



Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho



Afonso Lopes¹, Kléber P. Lanças², Carlos E. A. Furlani¹, Alberto K. Nagaoka³, Pedro Castro Neto⁴ & Danilo Cesar C. Grotta¹

¹ DER/FCAV/UNESP. CEP 14884-900, Jaboticabal, SP. Fone: (16) 3209-2637. E-mails: afonso@fcav.unesp.br (Foto); furlani@fcav.unesp.br, dcgrotta@zipmail.com.br

² DER/FCA/UNESP. CEP 18603-970, Botucatu, SP. Fone: (14) 6802-7165. E-mail kplancas@fca.unesp.br

³ DER/UEDESC. CEP 88520-970, Lages, SC. Fone: (49) 225-2866. E-mail: a2akn@cav.udesc.br

⁴ DEA/UFLA. CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone: (35) 3829-1362. E-mail: pedrocn@ufla.br

Protocolo 150 - 15/10/2002 - Aprovado em 2/7/2003

Resumo: Com o presente trabalho, teve-se como objetivo comparar o consumo de combustível de um trator agrícola operando com pneus (radial, diagonal e de baixa pressão) em duas condições de lastragem (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento. O experimento foi realizado na FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, em condição de preparo do solo com escarificador. Utilizou-se um trator 4x2 TDA, com potência de 89 kW (121 CV) no motor. Os pneus foram do tipo R1, com as seguintes características: radial (dianteiros: 14.9 R 26; traseiros: 620/75 R 30) diagonal (dianteiros: 14.9-26, traseiros: 23.1-30) e BPAF (dianteiros: 500/60-26.5; traseiros: 700/55-34). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2x4, com 24 tratamentos e 3 repetições. Os resultados evidenciaram vantagens para o trator quando equipado com pneus radiais. A condição de lastragem com água nos pneus ofereceu menor consumo específico. Observou-se também que o aumento da velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico.

Palavras-chave: trator agrícola, pneu, consumo de combustível

Fuel consumption of a tractor as a function of the tyre type, ballasting and forward speed

Abstract: The objective of this study was to compare the consumption of fuel of the FWD agricultural tractor, equipped with three types of tyres (bias ply, radial and low pressure), with and without tyre water ballasting, operating in four forward speeds. The research was carried out at FCAV/UNESP, SP, Brazil, The soil was tilled using a chisel plow. A tractor with 89 kW (121 HP) engine power equipped with FWD was used in the experiment, and the tyres used had the following characteristics: radial (front: 14.9R26 and rear: 620/75R30), bias ply (front: 14.9-26 and rear: 23.1-30) and low pressure (front: 500/60-26.5 and rear: 700/55-34). The experiment was conducted in a completely randomized block design (3x2x4), with a total of 24 treatments and three replications. The results evidenced advantages for the tractor equipped with radial tyres. The ballasting condition with water in the tyres showed lower specific consumption. It was also observed that the increase of the forward speed reduced the specific consumption.

Key words: agricultural tractor, tyre, consumption of fuel

INTRODUÇÃO

O sistema de rodado de um trator é o principal elemento responsável pela sustentação, propulsão, direcionamento e desenvolvimento de força na barra de tração, devendo este componente do trator merecer especial atenção. Três níveis de lastragem (100, 90 e 77% do peso do trator totalmente lastrado) para um trator 4x2 TDA, operando em pista de concreto, em solo arenoso e em solo argiloso, foram avaliados por Cordeiro (1994) para medir o consumo de combustível. Os resultados

mostraram que o consumo de combustível não se modificou quando a carga vertical e as condições do solo se alteraram, mesmo com a retirada de aproximadamente 20% do seu peso. Lanças et al. (1995) realizaram testes de campo com pneus radiais inflados na pressão correta e com altas pressões, utilizando trator com tração nas quatro rodas e rodado duplo, equipado com pneu 18.4R38. Neste estudo verificou-se que a pressão correta do pneu forneceu melhor desempenho operacional do trator, resultando em menor consumo de combustível. Ensaio comparativo de pneus também foi estudado por Potier (1990) e

Correa et al. (1997). Esses autores ressaltaram vantagens para o uso de pneu radial.

O consumo de combustível pode ser apresentado como unidade de volume por unidade de tempo ($L h^{-1}$), caso em que não se considera a influência da variação da temperatura e, tampouco, a quantidade de potência gerada. Outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg h^{-1}$); nesta forma, apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência gerada. A forma mais técnica de se expressar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ($g kWh^{-1}$); esta forma é conhecida como consumo específico e, pelo fato de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes.

