncamento surgidos quando se subdivide o conjunto de dados além de melhorar a forma do espectro obtido. Cabe aqui explicar o uso do coeficiente 0,65 na equação (5). Ele se refere a sobreposição de 65% entre um sub-conjunto e o anterior. Este valor minimiza a variância dos

6- Em homenagem ao meteorologista austríaco Julius Van Hann, também conhecida como Hanning ou de cosenos ao quadrado (MARPLE (1987)).

resultados obtidos pelo *Periodograma de Welch* com o uso da *janela de Hann*. Isto também significa que cada ponto é usado no mínimo duas vezes nos cálculos.

Como nas condições de solo (classificação pedológica e teor de água principalmente) em que foram conduzidos os ensaios era esperado um sinal cíclico provindo da ruptura do solo, optou-se, como já foi discutido, pelo uso de uma FFT. Assim, após o uso da *janela de Hann*, é feita uma FFT de cada segmento e obtido o periodograma médio do conjunto total de dados a partir de n_d repetições.

O tamanho N das sub-amostras foi fixado em 512 para que a largura de faixa B_e , ou resolução espectral, conforme a equação:

$$B_e = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \quad (6)$$

fosse pequena (0,390625 Hz), de forma que duas frequências bem próximas pudessem ser diferenciadas.

Como foi visto, neste estudo optou-se pelo uso de estimadores espectrais ditos *clássicos* devido a sua maior simplicidade, outros métodos mais precisos e sofisticados (AR, ARMA, Prony e etc.) podem ser usados, mas MARPLE (1987) adverte que ainda que estes métodos sejam mais precisos, os *clássicos* são mais consistentes quando se dispõem de conjunto de dados longos e estatisticamente estacionários.

A listagem do programa feito para ser usado no MATLAB é apresentado no Anexo 3.

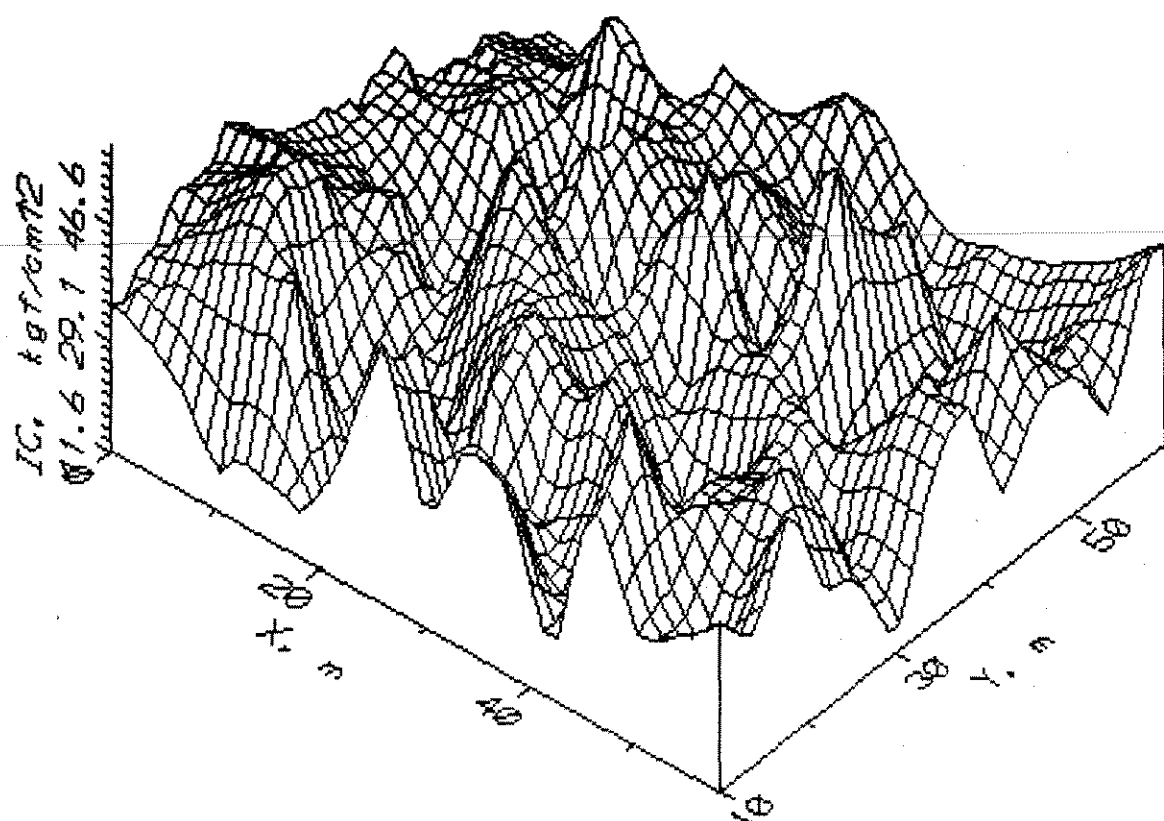
RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Análises do solo

5.1.1- Índice de cone

Conforme a metodologia exposta no capítulo anterior, foram feitas determinações de IC visando o posicionamento dos tratamentos na área experimental. Na Fig. 6 é mostrado os resultados das determinações de IC a 30 cm de profundidade. Os resultados do IC a 5, 10, 15, 20 e 25 cm são apresentados nas figuras do Anexo 4.

A análise da distribuição do IC na área experimental fez com que as parcelas fossem posicionadas na direção do eixo **X** por dois motivos: (a) nesta direção, cada um das parcelas, ao longo de seu comprimento, abrange uma variabilidade maior na resistência do solo à penetração em todas as profundidades pesquisadas e; (b) nesta direção evita-se que um tratamento seja feito totalmente na faixa em que os valores de **X** variam de zero a dez metros, que apresenta IC nitidamente maiores, indicando uma maior compactação do solo.



Índice de Cone, 30 cm

Figura 6- Índice de cone a 30 cm de profundidade.

Soma-se a esta análise o fato da sub-parcela "E" em questão ser sistematicamente trabalhada na direção do eixo **Y**, fazendo com que o tráfego de veículos e implementos compacte o solo em faixas paralelas. Como a última operação na área foi realizada com o solo excessivamente úmido, ficou *impresso* no solo as marcas das rodas do trator (marcas com profundidade de até cinco centímetros, cujas as freqüências de ocorrência mais importantes - distância entre marcas adjacentes medido com trena - foram de 1,85; 0,99; 0,91 e 0,83 m). Desta forma, a

escolha feita evitou que algum dos tratamentos fosse feito coincidentemente sobre uma destas faixas, o que poderia alterar os resultados da análise.

5.1.2- Teor de água

Juntamente com o IC foram realizadas determinações de umidade de solo, para que se pudesse avaliar a sua distribuição na área experimental. O resultado desta análise pode ser visto na Fig. 7.

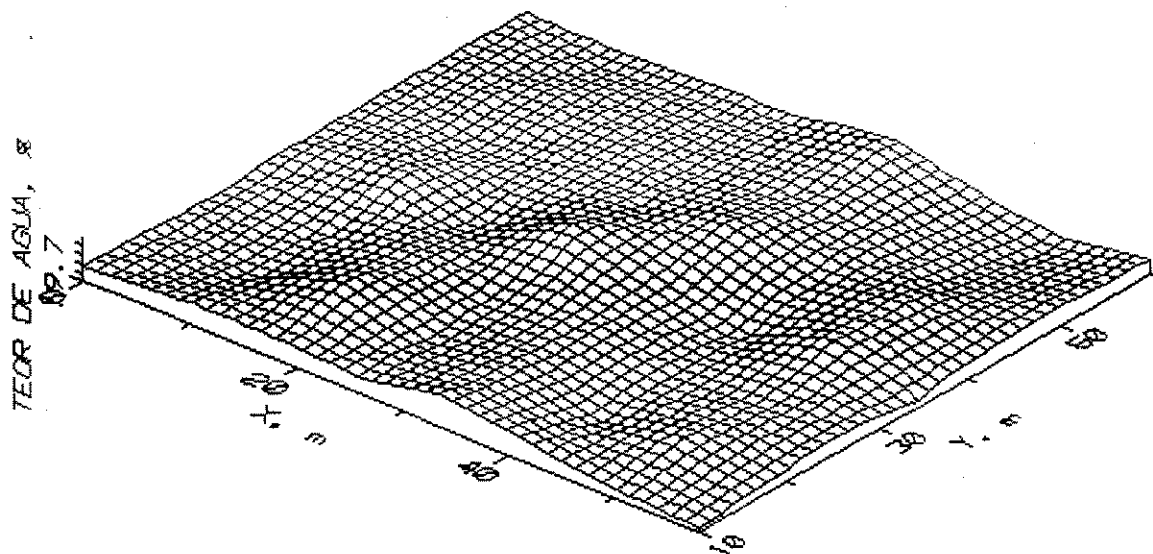


Figura 7- Teor de água no solo a 15 cm de profundidade.

Os 49 pontos observados apresentaram um teor médio de água de 22,19 %, com desvio padrão de 1,33 ponto percentual. Os valores mínimo e máximo foram de 19,54 % e 25,91 % respectivamente, tendo um coeficiente de variação de 5,98 %. Estes dados vem reforçar, juntamente com a Fig. 7, a homogeneidade do

teor de água no solo na área experimental. Fato que diminui as chances de variações nas variáveis de resposta do experimento, fazendo crer também que o IC observado não está correlacionado com o teor de água.

No dia dos testes o teor médio de água no solo era 24,39 %.

5.1.3- Peso específico

Com a finalidade de se conhecer o comportamento do peso específico do solo dentro de cada tratamento, foi feita uma análise de variância dos dados através do programa SANEST da FEAGRI. O quadro de análise de variância encontra-se no Anexo 5 deste trabalho.

A análise foi feita considerando-se os tratamentos e as profundidades de coleta de amostras como fatores de um esquema fatorial para possibilitar o uso do programa SANEST.

Observou-se que houve diferenças significativas nos valores de peso específico entre os tratamentos a nível de 5%, e que houve diferenças significativas nestes valores para as profundidades avaliadas a nível 1%. Como também foi observado que houve interação entre os fatores, foi realizado um teste de Tuckey para comparar a média do peso específico do solo em função da profundidade dentro dos tratamentos e vice-versa. Os resultados encontram-se nas Tabs. 5 a 16 do Anexo 5.

Pelo teste de Tuckey é possível tirar as seguintes conclusões relevantes: (a) somente houve diferença significa-

tiva (a nível de 5% ou 1%) entre as médias dos tratamentos para a profundidade de zero centímetros; (b) dentro dos tratamentos não houve diferenças significativas (a nível de 5% ou 1%) nas médias dos pesos específicos a 15 e a 30 cm de profundidade.

Apenas estas duas conclusões são suficientes para confirmar as suposições de homogeneidade da resistência do solo observadas pelo IC. Ainda que haja diferenças significativas entre os tratamentos para a profundidade zero (peso específico médio de $1,19 \text{ g/cm}^3$), este fato tem a sua importância reduzida quando se considera que os testes foram realizados a uma profundidade média de 30 cm, onde o peso específico era maior (em torno de $1,41 \text{ g/cm}^3$ e não significativamente diferente da densidade média a 15 cm). O fato da maior variabilidade do peso específico do solo nas amostras retiradas entre 0 e 5 cm de profundidade, provavelmente se deve ao tráfego de implementos, previamente ao início dos testes, em condições de umidade de solo inadequadas, o que fez com que algumas amostras, em decorrência da metodologia empregada, fossem coletadas nos locais deste tráfego.

5.2- Forças no D3P (dinamômetro de três pontos)

Na verdade, a grandeza apresentada é tensão elétrica (mV), pois neste estudo não é necessário o conhecimento do valor das forças ocorridas no sistema de engate do trator, já que na análise empregada são usadas as variações do sinal da

força e não os seus valores absolutos. Como a relação entre a tensão elétrica e a força é linear em cada um dos transdutores as diferenças entre dois valores consecutivos em uma ou outra escala não é alterado.

Por razões de ordem prática, é apresentado na Fig. 8 os resultados de **T1** apenas, e na metade de sua duração total (para que se possa visualizar a variação das tensões - e conseqüentemente das forças - de forma mais clara). Os demais tratamentos apresentam resultados muito semelhantes, sendo quase impossível avaliá-los visualmente apenas, razão pela qual não são apresentados aqui. O sinal do transdutor dois não é mostrado, pois coincide quase que exatamente com o sinal do transdutor um, dificultando a diferenciação de um e de outro no gráfico. Os resultados dos demais tratamentos podem ser observados no Apêndice 1.

