Desempenho de um microtrator utilizando-se motores com diferentes alternativas energéticas

Denílson Eduardo Rodrigues[1*], Mauri Martins Teixeira[2], Haroldo Carlos Fernandes[2], Alcir José Modolo[3] e Gilton José Rodrigues[2]

*[1]Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Lavras (UFV), Av. Jacob Lopes de Castro 100, apto 02, 36570-000, Centro, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. [2]Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. [3]Programa de Pós-graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: deduardo@ufv.br*

RESUMO. Neste trabalho avaliou-se o desempenho de um microtrator equipado com três diferentes tipos de acionamento. Um mesmo chassi de um microtrator foi instalado, alternadamente, com um motor elétrico trifásico (MCA), um motor elétrico de corrente contínua (MCC) e com um motor de combustão interna (MCI). Os ensaios do microtrator com cada um dos motores permitiram a determinação da força de tração máxima, da velocidade de deslocamento, do consumo de combustível e a patinagem dos rodados. O MCC desenvolveu maior força de tração, sendo 22% superior aos demais. O consumo específico de energia para os microtratores decresceu com o aumento da patinagem.

Palavras-chave: energia, motores, patinagem.

ABSTRACT. Performance of a microtractor using engines with different energetic alternatives. This study evaluated the performance of a microtractor implemented in three different operational types. A microtractor chassis was alternately operated with a three-phase electric engine (MCA), a direct-current electric engine (MCC) and an internal combustion engine (MCI). The rehearsals of the microtractor implemented in each one of the engines allowed determinations of the maximum tractive force, the forward speed and the fuel consumption in wheel skiddings. The MCC developed greater snatch force, being 22% superior to the others. The specific consumption on energy for the microtractors decreased as the skiddings increased.

Key words: energy, engines, skidding.

Introdução

A agricultura moderna envolve conhecimentos nas mais diversas áreas do processo produtivo. A busca pela melhoria na qualidade dos produtos, economicidade e segurança para os trabalhadores exigem aprimoramento constante dos métodos de produção empregados. Neste contexto, a mecanização é um fator importante, pois permite a racionalização do trabalho agrícola, aumentando a produtividade e reduzindo o esforço realizado pelo trabalhador rural.

O microtrator é um veículo de menor porte, mais ágil e com capacidade para minimizar o problema da escassez de mão-de-obra. Além disso, em muitos locais, os microtratores podem ser empregados para dar suporte aos diferentes sistemas de produção, principalmente em área com espaço restrito, como jardins, estufas, galpões, aviários, fábricas etc. (Nagasaki e Nonaka, 1999).

Os microtratores geralmente são dotados de motores de combustão interna, que transformam a energia potencial calorífica dos combustíveis ou carburantes em energia mecânica. A eficiência da transformação da energia química em energia mecânica desse tipo de motor varia entre 25 e 35%, sendo considerado um conversor de baixa eficiência energética (Liljedahl, 1989). Uma alternativa seria a utilização de microtratores movidos a energia elétrica.

Segundo Thoreson *et al*. (1986), o Departamento de Energia dos Estados Unidos patrocinou estudos para determinar a viabilidade do uso de tratores à bateria elétrica, e os resultados das pesquisas, realizadas na Universidade Estadual Dakota do Sul, indicaram que o trator elétrico pode realizar tarefas nas fazendas com excelente eficiência.

O Instituto de Engenharia Agrária da Universidade de Milão desenvolveu um motocultivador acionado por um motor elétrico para pequenas propriedades obtendo excelentes resultados, incluindo a minimização da vibração e do ruído da máquina (Innovazione, 1992).

Johansson e Ahman (2002) realizaram estudos sobre o uso de fontes alternativas de energia e concluíram que, entre os veículos estudados, todos aqueles com sistema de energia alternativa (elétrico, célula de combustível e elétricos híbridos)

apresentaram custo energético e impacto ambiental inferiores aos de combustão interna, porém exigiram alto investimento para implantação.

Segundo Bottura (1989), os motores para veículos elétricos podem ser de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA). Suzuki *et al*. (1995) estudaram e desenvolveram um sistema de baterias para veículos elétricos que proporcionaram baixa necessidade de manutenção e excelentes características.

De acordo com Molin *et al*. (2002) o ensaio de máquinas agrícolas de tração é uma necessidade real que possibilita a ponderação sobre o desempenho do equipamento como fonte de potência.

A avaliação do desempenho de uma máquina agrícola é o ato de apreciar qualiquantitativamente seu trabalho durante a execução das operações agrícolas para as quais foi projetada e construída (Mialhe, 1996).

Define-se o desempenho operacional de uma máquina agrícola como o conjunto de parâmetros que determinam seus atributos quando executa operações sob determinadas condições de trabalho. Esses parâmetros podem estar associados a características operacionais, como a quantidade de trabalho e as características dinâmicas, relativas à potência requerida e à velocidade em que o trabalho é executado (Balastereire, 2000).

Segundo Mantovani *et al*. (1999), quando os testes de campo são realizados sem a utilização de instrumentação eletrônica, a quantidade de área demandada para sua realização e para avaliação de desempenho dos equipamentos é muito grande, o que dificulta a obtenção dos dados e exige a realização de muitas repetições. Atualmente, com a disponibilidade de instrumentação eletrônica de custo razoável, montada no trator ou em implementos, pode-se realizar a aquisição automática dos dados, propiciando maior facilidade na realização dos testes, com a obtenção de dados mais precisos medidos no campo e, conseqüentemente, com melhorias na qualidade dos testes de campo.

