

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TRATÓRIA DE UM VEÍCULO OFF-ROAD TIPO BAJA

THIAGO FERREIRA MARTINS¹, GEICE PAULA VILLIBOR², JOSEPH KALIL KHOURY JUNIOR³, MARCONI RIBEIRO FURTADO JUNIOR⁴

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 9 9841-8814, thiago.martins@ufv.br

² Engenharia Agrícola e Ambiental, Profa. Adjunta do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 4992, geice.villibor@ufv.br

³ Engenheiro Agrícola, Prof. Associado do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 4116, kalil@ufv.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 1879, marconi.furtado@ufv.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Veículos *off-road* tipo baja apresentam-se como uma alternativa a realização de diferentes tarefas no meio agrícola devido a sua robustez, capacidade de transpor obstáculos e também pela sua capacidade de tração. Objetivou-se avaliar a eficiência tratória, a taxa de redução de percurso e o rendimento na barra de tração de um veículo *off-road* tipo baja para diferentes condições operacionais. Os testes experimentais tiveram como objetivo determinar a influência da pressão de insuflação no pneu, das posições do ponto de reboque e das cargas a serem puxadas sobre a eficiência tratória do veículo. A pressão nos pneus teve influência significativa. Os valores de eficiência tratória do veículo ficaram próximos a 80% e estão relacionados à taxa de redução de percurso contida na faixa ótima entre 5 e 20%. O rendimento máximo na barra de tração ficou na faixa de 45%. A maior força de tração observada foi igual a 2204,4 N. O veículo UFVbaja mostrou-se ser capaz de obter resultados significativos na prova de tração, das competições promovidas pela SAE como também ter aplicabilidade em algumas operações agrícolas em substituição a pequenos tratores.

PALAVRAS-CHAVE: taxa de redução de percurso; eficiência tratória; competições acadêmicas.

EVALUATION OF THE TRACTIVE EFFICIENCY OF AN OFF-ROAD BAJA VEHICLE

ABSTRACT: Off-road vehicles baja type are presented as an alternative to perform different tasks in the agricultural environment due to their robustness, ability to transpose obstacles and their ability to pull loads. The objective of this study was to evaluate the tractive efficiency, the travel reduction ratio and drawbar force of a Baja vehicle in different operating conditions. The experimental tests had as objective to determine the influence of the tire insufflation pressure, the height drawbar and the loads to be pulled on the tractive efficiency. Tire pressure had no influence. The tractive efficiency values were observed close to 80% and can be related to the travel reduction ratio contained in the optimum range between 5 and 20%. The yield at the drawbar was in the range of 45%. The highest traction force observed was 2204.4N. The vehicle UFVbaja was shown to be able to obtain significant results in the traction test of the competitions promoted by the SAE as well as to have applicability in some agricultural operations in substitution to small tractors.

KEYWORDS: travel reduction ratio; tractive efficiency; academics competitions.

INTRODUÇÃO: O programa Baja SAE proporciona aos estudantes de engenharia a oportunidade de trabalharem com um caso real de desenvolvimento de um veículo off-road, desde a sua concepção, projeto detalhado, construção e testes. Esse tipo de veículo pode ser utilizado na agricultura, transporte de passageiros e operações militares (WONG, 2009). Em atividades agrícolas pode ser aplicado para tracionar cultivadores, semeadoras, trailers e para transporte de suprimentos e ferramentas (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Veículos off-roads precisam puxar ou empurrar cargas externas significativas, necessitando, na maioria das vezes, de uma grande capacidade de tração (GOERING *et al.*, 2006). As limitações do veículo, em relação ao movimento *off-road*, são geralmente aquelas derivadas do dispositivo de tração. O desempenho tratório depende de uma combinação de variáveis tais como carga vertical, pressão dos pneus, resistência ao rolamento, taxa de redução de percurso dos pneus dentre outras (GOERING *et al.*, 2006). A hipótese que precede o trabalho é que diferentes configurações de CVT, altura da barra de tração, massa do piloto, pneus e condições de solo modificarão o desempenho tratório do veículo. Dessa maneira, objetivou-se avaliar a eficiência tratória, a taxa de redução de percurso e o rendimento na barra de tração de um veículo *off-road* tipo baja para diferentes condições operacionais.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA), Universidade Federal de Viçosa. Foi utilizado um veículo off-road tipo baja, projetado pela equipe UFVbaja. Durante os testes de tração, a massa total do sistema permaneceu constante, sendo a soma da massa do piloto (69,4 kg) e do veículo (219,35 kg). A configuração da suspensão e da CVT foi mantida a mesma durante todos os testes. A rotação do motor foi mantida em 3200 rpm. Os componentes do sistema de transmissão do veículo off-road utilizado nos testes estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Componentes de transmissão no veículo da equipe UFVbaja utilizados nos testes

