

NOTA TÉCNICA

AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE CONJUNTO TRATOR-PULVERIZADOR

Ana Lúcia Paschoa Botelho Barbosa¹, Afonso Lopes², Marcelo da Costa Ferreira³, Felipe Thomaz da Camara⁴, Rouverson Pereira da Silva⁵

RESUMO

Na aplicação de produtos líquidos, utilizando o conjunto trator-pulverizador, métodos incorretos podem resultar em operações onerosas e ineficientes. No presente trabalho teve-se, como objetivo, avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-pulverizador, em função da pressão de aplicação (690 kPa, 1210 kPa e 1720 kPa), condição da superfície do solo (aclive e declive) e de tanque (metade e cheio). O experimento foi conduzido na UNESP de Jaboticabal, SP. No experimento, foi utilizado um trator VALTRA BM100, 4x2 TDA e um pulverizador para frutíferas, modelo KO JET PLUS, com capacidade para 2000 L. Os resultados evidenciaram que o consumo de combustível do trator aumentou 5% na condição aclive, em comparação com declive, 8% na pressão de 1720 kPa em relação a 690 kPa e 4% quando estava com tanque cheio.

Palavras-chave: consumo de combustível, calibração de pulverizador, ensaio de trator.

ABSTRACT

Operational Evaluation of a Joint Tractor-Sprayer

Inadequate methods used in spraying of products with the use of joint tractor-sprayers, may result in expensive and inefficient operations. This work was done to evaluate the operational performance of a joint tractor-sprayer at the application pressure of 690, 1210 or 1720 kPa, on ascending or descending soil surface and with full or half-full tank content. The experiment was conducted at UNESP, in Jaboticabal, SP, with the use of a tractor VALTRA BM100, 4x2 TDA joined to an air assisted sprayer for orchards (model KO JET PLUS, 2000 liters). The results showed that the tractor fuel consumption increased by 5% while ascending slope compared to the descending slope, 8% at 1720 kPa pressure compared with 690 kPa and 4% when the tank was full.

Keywords: fuel consumption, calibration pulverizer, tractor test.

Recebido para publicação em 08.05.2007 Aprovado em 04.03.2008

¹ Eng. Agrônomo, Mestranda do Depto de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Campus de Jaboticabal –SP. Fone (016) 32128172, Bolsista da CAPES, anapaschoa@gmail.com

² Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, Depto de Engenharia Rural, UNESP - Jaboticabal, SP.

³ Eng. Agrônomo, Prof. Assistente Doutor, Depto de Fitossanidade, UNESP - Jaboticabal, SP.

⁴ Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto de Engenharia Rural, UNESP - Jaboticabal, SP. Bolsista da CAPES.

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Assistente Doutor, Depto de Eng. Rural, UNESP - Jaboticabal, SP, Bolsista de produtividade do CNPq.

INTRODUÇÃO

No decorrer do processo de produção agrícola, o trator é a maior fonte fornecedora de potência, sendo utilizado para tracionar, transportar e para oferecer acionamento às máquinas agrícolas, tracionadas ou estacionárias. No entanto, em muitas regiões brasileiras, tratores e implementos agrícolas têm sido utilizados inadequadamente às condições de trabalho para dar suporte aos diferentes sistemas (MANTOVANI et al., 1999).

Para auxiliar fabricantes e agricultores na solução de problemas em máquinas e implementos agrícolas, é necessário verificar o desempenho desses equipamentos e estabelecer condições de testes semelhantes às aquelas em que já foram usados. No caso de aplicação de produtos líquidos, utilizando-se o conjunto trator-pulverizador, métodos incorretos podem resultar em operações onerosas e ineficientes (FERREIRA, 2003).

Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia apropriada e padronizada, para dar suporte aos testes de campo, que não deixem dúvidas quanto à forma como os equipamentos foram avaliados, e que os dados possam ser utilizados por fabricantes ou instituições em todas as regiões do país (MANTOVANI, 1987).