É de extrema importância conhecer as características e o desempenho das máquinas, visando o uso de forma racional e com melhor eficiência, além do auxílio nas decisões em projetos. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho de um microtrator em pista de concreto utilizando-se motores com diferentes alternativas de energia.

Material e métodos

Este trabalho foi realizado em pista de concreto, plana, com 25 m de comprimento, localizada no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Estado de Minas Gerais.

O microtrator estava constituído pelos seguintes componentes básicos: motor, sistema de direção acoplado ao eixo dianteiro, sistema de transmissão composto por caixa de redução acoplada no eixo traseiro, caixa de câmbio com três opções de marcha (duas de avanço e uma de ré), sistema diferencial, engate frontal para acoplagem dos acessórios de revolvimento, barra de tração na parte traseira e freio no rodado traseiro.

Como sistema de acionamento do microtrator foram utilizados: um motor elétrico de corrente alternada (MCA) tipo motor elétrico trifásico de potencia 2,2 kW (220 Vca) a 3465 rpm., um motor elétrico de corrente contínua (MCC) de tensão de alimentação de 36 Vcc e uma potencia de 2,2 kW a 2900 rpm, e um motor de combustão interna (MCI) tipo ciclo "Otto", dois tempos à gasolina, mono cilíndrico potencia nominal de 2,6 kW a 3600 rpm.

O conjunto de transmissão era composto pelos seguintes elementos: correia tipo "V", perfil B, polias, correntes, caixa de engrenagens, diferencial e semi-eixo. A primeira parte do sistema de transmissão estava formada pelas polias e correias tipo "V", que, além de reduzirem a velocidade, faziam o papel da embreagem. Este efeito foi obtido pelo tensionamento das correias, acionadas por uma alavanca. A parte seguinte do sistema é composta por um conjunto de coroa, pinhão e corrente, que teve como função reduzir a velocidade e transmitir o movimento de rotação até a caixa de transmissão. A caixa de transmissão permitiu ao operador, através de uma alavanca, escolher três opções de movimento, sendo duas à frente e uma a ré. Ligado por uma corrente à caixa de transmissão, existia um diferencial, que fazia a mudança no sentido de movimento aos dois semi-eixos traseiros, onde estavam instalados os rodados de tração, que apresentaram as seguintes relações de transmissão: para a 1ª marcha, 23:1; para 2ª marcha, 12,5:1; para a marcha a ré, 18,5:1.

Os pneus utilizados no microtrator nos rodados dianteiros e traseiros foram do tipo diagonal com as dimensões 4-8 e 6-16, respectivamente.

Sistema de coleta de dados utilizados no ensaio

O sistema de coleta de dados, montado a bordo do microtrator, foi composto por um computador (1), sistema aquisição de dados (2), sensor magnético, para medição da velocidade angular do motor (3), célula de carga com extensômetros elétricos de resistência (4), conforme Figura 1.

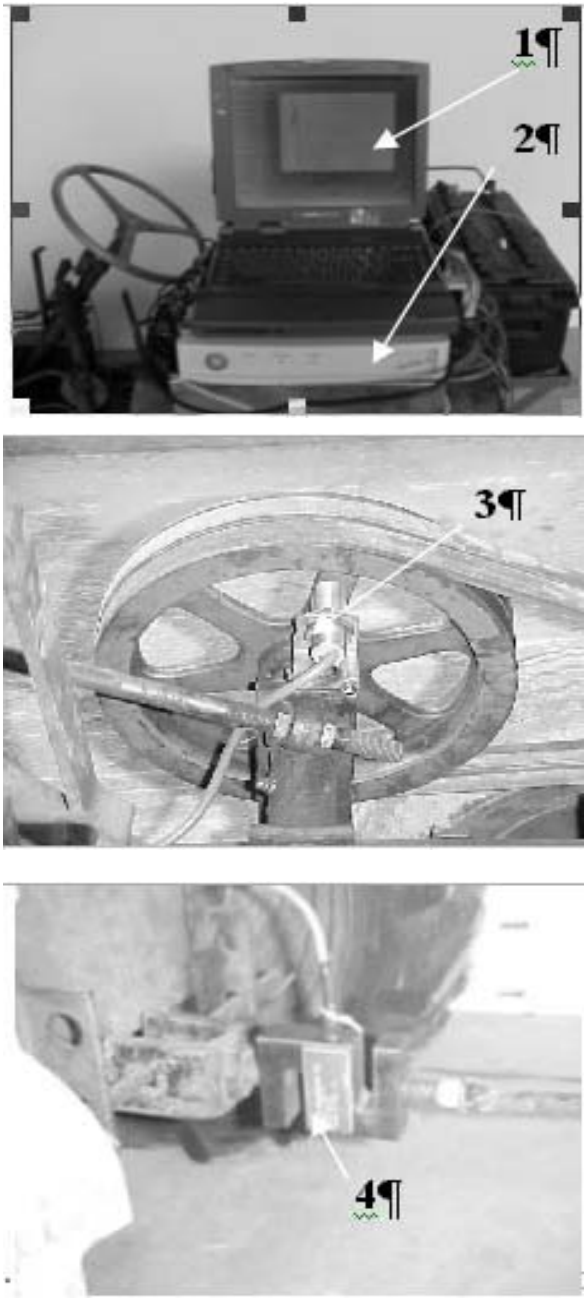


Figura 1. Sistema de aquisição de dados e os sensores utilizados.

