

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TRATIVO DE MICROTRATOR AGRÍCOLA DE RODAS COM DIFERENTES SISTEMAS ALTERNATIVOS DE PROPULSÃO¹

DENÍLSON E. RODRIGUES², MAURI M. TEIXEIRA³, HAROLDO C. FERNANDES⁴, ALISSON S. C. de OLIVEIRA⁵, WAGNER S. GONÇALVES⁶

¹ Parte da Tese apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Eng^a Agrícola para obtenção do título de *Doctor Scientiae*. Pesquisa apoiada pela FAPEMIG.

² Eng^o Agrícola, Doutorando em Eng^a Agrícola, Bolsista da FAPEMIG - Brasil, Dept^o de Eng^a Agrícola - DEA / Universidade Federal de Viçosa - UFV, Av. P. H. Rolfs, s/n, Viçosa, 36.571-000, MG, (31) 3899 1860 / 3264, deduardo@ufv.br.

³ Eng^o Agrônomo, D. S., Prof. Adjunto, DEA / UFV, Viçosa, 36.571-000, MG, (31) 3899 1878, mauri@ufv.br.

⁴ Eng^o Agrícola, D. S., Prof. Adjunto, DEA / UFV, Viçosa, 36.571-000, MG, (31) 3899 1883, haroldo@ufv.br.

⁵ Eng^o Agrônomo, Doutorando em Eng^a Agrícola, DEA / UFV, Viçosa, 36.571-000, MG, (31) 3899 2046, assign_2003@yahoo.com.br.

⁶ Eng^o Agrônomo, Mestrando em Eng^a Agrícola, DEA / UFV, Viçosa, 36.571-000, MG, (31) 3899 2046, mecnicww@ig.com.br.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006, João Pessoa, PB

RESUMO: Simulou-se computacionalmente o comportamento dinâmico de microtrator agrícola de rodas com três tipos de motores: elétrico de corrente alternada, MCA; elétrico de corrente contínua, MCC; e de combustão interna de ciclo "Otto", MCI. Compararam-se os resultados obtidos nos ensaios de tração em pista de concreto. Para os microtratores MCA e MCI, a tendência foi de subestimação de valores de força de tração, potência na barra de tração do trator e coeficiente de tração. Para o microtrator MCC, os valores simulados foram próximos aos observados. Os coeficientes de determinação superaram 0,74, indicando que o modelo implementado foi adequado e pode ser usado em análises de sensibilidade e na otimização desta máquina.

PALAVRAS CHAVES: motores, energia, modelagem

SIMULATING OF THE TRACTIVE PERFORMANCE OF AGRICULTURAL WHEELED MICROTRACTOR PROVIDED WITH DIFFERENT ALTERNATIVE PROPULSION SYSTEMS

ABSTRACT: It was simulated by a computer program the dynamic behavior of agricultural wheeled microtractor with three types of motors: electric of alternating current, MCA; electric of continuous current, MCC; and of internal combustion of cycle "Otto", MCI. The results obtained from the traction assays in concrete track were compared. For the MCA and MCI microtractors, the used model tended to underestimate values of traction force, potency in the traction bar of the tractor and traction coefficient. For the MCC microtractor, the simulated values were close to those observed. The determination coefficients overcame 0,74, indicating that the implemented model was adapted and it can be used in both sensibility and optimization analyses of those machines.

KEYWORDS: engines, energy, modeling

INTRODUÇÃO: A modelagem dinâmica é uma ciência que usa equações diferenciais para permitir compreender um fenômeno e sua evolução temporal, e também ordenar, organizar, mudar, prever e prevenir sua ocorrência e seus efeitos físicos, naturais, sociais ou culturais. Na engenharia agrícola, técnicas de modelagem e simulação são úteis para estudar vários fenômenos (ABU-HAMDEH et al., 2004). Tratores agrícolas tracionam máquinas no campo e fornecem força pela tomada de potência

