

# XI. ENGENHARIA AGRÍCOLA

## DINAMOMETRIA DE IMPLEMENTOS MONTADOS: UMA SOLUÇÃO SIMPLIFICADA<sup>(1)</sup>

JOÃO AURELIANO DE SOUZA COSTA<sup>(2)</sup>, SÉRGIO AUGUSTO HIROAKI  
KURACHI<sup>(3)</sup>, CLÁUDIO ALVES MOREIRA<sup>(4)</sup>  
e GASTÃO MORAES DA SILVEIRA<sup>(5)</sup>

### RESUMO

Desenvolveu-se e testou-se um conjunto torre-braços articulados para engate ao sistema de levante hidráulico de implementos montados com apoio sobre rodas, mais especificamente unidades semeadoras-adubadoras de linhas múltiplas, para a determinação de suas exigências de tração. Como elemento sensor, usou-se um anel simples para tração/compressão, instrumentado a extensômetros elétricos em ponte completa, conectado por cabos de aço flexíveis entre a barra do implemento e a base da torre intermediária. Projetado para trabalhos na faixa de 0-6.000N, submetido a testes de calibração estática, mostrou alta linearidade de resposta com  $R = 0,9997$ , um excelente retorno ao zero e resolução em torno de 70N. O conjunto, levado a testes com uma unidade semeadora-adubadora de sete linhas, em terreno firme, plano e inclinado, acusou esforços altamente consistentes com valores resultantes de cálculos simples; isso, aliado à simplicidade de sua concepção, confere-lhe um caráter de alta confiabilidade. O uso do conjunto altera a geometria trator-implemento, o que não constitui problema maior quando se está interessado em esforços de tração apenas, em se tratando desse tipo de implemento. Valores obtidos em trabalhos em terreno plano e preparado para plantio, bastante discrepantes dos encontrados em literatura, mostram a conveniência da execução de trabalhos sistemáticos para o conhecimento das reais necessidades de tração desses implementos em nossas condições.

**Termos de indexação:** dinamometria; implementos montados, exigências de tração.

<sup>(1)</sup> Com apoio financeiro da FINEP. Recebido para publicação em 17 de janeiro e aceito em 25 de junho de 1990.

<sup>(2)</sup> Seção de Máquinas de Movimentação do Solo, Divisão de Engenharia Agrícola (DEA), Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 26, 13200 Jundiaí (SP).

<sup>(3)</sup> Seção de Projetos e Materiais, DEA, IAC.

<sup>(4)</sup> Seção de Máquinas de Colheita e Processamento de Produtos Agrícolas, DEA, IAC.

<sup>(5)</sup> Seção de Máquinas de Movimentação do Solo, IAC.

<sup>(6)</sup> Com bolsa de pesquisa do CNPq.

## ABSTRACT

### MOUNTED IMPLEMENT DYNAMOMETRY: A SIMPLIFIED SOLUTION

An intermediary tower-articulated arm device, for attachment to three-point hitch of mounted implements, with ground wheels, more specifically, multiple row seed-planters, was developed and tested on draft determination works. A single ring with electrical extensometers connected in full bridge, was used for sense traction compression efforts, anchored by flexible steel cables between the implement bar and the base of the intermediary tower. Designed for works on the range of 0-8,000N, submitted to static calibration tests, showed high linearity, with  $R = 0.9997$ , an excellent zero return and a resolution of around 70N. A seven row seed-planter was then tested in two sites, firm ground, plane and inclined, and plane, prepared for planting. Draft values from the two first conditions were highly consistent with results obtained from simple theoretical calculus. This, allied to its simplicity of conception, confers to the device a great deal of reliability. Its use alters the tractor-implement geometry, not being a major problem if there is interest on draft efforts only, for these kind of implements. Results from works in the site prepared for planting, so different from literature citations, say about of convenience of systematic work for the knowledge of real draft requirements of mounted implements in our conditions.