Utilizou-se o sistema de aquisição de dados modelo HBM Spider8, fabricado pela empresa Hottinger Baldwing Messthecknick (HBM). O programa computacional Catman 2.0 teve como função arquivar os dados e fazer a conversão dos sinais dos sensores para a unidade especificada por meio de uma curva de calibração.

Ensaio de desempenho na barra de tração

O ensaio de desempenho na barra de tração em potência máxima, em diferentes marchas de trabalho, foi realizado conforme a NBR 10400 (ABNT, 1997).

Para a realização do ensaio, foram estabelecidas cinco condições de patinagem (5; 10; 15; 20 e 25%) duas marchas de trabalho. Foram realizadas três repetições.

Na Tabela 1 estão listados os valores das rotações dos motores e as respectivas velocidades de deslocamento do microtrator para primeira e segunda marcha.

Tabela 1. Rotação dos motores e velocidades de ensaio.

Microtrator	Potência Nominal (kW)	Rotação do motor (rpm)	Primeira marcha (km h^{-1})	Segunda marcha (km h^{-1})
MCI	2,6	3.600	2,02	3,77
MCC	2,2	2.900	1,63	3,03
MCA	2,2	3.465	1,94	3,49

Para alcançar as condições de patinagem citadas, foi acoplado na barra de tração um trator marca Valtra 800 L com pneu traseiro de 18.4-R34 e pneu dianteiro 14.9-R24, que tinha como função variar a carga a ser tracionada, usando o principio do freio motor.

A coleta dos dados foi realizada por meio do sistema de aquisição de dados, em intervalos de 0,2 segundos.

Determinação da força de tração

A determinação da força de tração foi obtida utilizando-se uma célula de carga acoplada entre o microtrator e o trator de lastro. Os valores foram coletados em milivolts e convertidos para kN, por meio de uma configuração interna de parâmetros do programa de aquisição.

Para os valores de força, potência, e coeficiente de tração referentes ao microtrator MCI, foi aplicado um fator de correção K_o de 1,04 para uma condição atmosférica de temperatura ambiente conforme estabelecido pela Norma NBR 5484 (ABNT, 1985).

Determinação da velocidade teórica

A determinação da velocidade teórica foi obtida partir do sensor de rotação angular do motor e as relações de transmissão do microtrator entre a polia do motor e o rodado motriz. No calculo, foi utilizado um fator de conversão calculado considerando-se o perímetro dinâmico das rodas motrizes do microtrator, segundo a Norma Standards 296.3 (ASAE, 1990) considerando o número de pulsos emitidos pelo sensor e as relações de transmissão do microtrator entre o motor e o rodado motriz. A patinagem da embreagem foi considerada nula, tendo em vista que o sensor de rotação foi instalado após a mesma.

Determinação da patinagem das rodas motoras

A determinação da patinagem das rodas motoras foi obtida pela Equação 1, segundo NBR 10400

(ABNT, 1997):

$$S = (1 - \frac{Nr}{Nt}) * 100 \quad (1)$$

em que:

S = patinagem das rodas motoras (%);

Nr = número de voltas das rodas motrizes sem carga;

Nt = número de voltas das rodas motrizes com carga.

Determinação consumo de combustível

As medições de consumo de combustível para o microtrator MCI foram efetuadas por meio de um medidor de consumo de combustível tipo volumétrico, conectado ao sistema de alimentação do microtrator. O sistema era formado por uma bureta graduada de 50 mL e resolução 1 mL e um registro. No início do ensaio, o registro era aberto, permitindo o enchimento da bureta. Quando o microtrator iniciava o ensaio, o registro era fechado e o combustível usado a partir de então era o que estava armazenado na bureta. A diferença entre as leituras inicial e a final indicava o total de combustível consumido.

Determinação do consumo horário

Com base no volume consumido, determinou-se o consumo horário em volume, utilizando-se a Equação 2 (Mialhe, 1996):

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

em que:

Ch = consumo horário, L h^{-1};

C = volume consumido, mL;

t = tempo de percurso na parcela, s.

Determinação do coeficiente de tração

O coeficiente de tração (C_t) foi definido como a razão entre a força desenvolvida na barra de tração e a carga dinâmica aplicada sobre os rodados motrizes (Zoz e Grisso, 2003), conforme a Equação 3:

$$C_t = \frac{F_b}{W_t + W_f} \quad (3)$$

em que:

F_b = força na barra de tração, kN;

W_t = peso sobre eixo traseiro do trator, kN;

W_f = transferência de peso sobre eixo traseiro do trator, kN.

Determinação do consumo específico de combustível

O consumo específico expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração por hora de trabalho. Para o cálculo desse parâmetro, empregou-se a Equação 4 (Mialhe, 1996):

$$C_e = \frac{DCh}{W} \quad (4)$$

em que:

C_e = consumo específico, g kW^{-1} h^{-1};

D = densidade do combustível, g L^{-1};

Ch = consumo horário com base em volume, L h^{-1};

W = potência na barra de tração, kW.

Determinação da potência elétrica

Para o microtrator MCC, os valores de voltagem foram medidos por um canal da aquisição de dados, configurado para medições em voltagem contínua, com valores de até 10 V, que era o limite do sistema. Como o conjunto de baterias fornecia voltagem superior, foi necessário o uso de um divisor de tensão formado por resistores, que dividia a tensão das baterias por quatro.

Para a medição da variável corrente elétrica DC, o sistema foi configurado com um resistor de baixo valor e de alta dissipação de potência, instalado em série com o cabo de alimentação do controlador. O sistema de aquisição de dados fazia a leitura da queda de tensão neste resistor. Para calcular o valor da corrente, era efetuada a divisão da queda de tensão no resistor pelo valor de sua resistência.