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o consumo de combustível de um trator agrícola, 4x2 TDA, variando o tipo de pneu (radial, diagonal e baixa pressão), combinando duas condições de lastragem do trator (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. A localização geográfica está definida pelas coordenadas 21°15'22" Latitude Sul e 48°18'58" Longitude Oeste, sendo a altitude média 570 m e declividade média do solo igual a 7%, apresentando clima tipo Cwa (subtropical) de acordo com a classificação de Köppen.

Antes do presente estudo, a área experimental estava ocupada por uma cultura de soja (*Glycine max* L.), sendo a mesma colhida mecanicamente e a massa vegetal ($2172 kg ha^{-1}$) distribuída na área pela ação da colhedora. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico, A moderado, caulinitico-oxálico e relevo suave ondulado (Andrioli & Centurion, 1999). No momento dos testes, o teor médio de água no solo foi de 22,8%.

Os pneus de teste foram montados num trator agrícola, 4x2 TDA, de 89 kW (121 CV) no motor. O escarificador usado foi do tipo de arrasto conjugado com rolo destorroador e discos de corte, 7 hastes, ponteira sem asa com 7 cm de largura, trabalhando a 30 cm de profundidade média. As marchas selecionadas para o ensaio foram denominadas M_1 ($1,84 km h^{-1}$), M_2 ($3,18 km h^{-1}$), M_3 ($4,57 km h^{-1}$) e M_4 ($5,04 km h^{-1}$).

Foram utilizados três conjuntos de pneus de tração do tipo R1, totalizando 12 unidades, empregados normalmente em tratores agrícolas, os quais são: quatro radiais, quatro diagonais e quatro baixa pressão e alta flutuação (BPAF). Cada conjunto foi formado por dois pneus traseiros e dois pneus dianteiros, cujas principais características técnicas são: radial (dianteiros: 14.9 R 26; traseiros: 620/75 R 30) diagonal (dianteiros: 14.9-26, traseiros: 23.1-30) e BPAF (dianteiros: 500/60-26.5; traseiros: 700/55-34). A instrumentação utilizada nesse trabalho encontra-se descrita e ilustrada em Silva (1997) e Lopes (2000).

O trabalho foi conduzido com o trator operando em duas condições de lastragem: lastragem 1: pneus sem água, e lastragem 2: pneus com água, ocupando 75% do volume. O trator utilizou, como lastragem fixa, elementos metálicos, sendo

seis elos frontais e seis anéis laterais acoplados no centro do rodado traseiro; a massa de cada elemento metálico foi 40 e 50 kg, respectivamente. A massa total do trator, em condição estática, equipado com os pneus de teste, nas duas condições de lastragem, é a seguinte: com pneu radial (sem água 5310 kg, com água 6788 kg); diagonal (sem água 5382 kg, com água 6830 kg) e baixa pressão (sem água 5624 kg, com água 7060 kg).

Determinação da densidade do combustível

Utilizou-se o mesmo produto durante o ensaio, sendo o consumo de combustível determinado nas parcelas experimentais em unidade de volume (mL). Juntamente com o volume de combustível, foi monitorada sua temperatura, fornecida em °C.

Para se calcular o consumo de combustível em função do tempo ou da potência na barra, foi necessário determinar a densidade do diesel em função da temperatura. Neste procedimento, o intervalo de temperatura foi de 25 a 70 °C; avaliando-se a densidade em intervalos de 5 °C e, por meio de regressão, chegou-se à seguinte equação:

$$D = 863,22 - 0,72 T \quad (1)$$

em que:

- D - densidade do combustível em função da temperatura, $g L^{-1}$
- T - temperatura do combustível, °C
- R^2 - coeficiente de determinação da regressão, 0,9946

Determinação do consumo horário

Com base no volume consumido, determinou-se o consumo horário em volume e em massa. Para a determinação do consumo horário, expresso em massa, considerou-se a influência da temperatura no momento do teste.

Para o cálculo em volume, utilizou-se a Eq. (2) e para a massa a Eq. (3):

$$Chv = (C \times 3,6)/t \quad (2)$$

em que:

- Chv - consumo horário, $L h^{-1}$
- C - volume consumido, mL
- t - tempo de percurso na parcela, s
- 3,6 - fator de conversão

$$Chm = Chv (863,22 - 0,72 T)/1000 \quad (3)$$

em que:

- Chm - consumo horário com base em massa, $kg h^{-1}$
- Chv - consumo horário com base em volume, $L h^{-1}$
- T - temperatura do combustível, °C
- 863,22 e 0,72 - parâmetros da regressão de densidade
- 1000 - fator de conversão

Determinação do consumo específico

Este parâmetro expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração.