A disponibilidade de instrumentação eletrônica instalada no trator possibilita a aquisição automática dos dados, propiciando, com isso, maior facilidade na realização dos ensaios, melhorias na obtenção de dados e maior exatidão e precisão na obtenção de medidas no campo. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-pulverizador, em função da pressão de aplicação, da condição da superfície do solo (aclive e declive) e do volume do tanque (meio tanque e tanque cheio).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal-SP,

localizado na latitude 21° 14' S e longitude 48° 17' W. A área apresenta altitude média de 559 m, declividade média de 2%, clima Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen, e pressão atmosférica de 94,2 kPa. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, apresentando relevo suave ondulado (ANDRIOLI & CENTURION, 1999), conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999).

Foi utilizado um trator Valtra BM 100, 4x2 TDA, com potência no motor de 73,6 kW (100 cv) a 2350 rpm, provido de radar para medir velocidade de deslocamento, célula de carga para medir força na barra de tração e um protótipo para medir o consumo de combustível, desenvolvido por LOPES et al. (2003). De acordo com os dados do Quadro 1, a velocidade média da operação ficou em torno de 2,7 km h⁻¹.

Utilizou-se um pulverizador modelo KO JET PLUS de 2000 litros, que possibilitou as seguintes regulagens na pressão de trabalho - mínima recomendada 690 kPa (100 lbf.pol⁻²), média 1210 kPa (175 lbf.pol⁻²) e máxima 1720 kPa (250 lbf.pol⁻²).

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 x 2, com 12 tratamentos e três repetições, totalizando 36 observações, sendo as combinações de três pressões de pulverização, duas condições de superfície (aclive e declive) e duas condições de volume do tanque (meio tanque e tanque cheio). Cada parcela experimental ocupou uma área de 105 m² (30 x 3,5 m), sendo que entre as parcelas, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 10 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização das determinações.

A eficiência de campo do pulverizador, segundo Balastreire (1987), é de 60%; para o cálculo da capacidade de campo operacional, utilizou-se a equação

$$CCO = \frac{Lmr * v * 0,6}{10} \quad (1)$$

em que,

CCO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);
v = velocidade real de deslocamento (km h⁻¹), e
Lmr = faixa de pulverização (m).

O consumo de combustível foi quantificado em todas as parcelas experimentais, em unidade de volume (mL), por meio da equação

$$Chv = \frac{C * 3,6}{t} \quad (2)$$

em que,

Chv = consumo horário volumétrico (L h⁻¹);

C = volume consumido na parcela (mL), e

t = tempo de percurso na parcela (s).

Para calcular o consumo de combustível em massa, foi necessário determinar a densidade do diesel em função da temperatura. Nesse procedimento, o intervalo de temperatura foi de 10 a 70 °C, sendo a densidade avaliada em intervalo de 5 °C.

Para o cálculo do consumo em massa, empregou-se a equação

$$Chm = \frac{(Veb * Dceb - Vr * Dcr)}{t} * \frac{3,6}{1000} \quad (3)$$

em que,

Chm = consumo horário ponderal (kg h⁻¹);

Veb = volume que entrou na bomba injetora (mL);

Dceb = densidade do combustível na entrada da bomba injetora (g L⁻¹);

Vr = volume de retorno (mL);

Dcr = densidade do combustível de retorno (g L⁻¹), e

t = tempo de percurso na parcela (s).

O consumo operacional foi determinado, baseando-se na capacidade de campo operacional e no consumo horário volumétrico (L h⁻¹), sendo obtido utilizando-se a equação

$$CO = \frac{Chv}{CCO} \quad (4)$$

em que,

CO = consumo operacional (L ha⁻¹);

Chv = consumo horário volumétrico (L h⁻¹); e

CCO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, os dados referentes às condição do tanque, superfície do solo e pressão de pulverização representam médias de 18, 18 e 12 observações, respectivamente. Nas colunas com ausência de letras que caracteriza diferença estatística entre médias, implica interação significativa entre os fatores, tendo assim, quadro complementar de desdobramento.