5.3- Velocidades observadas

Na Tab. 1 são apresentadas as velocidades médias de deslocamento obtidas em cada um dos tratamentos, obtidas a partir dos tempos cronometrados e das distâncias percorridas.

Tabela 1 - Velocidades médias de deslocamento do conjunto.

Velocidade	T1	T2	T3	T4	T5	T6
km/h	3,954	6,477	3,341	5,305	4,084	6,641
m/s	1,098	1,799	0,928	1,474	1,134	1,845

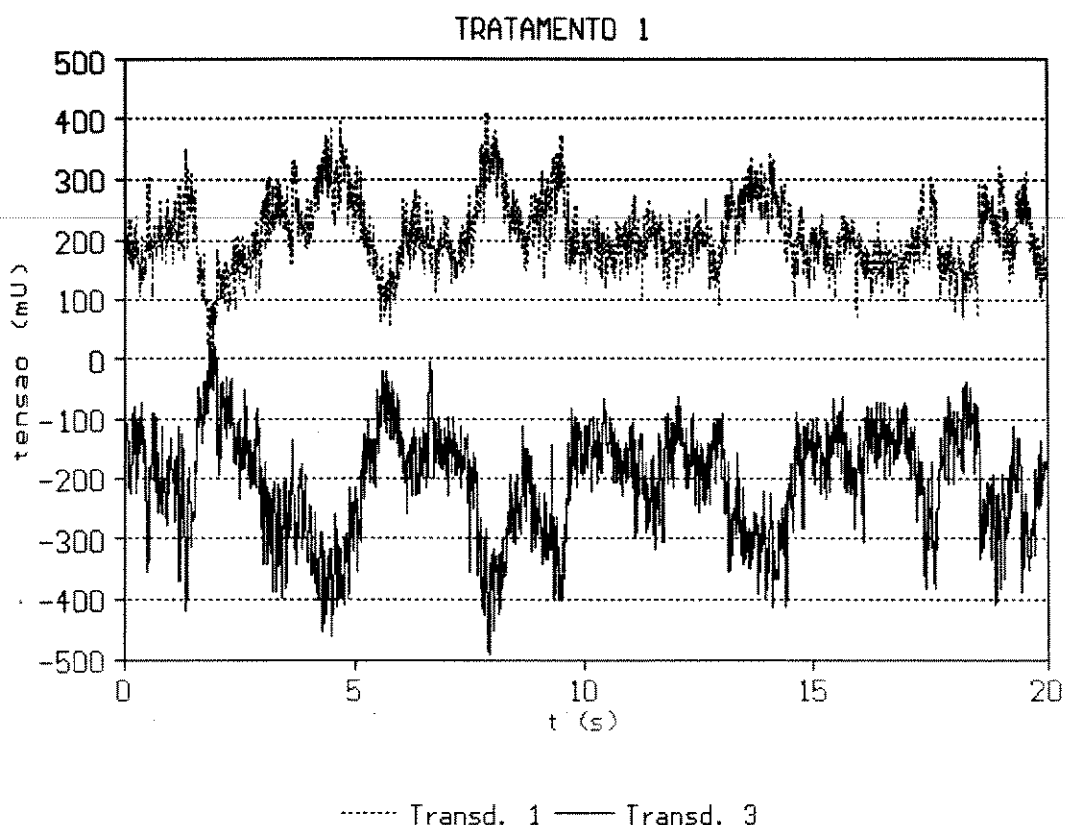


Figura 8- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três do tratamento um.

5.4- Espectro de frequência

Como os espectros de frequência de cada um dos três transdutores de força estudados nos seis tratamentos apresentaram um número grande de informações distribuídas em várias frequências, foi necessário sistematizar o procedimento para a sua interpretação física. Assim, primeiramente, os tratamentos de mesma velocidade serão comparados com o tratamento extra correspondente (aquele feito com o escarificador suspenso) para que seja possível separar as frequências devidas apenas ao

sistema mecânico, resultado do deslocamento do conjunto trator-implemento (introdução de ruído no sistema). A seguir, serão avaliados os efeitos das velocidades empregadas, comparando-se os tratamentos com mesmo número de hastes. Para avaliar o efeito do número de hastes no espectro de frequência, serão comparados os tratamentos de mesma velocidade com uma e três hastes. Finalmente, será feita a comparação do espectro de frequências dos transdutores de força dentro de cada tratamento para que se conheça a influência da posição do sensor na frequência encontrada.

A seguir são apresentados os resultados obtidos no programa de análise em forma de gráficos. Como pouca ou nenhuma informação relevante tivesse sido encontrada em frequências superiores a 50 Hz, esta faixa não será mostrada. A escala das ordenadas (variância em mV^2) foi truncada em 1.500 mV^2 para que os diversos resultados pudessem ser melhor comparados.

Pelo fato dos transdutores um e dois estarem dispostos simetricamente em relação ao plano vertical que corta o eixo longitudinal do trator, e o escarificador não apresentar, teoricamente (o que também foi observado na prática), forças laterais, estes dois transdutores são representados nas figuras pelo seu espectro de frequência médio. Este procedimento facilita a distinção dos resultados sem alterá-los pois os valores se apresentam muito bem correlacionados, tendo variações de amplitude apenas. As análises foram feitas com base nos espectros originais.

A primeira análise dos resultados revelou a presença de harmônicos no sinal da força em todos os tratamentos e transdutores analisados. Assim, antes que se analise os resultados conforme foi proposto, é preciso interpretar fisicamente o significado deste fato.

5.4.1- Presença de harmônicos

Observando as Figs. 9 à 14, pode-se notar que todas apresentam um pico em torno de 1 Hz (1,17 Hz precisamente). E que picos um pouco menores surgem a 2,34, 3,52 e 4,69 Hz em alguns tratamentos. Estes valores são múltiplos do primeiro pico de 1,17 Hz, ou seja, são os primeiros harmônicos desta frequência.

Nos tratamentos com velocidade de quatro km/h (**T1**, **T3** e **T5**), a frequência de 1,17 Hz corresponde exatamente à distância entre as marcas de pneus deixadas na área experimental, como já foi mencionado, pelo tráfego de máquinas, tendo como um dos valores mais observados o de 0,91 m. Neste caso, nota-se a tendência de que para **T5**, somente apareça um harmônico em 2,34 Hz, o que pode ser explicado pela passagem dos dois eixos de rodagem do trator sobre as irregularidades. Para **T1**, além dos dois eixos, há uma haste trabalhando que deve superar este espaço de solo mais compactado, esta força extra é registrada pelos transdutores, o que é constatado no espectro de frequência pelo aparecimento de mais um harmônico da frequência base, em 3,52 Hz. Com o uso de três hastes em **T3**, surge mais um

harmônico (4,69 Hz) em relação a **T1**, pois é adicionada mais uma fileira de hastes no escarificador. As marcas presentes no solo parecem ser então responsáveis pela presença destas frequências múltiplas de 1,17 Hz.

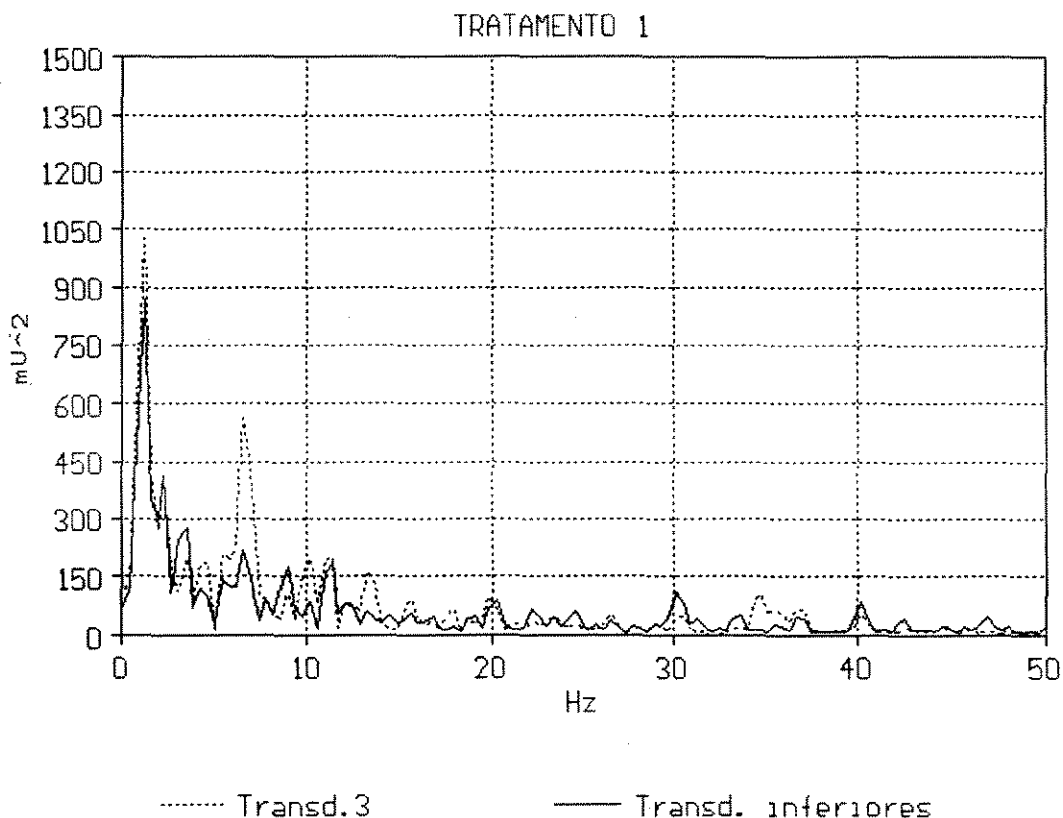


Figura 9- Espectro de frequência de **T1** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

Em **T2**, **T4** e **T6** (tratamentos conduzidos a seis km/h) a explicação para o aparecimento dos harmônicos não é tão evidente como para o caso de quatro km/h, isto porque a amplitude dos harmônicos não é decrescente e porque, a primeira vista, não deveriam surgir nas mesmas frequências dos anterio-

res, já que a velocidade é maior. O primeiro questionamento provavelmente pode ser respondido pelo fato de que alguns dos harmônicos, presentes pelas mesmas razões anteriormente expostas, possa ter sido amplificado, por exemplo, por um dos modos de vibração natural do trator que, como é sabido, se encontra na faixa de freqüências em questão.

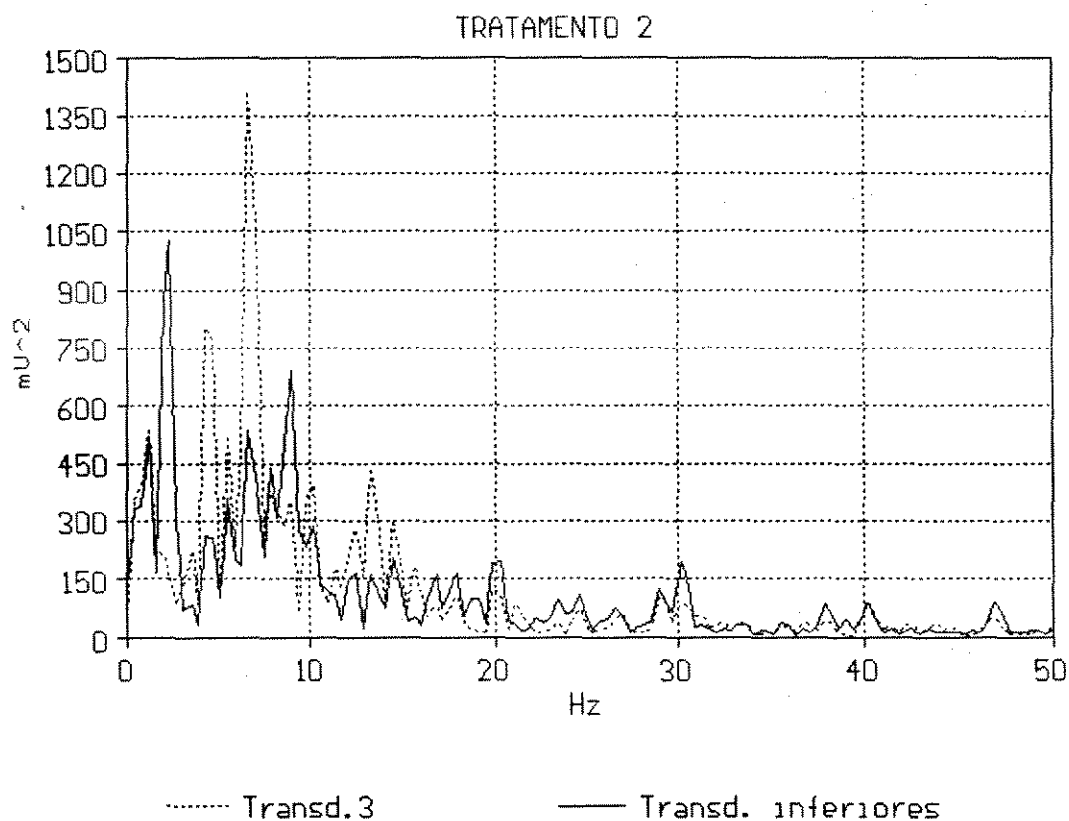


Figura 10- Espectro de freqüência de **T2** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

