

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO NORMAS TÉCNICAS EM OPERAÇÕES DE GRADAGEM**Murilo Battistuzzi Martins<sup>1</sup>, Jefferson Sandi<sup>2</sup>, Fábio Lopes de Souza<sup>3</sup>, Ronilson de Souza Santos<sup>4</sup> & Kléber Pereira Lanças<sup>5</sup>1 - Engenheiro Agrônomo, Doutorando programa energia na agricultura FCA/UNESP-Botucatu-SP, [mbm\\_martins@hotmail.com](mailto:mbm_martins@hotmail.com)2 - Engenheiro Agrônomo, Doutorando programa energia na agricultura FCA/UNESP-Botucatu-SP, [jffsandi@gmail.com](mailto:jffsandi@gmail.com)3 - Graduando em engenharia agrônômica, FCA/UNESP-Botucatu-SP, [fabiolopes.s@hotmail.com](mailto:fabiolopes.s@hotmail.com)4 - Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto da UFPA/Altamira, [rssantos@ufpa.br](mailto:rssantos@ufpa.br)5 - Engenheiro Mecânico, Professor Titular FCA/UNESP-Botucatu-SP, [kplancas@fca.unesp.br](mailto:kplancas@fca.unesp.br)**Palavras chave:**desempenho  
mecanização agrícola  
preparo solo**RESUMO**

A operação de gradagem é uma técnica bastante utilizada no preparo do solo, devido ao rendimento operacional e à otimização do consumo de combustível durante a atividade, a mesma gera redução nos custos operacionais. Este trabalho teve por objetivo a otimização energética de um trator agrícola, utilizando normas técnicas em operações de gradagem. O experimento foi realizado na área experimental da Fazenda Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA da Universidade Estadual Paulista - UNESP, localizada no município de Botucatu-SP. Para tracionar as grades, foi utilizado um trator agrícola 4X2 TDA com potência de 143,4 kw no motor. Os tratamentos foram 3 operações de campo (gradagem pesada, intermediária e leve) e 2 rotações do motor (2200 rpm e 1650rpm), sendo avaliado a velocidade de deslocamento, força de tração, capacidade de campo efetiva, consumo combustível operacional e consumo horário de combustível. Foi possível observar que em todos os tratamentos, a utilização das normas técnicas, segundo a OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION), otimizou o consumo de combustível do trator agrícola.

**Keywords:**performance  
agricultural mechanization  
soil preparation**ENERGY OPTIMIZATION OF AN AGRICULTURAL TRACTOR USING TECHNICAL STANDARDS IN HARROWING OPERATIONS****ABSTRACT**

Harvesting is a well-used technique for soil preparation for operational efficiency and optimization of fuel consumption during the activity reduces operating costs. The objective of this work was the energy optimization of an agricultural tractor using technical standards in harrowing operations. The experiment was carried out in the experimental area of Lageado Farm from Agronomic Sciences College - FCA - UNESP, located in the city of Botucatu-SP. A 4X2 TDA agricultural tractor with a power of 143,4 kw was used to drive the harrows. The treatments were 3 field operations (heavy, intermediate and light harrowing) and 2 engine rotations that evaluated the speed of displacement, tensile strength, effective field capacity, operational fuel consumption and hourly fuel consumption. It was possible to observe that in all treatments, the use of technical standards optimized the fuel consumption of the agricultural tractor.

## INTRODUÇÃO

O uso de máquinas agrícolas se torna bastante importante nas atividades agrícolas, permitindo ao produtor realizar as práticas de cultivo dentro do período considerado ótimo e com as condições climáticas adequadas para a implementação das mesmas, além de tornar o serviço mais produtivo, confortável e com menor risco à saúde (ALVES et al., 2005). Então, surgem os tratores agrícolas, máquinas autopropelidas projetadas para tracionar, transportar e prover potência para outras máquinas e implementos agrícolas.