Para o MCA, a leitura da potência do motor foi realizada diretamente no próprio inversor de freqüência.

Delineamento estatístico

O experimento realizado para o ensaio na barra de tração foi montado em esquema fatorial 5 x 2, em que as parcelas consistiram de três fontes de acionamento (MCA, MCC, MCA), cinco patinagens (5, 10, 15, 20 e 25%) e as duas marchas do câmbio (1ª e 2ª marcha), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Os modelos de regressão dos dados foram selecionados com base no teste t dos coeficientes dos tratamentos, no coeficiente de determinação e na análise do fenômeno em estudo. Adotou-se 5% de probabilidade nas análises.

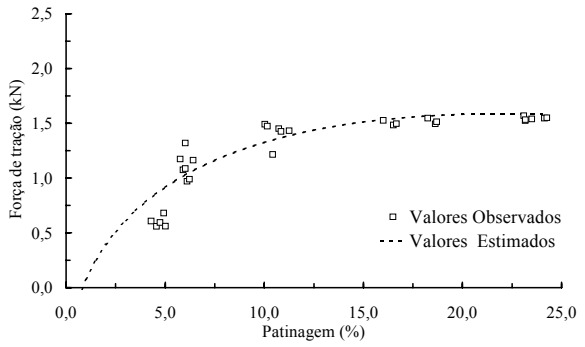
As análises estatísticas de variância e regressão foram realizadas por meio do programa SAEG (Ribeiro Júnior, 2001), versão 8.0.

Resultados e discussão

Força na barra de tração

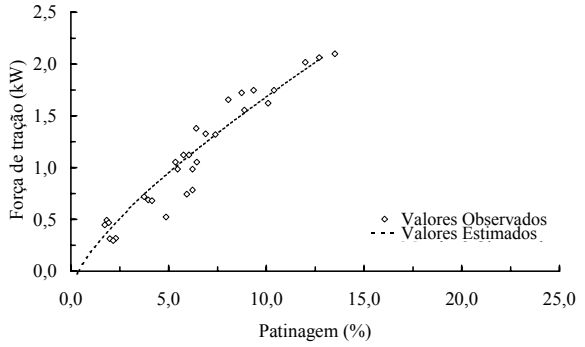
Nas Figuras 2, 3 e 4, encontram-se os gráficos do comportamento da força de tração, em função da patinagem dos rodados motrizes dos microtratores

MCA, MCC e MCI. Na Figura 2 verificou-se que a força aumentou com a patinagem até 10 % e depois estabilizou ate 25 %, independentemente da marcha e da fonte de energia utilizada, observando-se valor máximo de força de tração de 1,66 kN para 25,0% de patinagem no modelo MCA.



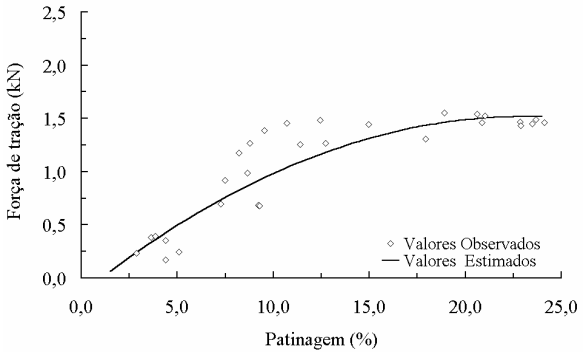
$F_{bt} = -0{,}404199 - 0{,}0542769s + 0{,}68368\sqrt{s} \quad R^2 = 0{,}92$

Figura 2. Força de tração em função da patinagem do microtrator MCA.



$F_{bt} = -0{,}26114 + 0{,}079s + 0{,}363965\sqrt{s} \quad R^2 = 0{,}88$

Figura 3. Força de tração em função da patinagem do microtrator MCC.



$F_{bt}^{1} = -0{,}14865 + 0{,}1441s - 0{,}003113s^2 \quad R^2 = 0{,}92$

Figura 4. Força de tração em função da patinagem do microtrator MCI.

Quanto ao microtrator MCC, o maior valor de força de tração foi de 2,08 kN para a patinagem de 13% (Figura 3). De acordo com Norma NBR 10400 (ABNT, 1997), a transferência de peso do eixo dianteiro para o traseiro, permitida para uma operação segura com tratores agrícolas, não deve ultrapassar 80% do peso estático do eixo dianteiro que equivaleria a uma força máxima na barra de tração de 2,02 kN. Observou-se nos ensaios que esse limite foi alcançado com valores de patinagem acima de 14%. Dessa maneira, os ensaios foram interrompidos nesses pontos, conforme demonstrado na Figura 3.

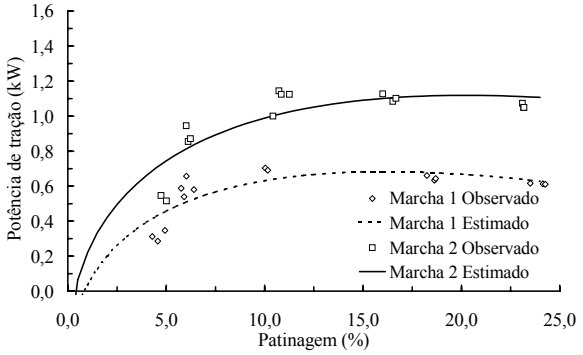
Para o microtrator MCI, o valor de força de tração máxima de 1,61 kN foi atingido com patinagem de 19,5% (Figura 3).