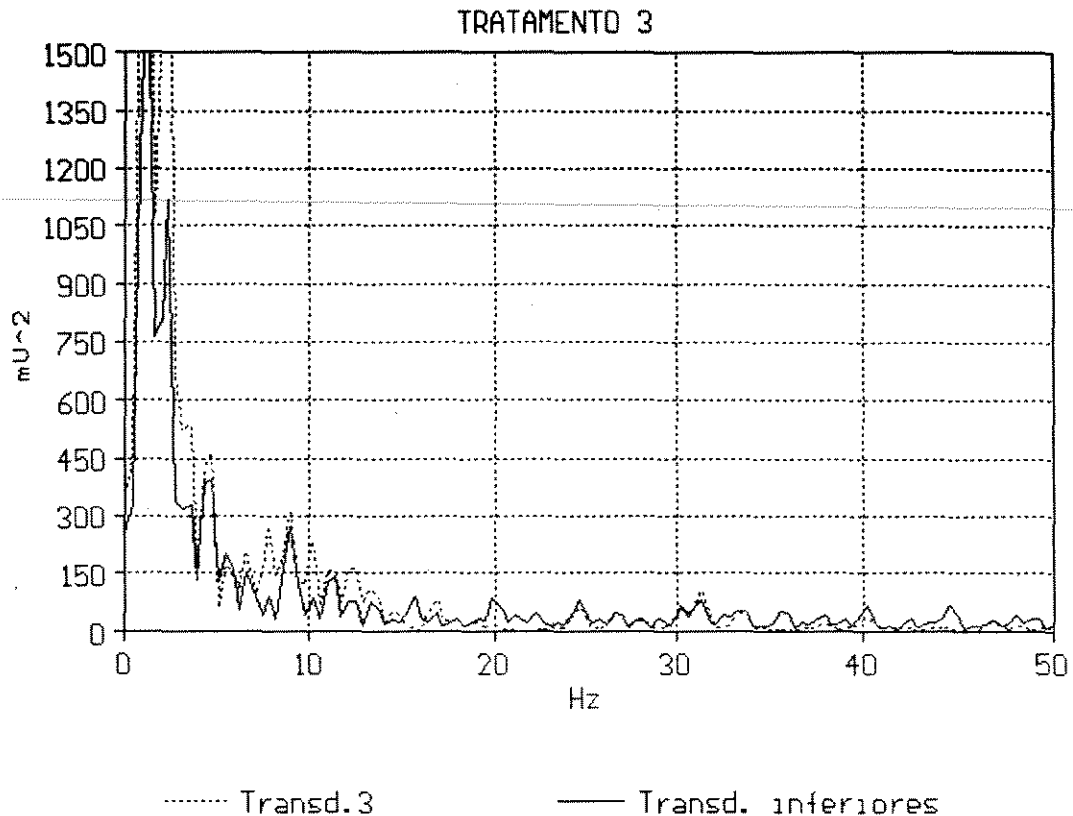


Figura 11- Espectro de freqüência de **T3** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

No que se refere a maior velocidade, cabe notar que outras distâncias entre marcas no solo também tiveram grande ocorrência, como as de 1,85 e 0,83 m, correspondendo, para esta velocidade, à freqüências de 0,92 e 2,06 Hz, muito próximas daquelas verificadas no espectro. Soma-se a isto o fato de que, com o aumento da velocidade, o comportamento dinâmico do sistema mecânico se altera, como pode ser comprovado pela comparação de **T5** e **T6** nas Figs. 13 e 14. Verifica-se

ainda que nesta velocidade alguns harmônicos não estão claramente presentes, como por exemplo o de 3,52 Hz nos transdutores inferiores em **T2**, o que se atribui às causas acima expostas.

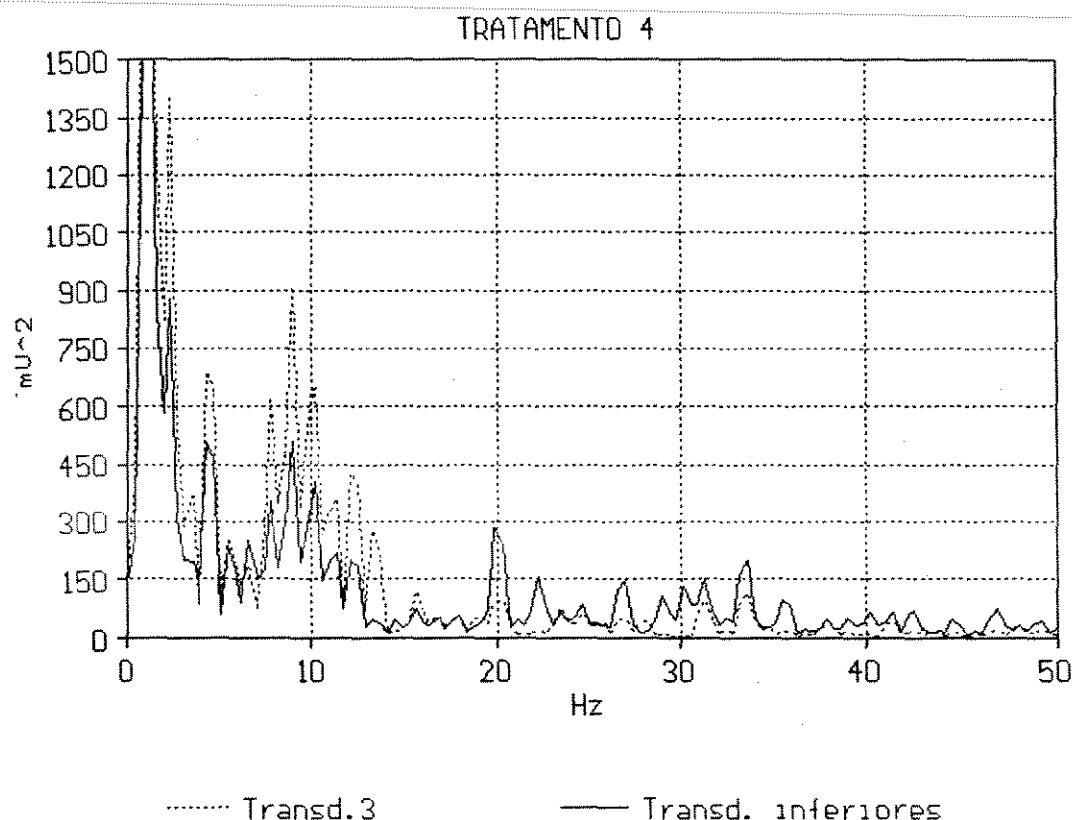


Figura 12- Espectro de frequência de **T4** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

A observação e a discussão das causas da ocorrência destes harmônicos são muito importantes neste trabalho, pois assim evita-se que os picos de frequência discutidos pudessem ser tratados erroneamente como decorrência de planos de ruptura de solo à frente da(s) haste(s) do escarificador.

Por outro lado, qualquer sinal com a mesma freqüência dos harmônicos observados não poderá, por razões óbvias, ser distinguido no espectro, ocasionando uma perda de informação irrecuperável. De acordo com a bibliografia consultada, a possibilidade de que a ruptura cíclica do solo esteja na faixa de freqüência onde ocorreram os harmônicos neste estudo não deve ser descartada.

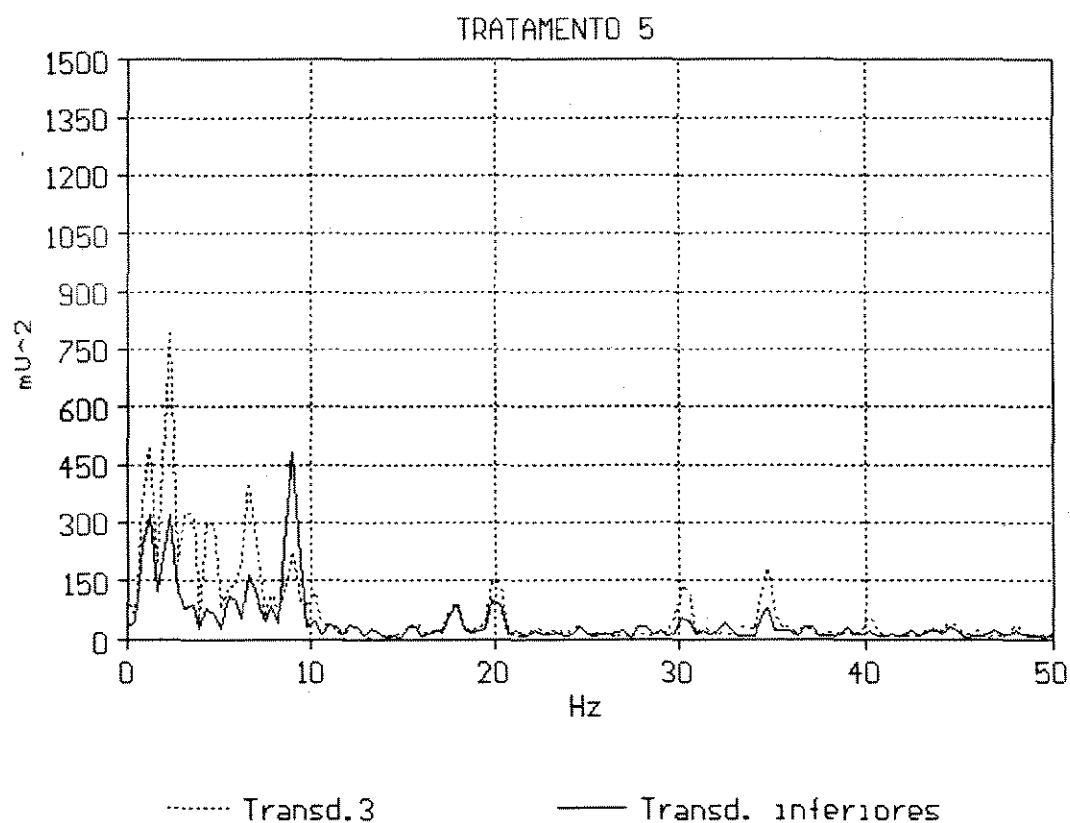


Figura 13- Espectro de freqüência de **T5** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