**Index terms:** dynamometry; mounted implements, draft efforts.

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos são os problemas envolvidos na dinamometria de implementos montados, dependendo da natureza da investigação ou enfoque. Se se pretende obter informações sobre as exigências de tração apenas, tais problemas podem ser bastante simplificados, notadamente no caso de implementos simétricos com apoio sobre rodas.

O método mais simples para a determinação das exigências de tração de implementos montados, qualquer que seja o tipo, é o da determinação indireta ou por diferença. Consiste em se determinar o esforço exigido por um trator em rolamento e, a seguir, tracionando-o com o implemento, obtém-se, por diferença, a exigência desse último. É um método de pouca precisão inerente, normalmente utilizado quando não se dispõe de outros recursos e se deseja apenas obter informações sobre a ordem de grandeza dos esforços.

Por outro método, de determinação direta, lança-se mão de dinamômetros especiais de projeto e construção mais ou menos sofisticados. Alguns desses projetos alteram a geometria trator-implemento (JOHNSON & VOORHEES, 1979; SCHOLTZ, 1966). Outros implicam a instrumentação de elementos do sistema de levante hidráulico, que restringem seu emprego a um único trator (UPADHYAYA et al., 1985, e NEUHOLT, 1959; Luth et al. e Collins et al., citados por UPADHYAYA

et al., 1985). Embora se prestem à identificação simultânea de outros esforços, exigem algum tratamento analítico dos dados.

MATTOS et al. (1973) propõem uma solução intermediária, em que pinos especiais para acoplamento ao sistema de levante são utilizados. Limitações apontadas pelos próprios autores e restrições que uma análise da geometria do sistema imporiam não a recomendam.

Considerando-se os aspectos mencionados, para o caso específico de implementos montados, simétricos e com apoio sobre rodas, e dos quais se deseje apenas a determinação das exigências de tração, um conjunto torre intermediária-braços articulados-anel simples para tração, configurava-se como uma solução simples e versátil. Essa solução altera a geometria trator-implemento e torna inoperante o controle de profundidade do sistema de levante hidráulico, o que não representa problema maior nos casos em que esse controle é feito manualmente por dispositivos mecânicos incorporados ao corpo do implemento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Como elemento sensor, foi projetado e construído um anel simples para tração/compressão, instrumentado a extensômetros elétricos em ponte completa. No dimensionamento do anel, tomou-se como base a equação proposta por COOK & RABINOWICZ (1963), a qual define a deformação unitária para pontos situados a 90° com a linha de carregamento. De considerações de projeto, definiu-se como faixa favorável de trabalho 1.000-6.000N, com carga de pico de 15.000N. Empregou-se aço comum de construção mecânica, temperado e revenido, levado a uma dureza superficial final em torno de 38 Rc.

Para o acoplamento trator-implemento, utilizou-se uma torre intermediária categoria II modificada. Dois pares de braços articulados na forma de balancins fazem a conexão com a barra do implemento por meio de elementos de fixação presos por grampos. Dessa maneira, diferentes implementos, no caso específico - unidades semeadoras-adubadoras - podem ser tracionadas. Suspenso entre a barra do implemento e a base da torre intermediária, o anel é submetido a carregamento quando se procede à tração, pela distensão dos braços articulados (Figuras 1 e 2).

Inicialmente, submeteu-se o anel a testes de calibração estática com aplicação de cargas de tração a intervalos de 500N, utilizando-se célula de carga aferida para verificação da linearidade de resposta e obtenção da respectiva equação de regressão.

Uma unidade semeadora-adubadora de sete linhas, com peso vazio de 5.500N, declarado pelo fabricante, foi acoplada ao sistema de engate de três pontos de um trator Massey-Ferguson modelo 292 (categoria II), por meio do conjunto torre-braços articulados, com o anel já calibrado, em sua posição normal de trabalho.

