
NOTA TÉCNICA:**AVALIAÇÃO DE UMA CAIXA DE SOLO PARA ESTUDOS DA INTERAÇÃO DINÂMICA MÁQUINA SOLO¹**

Tomás de Aquino Ferreira², Jackson Antônio Barbosa³, Carlos Eduardo Silva Volpato⁴, Rodrigo Alencar Nunes⁵,
Marcos Antonio Zambillo Palma⁶

RESUMO

As caixas de solo se tornaram uma ferramenta importante nos centros de pesquisas para estudos da interação da dinâmica máquina solo. Objetivou-se com esse trabalho construir e avaliar o desempenho operacional de uma caixa de solo, composta por sistemas de potência e deslocamento; sistema de preparo de solo e sistema de medida necessários a realização de pesquisas referentes à dinâmica da interação máquina solo. A construção da caixa de solo foi efetuada nas dependências do Departamento de Engenharia da UFLA, Lavras, MG. Para sua avaliação, foram realizados ensaios do desempenho operacional do carro dinamométrico e de um sulcador em diferentes condições de velocidade de avanço. Mensurou-se velocidade, potência e parâmetros que caracterizassem as propriedades físicas e mecânicas do solo em estudo. Os resultados obtidos permitiram concluir que o carro dinamômetro possibilita a simulação de operações de campo com equipamentos agrícolas de forma eficiente.

Palavras-chave: ensaios de máquinas agrícolas, carro dinamométrico, ferramentas de solo.

ABSTRACT**EVALUATION OF A SOIL BIN TO STUDY DYNAMIC INTERACTION OF SOIL-MACHINE**

The soil bin is an important tool to study the dynamic soil-machine interaction. The objective of this work was to construct and evaluate the operational performance of a soil bin, consisting of displacement and power systems, soil preparation system and measurement system needed to conduct research regarding the dynamics of soil-machine interaction. The soil bin was constructed in the Department of Engineering of UFLA, Lavras, MG. The evaluation was done using the operational performance of a dynamometric car, and a furrow maker at different forward speeds. The speed, power and parameters that characterize physical and mechanical properties of the test soil were measured. The results showed that the dynamometric car efficiently allows simulation of field operations of agricultural equipment.

Keywords: evaluation of agricultural machines, dynamometric car, soil-tools.

Recebido para publicação em 17/11/2010. Aprovado em 16/04/2012.

1- Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

2- Eng. Mecânico, Professor Adjunto do DEG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: tomasef@deg.ufla.br

3- Eng. Agrícola, Professor Adjunto do DEG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: jackson@deg.ufla.br

4- Eng. Florestal, Professor Associado do DEG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: volpato@deg.ufla.br

5- Eng. Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola DEG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: nunes.engagricola@gmail.com

6- Eng. Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola DEG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: markospalma@gmail.com

INTRODUÇÃO

Usando o amplo conceito de dinâmica dos solos, que é o movimento do solo sobre a ação de forças gravimétricas ou mecânicas, pode-se dizer que a mesma apresenta uma ampla faixa de aplicação, atuando desde a produção agrícola e florestal, terraplanagem e área militar até a locomoção de veículos espaciais. Atualmente, o papel da dinâmica dos solos enfoca a solução de problemas relacionados ao avanço tecnológico de ferramentas ou órgãos que se movem sob ou sobre o solo. A dinâmica dos solos evoluiu devido à necessidade de se expressar a interação máquina solo.

Atualmente, pesquisadores têm utilizado caixas de solo para facilitar os trabalhos de instalação e aquisição de dados em dinâmica de solos. Os parâmetros do solo em caixas de solo, tais como variação do índice de cone e nível de compactação do solo são mais constantes. Geralmente, uma instalação para caixa de solo é composta pela caixa de solo propriamente dita, carro transportador, sistema de acionamento, instrumentação e sistemas de aquisição de dados. (NADERI *et al.*, 2009).