Componente	Modelo	Especificidade
Motor	Briggs & Stratton	Potência: 10 hp
CVT	Polaris P90	Faixa de Redução: 3,83:1 a 0,76:1
Caixa de engrenagens	Dimensão e fabricação próprias	Redução Fixa: 5,87:1
Semieixos	Dimensão e fabricação próprias	883 g e 21 mm de diâmetro
Homocinéticas	GKN	Angulações Máximas: 47° e 23°
Pneu	Dianteiro: Dunlop KT 391 Traseiro: Arisun XC Plus Cross Country	Diâmetro externo: 21” Largura 7” Radial, Aro 10”

Durante os testes de tração, foram adquiridas as rotações nas rodas traseira e dianteira (considerada sem patinagem), e a força de tração na barra de tração, por meio de sensores contadores de pulso indutivos PNP LJ12A3-4-Z. A força na barra de tração foi determinada utilizando-se uma célula de carga, tipo S, marca HBM, modelo S9M, com capacidade de carga de 5 kN. Ambos os sensores foram conectados ao sistema de aquisição de dados da National Instruments® e toda a programação foi realizada no software Labview®. Três pressões de insuflação dos pneus foram pré-estabelecidas, com base em valores ótimos recomendados pelo fabricante do pneu (14 psi, 12 psi e 10 psi). Foram trabalhadas três posições da barra de tração, definidas a partir do solo, (925 mm, 675 mm e 360 mm). Além disso, para cada configuração foram colocadas três cargas diferentes (100,6 kg, 70,6 kg e 40,6

kg) a serem puxadas em um trenó, conforme representação na Figura 1. O solo foi considerado firme e seco para a determinação do Índice de Cone (CI), com seu valor igual a 1750 kPa.



FIGURA 1. Representação dos testes de tração realizados para aquisição de dados.

Para cada combinação entre os parâmetros de entradas, o veículo era colocado a percorrer uma pista de 15 m de comprimento. A avaliação era interrompida quando o veículo atingia o final da pista, parava de progredir ou quando levantava ambas as rodas dianteiras do solo (SAE BRASIL, 2017). Foram analisados a taxa de redução de percurso, a eficiência tratória e o rendimento na barra de tração. Os testes de campo foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 3 x 3 (pressões de insuflação dos pneus x alturas do ponto de reboque x cargas a serem puxadas), com três repetições. Os dados de eficiência tratória foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Posteriormente, foi realizada uma análise de regressão linear considerando os fatores com efeito significativo de nível de 1% de significância por meio do teste estatístico t. Toda análise estatística foi feita no SAS Studio®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A ANOVA mostrou que a pressão de insuflação nos pneus não teve efeito significativo sobre a eficiência tratória. Dessa forma, ajustou-se um modelo de regressão somente com os parâmetros com efeito significativo: altura e carga na barra de tração. Na Tabela 2 está apresentado o resultado para o teste t para os parâmetros estimados para o modelo utilizado para representar a eficiência tratória.