Para o cálculo do consumo específico, empregou-se a equação seguinte:

$$CE = (D \times Chv) / PB \quad (4)$$

em que:

- CE - consumo específico, g kWh⁻¹
 D - densidade do combustível em função da temperatura, g L⁻¹
 Chv - consumo horário com base em volume, L h⁻¹
 PB - potência na barra de tração, kW

Análise estatística

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com esquema fatorial 3x4x2, totalizando 24 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram formados pelas combinações de 3 tipos de pneu, 4 marchas do trator e duas condições de lastragem (com e sem água nos pneus). Cada parcela ocupou uma área de 105 m² (30 x 3,5 m) e, entre as parcelas, na direção longitudinal, deixou-se um intervalo de 15 m para realizar manobras, trânsito de máquinas e estabilizar as determinações. Para comparar-se os tratamentos, avaliaram-se as seguintes variáveis (consumo horário, com base em volume; consumo horário com base em massa e consumo específico). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e a comparação de médias, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para o consumo específico procurou-se ajustar um modelo de regressão, validado por meio de análise de variância, pelo teste F, que melhor explica o comportamento dessa variável em função da velocidade de deslocamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consumo horário em L h⁻¹

Pela Tabela 1, percebe-se interação significativa entre os fatores lastro e marcha, o que necessita de desdobramento para explicar os resultados. Analisando-se o fator pneu, verifica-se que o uso do pneu de baixa pressão resultou em maior consumo quando comparado com os demais; no entanto, os pneus radial e diagonal foram estatisticamente semelhantes.

Analisando-se o fator lastro dentro de cada marcha, constata-se que nas marchas M₁ e M₂, as duas condições de lastragem foram semelhantes; entretanto, em M₃ a condição de lastragem com água resultou em maior consumo, sendo o inverso para a marcha M₄ (Tabela 2).

Analisando-se o fator marcha dentro de cada fator lastro, detecta-se que, para a condição sem água, o consumo horário apresentou diferença em todas as marchas ensaiadas, aumentando de M₁ para M₄; na condição com água, observou-se diferença para as marchas M₁, M₂ e M₃, sendo M₃ semelhante a M₄ (Tabela 2). Os valores encontrados equivalem aos de Furlani (2000), considerando-se que, no referido trabalho, se trata de pneu diagonal, condição de lastragem com água nos pneus e velocidade real de deslocamento semelhante à proporcionada por M₂.

Tabela 1. Síntese da análise de variância e do teste de médias[#] para as variáveis de consumo horário em volume, consumo horário em massa e consumo específico

Fatores	Consumo		
	Horário (L h ⁻¹)	Horário (kg h ⁻¹)	Específico (g kW h ⁻¹)
Pneu (P)			
Radial	15,38 a	12,72	476,44 a
Diagonal	15,31 a	12,65	535,85 b
Baixa Pressão	15,99 b	13,65	553,67 b
Lastro (L)			
Pneu sem água	15,48	12,86	565,18 b
Pneu com água	15,64	12,95	478,79 a
Marcha (M)			
M ₁	10,50	8,72	725,00 c
M ₂	14,24	11,82	516,74 b
M ₃	18,21	15,06	435,63 a
M ₄	19,29	16,01	410,57 a
Teste F			
PN	10,53 **	15,63 **	28,14 **
LT	1,55 ns	0,64 ns	96,32 **
M	907,30 **	895,19 **	262,87 **
P x L	0,70 ns	0,65 ns	0,84 ns
P x M	2,26 ns	2,36 *	0,68 ns
L x M	5,57 **	6,50 **	1,24 ns
P x L x M	1,88 ns	2,16 ns	0,89 ns
CV%	3,63	3,65	7,16

[#] Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores ns - Não significativo (p > 0,05)

* - Significativo (p < 0,05)

** - Significativo (p < 0,01)

CV - Coeficiente de variação

Tabela 2. Desdobramento da interação entre os fatores lastro e marcha para o consumo horário em volume (L h⁻¹)^{*}

Lastro	Marchas Ensaaiadas			
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Sem Água	10,30 a A	14,20 a B	17,79 a C	19,62 b D
Com Água	10,69 a A	14,29 a B	18,63 b C	18,96 a C

^{*} Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Consumo horário em kg h⁻¹

Pela Tabela 1, percebe-se que, para o consumo com base em massa, ocorreram duas interações significativas, sendo a interação 1: pneu e marcha, e a interação 2: lastro e marcha. A Tabela 3 mostra o desdobramento da interação 1 (fatores pneu e marcha) e a Tabela 4 apresenta o desdobramento da interação 2 (fatores lastro e marcha) para a variável consumo horário em massa (kg h⁻¹).