Em 1920, Mark Nichols, um pioneiro da dinâmica dos solos, desenvolveu e usou caixas de solo para estudos básicos do sistema máquina solo (NELSON, 1997). Foram às experiências de Nichols com pequenas caixas de solo que levaram a construção de grandes caixas de solo no *National Soil Dynamics Laboratory*, localizado em Alburn, Alabama, USA. Nesse mesmo período, outras caixas de solo foram construídas ao redor do mundo.

Schmulevich *et al.* (1996) citam que diversas caixas de solo, com propósito de ensaios de pneus, foram projetadas por agências do governo americano. Alguns exemplos são as do Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos, em Auburn; Universidade de Cranfield, em Silsoe; Universidade da Califórnia, em Davis, Universidade de Hohenheim, na Alemanha e na Universidade de Wageningen na Holanda.

Shrivastava e Datta (2001) utilizaram uma caixa de solo pertencente a Faculdade de Engenharia Agrícola, em Kharagpur, Índia, para avaliar o desempenho de três implementos de tração animal comumente usados pela comunidade agrícola indiana. Adaptações foram feitas no carro dinamométrico para acoplamento dos implementos.

Volpato *et al.* (2002) desenvolveram um protótipo de cortador de base para o seguimento pantográfico em colhedoras de cana de açúcar. O desempenho de futuação do protótipo foi avaliado em uma caixa de solo pertencente à Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. O protótipo foi montado em um carro porta ferramentas e submetido a ensaios.

Yahya *et al.* (2007) desenvolveram testes de trafegabilidade e de dirigibilidade em pneus agrícolas para avaliar o desempenho de uma caixa de solo construída na Universidade da Malásia. Transdutores foram posicionados em várias posições do pneu e do solo para medir forças verticais e horizontais, deformação do pneu e velocidade. A caixa de solo foi projetada para ensaios de pneus agrícolas, enfocando resistência ao rolamento, coeficiente de tração e eficiência trativa em diferentes condições do solo. A caixa de solo pode ser usada para testar o efeito de outros parâmetros, tais como carga dinâmica, lastro, velocidade e pressão de inflação dos pneus.

Chung *et al.* (2008) utilizaram um sensor do tipo “on-the-go” que determina a força de resistência a penetração ao longo do perfil (SSPS) em profundidades uniformemente espaçadas até 0,50 m. O desempenho do SSPS foi avaliado usando caixa de solo (0,1, 0,2, e 0,3 m) e dados de campo (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m). Primeiro, o SSPS foi testado em uma caixa de solo em profundidades de 0,1, 0,2, e 0,3 m; velocidades de avanço de 0,5, 1,5 e 3,0 m s⁻¹ e níveis de compactação alta e baixa. Em segundo lugar, os dados foram coletados em duas áreas de campo com solo de textura, densidade e teor de água conhecidos. Com base nos resultados em caixa de solo, foi selecionada a velocidade de 1,5 m s⁻¹ como velocidade máxima de coleta de dados de campo, abaixo do qual os efeitos de velocidade nas IPSS (força dividida pela área da base da ponta prismática do penetrômetro operando horizontalmente) foram considerados desprezíveis.

Roul *et al.* (2009) utilizaram uma caixa de solo de 15,0 m de comprimento, 1,8 m de largura e 0,6 m de profundidade do laboratório Engenharia Agrícola e de Alimentos do Instituto de Tecnologia da Índia para determinação da resistência à penetração pelo índice de cone em compactações realizados por um rolo compactador montado em um carro porta ferramentas à diferentes velocidades.

Manuwa e Ajisafe (2010) utilizaram uma caixa de solo do Laboratório de Dinâmica dos Solos do

Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Tecnológica de Akure, Nigéria para trabalhos com o objetivo de desenvolver implementos de preparo do solo, otimização de sistemas de preparo do solo, utilização adequada de implementos com fontes de energia e a seleção das condições ótimas em mecanização agrícola para a produção de alimentos.