TABELA 2. Resultado do teste t para os parâmetros estimados do segundo modelo utilizado para representar a eficiência tratória do veículo UFVbaja

Variável	Grau de liberdade	Parâmetros estimados	Erro padrão	Valor de t	P-valor
Intercepto	1	0,88158	0,02393	36,85**	<0,0001
Altura	1	-0,06218	0,03433	-1,81 ^{ns}	0,0740
Carga	1	-0,00134	0,00032017	-4,18**	<0,0001
Altura*Carga	1	0,00154	0,00045944	3,34**	0,0013

** significativo ao nível de 1% de probabilidade, ns – não significativo; $t(72) = 2,38$. $R^2 = 32,77\%$.

O aumento da altura da barra de tração, mantendo-se a carga constante, resulta em um aumento da eficiência tratória. Isso ocorre porque com uma altura maior do ponto de reboque, o ângulo da força aplicada em relação ao solo aumenta, fazendo com que a força tenha uma componente vertical cada vez maior e, conseqüentemente uma componente horizontal cada vez menor, além de uma maior transferência de carga nas rodas traseiras, o que valida o que

foi dito por (GOERING et. al., 2006). Dessa maneira, a maior eficiência tratória (0,833) foi resultada da maior altura do ponto de reboque (0,925 m) com a maior carga a ser puxada (100,6 kg), ou seja, o melhor desempenho ocorreu na maior carga possível, exatamente o que se deseja para a prova de tração da competição. Na Tabela 3 estão evidenciados os valores da taxa de redução de percurso, da eficiência tratória, da força média e máxima na barra de tração e também do rendimento máximo na barra de tração.

TABELA 3. Variáveis obtidas a partir dos testes de tração com o veículo off-road tipo baja

Teste	s (adimensional)	ET (adimensional)	Fm (N)	FM (N)	RbtM (%)
hpr1,cp1	0,154	0,796	872,4	2204,4	55,16
hpr1,cp2	0,119	0,823	588,2	1130,3	37,16
hpr1,cp3	0,135	0,810	329,4	1164,1	46,11
hpr2,cp1	0,095	0,835	758,2	1565,1	41,74
hpr2,cp2	0,136	0,810	575,6	1683,6	50,36
hpr2,cp3	0,101	0,832	376,5	1035,7	43,54
hpr3,cp1	0,104	0,831	759,7	1522,7	48,16
hpr3,cp2	0,135	0,809	628,4	1387,8	47,01
hpr3,cp3	0,097	0,835	352,4	1046,5	41,47

*hpr: altura do ponto de reboque (hpr1 = 0,36, hpr2 = 0,675, hpr3 = 0,925) (m); cp = carga a ser puxada (cp1 = 100,6, cp2 = 70,6, cp3 = 40,6) (kg); s = taxa de redução de percurso; Fm = Força média na barra de tração (N); FM = Força máxima na barra de tração (N); RbtM = Rendimento máximo na barra de tração (%)

Percebe-se que os valores de eficiência tratória do veículo obtidos nos testes estão coerentes quando comparados com os estudos feitos por (ZOZ & GRISSO, 2003), que também mostra que os melhores resultados estão compreendidos na faixa entre 0,05 e 0,20 de taxa de redução de percurso. O rendimento máximo na barra de tração ficou na faixa de 45%, valores próximos aos encontrados por MONTEIRO et al. (2013) avaliando um trator com relação peso/potência em relação similar ao veículo off-road utilizado (38,71 kg kW⁻¹).

CONCLUSÕES: Os maiores valores de eficiência tratória do veículo estão relacionados aos valores de taxa de redução de percurso contidos na faixa ótima entre 0,05 e 0,20. O veículo UFVbaja mostrou-se capaz de obter resultados significativos na prova de tração da competição Baja SAE e também ser utilizável em algumas operações agrícolas em substituição a pequenos tratores.

REFERÊNCIAS:

- GOERING, C. E. Off-Road Vehicle Engineering Principles. St. Joseph: [s.n.], 2006.
- MONTEIRO, L.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. **Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência.** Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 1, p. 70-75, jan-mar, 2013.
- OLIVEIRA, F. C.; VILLIBOR, G. P.; KHOURY JUNIOR, J. K.; LIMA, É. H. F. Whole body and hand-arm vibrations on off-road vehicle used in academics competitions. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.24, n.5, setembro/outubro, 2016.
- SAE BRASIL. **REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL.** 2017.
- WONG, Jo Yung. **Theory of ground vehicles.** Ed. John Wiley & Sons, Ottawa, 2008.
- ZOZ, Frank Michael; GRISSO, Robert Dwight. **Traction and tractor performance.** Louisville [s.n.]: 2003.