Um dos principais equipamentos utilizados, acoplados aos tratores, para o preparo inicial do solo, é a grade de discos, implemento que movimenta o solo uma ou duas vezes em sentidos opostos, em uma única passada. Quanto aos diâmetros e massas dos discos, eles se dividem em: leve ou niveladora, usada para destorroar e nivelar o solo superficialmente; média, completa o trabalho do arado ou de uma gradagem pesada, destorroando as leivas do solo e pesada, mobilizando mais profundamente o solo para incorporação de material de cobertura no primeiro preparo de solo após desmatamento (GADANHA JUNIOR et al., 1991).

Até meados de 1900, as grades eram utilizadas apenas com a função de destorroar e nivelar o solo, porém, a partir de 1960, elas ganharam maior importância nas operações de preparo do solo, resultado do maior rendimento operacional das mesmas quando comparadas aos arados (STOLF et al., 2008).

O custo de operações de mecanização, como a gradagem na produção agrícola, é crescente e representa entre 15 a 40% do custo total de produção, de acordo com o tipo de cultura e exploração. Logo, se torna incontestável a necessidade de maximizar a eficiência do uso da maquinaria agrícola, visando minimizar seus custos de operação (RIPOLI, 2010).

O ensaio de tratores em solo agrícola é uma das maneiras de obter informações, principalmente no que diz respeito ao seu desenvolvimento de tração (CORDEIRO, 2000). Esses ensaios visam a obtenção de informações sobre o desempenho dos rodados, relacionados com as características

da interação com o solo (MIALHE, 1996). Deste modo, a análise operacional procura desenvolver técnicas que permitam obter o máximo de rendimento útil de todos os recursos disponíveis, por isso é necessário conhecer a força e a potência disponíveis na barra de tração (MASIERO, 2010).

Tendo em vista a amplitude, complexidade e importância de uma operação de gradagem, a demanda de informações à respeito dessa e de outras operações de mecanização agrícola nos dias atuais é nítida e de suma importância (MIALHE, 1996). Salvador, Mion e Benez (2009), ao avaliarem a relação de consumo específico de combustível, puderam concluir que os menores valores de consumo específico de combustível constituem na otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento à fonte de potência, alcançando um melhor desempenho operacional.

O trabalho teve por objetivo a otimização energética e operacional de um trator agrícola, utilizando normas técnicas em operações de gradagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Fazenda Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA da Universidade Estadual Paulista - UNESP, situada no município de Botucatu-SP, localizada geograficamente à 22° 50' 24" Latitude Sul, 48° 25' 23" Longitude Oeste e altitude de 791 m. O solo da área experimental foi classificado conforme a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (1999), como Nitossolo Vermelho Distroférrico (Nvd) com textura argilosa, segundo a análise granulométrica da tabela 1. Para tracionar as grades, foi utilizado um trator agrícola 4X2 TDA com potência de 143,4 kw no motor. As grades utilizadas no experimento são apresentadas na tabela 2.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), onde foram avaliados os seguintes tratamentos: 3 operações de campo (gradagem pesada, intermediária e leve) e 2 rotações de trabalho (máxima rotação do motor de 2200 rpm e 75% da máxima rotação do motor, conforme

**Tabela 1.** Caracterização granulométrica da área experimental.

Camadas (m)	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Textura
0,0-0,20	348	156	496	Argilosa
0,20-0,40	345	153	502	Argilosa

**Tabela 2.** Características das grades utilizadas nos experimento.

Classificação	Modelo	Larg. Corte (m)	Nº discos	Polegada Disco	Espaçamento Entre discos (m)
Pesada	Off-set	1,75	10	31	0,44
Intermediária	Off-set	2,57	20	28	0,27
Leve	Off-set	3,00	32	20	0,20

norma código 2 da OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION)). Para cada tratamento, foram realizadas seis repetições em parcelas de 50 m de comprimento, totalizando 36 unidades experimentais.