A curva foi similar para os três modelos ensaiados para uma patinagem de até 14% e os valores máximos para a força de tração foram alcançados na faixa de patinagem de 14% para o MCC e 25% para os demais. A maior força de tração, equivalente a 2,02 kN, foi alcançada com o MCC, com diferença significativa para os demais motores pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, enquanto que para MCA (1,66 kN) e o MCI (1,61 kN), não houve diferença significativa. Esse fato pode ser explicado pela concentração de peso sobre o eixo traseiro, que foi de 2,81; 2,21; 2,12 kN para MCC, MCA, MCI, respectivamente.

Potência na barra de tração

Nas Figuras 5, 6 e 7, são apresentados os gráficos do comportamento da potência na barra de tração dos microtratores, para as respectivas marchas, em função da patinagem dos rodados motrizes. As curvas de potência na barra de tração mostraram-se diferentes tanto na primeira como na segunda marcha.

Com os valores máximos alcançados de força de tração e da velocidade real do microtrator obtidos para as marchas 1 e 2, determinou-se a potência exigida na tração, verificando-se que a 1ª marcha apresentou valores menores que a 2ª marcha e que os valores das patinagens elevaram com o aumento da potência na barra de tração para todos os microtratores. Os valores máximos alcançados de potência na barra de tração foram de 0,68 e 1,12 kW com patinagens de 16,1 e 20,2%, obtidas na 1ª e 2ª marchas, respectivamente para o MCA (Figura 5).

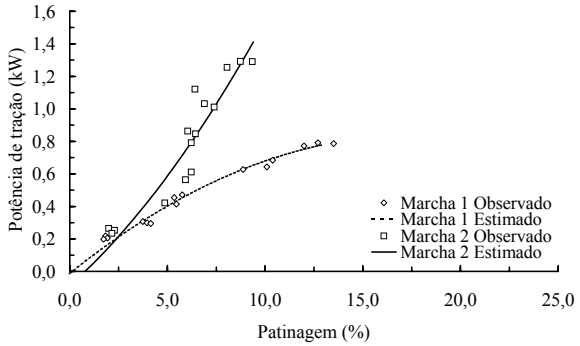


$$P_{bt}^{1} = -0{,}46667 - 0{,}071269s + 0{,}57244\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}82$$

$$P_{bt}^{2} = -0{,}366011 - 0{,}073604s + 0{,}661187\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}90$$

Figura 5. Potência na barra de tração do microtrator MCA em função da patinagem.

Para o microtrator MCC, constatou-se que os valores da patinagem cresceram com o aumento potência de tração, atingindo 9% com a 2ª marcha, enquanto, na 1ª marcha, o comportamento foi crescente até aproximadamente 14%. As potências máximas de tração foram de 0,78 e 1,41 kW para a 1ª e 2ª marchas, respectivamente (Figura 6).

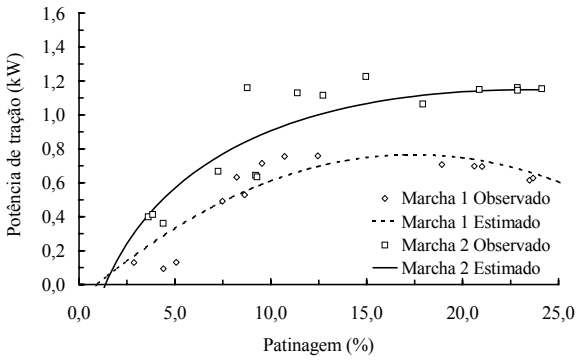


$$P_{bt}^{1} = -0{,}0139 + 0{,}09648s - 0{,}002723s^{2} \qquad R^2 = 0{,}98$$

$$P_{bt}^{2} = -0{,}087544 + 0{,}10697s + 0{,}0055859s^{2} \qquad R^2 = 0{,}91$$

Figura 6. Potência na barra de tração do microtrator MCC em função da patinagem.

A potência de tração exigida pela barra do microtrator MCI foi crescente com o aumento na patinagem dos rodados até 17,5 e 23,5%, para as 1ª e 2ª marcha, respectivamente, decrescendo a partir desses valores. Os maiores valores de potência foram de 0,79 e 1,16 kW, para a 1ª e a 2ª marchas, respectivamente (Figura 7).



$$P_{bt}^{1} = -0{,}088392 - 0{,}097904s - 0{,}002806s^{2} \qquad R^2 = 0{,}85$$

$$P_{bt}^{2} = -0{,}84579 - 0{,}0846639s + 0{,}8218\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}90$$

Figura 7. Potência na barra de tração em função da patinagem do microtrator MCI.

Os valores de potência máxima para os microtratores MCA, MCI e MCC na primeira marcha foram alcançados com 16,1; 17,5 e 14% de patinagem, respectivamente, enquanto, na segunda marcha, na faixa de 20,2 a 23,5%, sendo que, para o MCC, ocorreu com 9% de patinagem.