(TDP) para acionar mecanismos dessas máquinas. A escolha do trator mais adequado à máquina reduz a perda de eficiência do conjunto, o excessivo consumo de combustível e acidentes. Entre 87 e 90% da potência líquida do motor do trator chega à TDP e está disponível para acionar máquinas; o restante dessa potência perde-se no sistema de transmissão (ASAE, 1998). As perdas são maiores (21 a 53%) conforme condições do terreno e tipo de trator, e quando se usa a barra de tração. Para auxiliar fabricantes e agricultores a solucionarem problemas no projeto e no uso de máquinas e implementos agrícolas, precisa-se verificar o desempenho desses equipamentos por meio de ensaios. A simulação computacional de operações de tratores também é importante na execução do projeto da máquina, pois poupa tempo e experimentos (CAPPELLI et al., 1997). Em vários trabalhos simularam-se tratores e outras máquinas agrícolas e seus sistemas para estimar características de tração e avaliar o desempenho trativo. Em diferentes condições experimentais obtiveram-se correlações e erros satisfatórios entre os resultados simulados e os observados (ACUNHA et al., 1995; UPADHYAYA et al., 1997; SOUZA et al., 2002; GARCIA et al., 2003). Enfim, este trabalho objetivou simular computacionalmente o desempenho trativo de microtrator agrícola de rodas com três tipos de motores e comparar os resultados obtidos nos ensaios de tração em pista de concreto.

MATERIAL E MÉTODOS: Realizou-se este trabalho no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Ensaiou-se um microtrator agrícola de rodas, usado para revolver frutos de café em terreiro de secagem, com três tipos de motores: um motor elétrico de corrente alternada (MCA), um de corrente contínua (MCC) e um de combustão interna, de ciclo “Otto” (MCI). Por conveniência, chamou-se cada montagem motor-microtrator de microtrator. Conforme a norma ASAE D497.4 (ASAE, 2000), que considera os parâmetros relativos à interação sistema de rodas e solo, e procedimentos apresentados por SOUZA et al. (2002), implementou-se programa computacional para prever o comportamento dinâmico da força de tração, da potência na barra de tração e do coeficiente de tração dos microtratores. Para obter valores da força de tração e compará-los aos simulados, conduziu-se ensaio de desempenho na barra de tração e potência máxima, em diferentes marchas de trabalho, conforme a norma NBR 10400 (ABNT, 1997). Para a coleta de dados, fixaram-se as patinagens de 5, 10, 15, 20 e 25%, com três repetições. Obtiveram-se valores de força de tração por meio de interações até atingir uma tolerância. Para que isso ocorresse, forneceu-se ao programa uma força de tração equivalente a 10% do peso total do trator. Determinou-se a carga dinâmica sobre o rodado por meio da carga estática e da transferência de peso entre os eixos, que ocorre quando o trator está tracionando. Determinaram-se o coeficiente de mobilidade, que considera a interação pneu-solo, e a força de tração bruta. Para vencer a resistência ao rolamento imposta pelo solo, deve-se incluir uma força adicional no cálculo da potência requerida para tração do trator (SOUZA et al., 2002). Pode-se determinar tal força pelo coeficiente de resistência ao rolamento, obtido da relação entre a resistência ao rolamento e a carga dinâmica sobre o rodado. Definiu-se o coeficiente de tração como a razão entre a força desenvolvida na barra de tração e a carga dinâmica aplicada sobre os rodados motrizes. Determinou-se a potência disponível na barra de tração. Iniciou-se a simulação informando ao programa valores relativos ao trator. Com características dos pneus, do solo e dos microtratores, compararam-se os desempenhos desses microtratores (Quadros 1 e 2). Nas simulações considerou-se o trator com seu peso próprio (sem lastro). Graficamente, compararam-se os valores simulados (ordenada) com os observados (abscissa). Constam no mesmo gráfico o coeficiente de determinação e o erro relativo médio entre o valor simulado e o observado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Apresentando-se os resultados da simulação do desempenho trativo do microtrator MCC, nas Figuras 1a e 1b os valores simulados de força de tração foram próximos aos observados. Para a 1ª e 2ª marchas, obtiveram-se coeficientes de determinação e erros relativos médios de 0,99 e 0,310, e de 0,84 e 0,004, respectivamente. Nas Figuras 1c e 1d, a tendência da potência simulada foi semelhante à da experimental, mas não houve diferença significativa entre seus valores. Para a 1ª e 2ª marchas, obtiveram-se coeficientes de determinação e erros relativos médios de 0,98 e 0,324, e de 0,82 e 0,022, respectivamente. Nas Figuras 1e e 1f, a tendência do coeficiente de tração simulado foi semelhante à do experimental para as duas marchas. Para a 1ª marcha, o maior coeficiente de determinação implicou em valores simulados mais próximos aos observados. O erro