A fim de determinar a força na barra de tração durante as operações de gradagem, foi utilizada uma barra de tração instrumentada com uma célula de carga de 15 Ton modelo PR 15 Toneladas, fabricada pela Lider balanças. O consumo de combustível horário (L.h<sup>-1</sup>) do trator, durante a realização do trabalho, foi mensurado utilizando dois fluxômetros volumétricos modelo OVAL M-III LSF41L0-M2 de vazão de 1 mL/pulso, instalado no circuito de combustível do trator, sendo um instalado antes da bomba injetora e outro no retorno do combustível ao tanque. O consumo real foi calculado pela diferença entre os valores dos pulsos gerados pelos fluxômetros e enviados para um controlador lógico programável (CLP), sendo gerado o consumo horário de combustível conforme a equação 1.

$$CCh = \frac{\sum (p_e - p_s) \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (1)$$

em que,

$CCh$  = consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>)  
 $\sum (p_e - p_s)$  = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a mL de combustível gasto de entrada e de retorno do motor;  
 $\Delta t$  = tempo gasto na (s) parcela (s); e  
 3,6 = fator de conversão.

Foram utilizadas as marchas B2 e B4 do

trator agrícola e a determinação da velocidade de deslocamento foi efetuada através do tempo gasto para percorrer cada parcela, sendo que para determinar a distância de cada parcela e o tempo gasto no deslocamento, foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin. A velocidade média foi obtida pela Equação 2.

$$V = \frac{L}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (2)$$

em que,

$V$  = velocidade de deslocamento do trator agrícola (km h<sup>-1</sup>);  
 $L$  = comprimento da parcela experimental (m);  
 $\Delta t$  = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s); e  
 3,6 = fator de conversão.

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da equação 3.

$$CCE = \frac{Atr}{\Delta t} \cdot 0,36 \quad (3)$$

em que,

$CCE$  = capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>);  
 $Atr$  = área útil da parcela trabalhada (m<sup>2</sup>);  
 $\Delta t$  = tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);  
 0,36 = fator de conversão.

O consumo de combustível operacional, que representa o consumo de combustível por área trabalhada, foi obtido a partir da equação 4.

$$COC = \frac{Cch}{Cce} \quad (4)$$

em que,

COC = Consumo de combustível operacional (L ha<sup>-1</sup>);

CCh = Consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>); e

CCe = Capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>)

Os valores obtidos na barra de tração, através da célula de carga, foram coletados com a utilização do controlador lógico programável.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% nível de significância. Para as análises dos dados utilizou-se o software Minitab 16.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis: velocidade de deslocamento, força de tração e capacidade de campo efetiva não houve diferença estatística à 5% de probabilidade

pelo teste tukey. Entretanto, para consumo de combustível operacional e consumo horário de combustível, houve diferença (tabela 3) na operação agrícola com os diferentes tipos de grade.

O consumo de combustível diminui em todas as operações com a redução da rotação do motor do trator agrícola, como pode ser observado na Tabela 3. O maior percentual de economia ocorreu na utilização da grade leve, onde foi possível empregar, aproximadamente, 30% menos combustível para se realizar o mesmo trabalho.

Segundo Code 2, 2012 - OECD (“Organization for Economic Co-operation and Development”), com o objetivo de otimizar o consumo de combustível, a norma estabelece que em ensaios padronizados se utilize duas marchas para tracionar cargas parciais (75% e 50% da carga máxima), sendo que uma marcha irá tracionar em rotação máxima e outra marcha, mais alta, em rotação reduzida e mesma velocidade de deslocamento deverá tracionar a mesma carga (75% e 50%). Nestas situações, observa-se redução bastante significativa no consumo de combustível, como observado neste trabalho.

**Tabela 3.** Velocidade, força de tração exigida, consumo de combustível e rotação do motor em operações com diferentes tipos de grades.