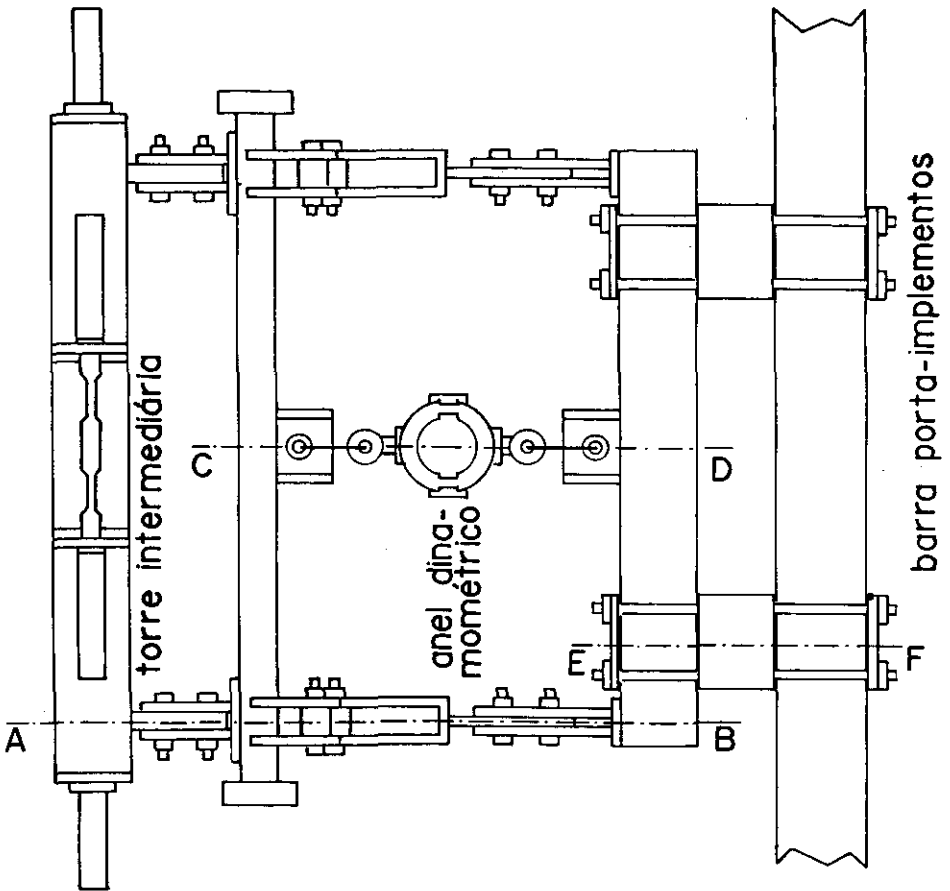


FIGURA 1. Conjunto torre-braços articulados-anel, visto de cima, acoplado a uma barra porta-implementos por meio de grampos de fixação. Estão indicados os cortes mostrados na figura 2.

Todo o conjunto foi levado a **testes de tração em terreno firme, plano e inclinado, e terreno plano preparado para plantio, visando verificar a viabilidade de utilização do sistema em trabalhos dinâmicos.**

Na realização dos **testes, empregou-se o sistema de aquisição de dados computadorizado mencionado por COSTA et al. (1989), com a diferença de que o monitor de vídeo foi excluído do sistema. Com modificações no "software", as mensagens no vídeo foram substituídas por três seqüências sonoras geradas pela própria Unidade Central de Processamento (UCP), as quais gerenciam todo um "set" de aquisições.**