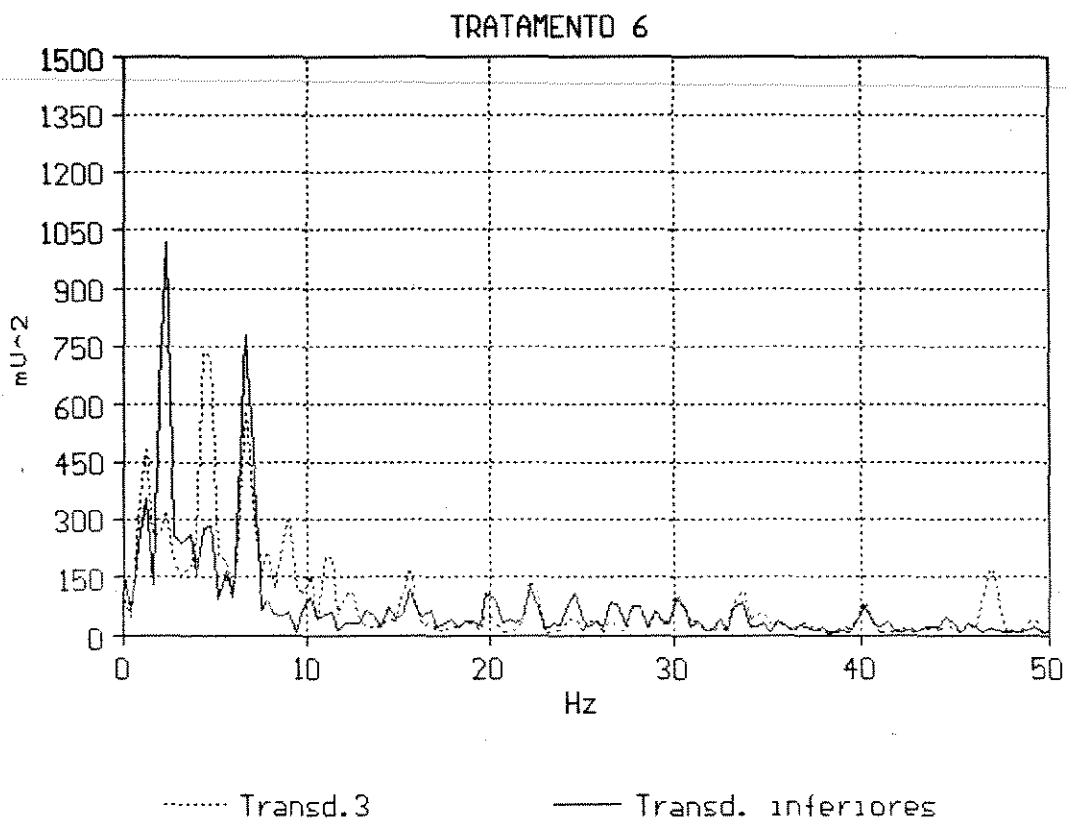


Figura 14- Espectro de freqüência de **T6** em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

5.4.2- Eliminação de ruídos mecânicos

Os tratamentos **T5** e **T6** foram conduzidos especialmente com a finalidade de se conhecer os sinais induzidos nos transdutores de força pelo deslocamento do trator, em função das irregularidades da superfície do solo, marcha utilizada, modos de freqüência natural do trator e outros. A distribuição destes

sinais no tempo é, neste estudo, considerada como indesejável. Então, para se evitar erros de interpretação, os tratamentos foram primeiramente comparados com **T5** e **T6**. Os resultados obtidos são apresentados na Tab. 2.

Tabela 2- Resumo das freqüências (Hz) por transdutor e por tratamento descontados os ruídos.

	T1 (Hz)	T3 (Hz)	T2 (Hz)	T4 (Hz)
Transdutores um e dois (média)	<u>11,33</u>	<u>11,33</u>	<u>07,81</u>	07,81
	22,26	31,25	<u>08,98</u>	<u>08,98</u>
	40,23	40,23	12,30	12,30
			14,45	31,25
			17,97	42,58
			46,87	
Transdutor três	<u>11,33</u>	<u>11,33</u>	<u>13,28</u>	<u>13,28</u>
	<u>13,28</u>	12,50	14,45	
		<u>13,28</u>	17,97	
		31,25		

Pode-se observar na Tab. 2 que o número de picos de freqüência restantes ainda é grande. Aqueles sublinhados são os mais importantes, ou seja, tanto a sua dimensão (energia), como sua ocorrência em mais de um transdutor é suficiente para que não se tenha dúvidas de sua existência. Os demais embora não devam ser descartados sob pena de se encorrer em erro, merecem uma análise cuidadosa pois podem ser confundidos com instabilidades no espectro devido ao número limitado de dados inerentes a este tipo de análise.

Os picos na faixa de freqüência de 40 Hz são creditados

à rotação de operação do motor do trator, que ficou em 45 Hz quando operado sem carga. PALMER, GLASBEY (1990) encontraram ruídos mecânicos transmitidos do motor até o dinamômetro da ordem de 0,8 a 5,0% da força medida, tornando necessário encontrar uma rotação que os minimizasse, que no caso deles foi de 1.900 min^{-1} . No presente trabalho, as frequências de interesse devem estar bem abaixo de 40 Hz, tornando então desnecessário este procedimento.

5.4.3- Efeito da velocidade de operação

Os outros pontos da Tab. 2, sublinhados ou não, são de difícil interpretação física, embora que a primeira vista, com o auxílio das Figs. 9 à 14, as frequências assinaladas pareçam se dever à ruptura do solo à frente da haste do escarificador. No entanto, vê-se que os tratamentos com maior velocidade apresentam as menores frequências (7,81 e 8,98 Hz), quando dois dos autores pesquisados afirmam que a frequência de ruptura do solo aumenta proporcionalmente com a velocidade (GLANCEY *et al.* (1989); BOCCAFOGLI *et al.* (1992)), e que frequências importantes como 13,28 Hz aparecem no transdutor três em todos os tratamentos, parecendo ser independente da velocidade de operação.

GLANCEY *et al.* (1989) confirmaram, com o auxílio de uma câmera de vídeo, a suspeita de que pode haver até três modos distintos de ruptura do solo, sendo o principal à frente da hastes e os demais, constituídos de rupturas menores, ocorrendo

lateralmente. Estas conclusões tornam ainda mais complexa a análise dos resultados.

Embora GLANCEY et al. (1989) também tenham trabalhado com escarificador, não se pode garantir de antemão que a relação entre a velocidade e a freqüência de ruptura encontrada seja aplicável neste estudo. Sendo assim, tentou-se retirar o efeito da velocidade, dividindo os valores da Tab. 2 pela velocidade de cada tratamento, conforme a eq. (3), e assumir que esta não influencia a ruptura do solo. Observou-se que 11,33 Hz em **T1** e 17,97 Hz em **T2** correspondiam a uma mesma freqüência de ruptura em torno de 10,15 cpm (ciclos por metro). Outras relações foram: 14,45 Hz em **T2** com 12,30 Hz em **T4** (~8,19 cpm) e 13,28 Hz em **T1** com 11,33 Hz em **T3** (~12,15 cpm). No entanto, os resultados não permitem afirmar, seguramente, que as correspondências encontradas se devem a alguma característica física do solo, pois não encontrou uma relação lógica entre a sua ocorrência e os tratamentos. Estas conclusões se tornariam mais fáceis de se chegar com o uso de um maior número de velocidades de deslocamento do conjunto.

Na bibliografia pesquisada, os valores encontrados para experimentos conduzidos à campo com implementos em tamanho natural foram: 1,2 cpm (à 0,45 m/s), 1,95 cpm (à 0,65 m/s) e 3,6 cpm (à 0,9 m/s) com arado de aivecas (SINGH et al. (1991)); 3,85 cpm (à 0,22 m/s) e 4,88 cpm (à 0,89 m/s) para haste rígida de escarificadores (GLANCEY et al. (1989)).

A velocidade de operação modificou os espectros de

freqüência de **T5** e **T6** (ver Figs. 13 e 14). Além do problema dos harmônicos já abordados, há pelo menos duas diferenças importantes entre estes tratamentos. Primeiro, o pico mais significativo de freqüência em **T5** ocorre a 8,98 Hz, enquanto que em **T6**, a uma velocidade maior, ele ocorre em 6,64 Hz, sendo o de 8,98 Hz quase desprezível. Segundo, em **T6** há o surgimento de inúmeros picos em freqüências superiores a 10 Hz. Em **T5** nota-se apenas quatro picos acima de 10 Hz. Estes fatos indicam que a resposta do sistema mecânico às irregularidades da superfície do solo é uma função da velocidade e, que com o aumento desta há o surgimento de informações de difícil interpretação, provenientes de processos complexos.

5.4.4- Influência do número de hastes

Durante o período de formulação do experimento supunha-se que, se houvesse uma freqüência de ruptura de solo a frente de uma haste, quando três hastes fossem utilizadas, o sinal da força de tração deveria evidenciar a presença das três rupturas individuais em freqüências duas e três vezes maiores do que para apenas uma haste. No entanto, a análise dos dados não permitiu que tal suposição fosse confirmada. As freqüências principais consideradas na Tab. 2 não apresentam múltiplos de dois ou três, talvez por não representarem de fato o efeito da ruptura cíclica do solo.

5.4.5- Efeito da posição dos transdutores

De forma geral, nota-se que houve grande correspondência entre a informação contida no sinal proveniente dos transdutores um e dois com aquela medida pelo transdutor três. A análise de correlação entre os transdutores é mostrada na Tab. 3. Os coeficientes de correlação (R) foram todos significativos a nível de 1%.

Tabela 3- Coeficientes de correlação (R) entre os transdutores um e dois, um e três, e dois e três nos tratamentos.

TRANSDUTORES	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1 x 2	0,918	0,886	0,975	0,873	0,855	0,929
1 x 3	0,904	0,609	0,977	0,953	0,651	0,676
2 x 3	0,903	0,651	0,958	0,951	0,877	0,703

Há porém uma tendência dos picos de variância serem um pouco maiores no transdutor três para as baixas frequências (até ≈ 15 Hz), o que pode ser explicado pelo fato da amplitude das variações cíclicas no sinal da força no terceiro ponto do sistema de engate do trator ser maior do que a observada nos pontos de engate inferiores individualmente, tendo reflexo imediato no espectro de frequência como se pode observar.

O que acabou de ser afirmado não é observado, no entanto, em T2 e T6 (Fig. 10 e 14 respectivamente) em função da maior suscetibilidade dos transdutores inferiores às forças laterais.

Neste caso devidas à transposição de pequenos obstáculos pelas rodas do trator já que os picos surgiram em 2,34 Hz. Transdutores posicionados nos pontos de engate inferiores também são mais suscetíveis à mudanças na direção de deslocamento do trator.

5.5- Análise e discussão do experimento

Pelo que foi exposto até então verifica-se que, não obstante a impossibilidade de determinação das frequências de ruptura do solo, o experimento teve outros resultados importantes. Primeiro, o procedimento de análise de dados, desde a determinação da taxa de discretização do sinal analógico até o programa desenvolvido para obter o espectro de frequência, se mostrou bastante adequado à manipulação de dados provenientes da força de tração de implementos atuantes no solo, o que foi confirmado, entre outras coisas, pela correta identificação dos harmônicos causados pelo tráfego de máquinas na área experimental. A aquisição de dados *em vazio*, ou seja, com o trator em movimento e o implemento suspenso, provou ser indispensável na eliminação da frequência dos sinais provindos do sistema mecânico constituído pelo conjunto trator-implemento, sem esta metodologia, conclusões errôneas poderiam ter sido tiradas dos resultados obtidos. Pode-se constatar também a influência da velocidade de operação no espectro de frequência do sistema mecânico, indicando que o uso de velocidades altas introduz neste um número extra de informações que tendem a dificultar a

interpretação dos resultados. Foi possível determinar ainda, pela análise de correlação entre os transdutores, que a posição (inferior ou superior) dos mesmos não altera significativamente os resultados da análise.

A identificação dos harmônicos evidencia que o método empregado tem condições de avaliar modificações periódicas na densidade do solo, traduzidas por variações cíclicas na força de tração. O que indica que a análise espectral poderia ser empregada num sistema de controle de tração, especialmente considerando frequência relativamente baixa da ocorrência dos referidos sinais (< 5 Hz). O fato do sistema mecânico de controle de tração responder apenas à variações de baixa frequência no sinal de controle foi observado por SINGH *et al.* (1991). Foi notado que os sinais com frequências maiores estavam associados à variações de amplitude menores que a sensibilidade do sensor mecânico empregado, e por isto eram ignorados pelo sistema.

Um dos objetivos deste trabalho no entanto não pode ser cumprido com precisão, que foi o de determinar a distância de ruptura do solo à frente da haste do escarificador através da análise espectral das forças observadas. Esta incapacidade não se deveu aos procedimentos de análise adotados, mas sim às condições em que o experimento foi conduzido. Embora todo esforço tenha sido feito para evitar que a variabilidade das características do solo influenciassem de forma negativa os resultados, isto acabou ocorrendo, pois ao contrário do que se

pensava, a orientação dada aos tratamentos favoreceu o surgimento de sinais harmônicos das marcas de pneus no solo numa faixa de frequência que, posteriormente, de posse de dados de outros experimentos de campo, soube-se poderia conter a frequência do sinal de ruptura do solo. O emprego de velocidades de operação próximas àquelas empregadas na prática em escarificação mostraram-se demasiadamente altas, pois além de induzirem mais ruídos no sinal, exigiram maior potência do trator, aumentando o patinamento nos tratamentos com três hastes. Fato que também pode introduzir ruídos no sinal pois há evidências de que a tração desenvolvida pelo trator não seja contínua mais sim pulsante, resultado da incapacidade do solo em suportar as altas tensões a que é submetido pelas garras dos pneus do trator. Estudos nesse sentido já estão sendo feitos para garras de rodados tipo gaiola, usados em terrenos alagados (SALOKHE et al. (1989)).