Marcha	Vel. (km/h)	F (N)	CE (ha h <sup>-1</sup> )	COC (L ha <sup>-1</sup> )	Consumo horário (L h <sup>-1</sup> )	Rotação (rpm)
Grade pesada						
B2	6,9 a	2051 a	1,2 a	22,4 a	26,96 a	2200
B4	7,0 a	1872 a	1,3 a	17,6 b	21,18 b	1670
Economia de Combustível					% 21,4	L/h 5,78
C.V. (%)	1,17	11,47	11,79	13,16	13,10	
Grade intermediária						
B2	7,6 a	1467 a	1,9 a	12,7 a	24,22 a	2200
B4	7,8 a	1424 a	2,0 a	8,7 b	17,44 b	1635
Economia de Combustível					% 27,9	l/h 6,78
C.V. (%)	1,86	9,03	6,95	20,49	18,64	
Grade leve						
B2	8,7 a	1086 a	2,6 a	8,0 a	21,11 a	2200
B4	8,8 a	1048 a	2,6 a	5,6 b	14,80 b	1655
Economia de Combustível					% 29,8	l/h 6,31
C.V. (%)	1,67	7,42	5,44	19,38	20,27	

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si na coluna pelo teste Tukey (p<0,05).

Outro fator importante para a utilização de rotações reduzidas se dá quando a operação agrícola é realizada por tratores agrícolas com potência superior à necessária para tracionar um implemento, como neste trabalho que, mesmo com a redução da rotação, a velocidade de deslocamento, força de tração e capacidade de campo efetiva mantiveram-se praticamente as mesmas. Entretanto, com o emprego da norma é possível economizar nos custos das operações, como observado por Fiorese *et al.* (2013) em ensaios de campos com implementos de preparo de solo, utilizando um trator agrícola com potência acima da necessária para tracionar os implementos e utilizando rotações reduzidas também resultou em economia de combustível e custo das operações.

Em todo motor, a combustão possui um sistema de gerenciamento que regula o consumo de combustível através da atuação de diversos componentes que podem ser sensores ou atuadores mecânicos. Em motores mecânicos, a abertura do débito da bomba (regulada pela posição selecionada no acelerador) e o governador de rotação determinam a quantidade de combustível que é injetada. Em motores eletrônicos, existem diversos sensores instalados na máquina (sensor de rotação, posição do acelerador, abertura da borboleta do sistema de admissão, etc) que fazem medições e enviam informações à unidade de controle do motor (UCM ou ECU – *engine control unit*), que utiliza estes dados para tomar decisões programadas em sua memória e acionar os atuadores de forma adequada (Maran, 2015).

Devido à interpretação da UCM que o motor estava desempenhando bem o seu papel, por causa da posição selecionada do acelerador, pelo operador, para se manter estabilizada nos tratamentos com rotação reduzida e o motor não apresentar um nível de sobrecarga (por estar disponibilizando a potência necessária para o acionamento das grades), não houve a necessidade da injeção de um grande volume de combustível para manter o funcionamento do mesmo, resultando em economia deste recurso.

Serrano *et al.* (2003) também obteve reduções de 15,0% no consumo de combustível, através do emprego de marchas mais velozes, redução da rotação do motor e do ângulo de ataque dos discos

da grade. Silveira *et al.* (2013) obteve significativas diferenças de consumo de combustível em diferentes regimes de rotação do motor na mesma velocidade de deslocamento.

Além disso, como a mais importante faixa de consumo específico do motor se encontra no ponto de torque máximo (Maran, 2015), cabe ressaltar que a redução da rotação do motor permitiu que ele trabalhasse em condição próxima à faixa de torque máxima, contribuindo para a diminuição do consumo de combustível, devido à maior força disponibilizada pelo mesmo nesta faixa de rotação e pela menor perda de energia interna, devido ao menor atrito interno entre as suas peças móveis nesta faixa de rotação. Isso é corroborado por Serrano *et al.* (2007) que confirma que é vantajoso empregar rotações próximas ao regime de torque máximo, devido ao motor trabalhar dentro da faixa de maior eficiência térmica, o que favorece para a redução do consumo de combustível.