A capacidade de campo (CCO) foi, significativamente, maior para as situações de tanque cheio, declive e na pressão de 1720 kPa (Quadro 1). Os valores de CCO concordam com as observações de FERREIRA et al. (1999), em situações reais de trabalho no Estado de São Paulo: média de 0,5 ha h⁻¹ em fazendas produtoras de laranja, no noroeste do estado.

A identificação de possibilidades de melhoria na capacidade de campo operacional é importante para a otimização do parque de máquinas e redução nos custos de produção. Como o deslocamento do conjunto trator-pulverizador ocorre em situações variáveis de carga do tanque, pressupõe-se que a demanda de potência e o consumo de combustível também varie nestas condições. No Quadro 1, observou-se a ocorrência de interação significativa entre os fatores, para a variável velocidade de deslocamento.

No Quadro 2, observa-se que o fator superfície do solo influenciou significativamente a velocidade real de deslocamento, em todas as pressões estudadas, enquanto na condição de declive ocorreram as maiores velocidades. Verifica-se, ainda que, na pressão de 1720 kPa, a velocidade real de deslocamento foi maior que na de 690 e 1210 kPa, sendo os valores destas semelhantes estatisticamente para a condição de superfície do solo de acive.

Quadro 1. Síntese da análise de variância do teste de médias, para as variáveis velocidade de deslocamento (v), consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp), capacidade de campo operacional (CCO) e consumo operacional (CO).

Fatores	v	Chv	Chp	CCO	CO
	km h ⁻¹	L h ⁻¹	kg h ⁻¹	ha h ⁻¹	L ha ⁻¹
Condição do tanque (T)					
Tanque cheio	2,71	12,7	10,6	0,57 a	22,3
Meio tanque	2,68	12,2	10,2	0,56 b	21,7
Superfície do solo (S)					
Aclive	2,68	12,8	10,6	0,56 b	22,8
Declive	2,72	12,2	10,1	0,57 a	21,3
Pressão de pulverização (P)					
690 kPa	2,68	12,0	10,0	0,56 b	21,3
1210 kPa	2,70	12,4	10,3	0,56 b	22,0
1720 kPa	2,72	13,0	10,8	0,57 a	22,8
Teste F					
T	52,2 **	176,0 **	216,1 **	17,3 **	49,9 **
S	103,5 **	295,4 **	347,5 **	32,1 **	295,1 **
P	28,3 **	242,7 **	283,2 **	13,9 **	98,0 **
T x S	0,2 ^{NS}	17,8 **	21,6 **	0,1 ^{NS}	10,9 **
T x P	9,3 **	27,8 **	33,8 **	1,9 ^{NS}	13,3 **
S x P	4,0 *	10,7 **	13,3 **	1,3 ^{NS}	4,1 *
T x S x P	8,7 **	9,2 **	10,7 **	3,6 *	4,2 *
CV %	0,419	0,886	0,815	0,778	1,168

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{NS}: Não significativo (P < 0,05)

*: Significativo (P < 0,05) e **: Significativo (P < 0,01)

CV %: Coeficiente de variação

Quadro 2. Interação entre os fatores superfície do solo e pressão de pulverização para a variável velocidade real de deslocamento (km h⁻¹)

Pressão de pulverização	Superfície do solo	
	Aclive	Declive
690 kPa	2,67 b B	2,70 c A
1210 kPa	2,67 b B	2,72 b A
1720 kPa	2,70 a B	2,74 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No Quadro 3, verifica-se que a condição de meio tanque proporcionou maior consumo volumétrico que a de tanque cheio nas duas condições de solo, enquanto que a superfície em declive propiciou menor consumo nas duas condições de tanque.