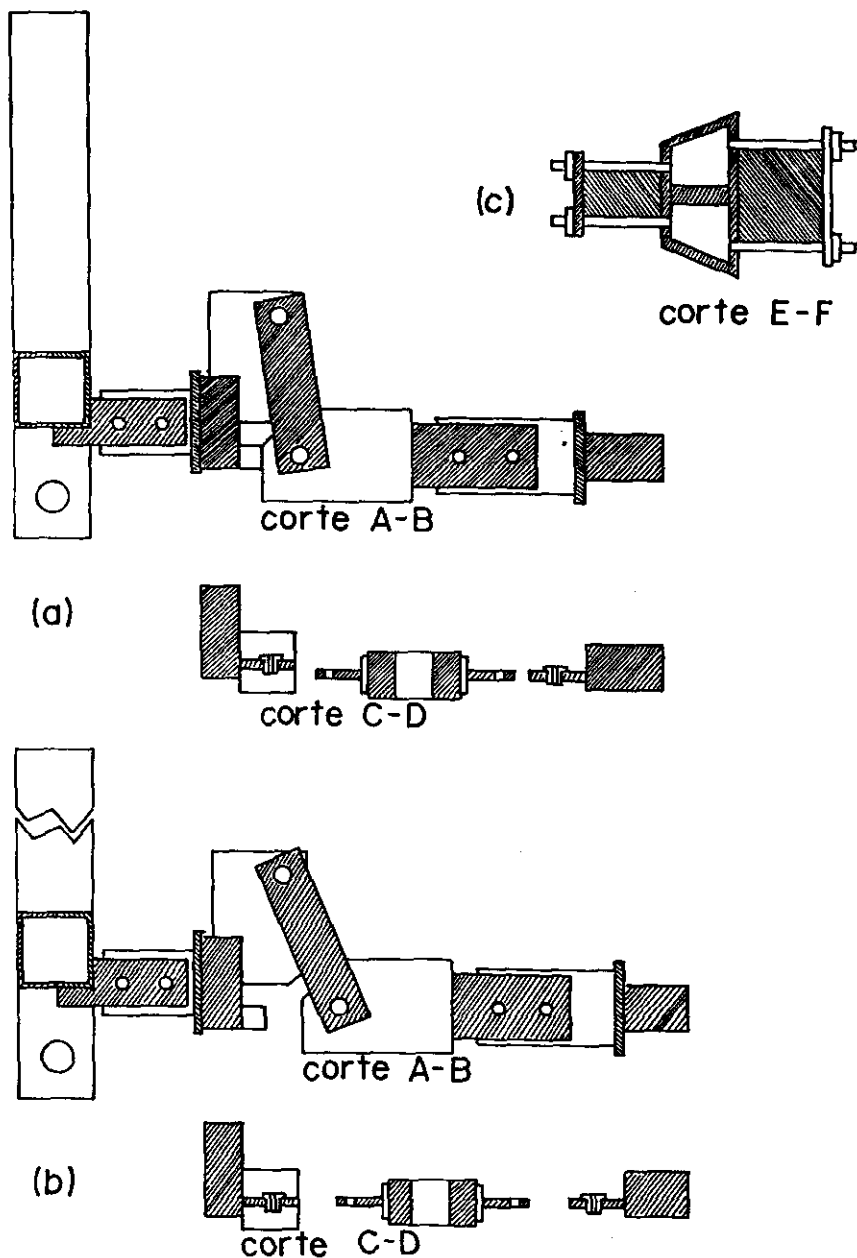


FIGURA 2. a) Conjunto torre-braços articulados-anel em vista lateral em posição de descanso (corte A-B e C-D). b) Idem em posição de tração. c) Componentes posteriores do conjunto, grampos de fixação e barras de sustentação (corte E-F).

Nas três condições de terreno, efetuaram-se seis repetições constituídas por aquisições de 3.000 dados, em grupos de 30, a uma velocidade em torno de 5.000Hz intervalados, muito superior, portanto, aos 100Hz preconizados por KOCHER & SUMMERS (1987). Trabalhou-se em terceira marcha reduzida, a cerca de 1.700 rpm do motor, a uma velocidade em torno de 5km/h e à profundidade de 6-8cm.

No tratamento dos dados, um programa em BASIC gerenciava a descarga dos dados gravados em disquetes para a memória RAM do microcomputador, calculando-se então os valores de força de tração por meio da equação de regressão do anel. À média de cada grupo de 30 dados correspondia um valor de força de tração, sendo obtidos, em cada condição de teste, 100 valores, dos quais era calculada a força de tração média correspondente.

