

ANÁLISE ESPECTRAL DAS FORÇAS NO SISTEMA DE ENGATE DE TRÊS PONTOS DO TRATOR AGRÍCOLA

REIS, Ângelo V.¹; SVERZUT Claudio B.²

¹UFPEL / FAEM/ Deptº de Engenharia Rural - Campus Universitário - Caixa Postal, 354, CEP 96010-900 Pelotas, RS - Brasil.

² UNICAMP / FEAGRI / DEMAQAG
(Recebido para publicação em 17/10/94)

RESUMO

Foi montado um experimento de campo com a finalidade de estudar as características dinâmicas das forças horizontais na direção do deslocamento do conjunto trator-escarificador observadas no sistema de engate de três pontos do trator através de um dinamômetro de três pontos. Os testes foram conduzidos em latossolo roxo textura muito argilosa a duas velocidades (4 e 6 Km/h) com uma e três hastes, operando 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 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.

Palavras-chave: análise espectral, sistema de engate, força de tração, escarificação

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) with one 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, that the analysis procedure used is suitable with soil draft data manipulation, and that it is possible to use spectral analysis to access the qualitative and quantitative characteristics of soil reaction force.

Key Words: spectral analysis, three point hitch, draft force, chisel plow.

INTRODUÇÃO

O sistema de engate de três pontos com acionamento hidráulico é equipamento padrão nos tratores agrícolas de rodas; e pode ser considerado como um dos seus sistemas mais importantes, pois transmite aos implementos, na maioria dos casos, a potência necessária à execução das tarefas agrícolas.

Segundo 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.*

Quando se pensa na implantação de um sistema digital de controle de tração, deve-se considerar quais parâmetros de controle 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.

Sabe-se que a força de tração resultante da passagem de uma ferramenta pelo solo não é constante. A existência de planos de ruptura de solo à frente da ferramenta como descrito nos modelos de predição de força de tração e da geometria dos planos de ruptura do solo de MCKYES (1978) e DECHAO, YUSU (1992) entre outros fazem com que esta seja submetida a esforços cíclicos. O fenômeno surge quando as componentes horizontal e vertical da resistência do solo aumentam rapidamente, em decorrência do deslocamento da ferramenta, até que o solo se rompa e a resistência baixe a valores mínimos. O processo recomeça tão logo a haste atinja uma nova porção de solo não movimentado.

Portanto, a força que se opõem ao movimento da ferramenta no solo deve ser de natureza também variável. Tal fato foi constatado por vários autores [STAFFORD, YOUNG (1986), SALOKHE *et al.* (1989), SINGH *et al.* (1991), BOCCAFOGLI *et al.* (1992)].

Dentre os autores pesquisados apenas dois, GLANCEY *et al.* (1989) e SINGH *et al.* (1991), realizaram experimentos a nível de campo e com implementos em escala natural para avaliar o comportamento dinâmico do solo. Os primeiros, trabalhando com escarificador, constataram que a ruptura do solo à frente da haste do escarificador ocorria em frequências de 3,85 a 4,88 ciclos por metro (cpm). Já SINGH *et al.* (1991), em trabalhos com arado de aivecas, verificaram que esta frequência era de 1,2 a 3,6 cpm.

STAFFORD, YOUNG (1986) apontam várias razões que aconselham o uso do padrão de ruptura do solo no controle e monitoramento de implementos de preparo do solo. Os autores afirmam que é possível avaliar a periodicidade do sinal da força de tração destes implementos através da aplicação de uma Análise de Fourier, identificando componentes de frequência significativos.

Sendo assim, o presente trabalho pretende dar mais um passo à frente na área de controle de implementos, tendo por objetivo estudar a nível de campo as forças horizontais na direção de deslocamento geradas no sistema de engate três pontos em operações de escarificação, obtendo e analisando o seu espectro de frequência.

MATERIAL E MÉTODOS

- Trator de 103 kW com tração dianteira auxiliar utilizado como fonte de potência para tracionar o escarificador.

- Escarificador montado de hastes rígidas com espaçamento regulável.

- Dinamômetro de engate de três pontos (D3P), utilizado nas 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/UNICAMP. Os transdutores um e dois do D3P correspondem às forças horizontais na direção do deslocamento verificada no primeiro e no segundo ponto de acoplamento respectivamente. O transdutor três corresponde à força anotada junto ao terceiro ponto de acoplamento.

- Gravador de sinais de fita magnética da marca Kyowa mod. 510 B.

- Conversor analógico/digital (A/D) com resolução de 12 bits, 8 canais com entrada diferencial e tempo de conversão de 25 μ s por ponto.

O experimento foi realizado no município de Campinas, SP, num tipo de solo classificado como *Latossolo Roxo textura muito argilosa*, que no dia dos testes encontrava-se com um teor de água de 24,4%.

Os testes foram feitos com o escarificador trabalhando a uma profundidade média de 30 cm, a duas velocidades de deslocamento (4 e 6 km/h) e com uma e três hastes (45 cm de afastamento lateral). 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 (T5 e T6), com o conjunto trator-implemento trafegando nas parcelas nas duas velocidades escolhidas sem mobilizar o solo, conforme o proposto por LICSKO, HARRISON (1988).

A área experimental foi subdividida em seis parcelas de 48 metros de comprimento por oito metros de largura, uma para cada tratamento. Como o método de análise não está baseado numa simples comparação entre as variáveis de resposta de cada tratamento, a necessidade de se fazer repetições tem a sua importância diminuída. Entretanto, com a finalidade de manter homogêneas as condições de ensaio, tanto ao longo de cada parcela como entre elas, os tratamentos foram orientados dentro da área experimental de forma conhecida, não aleatória, baseados em determinações prévias de teor de água, densidade de solo e índice de cone retiradas numa malha quadrada de 49 pontos.