Analisando-se o fator pneu dentro de cada marcha, nota-se que na marcha M₁ o consumo horário (kg h⁻¹) foi semelhante

Tabela 3. Desdobramento da interação entre os fatores pneu e marcha para o consumo horário em massa (kg h⁻¹)^{*}

Pneu	Marchas Ensaaiadas			
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Radial	8,51 a A	11,44 a B	14,90 ab C	16,01 b D
Diagonal	8,77 a A	11,71 ab B	14,81 a C	15,33 a C
BPAF	8,87 a A	12,32 b B	15,47 b C	16,70 c D

^{*} Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Tabela 4. Desdobramento da interação entre os fatores lastro e marcha para a variável consumo horário em massa (kg h^{-1})^{*}

Lastro	Marchas Ensaaiadas			
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Sem Água	8,58 a A	11,82 a B	14,70 a C	16,33 b D
Com Água	8,54 a A	11,83 a B	15,41 b C	15,69 a C

^{*} Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e em cada linha médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

para todos os pneus estudados. Na marcha M₂ o pneu radial foi idêntico ao diagonal e apresentou valor menor ao de baixa pressão, mas se notou semelhança entre o diagonal e o de baixa pressão. Na marcha M₃ o pneu radial foi semelhante aos demais, e o diagonal teve consumo menor comparado ao de baixa pressão. Na marcha M₄ o menor consumo foi observado para o diagonal, seguido do radial e, por último, o de baixa pressão. Analisando-se o fator marcha dentro de cada pneu, observa-se que, para os pneus do tipo radial e de baixa pressão, o consumo horário foi diferente estatisticamente para todas as marchas ensaiadas, para o pneu diagonal; esta variável foi diferente para as marchas M₁, M₂ e M₃, e M₃ semelhante a M₄. O consumo aumentou de M₁ para M₄.

Analisando-se o fator lastro dentro de cada marcha, nota-se que para as marchas M₁ e M₂ ocorreu semelhança estatística entre as condições de lastragem; para M₃, a condição de lastragem sem água resultou em menor consumo e, para M₄, a condição sem água apresentou maior consumo. Analisando-se o fator marcha dentro de cada lastro detecta-se que para a condição de lastragem sem água ocorreu diferença para todas as marchas. Na condição de lastragem com água observou-se diferença significativa para as marchas M₁, M₂ e M₃, sendo M₃ semelhante a M₄.

Consumo específico

Pela Tabela 1, observa-se que o fator pneu influenciou o consumo específico, sendo o menor valor para o pneu radial, enquanto o diagonal foi semelhante ao de baixa pressão. Analisando-se o fator lastro, nota-se menor consumo para a condição de lastragem com água. O fator marcha teve influência significativa no consumo específico e se notou que esta variável reduziu na medida em que aumentou a velocidade de M₁ para M₂ e desta para M₃, sendo o consumo de M₃ semelhante a M₄. Este comportamento está de acordo com Santos Filho (1993), e os resultados equivalem àqueles encontrados por Franz (1988), considerando-se que ambos os autores trabalharam apenas com o pneu diagonal. A Figura 1 mostra o ajuste do modelo de regressão do consumo específico em função da velocidade.

Análise do consumo horário e específico

Os resultados encontrados neste trabalho oferecem suporte técnico para evitar o consumo horário como base de comparação entre tratamentos, pois o mesmo evidenciou o aumento de velocidade como fator negativo, sendo esta uma inverdade técnica. O consumo horário com base em volume (L h^{-1}) deve ser usado para se ter uma idéia rápida de campo, lembrando-se que o mesmo não tem amparo científico. O consumo horário com base em massa considera apenas o efeito da temperatura com a finalidade de corrigir a densidade do líquido.