Rickson (2011) descrevem as novas instalações do laboratório de manejo do solo e de pesquisas dinâmicas “off-road” do campus principal da Universidade de Cranfield, em Bedfordshire-UK. A pista da caixa de solo, os laboratórios de análise de umidade e o laboratório de instrumentação de apoio foram todos reunidos sob o mesmo teto, em um prédio especialmente projetado para criar uma instalação de liderança mundial para enfrentar os desafios da engenharia de solos agrícolas do século 21. A caixa de solo de concreto armado, de 20 m de comprimento, 1,7 m de largura e 0,7 m de profundidade fornece capacidade de desenvolver e testar as ferramentas de solo em condições controladas para determinação, entre outras, da força vertical e da eficiência do preparo do solo utilizando um transdutor de anel octogonal prolongado (EORT).

Naderi-Boldaji *et al.* (2011) utilizaram uma caixa de solo para ensaios de resistência a penetração no Laboratório de Engenharia Agrícola do Instituto de Pesquisas (AERI) Kajar, Irã. A caixa de solo utilizada apresentava dimensões de 24 m de comprimento, 1,7 m de largura e 1,0 m de profundidade. O solo contido na caixa de solo era de textura argilosa. Diferentes níveis de compactação foram conseguidos por ajustamento da pressão de um cilindro de compactação. Para coleta dos dados foi utilizado um sensor dielétrico do tipo “on-the-go”. Os resultados das experiências em caixa de solo mostraram que a resposta do sensor às variações de conteúdo de umidade do solo e resistência a penetração foi boa, mas que a tensão de saída do sensor deve ser amplificada para uma melhor sensibilidade e resolução dos dados.

Objetivou-se com esse trabalho, construir e avaliar o desempenho operacional de uma caixa de solo, composta por sistemas de potência e deslocamento; sistema de preparo de solo e sistema de medida, necessários a realização de pesquisas referentes à dinâmica da interação máquina solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A caixa de solo foi construída nas dependências do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG-UFLA), Lavras, MG, localizada na região Sul do Estado de Minas Gerais, a 917 metros de altitude, 21°13'50" latitude sul e 45°57'52" longitude oeste.

Esta caixa fica abaixo do nível do solo, cuja escavação, retirada do solo e posterior retorno foi realizada com auxílio de retroescavadeira (Figura 1). A caixa de solo do Departamento de Engenharia é uma construção de alvenaria, medindo 21 m de comprimento, 1,85 m de largura útil e profundidade útil para ensaios de 1,15 m. Em toda sua extensão é protegida por cobertura de telhas de fibro cimento pré fabricadas, que se apoiam em estruturas de madeira com pé direito de 2,70 m e cumeeira de 4,0 m (Figura 2). Seu sistema de drenagem é composto por dreno de brita, localizado longitudinalmente a caixa de solo. Para maximizar a eficiência do sistema de drenagem, a caixa de solo apresenta declividade no fundo de 15% longitudinalmente e 5% transversalmente (Figura 3).

O solo utilizado na caixa foi oriundo do local de sua instalação, retirado por retroescavadeira, totalmente desestruturado, isento de material inerte e de cobertura vegetal, caracterizado, de acordo com o Departamento de Ciência de Solos da UFLA, como Latossolo Roxo Distrófico, textura muito argilosa.

O chassi responsável por suportar a fonte de potência, o sistema de deslocamento, frenagem, transmissão e acoplamento de equipamentos, foi construído em estrutura de perfis de aço em “I”, soldadas conforme as normas regidas pela ABNT e projetado para suportar o peso dinâmico dos demais elementos estruturais. A fonte de potência do carro dinamométrico é constituída por um motor trifásico de 11,04 kW, tensão de alimentação de 220 V, acoplado a uma caixa de transmissão com cinco marchas a frente e uma ré. A caixa de transmissão está conectada por eixo a um sistema de transmissão final por engrenagens e corrente, responsável pelo fornecimento de potência às rodas do carro dinamométrico. O sistema foi projetado para oferecer tração nas quatro rodas. As rodas do carro dinamométrico são metálicas, com diâmetro de 180 mm e se deslocam sobre um sistema de trilhos metálicos (Figura 4).