A discretização dos dados foi feita de acordo com os procedimentos sugeridos, para este tipo de análise, por LICSKO, HARRISON (1988), resultando numa taxa de aquisição de 200 Hz (200 dados por segundo). Sendo assim, o tamanho das amostras variou de 5.200 a 8.000 dados, para os tratamentos de 6 e 4 km/h respectivamente.

A análise espectral foi feita, com o auxílio de subrotinas constantes do programa MATLAB e da metodologia do *Periodograma de Welch* apresentado por MARPLE (1987). O detalhamento desta metodologia, assim como o programa desenvolvido é apresentado por REIS (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise dos resultados revelou a presença de harmônicos no sinal da força em todos os tratamentos e transdutores. Notou-se que em todos eles havia um pico de 1,17 Hz (Fig. 1). 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. Isto se deve ao fato dos tratamentos terem sido orientados transversalmente à marcas profundas de pneus existente no solo resultantes do tráfego de um conjunto trator-roçadora com o solo demasiadamente úmido. Verificou-se que as marcas se distanciavam predominantemente de 0,91 m, confirmando a origem da frequência básica observada. Os harmônicos surgem em decorrência dos transdutores de força do D3P registrarem a passagem dos rodados do trator e das hastes do escarificador por estes obstáculos.

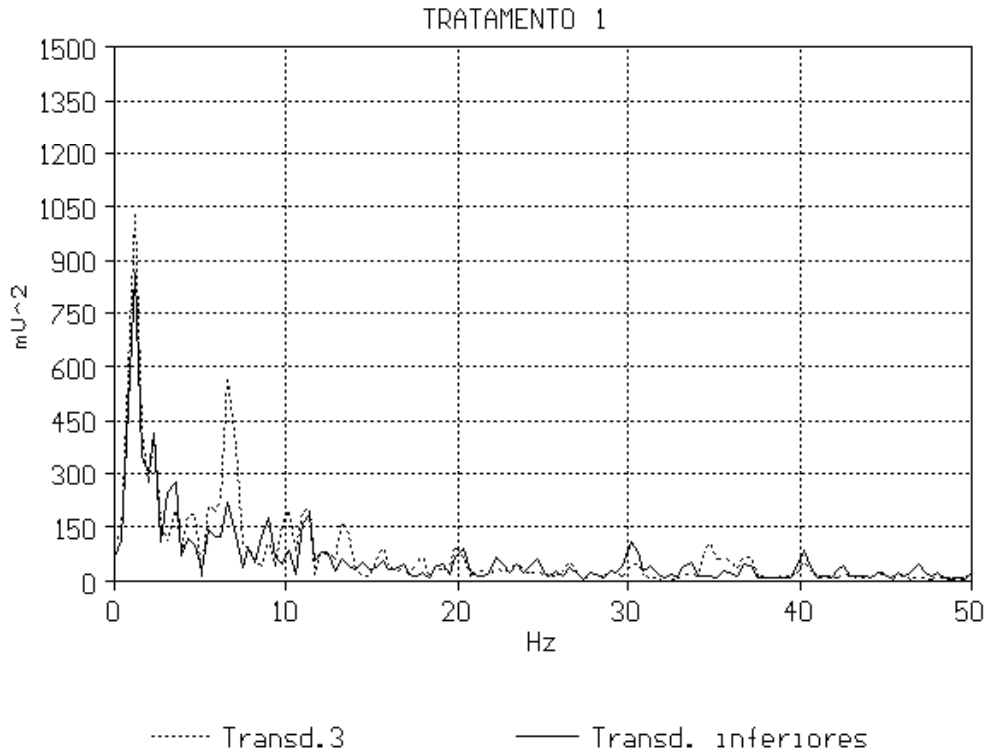


Figura 1- Espectro de freqüência de T1 em Hz, transdutor três e média aritmética entre os transdutores um e dois.

A fim de se evitar erros de interpretação, os tratamentos foram primeiramente comparados com T5 e T6. Os resultados obtidos, excluídos os harmônicos, são apresentados na Tab. 1. Pode-se observar 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 merecem uma análise cuidadosa pois podem ser confundidos com instabilidades no espectro devido ao número limitado de dados inerentes a este tipo de análise.

Tabela 1- 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		

CONCLUSÕES

A análise dos resultados evidencia, pela identificação dos harmônicos, 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).

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 seria muito difícil diferenciar frequências provindas do sistema mecânicos daquelas oriundas da ação da ferramenta no solo.

Pode-se constatar 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 (acima de 10 Hz) que tendem a dificultar a interpretação dos resultados.

Também foi possível determinar, pela análise de correlação entre os transdutores um, dois e três, que a posição (inferior ou superior) dos mesmos não altera significativamente os resultado da análise.

Entretanto, não foi possível determinar com precisão 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, favorecendo o surgimento de sinais harmônicos oriundos 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. Desta forma, as frequências de 7,81; 8,98; 11,33 e 13,28 Hz não podem ser creditadas, sem sombras de dúvidas, à ruptura do solo à frente das hastes do escarificador.

Analogamente, neste experimento, não pode ser verificado claramente a influência da velocidade na frequência de ruptura do solo conforme indicam GLANCEY *et al.* (1989).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOCCAFOLGI, 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.

- 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.
- 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.
- LICSKO, 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.
- 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.
- REIS, A. V. dos. Análise espectral das forças no sistema de engatade três pontos do trator agrícola. Campinas : UNICAMP, 1993. 94 p. Dissertação (Mestrado em Eng^a. Agrícola) - Faculdade de Eng^a. Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1993.
- 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.
- 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.