Esses valores foram então comparados com dados de literatura e provenientes de cálculos simples, levando em consideração coeficientes de resistência ao rolamento e declividade do terreno.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos de calibração estática com o anel indicaram uma alta linearidade de resposta, com  $R = 0,9997$ , e um excelente retorno ao zero, de cerca de  $3 \mu\epsilon$ . Obteve-se uma equação de regressão da forma  $Y = -3,5 + 76 \times X$ , onde Y corresponde à força de tração calculada e X, às diferenças em relação ao zero, conferindo ao sistema uma resolução final em torno de 70N, cerca de 1% em fundo de escala, o que pode ser considerado satisfatório, dada a ordem de grandeza dos esforços a serem determinados, esperadamente acima de 1.000N.

O sistema de braços articulados mostrou-se eficiente no sentido de, se não eliminar, pelo menos reduzir ao mínimo resistências de atrito provenientes de desalinhamento do conjunto trator-implemento. Somente em situações de curvas acentuadas, pode ser observada a ocorrência do problema.

O quadro 1 apresenta os valores médios de força de tração correspondentes aos testes feitos nas três condições de terreno.

BARGER et al. (1966) definem a resistência ao rolamento como:

$$R = P \times C \quad (1)$$

onde:

R = resistência ao rolamento, N;

P = peso do implemento, N;

C = coeficiente de resistência ao rolamento.

Para terreno firme, segundo os mesmos autores, esse valor poderia, em princípio, ser tomado como entre 0,04 e 0,05. Para um peso próprio de 5.500N, teremos:

$$R = P \times C;$$

$$R = 5.500 \times 0,045;$$

$$R = 250N.$$

Se observarmos os valores indicados no quadro 1, na linha correspondente a terreno firme, plano, pode-se notar uma grande concordância entre os valores de teste e os resultantes da aplicação da equação (1).

Complementarmente, se tomarmos o valor da tangente do ângulo de active, a segunda condição de teste, teremos a quantidade de peso transformada em necessidade de tração, dada pela equação:

$$T = P \times \operatorname{tg} \alpha$$

onde:

T = necessidade de tração devida ao ângulo, N;

P = peso do implemento, N;

$\alpha$  = ângulo de active, graus.

Para um ângulo  $\alpha$  calculado em torno de  $3^\circ$ , teremos:

$$T = P \times \operatorname{tg} 3^\circ;$$

$$T = 5.500 \times 0,05;$$

$$T = 280N.$$

Esse valor, somado aos 250N calculados referentes à resistência ao rolamento, resulta em uma exigência de tração total calculada de 530N, para a situação de teste em terreno firme, inclinado. Do quadro 1, pode-se observar também, da linha correspondente, a excelente concordância desse valor com os de teste.

QUADRO 1. Valores de força de tração resultantes de trabalhos dinamométricos com o conjunto torre-braços articulados-anel, Semeadora-adubadora de sete linhas, com os depósitos vazios

Condições de terreno	Repetições						Médias
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	
	N						
Terreno firme plano (1)	240	260	260	260	230	250	250
Terreno firme, em active (1)	530	520	530	530	540	560	533
Terreno plano preparado para plantio (2)	980	1.130	1.030	990	1.090	1.260	1.108

(1) Implemento apenas tracionado, sem os órgãos abridores de sulco em posição de trabalho.

(2) Implemento em operação normal.