Para as pressões de 690 e 1210 kPa, o consumo horário volumétrico foi maior na condição de meio tanque. Entretanto, na pressão de 1720 kPa, não houve diferença significativa entre as condições de tanque. Na pressão de 1720 kPa, foram observados os maiores valores de consumo volumétrico para as duas condições de tanque (Quadro 4).

De acordo com os dados apresentados no Quadro 5, na superfície do solo em aclave,

ocorreram os maiores valores de consumo volumétrico, para todas as pressões estudadas. Na pressão de 1720 kPa, foram observados os maiores valores de consumo horário volumétrico, nas duas condições de superfície do solo.

Nas condições da superfície do solo de aclave e declive, a variável consumo horário ponderal foi diferente, estatisticamente, nas condições de tanque estudadas, em que a condição de meio tanque proporcionou maiores valores (Quadro 6). O fator superfície do solo interferiu, significativamente, no consumo horário ponderal, nas duas condições de tanque estudadas, nas quais o aclave proporcionou os maiores valores de consumo horário ponderal.

Quadro 3. Interação entre os fatores condição do tanque e superfície do solo para a variável consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)

Superfície do solo	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
Aclave	13,0 b B	12,6 b A
Declive	12,5 a B	11,8 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 4. Interação entre os fatores condição do tanque e pressão de pulverização para a variável consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)

Pressão de pulverização	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
690 kPa	12,4 a B	11,7 a A
1210 kPa	12,8 b B	12,1 b A
1720 kPa	13,1 c A	13,0 c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 5. Interação entre os fatores superfície do solo e pressão de pulverização para a variável consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)

Pressão de pulverização	Superfície do solo	
	aclave	declive
690 kPa	12,4 a B	11,6 a A
1210 kPa	12,8 b B	12,1 b A
1720 kPa	13,2 c B	12,8 c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 6. Interação entre os fatores condição do tanque e superfície do solo para a variável consumo horário ponderal (kg h^{-1}).

Superfície do solo	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
Aclive	10,8 b B	10,5 b A
Declive	10,4 a B	9,8 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 7, verifica-se que para as pressões de 690 e 1210 kPa, a condição de meio tanque proporcionou maiores valores de consumo horário ponderal, enquanto que na pressão de 1720 kPa não houve diferença estatisticamente significativa, entre as condições do tanque.

Nas duas condições do tanque, a pressão de 1720 kPa proporcionou maiores valores do que 1210 e 690 kPa, sendo que na pressão de 690 kPa, houve menor consumo horário ponderal.

No Quadro 8, estão apresentados os resultados do desdobramento da interação do consumo ponderal, em que a condição de tanque cheio proporcionou menores valores de consumo, enquanto a superfície do solo em aclive proporcionou maiores valores de consumo, nas duas condições de tanque.

No Quadro 9, verifica-se que, para as pressões 690 e 1210 kPa, a condição de tanque cheio proporcionou menor consumo

operacional. Para a pressão de 1720 kPa, ocorreu semelhança estatística entre as condições do tanque (cheio e meio tanque). Observa-se ainda que, para as duas condições do tanque, a variável consumo operacional proporcionou diferença significativa para todas as pressões ensaiadas, sendo que na pressão de 1720 kPa ocorreram os maiores valores.

O fator pressão de pulverização influenciou, significativamente, o fator superfície do solo em relação ao consumo operacional, sendo que, para a superfície do solo em declive, o consumo operacional foi menor nas três pressões de pulverização (Quadro 10). Verificou-se também que, o fator superfície do solo influenciou a pressão de pulverização em relação ao consumo operacional, em que a pressão de 690 kPa apresentou menores valores de consumo em relação às pressões 1210 e 1720 kPa, tanto na condição de superfície do solo de aclive, como na de declive.

Quadro 7. Interação entre os fatores condição do tanque e pressão de pulverização para a variável consumo horário ponderal (kg h^{-1}).