O microtrator MCC foi o que apresentou a maior potência na barra de tração 1,41 kW, com diferença significativa em relação aos demais (1,12 kW e 1,16 kW para os microtratores MCA e MCI, respectivamente) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

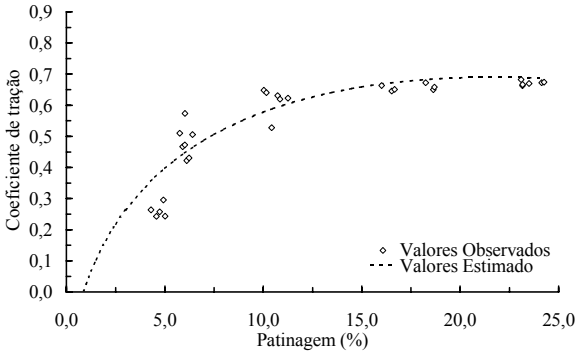
As potências máximas desenvolvidas pelos microtratores podem ser aumentadas, dentro de certos limites, pela adição de lastros. Esta adição de lastro deve ser estudada considerando-se diversos fatores, como a resistência dos elementos de transmissão, a capacidade dos pneus, entre outros.

Coeficiente de tração

Nas Figuras 8, 9 e 10, encontram-se os gráficos dos coeficientes de tração dos rodados motrizes dos microtratores MCA, MCC e MCI, para as respectivas marchas, em função da patinagem.

O coeficiente de tração apresentou comportamento crescente com o aumento da patinagem para os microtratores ensaiados.

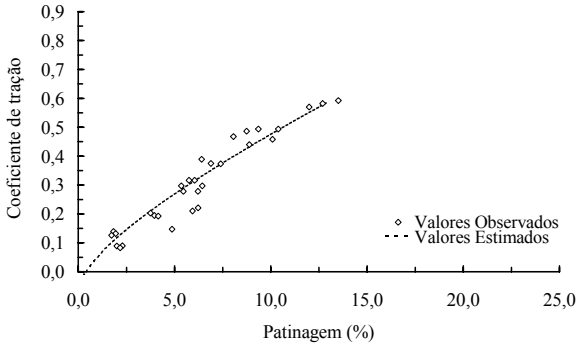
Para o microtrator MCA, os coeficientes de tração elevaram até valores próximos a 20% de patinagem, enquanto, a partir daí, a tendência de estabilização. O maior valor de coeficiente de tração foi 0,76 (Figura 8).



$$C_t = -0{,}387828 - 0{,}049464s + 0{,}4618\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}88$$

Figura 8. Coeficiente de tração dos rodados motrizes do microtrator MCA em função patinagem.

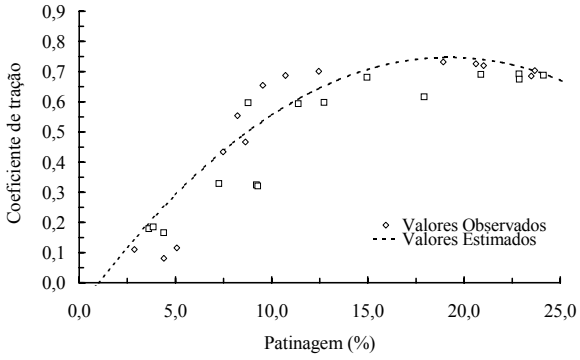
O coeficiente de tração dos rodados motrizes do microtrator MCC, em função da patinagem encontra-se na Figura 9. O aumento da patinagem proporcionou elevação do coeficiente de tração, independentemente da marcha utilizada. O maior valor de coeficiente de tração equivalente a 0,59 foi obtido com patinagem de 14%.



$C_t = -0{,}07377 + 0{,}022334s + 0{,}1028\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}94$

Figura 9. Coeficiente de tração dos rodados motrizes do microtrator MCC em função patinagem.

Na Figura 10 observou-se o valor máximo do coeficiente de tração 0,79 na patinagem de 23% para o MCI.



$C_t = -0{,}08427 + 0{,}086518s - 0{,}0022509s^2 \qquad R^2 = 0{,}90$

Figura 10. Coeficiente de tração dos rodados motrizes do microtrator MCI em função patinagem.

Os maiores valores dos coeficientes de tração alcançados foram 0,79; 0,76 e 0,59 para os microtratores MCI, MCA e MCC, respectivamente, e ocorreram na faixa de 14 a 25% de patinagem. Para os microtratores MCI e MCA, não houve diferença significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, havendo, porém, uma diferença para o MCC. O coeficiente de tração foi influenciado pela distribuição das cargas sobre a superfície de apoio.

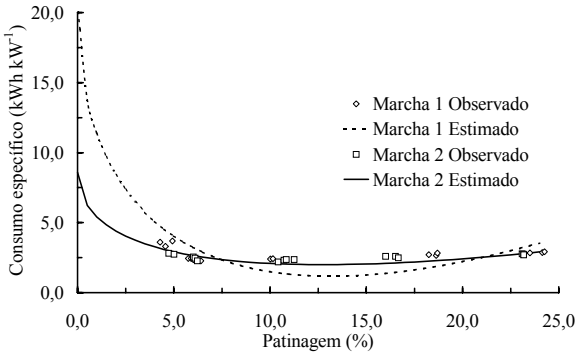
Durante a realização dos ensaios, não houve a troca dos pneus dos microtratores. O MCC apresentou coeficiente mais baixo que os demais microtratores, uma vez que houve a interrupção dos testes antes de atingir maior valor para a patinagem.

Consumo específico de energia

Nas Figuras 11, 12 e 13 encontram-se os gráficos que representam o consumo específico de energia dos microtratores, para as respectivas marchas.

O consumo específico de energia, para o microtrator MCA trabalhando na 1ª e 2ª marchas, é apresentado na Figura 11. O valor do consumo específico de energia decresceu com o aumento da patinagem até esta atingir 13%, quando iniciou o comportamento estável, independentemente da marcha utilizada. Os valores mínimos alcançados foram de1,17 e 2,00 kWh kW^{-1}, para a 1 e 2ª marchas, respectivamente.