Figura 1. Retroescavadeira realizando operação de retorno do solo desestruturado à caixa de solo. Observa-se estrutura em alvenaria para recebimento do solo, protegendo-o contra possível contaminação.



(A)



(B)

Figura 2. Vista longitudinal (A) e transversal (B) da caixa de solo, mostrando pilares em alvenaria, tesoras em madeira e cobertura de fibro cimento.



Figura 3. Fundo da caixa de solo. Construção em alvenaria, com drenagem de brita, captação central e desague em área externa à caixa de solo.



(A)



(B)

Figura 4. Vistas anterior (A) e posterior (B), mostrando fonte de potência, constituída por motor elétrico trifásico; sistema de transmissão, constituída por caixa de marchas, eixo motriz; sistema de frenagem; engrenagens e corrente.

O carro dinamométrico foi projetado para multipropósitos em termos de ensaios dinâmicos da interação máquina solo ou seja, torna-se possível o acoplamento de uma diversidade de ferramentas de preparo de solo, plantio e cultivo, além do acoplamento de pneumáticos para ensaios de desempenho.

No que se refere a instrumentação eletrônica, o carro dinamométrico possibilita o acoplamento de torquímetros, células de carga, sensores de posição e velocidade, além de equipamentos para coleta de amostras de solo.

Para análise do desempenho operacional do carro dinamométrico, procedeu-se a mensuração da potência demandada para seu acionamento, com uso de um watímetro, nas 5 possibilidades de marcha a frente e a ré e em 4 possíveis rotações. Tal medida foi realizada com o carro em deslocamento, nas diferentes marchas, em vazio, ou seja, sem equipamentos acoplados ao mesmo e acoplado com um implemento agrícola destinado à sulcação de pequenas áreas de cana-de-açúcar (modelo Baldan SLS-P), com engate na barra porta ferramenta do carro dinamométrico, sulcando a uma profundidade de 0,20 m. Também foram mensurados a rotação de entrada e saída da caixa de transmissão e a velocidade de avanço. Para cada tratamento

proposto foram realizadas 5 repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 apresentam-se os valores de relação de redução (relação entre a rotação de entrada e a de saída na caixa de transmissão) e a potência do carro dinamométrico, quando deslocando-se em vazio, ou seja, sem implementos acoplados a barra porta ferramentas. Observa-se que os valores de relação de redução diferem entre si em todas as marchas utilizadas, excetuando-se a comparação entre a ré a a primeira marcha. Independentemente da marcha utilizada, a potência de acionamento do carro dinamométrico apresentou valor médio de 3,253 kW.

Os valores de velocidade de avanço do carro dinamométrico em função da rotação do eixo motriz estão apresentados no Quadro 2. Observa-se que em função da marcha selecionada e da rotação imposta ao eixo motriz, pode-se conseguir velocidades que variam de 0,13 a 4,87 m s⁻¹. A maioria das operações agrícolas ocorrem em velocidades próximas a 1,38 m s⁻¹. Os valores em negrito representam as marchas e rotações que alcançam valores próximos àquele considerado adequado.

Quadro 1. Desempenho operacional do carro dinamométrico em vazio

Marcha	Relação de redução	Potência (kW)
Ré	8,254 a	3,222 a
Primeira	8,955 a	3,236 a
Segunda	4,756 b	3,182 a
Terceira	2,738 c	3,462 a
Quarta	1,802 d	3,096 a
Quinta	1,000 e	3,324 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 2. Velocidade do carro dinamométrico (m s⁻¹)

Marcha	Rotação do eixo motriz (rpm)			
	250	500	750	1000
Ré	0,14	0,29	0,44	0,59
Primeira	0,13	0,26	0,40	0,54
Segunda	0,24	0,50	0,76	1,02
Terceira	0,42	0,87	1,33	1,78
Quarta	0,64	1,33	2,01	2,70
Quinta	1,15	2,39	3,63	4,87

Quadro 3. Valores de velocidade e potência com sulcador acoplado ao carro dinamométrico

Marcha	Velocidade (m s ⁻¹)	Potência (kW)
Primeira	0,13 d	3,572 c
Segunda	0,24 c	3,842 c
Terceira	0,40 b	4,234 b
Quarta	0,61 b	4,749 b
Quinta	1,10 a	5,952 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



(A)



(B)

Figura 5. Sulcador em operação: vista lateral (A) e posterior (B).