Pressão de pulverização	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
690 kPa	10,3 a B	9,7 a A
1210 kPa	10,6 b B	10,1 b A
1720 kPa	10,8 c A	10,8 c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 8. Interação entre os fatores condição do tanque e superfície do solo para a variável consumo operacional ($L ha^{-1}$).

Superfície do solo	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
Aclive	22,9 b B	22,6 b A
Declive	21,7 a B	20,8 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 9. Interação entre os fatores condição do tanque e pressão de pulverização para a variável consumo por área trabalhada ($L ha^{-1}$).

Pressão de pulverização	Condição do tanque	
	Meio tanque	Tanque cheio
690 kPa	21,9 a B	20,8 a A
1210 kPa	22,3 b B	21,6 b A
1720 kPa	22,8 c A	22,8 c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 10. Interação entre os fatores superfície do solo e pressão de pulverização para a variável consumo por área trabalhada ($L ha^{-1}$).

Pressão de pulverização	Superfície do solo	
	Aclive	Declive
690 kPa	22,2 a B	20,4 a A
1210 kPa	22,7 b B	21,2 b A
1720 kPa	23,4 a B	22,2 c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente, entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em muitas propriedades, são instalados pontos de captação de água para os pulverizadores nos locais de baixada. Nesta posição, via de regra, o conjunto trator-pulverizador desce para abastecer e retorna em plena carga para o local de trabalho. Tanto a localização dos abastecedouros quanto a atitude dos operadores fornecem aumento no consumo de combustível por área trabalhada, pois, o deslocamento ocorrerá, em geral, com o tanque cheio em aclive e vazio no declive.

De acordo com os resultados obtidos, uma adequação na logística dos pontos de

abastecimento, colocando-os em posições estratégicas nas propriedades rurais, bem como uma melhor orientação aos operadores, no sentido de iniciar a pulverização nos pontos mais altos e deslocar no declive, resultaria em uma economia de combustível de 4 a 8%.

O sistema completo de tratamento fitossanitário poderia gerar reduções ainda maiores no consumo de combustível, resultando em economia de recursos, pela redução de custos e emissão de gases do efeito estufa, oriundos da queima de combustíveis fósseis utilizados nos tratores agrícolas.

CONCLUSÕES

- Os resultados evidenciaram aumento médio de 5% no consumo de combustível, ao ser variada a condição de superfície de declive para active;
- Em relação à variação da pressão de trabalho do pulverizador, o consumo de combustível no trator aumentou 8%, passando de 690 kPa para 1720 kPa;
- A condição de operação com metade da capacidade de tanque do pulverizador e com capacidade de tanque cheio proporcionou 4% de acréscimo no consumo de combustível do trator;
- Para a variável capacidade de campo operacional, observou-se aumento para a situação de tanque cheio, declive e pressão de 1720 kPa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. T025 CD_ROM.
- BALASTREIRE, L. A., **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole Ltda, 1987. 307p.
- BANZATTO, D. A. E KRONKA, S. N., **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal – SP, FUNEP, 2006. 237p.
- CAMARGO, P.N., SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: La Libreria, 1975. p.217-51.
- EMBRAPA. Centro nacional de pesquisas de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.
- FERREIRA, M.C. Pesquisa e análise de tecnologia e projetos de aplicação de herbicidas em citros. Catanduva: Herbicat, 1997. p.3-32.
- FERREIRA, M.C. Site Toda Fruta, Calibração de Pulverizadores para Citricultura. Net, Jaboticabal, 2003. Disponível em: <http://www.todafruta.com> Acesso em 29 de janeiro de 2007.
- LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R. P.. Desempenho de um protótipo para medição de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v.5, n.1. p.24-31, 2003.
- MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. Informe Agropecuário Belo Horizonte, v.13, n.147, p.52-55, 1987.
- MANTOVANI, E.C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R.Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1241, 1999.