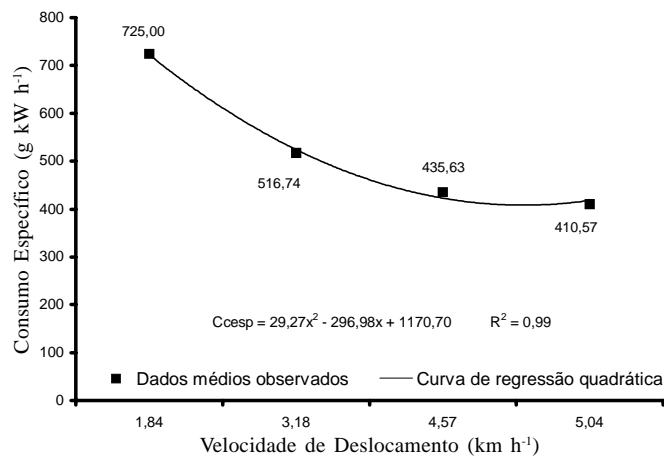
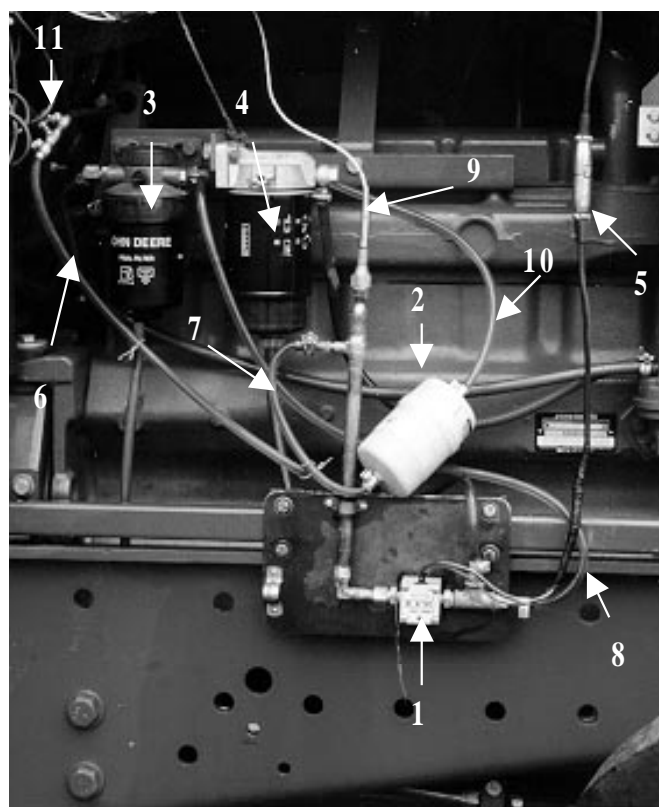


Figura 1. Análise de regressão do consumo específico em função da velocidade



1. Medidor de fluxo
2. Filtro de combustível antes do medidor de fluxo
3. Filtro primário do sistema de alimentação do trator
4. Filtro secundário do sistema de alimentação do trator
5. Conexão elétrica entre o medidor de fluxo e o painel de leitura
6. Tubulação que liga o medidor de fluxo ao mecanismo de sangria
7. Tubulação entre o filtro e o medidor
8. Tubulação que liga o medidor de fluxo ao filtro primário do trator
9. Medidor de temperatura do combustível
10. Tubulação que liga o filtro do medidor de fluxo à bomba de alimentação do trator
11. Mecanismo que permite a sangria do medidor de fluxo

Figura 2. Vista geral do medidor de combustível

CONCLUSÕES

1. O uso do pneu radial resultou em menos consumo específico.
2. A condição de lastragem com água nos pneu reduziu o consumo de combustível.
3. A velocidade M3 ($4,8 \text{ km h}^{-1}$) permitiu reduzir o consumo específico sem comprometer o desempenho ao tratos.

4. Tratando-se de consumo específico os fatores (pneu, lastragem e velocidade) não interagiram entre si.

LITERATURA CITADA

- 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, Brasília, 1999. Anais... Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. T025-3 CD-Rom
- Cordeiro, M.A.L. Estudo do efeito de lastragem no desempenho de um trator agrícola. Botucatu: Universidade Estadual Paulista. 1994. 112p. Dissertação Mestrado
- Corrêa, I.M.; Yanai, K.; Maziero, J.V.G.; Molina Júnior, W.F. Trator agrícola equipado alternadamente com pneu radial de baixa pressão e pneu diagonal: desempenho comparativo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.17, n.2, p.64-70, 1997.
- Franz, C.A. Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores com diferentes níveis de desgaste. Santa Maria, 1988. 92p. Dissertação Mestrado
- Furlani, C.E.A. Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Botucatu, 2000. 218p. Tese Doutorado
- Lanças, K.P.; Santos Filho, A.G.; Upadhyaya, S.K. Implications of using low/correct inflation pressure for radial ply tractor tires. St. Joseph: ASAE, 1995. Paper n.95-056
- Lopes, A. Desempenho de um trator agrícola em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento em um solo argiloso. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2000. 131p. Tese Doutorado
- Potier, M. Pneus: la pression baisse. Agri-Decideur, n.26, p.15-28, 1990.
- Santos Filho, A.G. Desempenho energético e operacional em função da velocidade de deslocamento e teor de água no solo. Botucatu, 1993. 141p. Dissertação Mestrado
- Silva, S.L. Projeto e construção de sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1997. 148p. Dissertação Mestrado