A experiência acumulada na condução deste estudo aconselha que outros experimentos semelhantes sejam feitos observando alguns cuidados adicionais, sumarizados a seguir: (a) trabalhar o solo na mesma direção que as operações na área são normalmente feitas; (b) filmar a atuação da ferramenta no solo durante todo o experimento; (c) usar de preferência apenas um órgão ativo no implemento em questão; (d) usar velocidades baixas, possivelmente inferiores a quatro km/h; (e) garantir a inexistência de *aliasing* pela filtragem do sinal analógico ou pela utilização de mais de uma taxa de amostragem e; (f) fazer

a aquisição do sinal da velocidade instantânea em todos os tratamentos.

Este último procedimento tornaria mais fácil a interpretação dos resultados, pois uma análise cruzada deste sinal com o da força observada ao longo do tempo poderia identificar se uma determinada frequência se deve de fato à ruptura do solo.

CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos já enunciados e os resultados obtidos neste experimento chega-se as seguintes conclusões:

(a) foi possível com o uso da metodologia proposta obter um espectro de freqüência confiável da força de tração exigida pelo escarificador observada no D3P, confirmando que a análise espectral é uma ferramenta eficaz na determinação de sua variabilidade;

(b) o uso de tratamentos extras, com o escarificador suspenso, provou ser indispensável neste tipo de análise, pois através deles é possível avaliar de forma mais exata a influência do sistema mecânico nos resultados obtidos;

(c) as freqüências de 7,81, 8,98, 11,33 e 13,28 Hz encontradas nos tratamentos avaliados, após a exclusão de possíveis ruídos, não puderam ser creditadas, sem sombras de dúvidas, às variações cíclicas na força de tração devido à ruptura do solo à frente da(s) haste(s) do escarificador, não tendo sido possível também determinar-lhes o exato significado físico, necessitando assim de mais experimentos;

(d) a análise espectral da força de tração é um instrumento capaz de identificar variações periódicas no peso específico do solo, podendo portanto ser útil na implementação de um sistema de controle de tração digital, especialmente considerando-se que a frequência observada é relativamente baixa;

(e) a posição dos transdutores de força no D3P (próxima ao ponto de engate superior ou junto aos pontos de engate inferiores) não altera de forma significativa o espectro de frequência do sinal nele observado;

(f) o aumento da velocidade de operação influencia o espectro de frequência do sistema mecânico constituído pelo conjunto trator-escarificador, fazendo com que apareça um número maior de picos em frequências acima de 10 Hz;

(g) as frequências de 40,23; 42,58 e 46,87 Hz encontradas nos transdutores inferiores dos tratamentos se devem à rotação utilizada no motor do trator durante os testes;

(i) do que foi observado na bibliografia, os experimentos conduzidos à baixas velocidades não sofrem influência apreciável de ruídos mecânicos;

(j) experimentos que envolvam a análise espectral das forças de reação do solo devem ser conduzidos, preferencialmente, na mesma direção em que as operações agrícolas são usualmente executadas, pois do contrário, há a possibilidade do surgimento de sinais harmônicos no espectro obtido.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A condução deste experimento levou a inúmeros questionamentos, muitos dos quais com respostas parciais ou inadequadas na bibliografia. Instigando assim a realização de experimentos que pudessem de alguma forma elucidar as questões levantadas. Os questionamentos que parecem mais relevantes são:

(a) realizar trabalhos no sentido de avaliar as variações na força de tração devidas à interação entre as garras dos pneus e o solo;

(b) verificar de que maneira a velocidade operacional do conjunto trator-implementos (superfícies aleatórias) afeta os modos de vibração natural do trator;

(c) verificar a influência do tipo de solo nas características qualitativas e quantitativas da força de tração;

(d) estender a análise utilizada no presente estudo a outros implementos de trabalho de solo com o intuito de verificar de que maneira as diferentes geometrias afetam a ruptura do solo;

(e) desenvolver uma ferramenta sensora que, acoplada ao trator, possa avaliar previamente as condições físicas do solo, de maneira que o sinal obtido fosse usado como parâmetro de

controle do sistema de engate de três pontos, ou mesmo da geometria do implemento utilizado;

(f) repetir o trabalho utilizando a mesma marcha e várias rotações do motor para verificar a sua influência nos resultados;

(g) repetir o trabalho utilizando várias marchas e a mesma rotação do motor;

(h) obter dados trabalhando-se a profundidades diferentes na mesma condição de solo, verificando de que forma esta afeta a ruptura do solo.

ANEXOS

Anexo 1: Perfil do solo do CPQBA

A_p 0-15 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/6 seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmido); muito argilosa; composta granular média forte e blocos subangulares médios e pequenos moderada¹; duro, friável, muito plástico e muito pegajoso; limite ondulado e claro.

AB1 15-45 cm; vermelho (2,5 YR 4/6 seco), vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmido); muito argilosa; blocos subangulares médios e grandes forte¹; muito duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; limite suave e gradual.

Classificação: Latossolo roxo textura muito argilosa.

¹ - Efeitos da compactação mecânica.

Tabela 4- Análise granulométrica das amostras de solo. (Fonte ESPÍNDOLA (1991)).

Amostra	Argila %	Silte %	Areia %
A _p	60	17	23
AB1	61	16	23
B21	62	18	20
B22	61	18	21

Anexo 2: Programa de digitalização

```

10 KEY OFF
20 ON KEY(1) GOSUB 1820
30 KEY(1) ON
40 CLS
50 ''READ A/D comand example.
60 ''
70 ''The A/D converter is assumed to be set-up
80 ''for DI bipolar operation.
90 ''
100 ''This example reads a block of A/D conversion
110 ''values under program control at a 200 Hz rate.
120 ''The channels used and the number of conversions
130 ''done is determined by user input.
135 ''Program uses a external trigger.
140 ''
150 ''Define constants.
160 ''
170 ''
180     OPTION BASE 0
190     DEFINT B-Z
200     BASE.ADDRESS = &H2EC
210     COMMAND.REGISTER = BASE.ADDRESS + 1
220     STATUS.REGISTER = BASE.ADDRESS + 1
230     DATA.REGISTER = BASE.ADDRESS
240     COMMAND.WAIT = &H4
250     WRITE.WAIT = &H2
260     READ.WAIT = &H5
270     CCLEAR = &H1
280     CCLOCK = &H3

```

```

290  CSAD = &HD
300  CRAD = &H8E
310  CSTOP = &HF
320  PERIOD# = 32000!
330  ''
340  BASE.FACTOR# = 4096
350  BASE.CHANNELS = 8
360  DIM GAIN(5)
370  GAIN(0) = 1
380  GAIN(1) = 2
390  GAIN(2) = 4
400  GAIN(3) = 8
410  ''
420  ''Stop and clear the DT2801 series board.
430  ''
440  OUT COMMAND.REGISTER, CSTOP
450  TEMP = INP(DATA.REGISTER)
460  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
470  WAIT STATUS.REGISTER, COMMAND.WAIT
480  OUT COMMAND.REGISTER, CCLEAR
490  ''
500  ''Set clock rate.
510  ''
520  ''Wait until the DT2801 series board
530  ''DTA IN FULL flag is clear and READY
540  ''flag is set, then write the SET CLOCK PERIOD
550  ''command byte to the Command Register.
560  ''
570  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
580  WAIT STATUS.REGISTER, COMMAND.WAIT
590  OUT COMMAND.REGISTER, CCLOCK
600  ''
610  ''Divide PERIOD# into high and low bytes and
620  ''write both bytes to the Data In Register,
630  ''waiting for a clear DATA IN FULL flag
640  '' before each write.
650  ''
660  PERIODH = INT(PERIOD# / 256)
670  PERIODL = PERIOD# - PERIODH * 64 - PERIODH * 64 -
        PERIODH * 64 - PERIODH * 64
680  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
690  OUT DATA.REGISTER, PERIODL
700  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
710  OUT DATA.REGISTER, PERIODH
720  ''
730  '' Get the desired A/D start channel, end channel,
740  ''gain and number of conversions from user.
750  ''
760  INPUT "A/D GAIN (TYPE 0,1,2 OR 3)"; ADGAIN
770  IF ADGAIN < 0 THEN GOTO 760
780  IF ADGAIN > 3 THEN GOTO 760
790  ''

```

```

800  INPUT "A/D START CHANNEL (0-15 SE, 0-7 DI)"; ADSCHANNEL
810  IF ADSCHANNEL < 0 THEN GOTO 800
820  IF ADSCHANNEL > (BASE.CHANNELS - 1) THEN GOTO 800
830  ''
840  INPUT "A/D END CHANNEL (0-15 SE, 0-7 DI)"; ADECHANNEL
850  IF ADECHANNEL < 0 THEN GOTO 840
860  IF ADECHANNEL > (BASE.CHANNELS - 1) THEN GOTO 840
870  ''
880  INPUT "NUMBER OF CONVERSIONS TO BE DONE (3 - 9000)";
      NCONVERSIONS#
890  IF NCONVERSIONS# < 3 THEN GOTO 880
900  IF NCONVERSIONS# > 9000 THEN GOTO 880
910  ''
920  '' Dimension arrays to hold high and low
930  '' bytes of A/D Data.
940  ''
950  DIM ADL(NCONVERSIONS#), ADH(NCONVERSIONS#)
960  ''
970  '' Do a SET A/D PARAMETERS command to set up
980  '' the A/D converter.
990  ''
1000 '' Wait until the DT2801 series board
1010 '' DATA IN FULL flag is clear and READY
1020 '' flag is set, then write the SET A/D PARAMETERS
1030 '' command byte to the Command Register.
1040 ''
1050  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1060  WAIT STATUS.REGISTER, COMMAND.WAIT
1070  OUT COMMAND.REGISTER, CSAD
1080 ''
1090 '' Wait until the DT2801 series board DATA IN
1100 '' FULL flag is clear, then write the A/D gain
1110 '' byte to the Data In Register.
1120 ''
1130  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1140  OUT DATA.REGISTER, ADGAIN
1150 ''
1160 '' Wait, until the DT2801 series board DATA
1170 '' IN FULL flag is clear, then write the A/D
1180 '' start channel byte to the Data In Register.
1190 ''
1200  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1210  OUT DATA.REGISTER, ADSCHANNEL
1220 ''
1230 '' Wait until the DT2801 series board DATA
1240 '' IN FULL flag is clear, then write the A/D
1250 '' end channel byte to the Data In Register.
1260 ''
1270  WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1280  OUT DATA.REGISTER, ADECHANNEL
1290 ''
1300 '' Divide NCONVERSIONS# into high and low bytes

```

```

1310 '' and write both bytes to the Data In Register,
1320 '' waiting for a clear DATA IN FULL flag before
1330 '' each write.
1340 ''
1350     NUMBERH = INT(NCONVERSIONS# / 256)
1360     NUMBERL = NCONVERSIONS# - NUMBERH * 256
1370     WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1380     OUT DATA.REGISTER, NUMBERL
1390     WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1400     OUT DATA.REGISTER, NUMBERH
1410 ''
1420 '' Start the READ A/D command.
1430 ''
1440 '' Wait until the DT2801 series board
1450 '' DATA IN FULL flag is clear and READY
1460 '' flag is set, then write the READ A/D
1470 '' command byte to the Command Register.
1480 ''
1490     WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1500     WAIT STATUS.REGISTER, COMMAND.WAIT
1510     OUT COMMAND.REGISTER, CRAD
1520 ''
1530 '' Read the A/D Data high and low bytes, into
1540 '' arrays, waiting for a set DATA OUT READY
1550 '' (or READY) flag before each read.
1551 PRINT "INICIANDO ....."
1552 BEEP
1560 ''
1570     FOR LOP = 1 TO NCONVERSIONS#
1580     WAIT STATUS.REGISTER, READ.WAIT
1590     ADL(LOP) = INP(DATA.REGISTER)
1600     WAIT STATUS.REGISTER, READ.WAIT
1610     ADH(LOP) = INP(DATA.REGISTER)
1620     NEXT LOP
1630 ''
1640 '' Wait until the DT2801 series board
1650 '' DATA IN FULL flag is clear and READY
1660 '' flag is set, indicating command completion,
1670 '' then check the Status Register ERROR flag.
1680 ''
1690     WAIT STATUS.REGISTER, WRITE.WAIT, WRITE.WAIT
1700     WAIT STATUS.REGISTER, COMMAND.WAIT
1710     STATUS = INP(STATUS.REGISTER)
1720     IF (STATUS AND &H80) THEN GOTO 1990
1730 ''
1740 '' Calculate and print all converted A/D
1750 '' voltages, formatting the spacing to
1760 '' indicate first and last channel readings.
1770 ''
1780     FACTOR# = (10 / BASE.FACTOR#) / GAIN(ADGAIN)
1790     NCHAN = ADECHANNEL - ADSCHANNEL + 1
1800     IF NCHAN < 1 THEN NCHAN = NCHAN + BASE.CHANNELS