Já com relação aos trabalhos em terreno preparado para plantio, os dados da literatura mostram uma grande dispersão, com valores situados numa faixa de 1.100-4.500N/linha de plantio (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1985), ou, então, referem-se a semeadoras com diferentes tipos e números de ferramentas abridoras de sulco, com valores na faixa de 3.000-7.000N (DELAFOSSÉ et al., 1982, 1983, 1984), dificultando, numa comparação direta, uma avaliação mais conclusiva quanto à validade da ordem de grandeza dos valores de testes. No caso presente, o implemento utilizava discos simples côncavos convergentes de 310mm de diâmetro. Os baixos valores encontrados, com média em torno de 1.100N, podem, em princípio, ser atribuídos ao fato de o terreno ter sido preparado com enxada rotativa e excessivamente pulverizado. Chuvas subseqüentes, seguidas de período com bastante insolação, criaram uma crosta superficial que teria reduzido a resistência ao rolamento, sem aumentar a resistência à penetração das ferramentas. Esses resultados, dada a simplicidade do sistema utilizado, com a conseqüente confiabilidade inerente, reforçada pela baixa variação na faixa de valores e pela consistência dos resultados dos dois casos anteriores, podem necessariamente ser aceitos como válidos. Sua ordem de grandeza, bastante discrepante das citadas na literatura, constitui um elemento indicador da oportunidade de execução sistemática de testes com implementos montados, nas nossas condições, para o conhecimento de suas reais necessidades de tração.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os valores de força de tração obtidos, referentes aos trabalhos em terreno firme, plano e inclinado, consistentes com valores calculados, indicam ser o conjunto torre-braços articulados-anel, uma ferramenta simples, versátil e confiável para a determinação das exigências de tração de semeadoras-adubadoras montadas.
2. O conjunto altera a geometria trator-implemento e elimina a ação do controle de profundidade do sistema de levante hidráulico, o que não constitui problema maior quando se trata daquele tipo de implemento e se está interessado apenas na força de tração.
3. Os valores encontrados nos trabalhos em terreno preparado para plantio, bastante discrepantes daqueles da literatura, representam um elemento indicador da conveniência de que trabalhos sistemáticos sejam feitos, para que se conheçam as reais exigências de tração desses implementos em nossas condições.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Auxiliar Agropecuário III Sérgio Roberto Filipini, a cargo do qual estiveram a colagem e a conexão elétrica dos extensômetros, e ao Operador de Máquinas Sebastião Rodrigues da Silva, executor da parte mecânica do conjunto.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: ————. *ASAE Standards 1985: standards, engineering practices and data*. 32.ed. St. Joseph, 1985. p.152-158.
- BARGER, E.L.; LILJEDAHN, J.B.; CARLETON, W.M. & McKIBBEN, E.G. *Tratores e seus motores*. Trad. V.L. Schilling. Rio de Janeiro, USAID, Edgard Blücher, 1966. 398p.
- COOK, N.H. & RABINOWICZ, E. Force and torque measurement. In: ———— & ————. *Physical measurement and analysis*. Reading, Addison-Wesley, 1963. p.153-168.
- COSTA, J.A. de S.; KURACHI, S.A.H.; MOREIRA, C.A.; BERNARDI, J.A. & SILVEIRA, G.M. da. Sistemas de aquisição de dados computadorizados. *O Agrônomo*, Campinas, 41(1):11-19, 1989.
- DELAFOSSÉ, R.M.; BOGLIANI, M. & TURATI, R. *Ensayo de máquinas sembradoras*. Castelar, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1982. 28p.
- ; ———— & ————. *Ensayo de máquinas sembradoras*. Castelar, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1984. 32p.
- ; TURATI, R. & BOGLIANI, R.M. *Ensayo de máquinas sembradoras*. Castelar, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1983. 43p.
- JOHNSON, C.E. & VOORHEES, W.B. A force dynamometer for three-point hitches. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 22:226-228, 232, 1979.
- KOCHER, M.F. & SUMMERS, J.D. Design of drawbar transducers for measuring dynamic forces. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 30(1):70-74, 1987.
- MATTOS, P.C.; SAAD, O. & TUBELIS, A. Sistema para medição de força nos engates de máquinas agrícolas de acoplamento por três pontos. *Engenharia Agrícola*, Botucatu, 2(1):20-35, 1973.
- NEUHOLT, A.L. Measuring force in two or more members with one instrument. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, 40(8):456-457, 1959.
- SCHOLTZ, D.C. A three-point-linkage dynamometer for restrained linkages. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Silsoe, 11(1):33-37, 1966.
- UPADHYAYA, S.K.; KEMBLE, L.J.; COLLINS, N.E. & CAMARGO JÚNIOR, F.A. Accuracy of mounted implement draft prediction using strain gages mounted directly on three-point-linkage system