Lopes *et al.* (2010) descreve que a força da barra de tração está relacionada à força de tração e velocidade de operação, sendo que, em velocidades menores, ocorre maior força de tração e, em velocidades mais altas, menor força de tração, uma vez que na operação de grade pesada em menor velocidade, obteve-se maior valor em força de tração e, nas operações posteriores com a grade intermediária e leve, a força exigida na barra de tração decresceu (Tabela 3).

A capacidade de campo efetiva durante a operação com os diferentes tipos de grade foi crescente, a partir da grade pesada até a grade leve, fato relacionado à largura de trabalho do implemento e ao aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator-grade. Os resultados da operação com a grade intermediária resultaram em uma capacidade de campo efetiva de 1,9 ha h<sup>-1</sup>, em velocidade de trabalho de 7,6 km h<sup>-1</sup>. Correia *et al.* (2015), utilizando uma grade intermediária para avaliar o desempenho operacional em três rotações de trabalho do motor com um trator 4x2 TDA de 88,25 kw, obteve valores de capacidade de campo efetiva menores que deste trabalho, 0,91 ha h<sup>-1</sup>, devido à menor velocidade 3,65 km h<sup>-1</sup>, assim como Silveira *et al.* (2006) com valores de 0,86 ha h<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÕES

- Conclui-se que a redução da rotação do motor do trator agrícola, junto com a maior marcha, gerou uma economia significativa no consumo de combustível nas operações de gradagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.; MANTOVANI, E.C.; OLIVEIRA, A.J. Benefícios da mecanização na agricultura. **Agroanalysis**, São Paulo-SP, v.25 n.10, p.38-42, 2005.

CORDEIRO, M.A.L. Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento. 2000. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2000.

CORREIA, T.P.S.; SOUZA, S.F.G.; TAVARES, L.A.F.; SILVA, P.R.A.; RIQUETI, N.B. Disk harrow operational performance in three engine rotation speeds. **Científica**, Jaboticabal-SP, v.43, n.3, p.221-225, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa**, 412p. 1999.

FIGLIARESE, D.A.; LANÇAS, K.P.; DENADAI, M.; MARTINS, M.B.; BENDER, A.R.K.; MACIEL, A.J.S. Rotação de trabalho. **Revista Agriworld**, Bragança Paulista-SP, v.04, n.11, p.32-39, 2013.

GADANHA JUNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A.W. Máquinas e implementos agrícolas do Brasil, 1991.

LOPES, A; CAMARA, F.T.; SCALA JÚNIOR, N.L.; FURLANI, C.E.A; SILVA R, P.; BARBOSA A.L.P.B. Desempenho operacional de um protótipo “aerossolo”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.01, n.30, p.82-91, 2010.

MASIERO, F.C. Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4X2 TDA). 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas,

Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Melsi Maran. Diagnósticos e regulagens de motores de combustão interna. **SESI SENAI** Editora, 5 de nov de 2015. 192p.

MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaio & certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 722p. 1996.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION. **Code 2: Code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. February 2012.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; MOLINA JR., W.F. Máquinas agrícolas – noções básicas, 2010.

SALVADOR, N.; MION, R.L.; BENEZ, S.H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência Agrotécnica**, Lavras-MG, v.33, n.03, p.870-874, 2009.

Serrano Tractor energy requirements in disc harrow systems. **Biosystems Engineering**, n.98, p.286-296, 2007

Serrano. The Effect of Gang Angle of Offset Disc Harrows on Soil Tilth, Work Rate and Fuel Consumption. **Biosystems Engineering**, v.84 n.02, p.171–176, 2003.

SILVEIRA G.M., YANAI K., KURACHI S.A.H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo de solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.10, n.01, p.220-224, 2006.

SILVEIRA J.C.M., FERNANDES H.C., MODOLO A.J., SILVA S.L., TROGELLO E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v.44 n.01, p.44-52, 2013.

STOLF, R; SILVA, J.R.; GOMEZ, J.A.M. Grades agrícolas: 5- Evolução histórica de seus manuais. **Revista ALCOOLbrás**, São Paulo-SP, v.115, p.65-69. 2008.