```

```

1810 ''
1820 BEEP
1830 LOCATE 20, 10: INPUT "nome do arquivo "; AFILE$
1840 OPEN AFILE$ FOR OUTPUT AS #1
1845 LOCATE 15, 10: PRINT " IMPRIMINDO ARQUIVO ....."
1850     FOR LOP = 1 TO NCONVERSIONS#
1860 ''
1870 '' Calculate the A/D reading in volts.
1880 DATA.VALUE# = ADH(LOP) * 256 + ADL(LOP)
1890 UNI.VOLTS# = DATA.VALUE# * FACTOR#
1900 BI.VOLTS# = 2000 * (UNI.VOLTS# - (10/GAIN(ADGAIN)) + 5)
1910 ''
1920     LOCATE 22, 10: PRINT USING " #####"; BI.VOLTS#;
1930 PRINT #1, USING "#####"; BI.VOLTS#
1940     IF (LOP MOD NCHAN) = 0 THEN PRINT
1950     IF (LOP MOD NCHAN) = 0 THEN PRINT
1960     NEXT LOP
1970 ''
1980     GOTO 2050
1990 ''
2000 '' Error.
2010 ''
2020     PRINT
2030     PRINT "ERROR"
2040     PRINT
2050 END
2060 'rotina key

```

Anexo 3: Programa de análise dos dados

```

% programa PER1.M
% janela de 512 pontos : 200 Hz
clc
clg
clear functions
clear
a=input('velocidade do tratamento (m/s) : ')
load t1c1200
v=t1c1200;
size(v)
clear t1c1200;
h=hanning(512);
sf1=zeros(1:512,1);
for b=0:41
    clc
    disp('calculando ...'),b+1
    v1=v(((179*b)+1):511+((179*b)+1),1);
    m=mean(v1);
    vlp=v1-m;

```

```

v1h=v1p(1:512).*h;
V=fft(v1h);
sf1=sf1+V./41;
end
clear h;
clear v1;
clear v1h;
clear v1p;
clear V;
clear v;
dw=1/(512*.005*a)
w=0:dw:255*dw;
sf=abs(sf1(1:256,1));
plot(w,sf,'w'),grid,title('T1C1200- 512: FFT')
xlabel('cpm'),ylabel('mV^2/cpm'),pause,
save t1c1200f sf
%fim

```

Anexo 4: Índice de cone a 5, 10, 15, 20 e 25 cm

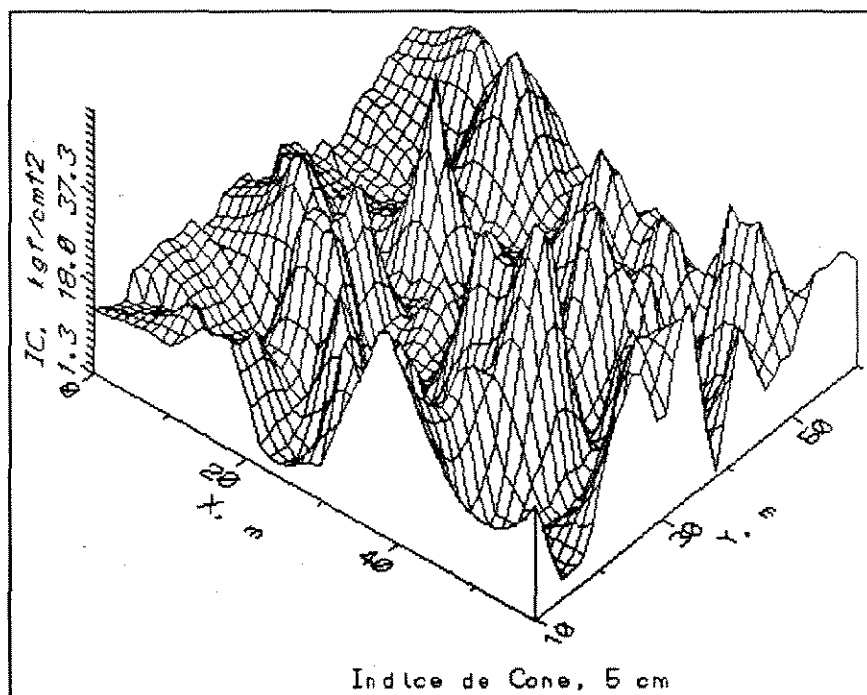


Figura 15 - Índice de cone a 5 cm de profundidade.

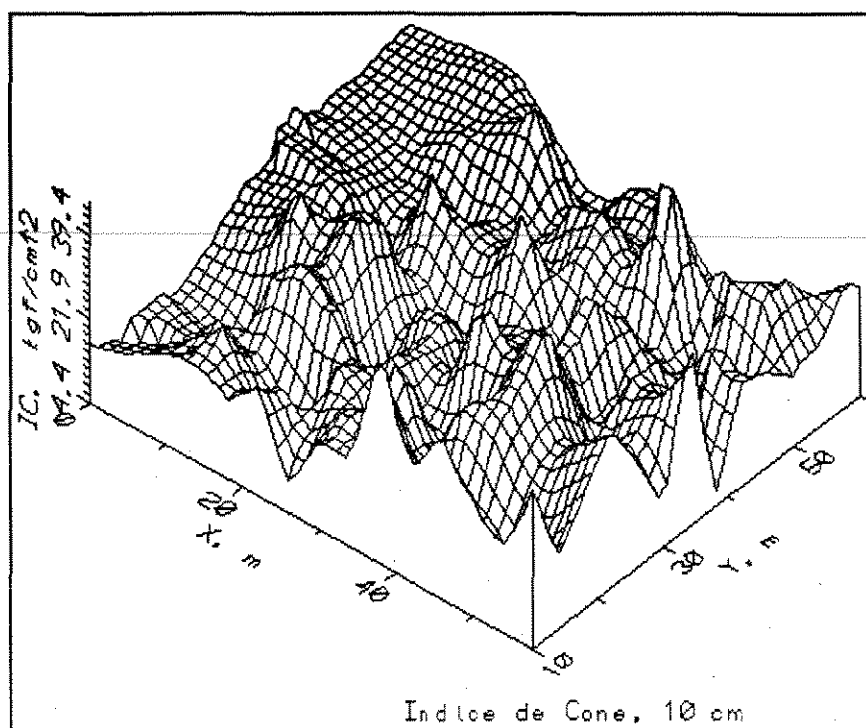


Figura 16- Índice de cone a 10 cm de profundidade.

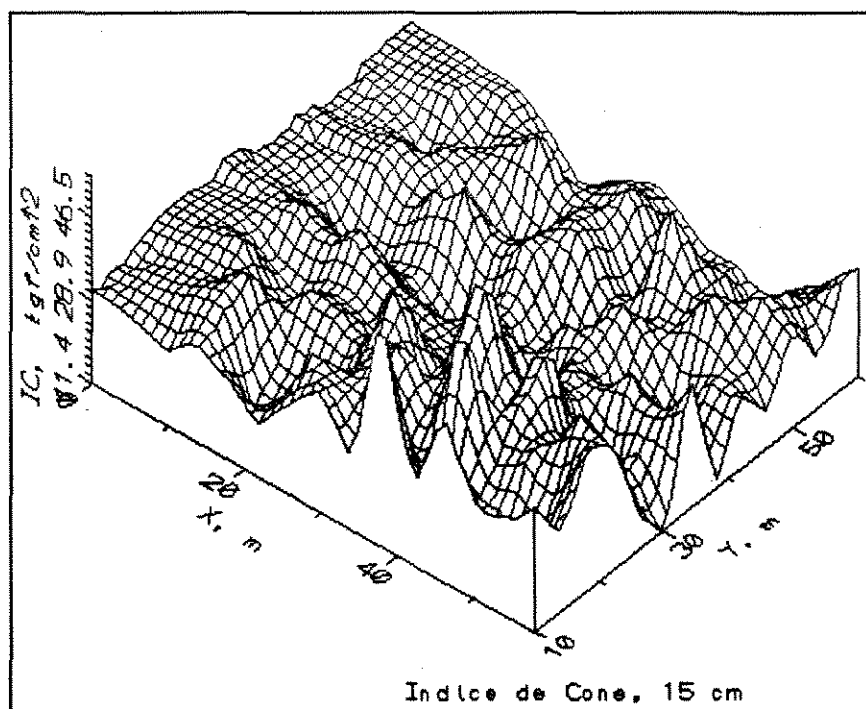


Figura 17- Índice de cone a 15 cm de profundidade.

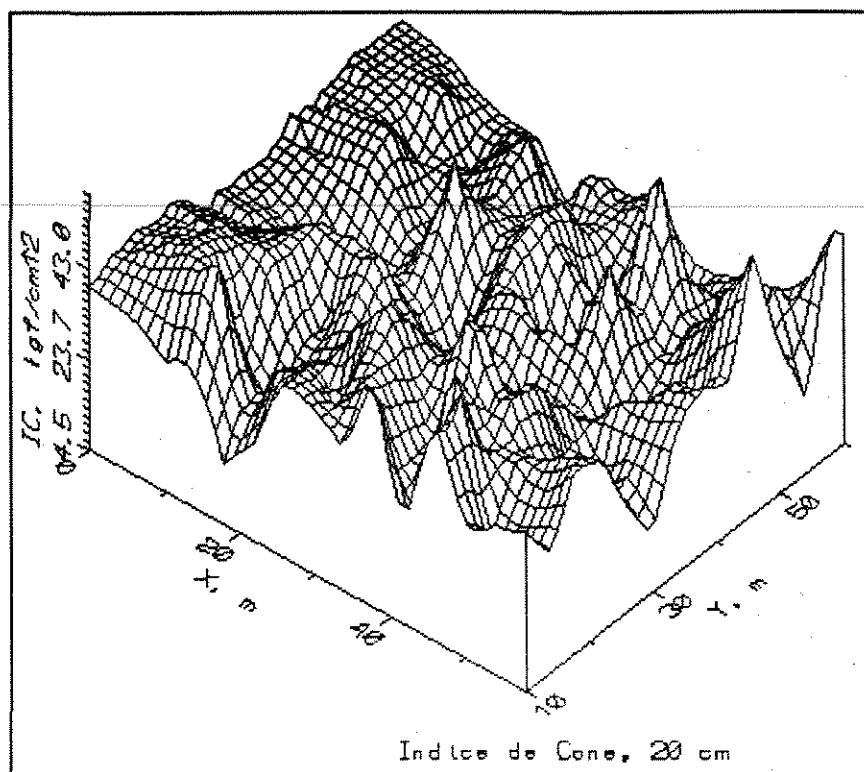


Figura 18- Índice de cone a 20 cm de profundidade.

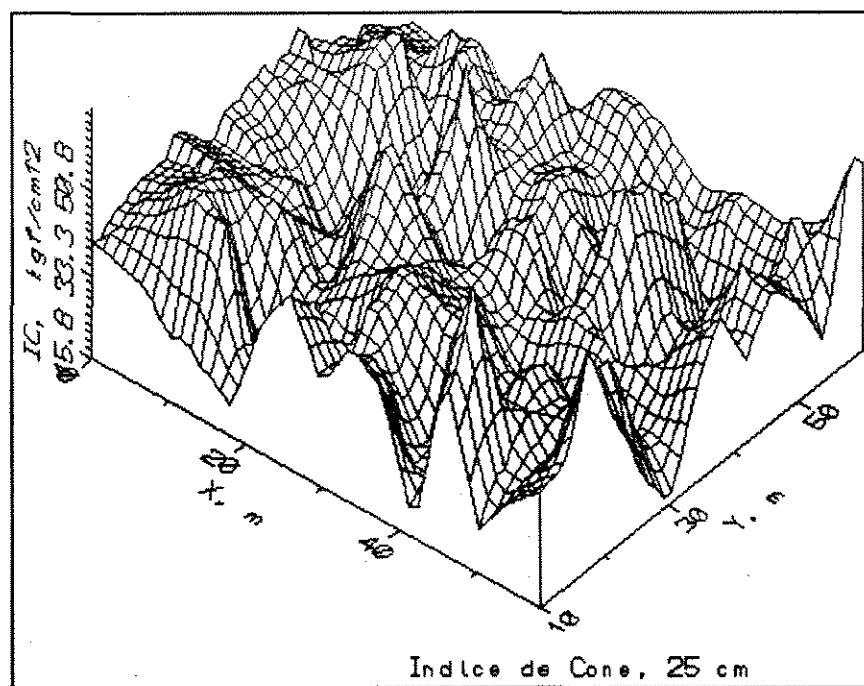


Figura 19- Índice de cone a 25 cm de profundidade.