No Quadro 3 estão apresentados os valores de velocidade e potência desenvolvidos pelo carro dinamométrico quando tracionando um sulcador agrícola. Observa-se que, tanto a velocidade quanto a potência, apresentaram a mesma tendência, ou seja, maior valor para a quinta marcha, seguido pela quarta e terceira, que não diferiram

estatisticamente entre si, mas diferiram da quinta, e o menor valor para as marchas primeira e segunda, que não diferiram estatisticamente entre si. Os valores de potência demandada para acionamento do sulcador corroboram com os apresentados por Balastreire (1987). As velocidades desenvolvidas pelo escalonamento das marchas são muito próximas aos encontrados nos ensaios em caixa de solo, conforme Volpato *et al.* (2002) e Chung *et al.* (2008). Na Figura 5 apresenta-se o sulcador em condição operacional, podendo-se visualizar o suco aberto.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A caixa de solo do Departamento de Engenharia da UFLA atende as exigências necessárias para estudos da interação dinâmica máquina solo; e
- o carro dinamométrico apresenta sistema de variação de velocidade que possibilita cobrir uma faixa ampla de velocidades operacionais de máquinas agrícolas (de 0,13 a 1,10 m s⁻¹).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307p.

CHUNG, S.O.; SUDDUTH, K.A.; PLOUFFE, C.; KITCHEN, N. R. Soil bin and field tests of an on-the-go soil strength profile sensor. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.51, n.1, p.5-18, 2008.

MANUWA, S.I.; AJISAFE, A. A. Development of Overhead Gantry as Complementary Equipment

to Indoor Soil Bin Facility. **Research Journal of Applied Sciences**, Punjab, v.5, n.2, p.92-95, 2010.

NADERI-BOLDAJI, M.; SHARIFI, A.; JAMSHIDI, B.; YOUNESI-ALAMOUTI, M.; MINAEE, S. A dielectric-based combined horizontal sensor for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance. **Sensors and Actuators A: Physical**, Amsterdam, v. 171, n.2, p.131–137. November, 2011.

NADERI-BOLDAJI M., ALIMARDANI R., SHARIFI A. AND TABATABAEEFAR A. Economical hand-pushed digital cone penetrometer. **Intitute Agrophysics**, Lublin, v .23., n.1, p.55-60, 2009.

NELSON, P.J. To Hold the Land: Soil Erosion, Agricultural Scientists, and the Development of Conservation Tillage Techniques. **Agricultural History**. Winter Park, v.71, n.1, p.71-90, 1997.

RICKSON, J. Soil Management and Off-road Dynamics. Granfield University, News round up September 2011. Disponível em: http://www.cranfield.ac.uk/sas/nsri/facilities/soil_management_off_road_dynamics.html,

acesso em: 05/03/2012.

ROUL, K.; RAHEMAN, H.; PANSARE, M. S.; MACHAVARAM, R. Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.104, n. 4, p.476–485, December, 2009.

SHMULEVICH, D.; WELLS, L.G. A new field single wheel tester. **Journal of Terramechanics**, Bremen, v.33, n.3, p.133-141, 1996.

SHRIVASTAVA, A.K.; DATTA, R.K. Performance evaluation of an animal drawn puddling implements under controlled soil bin conditions. **Journal of Terramechanics**, Bremen, v.38, n.3, p.121-131, 2001.

VOLPATO, C. A. S.; BRAUNBECK, O. A. E OLIVEIRA, A. A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador de base para colhedoras de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.345-348, 2002.

YAHYA, A.; ZOHADIE, M.; AHMAD, D.; ELWALEED, A. K. e KHEIRALLA, A. F. UPM indoor tyre traction testing facility. **Journal of Terramechanics**, Bremen, v.44, n.4, p.293-301, 2007.