O fato de a 2ª marcha ter exigido aproximadamente 41% a mais de consumo específico de energia que a 1ª marcha está relacionado ao aumento de velocidade de deslocamento, uma vez que, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior as perdas ocasionadas no sistema de transmissão de potência da máquina e nas deformações dos pneus e também pelo aumento da potência exigindo um maior consumo de combustível.

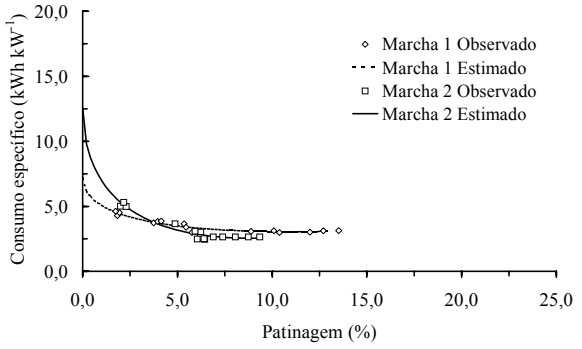


$Ce^1 = 20{,}6042 - 10{,}7025\sqrt{s} + 1{,}4736s \qquad R^2 = 0{,}76$

$Ce^2 = 8{,}5776 - 3{,}682\sqrt{s} + 0{,}5153s \qquad R^2 = 0{,}78$

Figura 11. Consumo específico de energia em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCA.

O consumo específico de energia para o microtrator MCC decresceu com o aumento da patinagem, independentemente da marcha usada até 5% de patinagem (Figura 12). Os valores mínimos de consumo específico de energia foram 3,05 e 2,55 kWh kW^{-1}, para as patinagens de 11,0 e 8,8%, para a 1 e 2ª marchas, respectivamente.

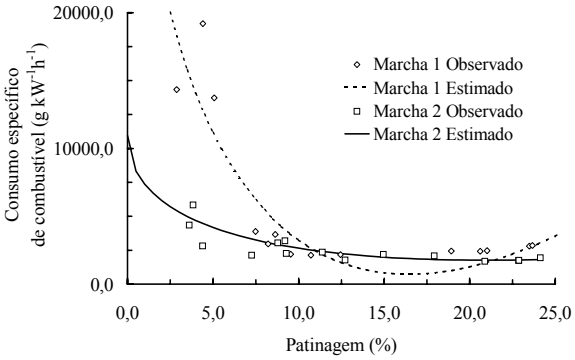


$Ce^1_{bt} = 7{,}19215 + 0{,}37412s - 2{,}4896\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}92$

$Ce^2_{bt} = 12{,}5712 + 1{,}13248s - 6{,}736\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}92$

Figura 12. Consumo específico de energia em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCC.

O consumo específico de energia em função da patinagem e da marcha utilizada no microtrator MCI encontra-se na Figura 13. Verificou-se que os valores de consumo específico de combustível diminuíram com o aumento da patinagem para ambas as marchas até 12%. Analisando a 1ª marcha, observou-se valor mínimo do consumo específico de combustível de 724,5 g $kW^{-1}h^{-1}$ para a patinagem de 16,5%, enquanto, na 2ª marcha, o valor mínimo foi de 1761,7 g $kW^{-1}h^{-1}$ para a patinagem de 21%.



$$Ce_{bt}^{1} = 52574{,}1 + 3151{,}2s - 25564{,}9\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}80$$

$$Ce_{bt}^{2} = 10936{,}3 + 437{,}58s - 3998{,}1\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}84$$

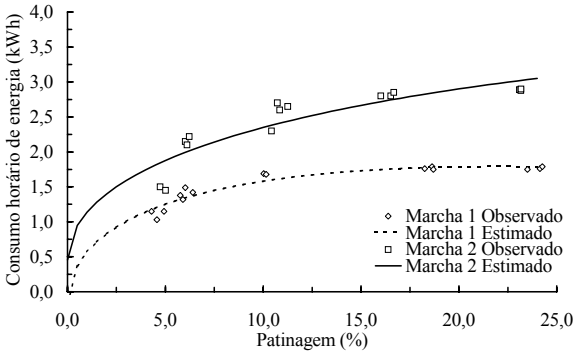
Figura 13. Consumo específico de energia em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCI.

Consumo horário de energia

O consumo horário de energia dos microtratores para as diferentes patinagens e marchas é representado nas Figuras 14, 15 e 16.

Para o microtrator MCA, o consumo horário foi crescente em função da patinagem, para a 2ª marcha, enquanto, para a 1ª, seus valores tenderam à estabilidade a partir de 19% de patinagem. A 2ª marcha requereu maiores valores de consumo de energia que a 1ª, representando valores máximos de 3,05 e 1,79 kWh, respectivamente. A curva do consumo de energia seguiu a mesma tendência da curva da força de tração. Maior exigência na força de tração provocou maior demanda de energia pelo sistema.