Anexo 5: Análise de variância da densidade do solo

Tabela 5- Análise de variância do peso específico do solo.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	VALOR F	PROB.>F
TRATAM.	5	0,0980	0,0196	2,8602	0,02043
PROF.	2	1,0838	0,5419	79,0836	0,00001
TRAT*PROF	10	0,1366	0,0137	1,9935	0,04612
RESÍDUO	72	0,4934	0,0069	-	-
TOTAL	89	1,8118	-	-	-

Tabela 6- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo dos tratamentos.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	3	15	1,385	a	A
2	2	15	1,377	ab	A
3	5	15	1,366	ab	A
4	6	15	1,350	ab	A
5	1	15	1,314	ab	A
6	4	15	1,295	b	A

Tabela 7- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo dos tratamentos a 0 cm de profundidade.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	5	5	1,284	a	A
2	2	5	1,256	a	AB
3	3	5	1,250	a	AB
4	6	5	1,206	ab	AB
5	4	5	1,092	b	B
6	1	5	1,074	b	B

Tabela 8- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo dos tratamentos a 15 cm de profundidade.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	3	5	1,456	a	A
2	1	5	1,454	a	A
3	5	5	1,452	a	A
4	2	5	1,442	a	A
5	6	5	1,426	a	A
6	4	5	1,414	a	A

Tabela 9- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo dos tratamentos a 30 cm de profundidade.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	3	5	1,448	a	A
2	2	5	1,434	a	A
3	6	5	1,418	a	A
4	1	5	1,414	a	A
5	4	5	1,378	a	A
6	5	5	1,362	a	A

Tabela 10- Teste de Tuckey para as médias de peso específico de solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	30	1,441	a	A
2	30 cm	30	1,409	a	A
3	0 cm	30	1,193	b	B

Tabela 11- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T1.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,454	a	A
2	30 cm	5	1,414	a	A
3	0 cm	5	1,074	b	B

Tabela 12- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T2.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,442	a	A
2	30 cm	5	1,434	a	A
3	0 cm	5	1,256	b	B

Tabela 13- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de **T3.**

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,456	a	A
2	30 cm	5	1,448	a	A
3	0 cm	5	1,250	b	B

Tabela 14- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de **T4.**

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,414	a	A
2	30 cm	5	1,378	a	A
3	0 cm	5	1,092	b	B

Tabela 15- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de **T5.**

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,452	a	A
2	30 cm	5	1,362	ab	AB
3	0 cm	5	1,284	b	B

Tabela 16- Teste de Tuckey para as médias de peso específico do solo a 0, 15 e 30 cm de profundidade dentro de T6.

Nº ORDEM	TRATAMENTO	Nº REPET.	MÉDIAS	5%	1%
1	15 cm	5	1,426	a	A
2	30 cm	5	1,418	a	A
3	0 cm	5	1,206	b	B

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERSON, L. L. Electronic hitch control. In: Agricultural Electronics - 1983 and Beyond, v. 1, Proceedings of the National Conference on Agricultural Electronics Applications, Chicago, 1983. St. Joseph, MI : ASAE, publication #8.84, p. 60-6, 1984.
- ABNT. NBR 8566 - Engate de três pontos de tratores agrícolas com rodas - dimensões. São Paulo : Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984, 8 p.
- ASAE S313.2. Soil cone penetrometer. St. Joseph, MI : ASAE, ASAE Standards, 1991, 1 p.
- BENDAT, J. S., PIERSON, A. G. Engineering applications of correlation and spectral analysis. New York : Wiley-Interscience, 1980. 305 p.
- BENDAT, J. S., PIERSON, A. G. Random data: Analysis and measurement procedures. New York : Wiley-Interscience, 1971.
- BERNACKI, H., HAMAN, J., KANAFOJSKI, Cz. Agricultural machines, theory and construction. Warsaw : Scientific Publications Foreign Cooperation Center, 1972. v. 1.
- BOCCAFOGLI, A., BUSATTI, G., GHERARDI, F. et al. Experimental evaluation of cutting dynamic models in soil bin facility. Journal of Terramechanics, London, v.29, n. 1, p. 95-105, 1992.
- CROLLA, D. A., PEARSON, G. The response of tractor draught controls to random variations in draught. J. agric. Engng. Res., London, v. 20, p. 181-97, 1975.

COWELL, P. A., LEN, S. C. Field performance of tractor draught control systems. J. agric. Engng. Res., London, v. 12, n. 3, p.205-21, 1967.

DATA TRANSLATION. User manual for DT2801 series. 4 ed. Marlborough, Massachusetts : Data Translation Inc, 1985.

DECHAO, Zeng, YUSU, Yao. A dynamic model for soil cutting by blade and tine. Journal of Terramechanics, London, v. 29, n. 3, p. 317-327, 1992.

DWYER, M. J. The effect of draught control response on the performance of agricultural tractors. J. agric. Engng. Res., London, v. 14, n. 4, p. 295-312, 1969.

DWYER, M. J., CROLLA, D. A., PEARSON, G. An investigation of the potencial for improvment of tractor draught controls. J. agric. Engng. Res., London, v. 19, p. 147-65, 1974.

ESPÍNDOLA, C. R. Comunicação pessoal. Faculdade de Engenharia Agrícola: Univ. Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

FERRETTI, Geraldo. Avaliação do desempenho de um arado de aivecas. Campinas : UNICAMP, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1992.

GEBRESENBET, Girma. Dynamic behaviour of a mouldboard plough. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 25, p. 75-93, 1992.

GLANCEY, J. L., UPADHYAYA, S. K., CHANCELLOR, W. J. *et al.* An instrumented chisel for the study of soil-tillage dynamics. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 14, p. 1-24, 1989.

HALE, Francis J. Introduction to control system: analysis and design. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall INC., 1973.

ISMAIL, S. M., SINGH, G., GEE-CLOUGH, D. Comparisom of the field performance of three implement control systems for a tractor. J. agric. Engng. Res., London, v. 28, p. 521-36, 1983.

KEPNER, R. A., BAINER, Roy, BARGER, E. L. Principles of farm machinery. 3. ed. Westport, Conn. : Avi, 1982. 527 p.

- KHATTI, Ramkishan, PLATE, John. Allis-Chalmers load-sensitive hydraulic system for tractor-implement control. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, p. 851-55, 1974.
- LICKO, Z. John, HARRISON, H. Page. Acquisition and processing of soil reaction forces on tillage tools. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, v. 31, n. 2, p. 315-18, 1988.
- MANOR, G., CLARK R. L., RADCLIFFE, D. E., LANGDALE, G. W. Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, v. 34, n. 5, p. 1952-56, 1991.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO D3P : Departamento de Máquinas Agrícolas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, Campinas, SP. Circ. interna.
- MARPLE, S. Lawrence, Jr. Digital spectral analysis with applications. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall, 1987. 492 p.
- McKYES, Edward. The calculation of draft forces and soil failure boundaries of narrow cutting blades. TRANSACTIONS of the ASAE, St. Joseph, MI, p. 20-24, 1978.
- MORLING, Roy W. Agricultural tractor hitches analysis of design requirements. In: ASAE Distinguished Lecture Series - Tractor design No.5, St. Joseph, MI, ASAE, 1979, 20p.
- NEWLAND, D. E. An introduction to random vibrations and spectral analysis. 2 ed. Harlow, Essex : Longman Scientific & Technical, 1984. 377 p.
- OTNES, Robert K., ENOCHSON, Loren. Applied time series analysis : basic techniques. New York : John Wiley & Sons, 1978. v. 1, 449 p.
- PALMER, J., GLASBEY, C. A. Evaluation of load cycles generated on a fixed tine working in soil. J. agric. Engng Res., London, v. 45, p. 295-311, 1990.
- REIS, A. V. dos, SVERZUT, C. B. Sistema de engate de três pontos: uma revisão. Logos, Canoas, RS, ano 04, n. 01, p. 81-94, 1992.
- SALOKHE, V. M., RAJARAM, G., GEE-CLOUGH, D. Limitations of passive earth pressure theory for cage wheel lug and tine force predictions. Journal of Terramechanics, London, v. 26, n. 3/4, p. 235-48, 1989.

SILVA, A. P. da, LIBARDI, P. L., VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. R. bras. Ci. Solo, v. 13, p. 1-5, 1989.

SINGH, N., SINGH, G., SALOKHE, V. M. Cyclic variation in moldboard plow draft and its effect on implement control systems. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 21, p. 273-86, 1991.

STAFFORD, J. V., YOUNG, S. C. Sensing soil failure mode for dynamic implement control. St. Joseph, MI : ASAE, 1986. 18 P. Paper n. 86.1045.

THANH, T. N., SINGH, Gajendra. A model of draft control system for tractor-plough combination. Proceedings of an international conference, University Pertanian Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia : [ed. by CHOA, S. L. et al.] 10-15 sept., 1979.

YOUNG, S. C., JOHNSON, C. E., SCHAFER, R. L. Quantifying soil physical condition for tillage control applications. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, v. 31, n. 3, p. 662-67, 1988.

APÊNDICE

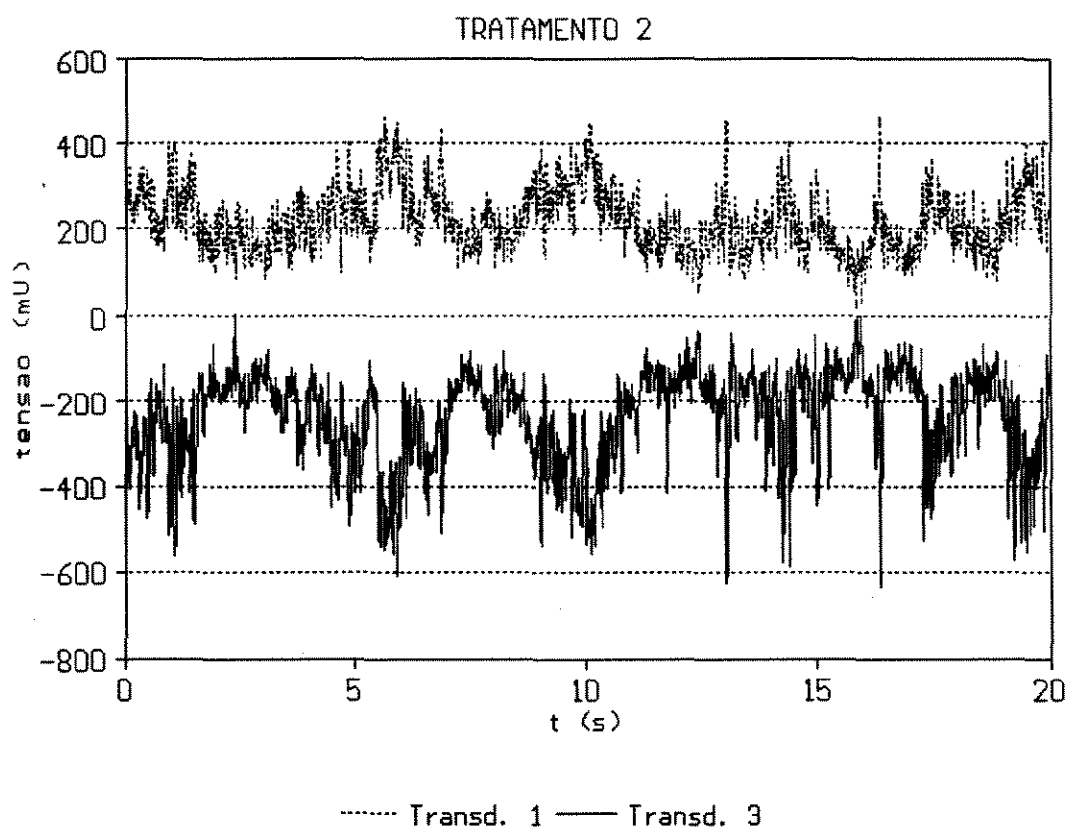


Figura 1- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três de T2.