relativo médio não foi significativo para as duas marchas. Para a 1ª e 2ª marchas, obtiveram-se coeficientes de determinação e erros relativos médios de 0,98 e 0,183, e de 0,83 e -0,008, respectivamente. O modelo de simulação implementado permitiu determinar para cada microtrator a força de tração, a potência na barra de tração, a eficiência trativa, o coeficiente de tração, o coeficiente de mobilidade dos pneus interagindo com o solo, a potência no eixo do microtrator e a carga dinâmica sobre os rodados. Para os microtratores MCA e MCI, o modelo tendeu a subestimar valores e obtiveram-se valores de coeficiente de determinação entre 0,62 e 0,87, próximos dos obtidos por ACUNHA et al. (1995). A relação entre a carga dinâmica aplicada no pneu e sua largura e seu diâmetro apresentou valores inferiores ao recomendado por ASAE (2000), o que contribuiu para obterem-se valores simulados inferiores aos observados. Para o microtrator MCI, os resultados não foram conclusivos pois os erros foram significativos apenas para a 1ª marcha. Para o microtrator MCC (Figura 1), os valores simulados de força de tração, de potência na barra de tração e de coeficiente de tração foram similares aos observados, pois os valores dos parâmetros deste microtrator foram mais próximos aos recomendados por ASAE (2000). Os coeficientes de determinação superaram 0,74, obtido por ACUNHA et al. (1995), indicando que o modelo implementado foi adequado e pode ser usado em análises de sensibilidade e na otimização desta máquina.

Quadro 1. Características dos pneus utilizados na simulação

Índice de cone* (kPa)	1800	
	Roda Traseira	Roda Frontal
Especificação do pneu	6 - 16	4 - 8
Aro (mm)	445	220
Diâmetro (mm)	655	410
Altura da seção (mm)	110	95
Largura da seção do pneu (mm)	145	110
Deflexão estática (mm)	10	10

* Solo com alto grau de dureza tem 1800 kPa de índice de cone (ASAE, 2000).

Quadro 2. Características dos microtratores utilizados na simulação

	Micro-MCA	Micro-MCC	Micro-MCI
Peso eixo traseiro (kN)	1,35	2,81	1,27
Peso eixo frontal (kN)	0,88	0,73	0,85
Peso do trator (kN)	2,30	3,54	2,12
Distância entre eixos (mm)	960	960	960
Altura da barra de tração (mm)	280	280	280

CONCLUSÕES: O microtrator MCC apresentou a maior força de tração simulada nos índices de patinagens. O modelo implementado foi satisfatório na simulação do desempenho trativo dos microtratores MCC, mas requer ajustes para ser aplicado aos microtratores MCA e MCI.

REFERÊNCIAS:

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR - 10400: Tratores Agrícolas - Determinação do Desempenho na Barra de Tração.** Rio de Janeiro, 1997.
- ABU-HAMDEH, N. H.; AL-JALIL, H. F. Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions. **Revista Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 63, n. 1, p. 149 - 162, 2004.
- ACUNHA, R. R. D.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência trativa de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer e Luth e por ensaio de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 30, n. 4, p. 523 - 530, 1995.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE. **Agricultural machinery management.** ASAE Standards EP496.2. St. Joseph, p. 344 - 349, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE. **Agricultural machinery management data.** Standards D497.4 St Joseph, 2000. 8 p.

CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. In: Instrumentação para determinação da demanda de potência em mecanismos de uma colhedora de grãos. I SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA. São Carlos-SP. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, p. 152 - 156. 1997.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M.; FERNANDES H. C. Simulação do comportamento dinâmico de um conjunto trator-colhedora de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 565 - 571, 2003. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>.

SOUZA, C. M. A. **Avaliação e simulação de desempenho de uma colhedora de fluxo axial para feijão**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de concentração: Mecanização Agrícola) - UFV, Viçosa, MG, 2002.