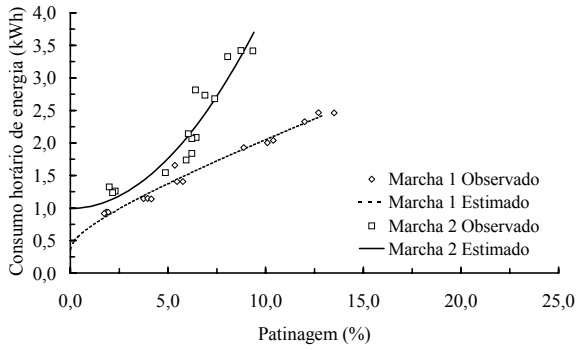
O consumo de energia do microtrator MCC para as diferentes patinagens e marchas é representado na Figura 15. A potência absorvida exigida pelo motor foi crescente em função da patinagem, dependendo da marcha utilizada. A 2ª marcha requereu maiores valores de potência de alimentação que a 1ª, representando valores máximos de e 3,70 e 2,43 kW, para as patinagens de 9,4 e 13,0%, respectivamente. Maior patinagem provocada pelo maior esforço na barra de tração demanda diretamente maior potência do motor e, conseqüentemente, maior consumo de energia.



$$C_a^1 = -0{,}17728 - 0{,}089057s + 0{,}8374\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}95$$

$$C_a^2 = 0{,}45447 - 0{,}0397343s + 0{,}72462\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}92$$

Figura 14. Consumo horário de energia em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCA para as respectivas marchas.

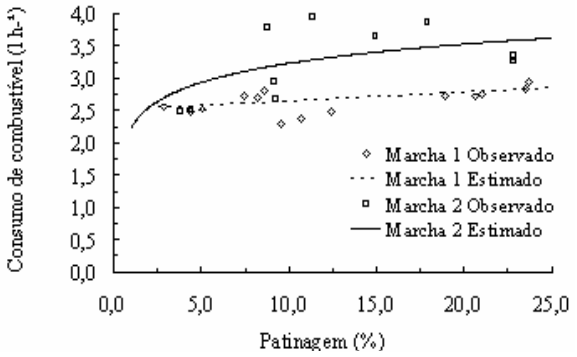


$$C_a^1 = 0{,}36238 + 0{,}08879s + 0{,}25269\sqrt{s} \qquad R^2 = 0{,}98$$

$$C_a^2 = 0{,}992166 + 0{,}0007761s + 0{,}03059s^2 \qquad R^2 = 0{,}89$$

Figura 15. Consumo horário de energia em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCC para as respectivas marchas.

O consumo de combustível do microtrator MCI para as diferentes patinagens e marchas encontra-se na Figura 16. O consumo de combustível foi crescente em função da patinagem, independentemente da marcha utilizada. A 2ª marcha requereu maiores valores de consumo de combustível que a 1ª, representando valores máximos de 3,2 e 2,8 L h^{-1} para a patinagem de 25%. O aumento da patinagem provocou acréscimo no consumo de combustível.



$$C^1 = 0{,}0137s + 2{,}5016 \qquad R^2 = 0{,}56$$

$$C^2 = 0{,}4269\mathrm{Ln}(s) + 2{,}2486 \qquad R^2 = 0{,}62$$

Figura 16. Consumo horário de combustível em função da patinagem dos rodados motrizes do microtrator MCI para as respectivas marchas.

Conclusão

Os valores máximos para a força de tração foram alcançados na faixa de patinagem de 14 a 25%.

O MCC desenvolveu maior força de tração, sendo 22% superior aos demais.

A maior potência na barra de tração foi observada no microtrator MCC, que alcançou 1,41 kW.

O consumo específico de energia para os microtratores decresceu com o aumento da patinagem.

Referências

ASAE-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Uniform terminology for traction agricultural tractor, selfpropeled implements, and other traction and transport devices: ASAE. S 296.3. St. Joseph: ASAE Standard, 1990. 37th.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILERA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR – 10400: Tratores Agrícolas – Determinação do Desempenho na Barra de Tração. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILERA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR – 5484: Motores Alternativos de combustão Interna de Ignição por Compressão ou Ignição por Centelha de Velocidade Variável: Rio de Janeiro, 1985.

BALASTREIRE, L.A. *O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil.* Piracicaba: São Paulo, 2000.

BOTTURA, C.P. *et al*. *Veículos Elétricos*. Editora da Unicamp, 1989.

INNOVAZIONE, M.M. Motocoltivatori elettrici per colture protette. Istituto di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano. *BCS Spa*, Abbiategrasso, v. 2, n. 1, p. 65-67, 1992.

JOHANSSON, B.; AHMAN, M.A. Comparison of technologies for carbon-neutral passenger transport. *Transp. Res. Part.,* Oxford, v. 7, n. 3, p. 175-196, 2002

LILJEDAHL, J.B. *Tractors and their power units*. 2. ed. An AVI book. 1989.

MANTOVANI, E.C. *et al*. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. *Pesq. Agropecu. Bras.,* Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-1246, 1999.

MIALHE, L.G. *Máquinas Agrícolas* - Ensaio & Certificação. Piracicaba, 1996.

MOLIN, J.P. *et al*. Ensaio de características dimensionais, ponderais e de desempenho na barra de tração de um quadriciclo 4x2 TDA. *Eng. Agric.,* Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 278-287, 2002.

NAGASAKI, Y.; NONAKA, M. Development of electric motor-driven monorail systems for agrochemical application In Sloping Greenhouses. St. Joseph: Transactions of the ASAE paper 994169, 1999.

RIBEIRO JÚNIOR, J.L. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: Editora UFV, 2001.

SUZUKI, K. *et al*. Valve-Regulated Lead/Acid Batteries For Electric Vehicles: Present And Future. *J. Power Sources*, v. 59, n. 3, p. 171-175, 1995.

THORESON, B.P. *et al*. Electric choremaster I: test procedures and results. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 29, n. 5, p. 1259-1265, 1986.

ZOZ, F.; GRISSO R.D. Traction and Tractor Performance. St. Joseph: Transactions of ASAE, 2003.

Received on December 13, 2005.
Accepted on April 28, 2006.