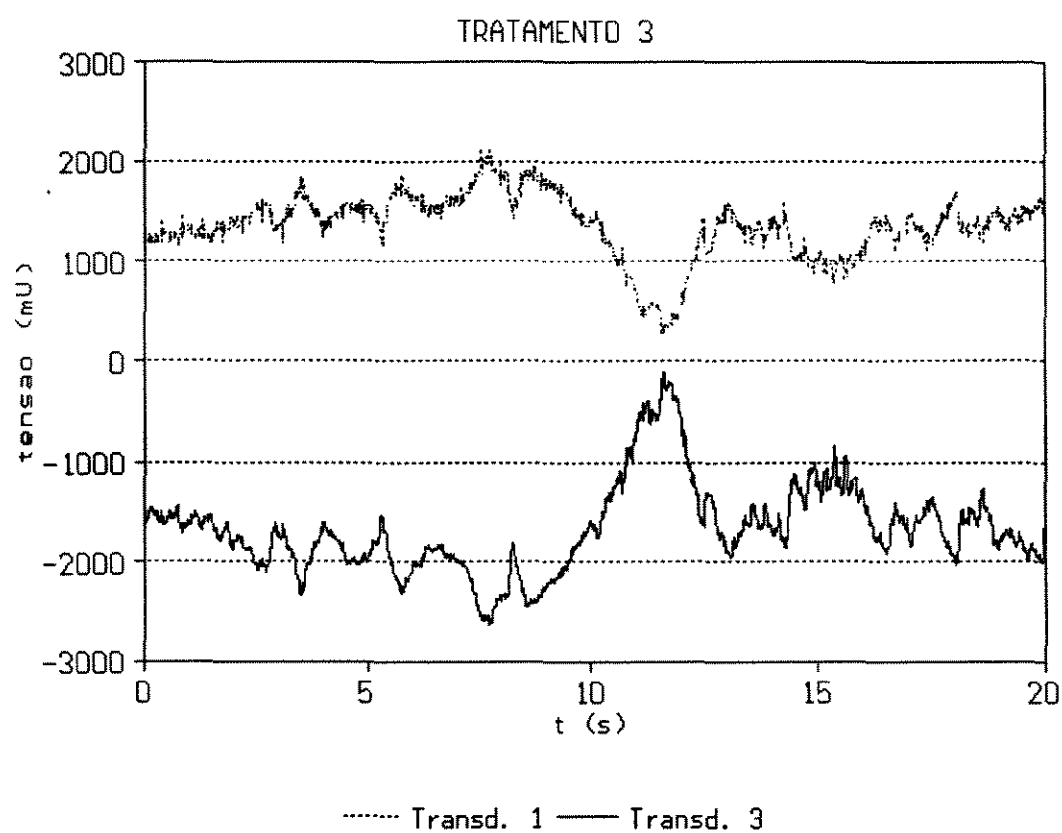


Figura 2- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três de T3.

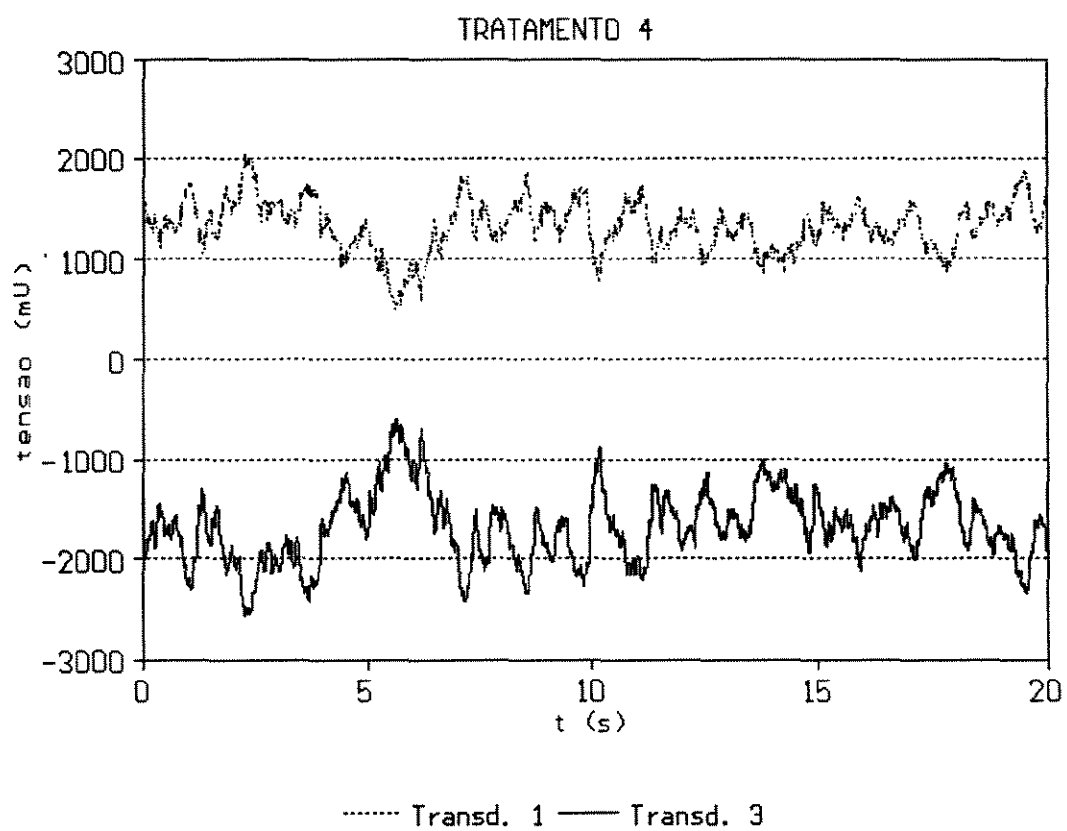


Figura 3- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três de **T4**.

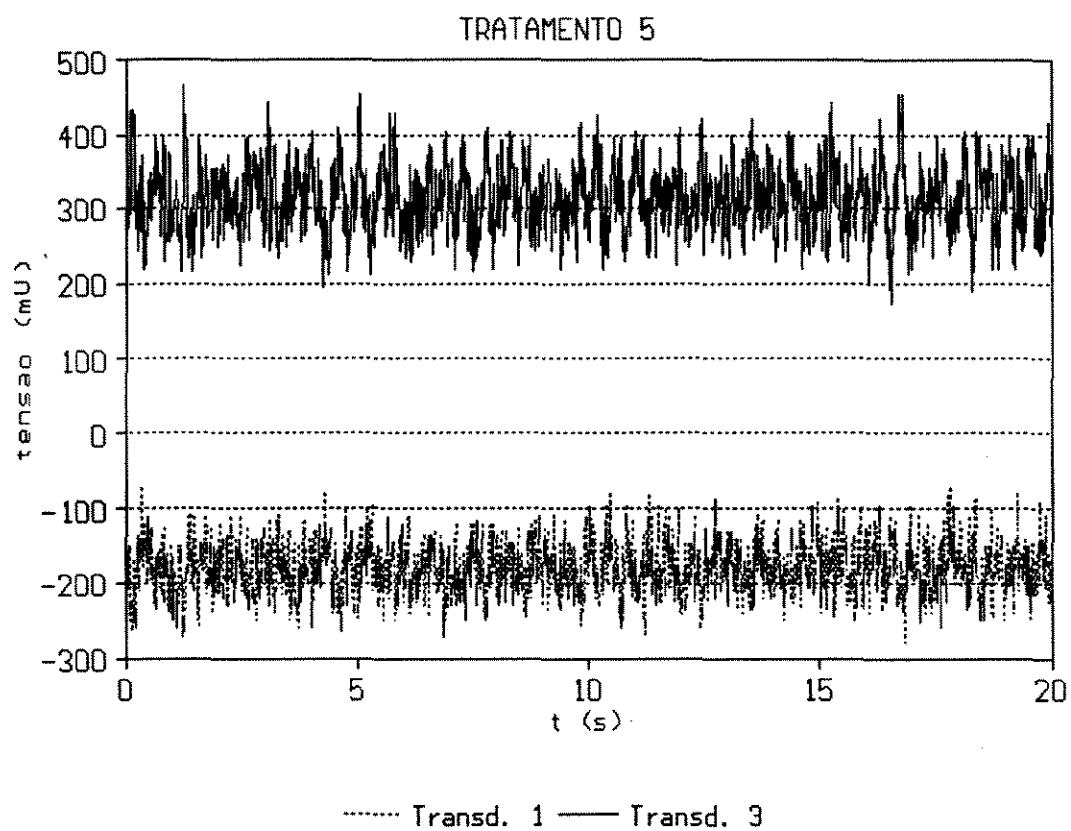


Figura 4- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três de T5.

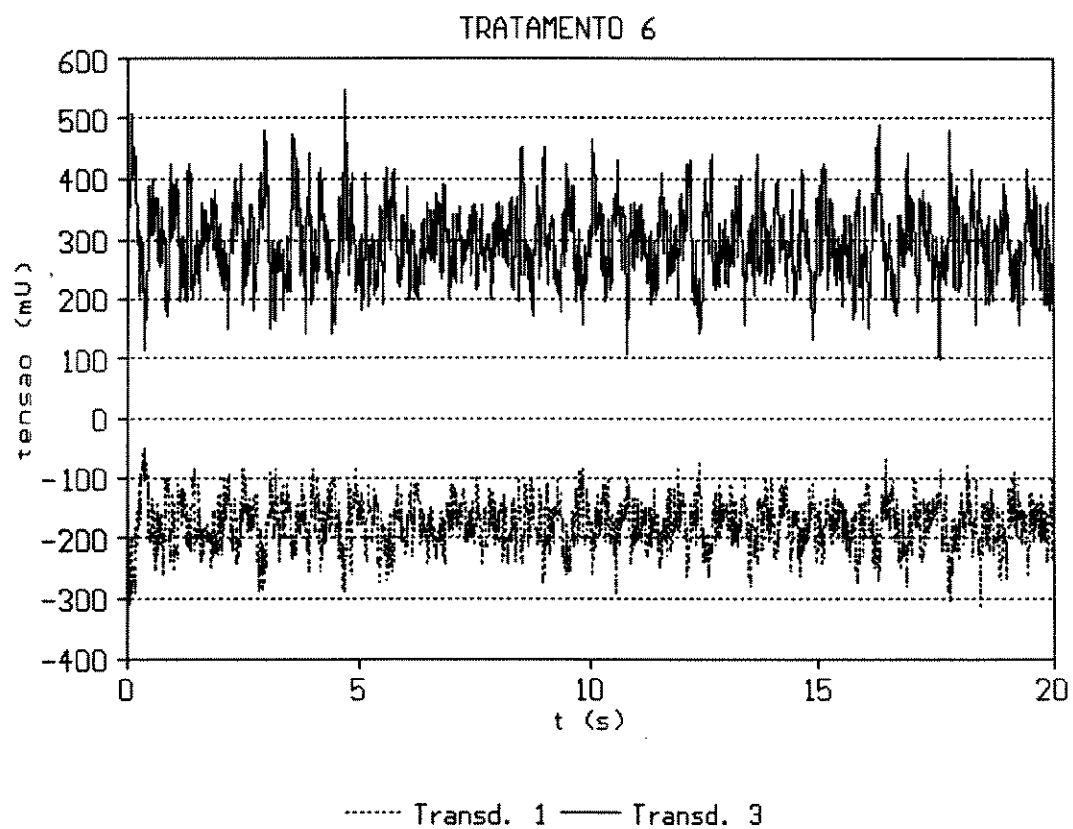


Figura 5- Variação da tensão em mV em função do tempo nos transdutores um e três de **T6**.

ABSTRACT

A field experiment was conducted to study the dynamic characteristics of the horizontal force signal, in the direction of forward travel, observed at the three point hitch of the tractor with a three point dynamometer during chisel operation. The tests were made in a *latossolo roxo* with 61% of clay at 30 cm depth. Two travel speeds (4 and 6 km/h) and three chisel plow configurations (no tine, one tine and three tines) were used. After analog to digital conversion, the signals of each treatment were submitted to analysis via Fourier Transform, with the objective of knowing their frequency spectrum and identifying those frequencies generated by the soil-tool interaction, tractor and chisel plow. The results indicates, among other things, that the analysis procedure used is suitable with soil draft data manipulation, and that it is possible to use the spectral analysis to access the qualitative and quantitative characteristics of soil reaction force.