UPADHYAYA, S. K.; SIME, M.; RAGHUWANSHI, N. **Semi-empirical traction prediction equations based on relevant soil parameters**. May, 1997.

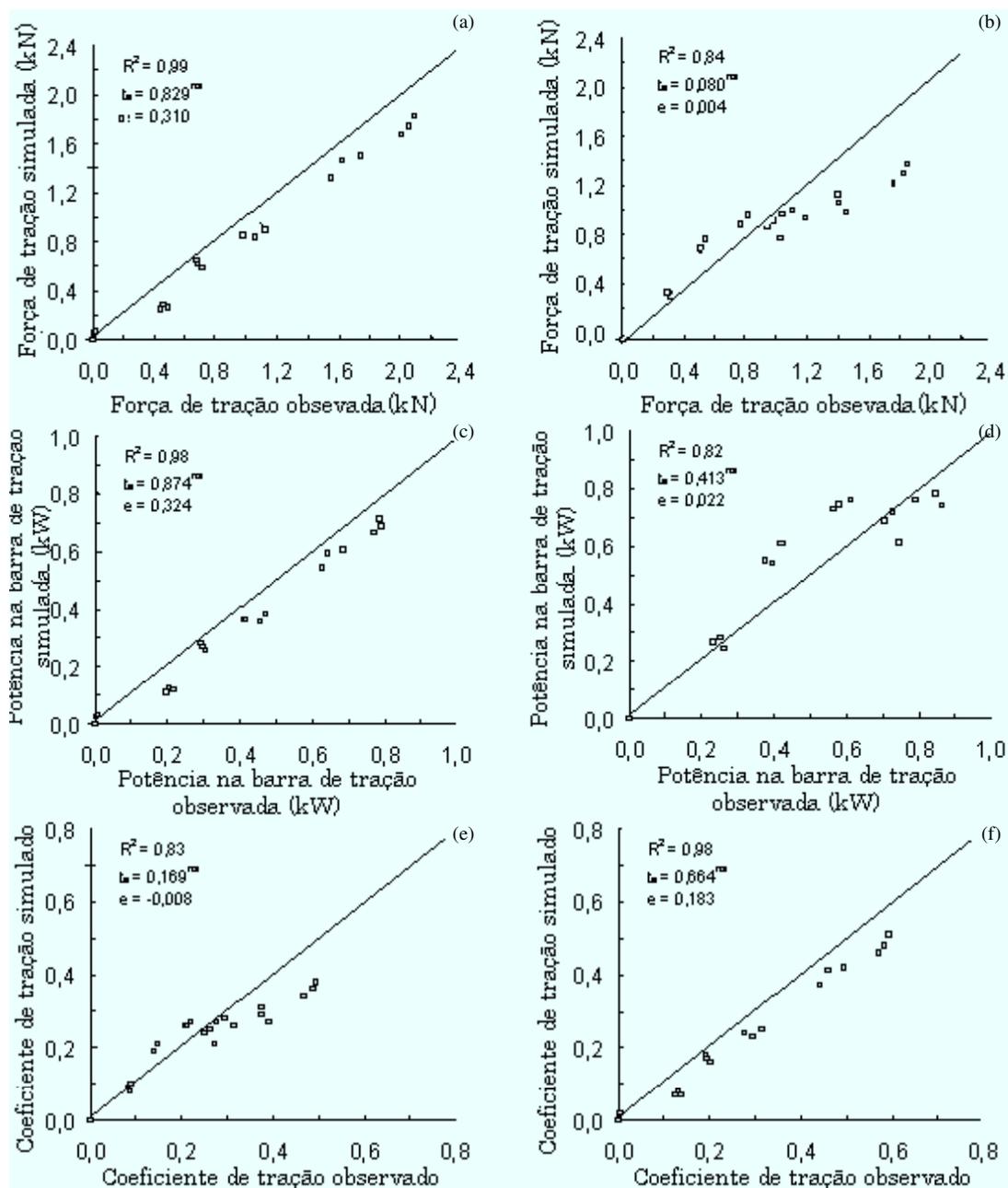


Figura 1. Comparação entre valores de força de tração (a) e (b), potência na barra de tração (c) e (d) e coeficiente de tração (e) e (f), para a 1ª (a, c, e) e 2ª (b, d, f) marchas, para o microtrator MCC.