

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE TRATOR AGRÍCOLA ARTICULADO: COMPARAÇÃO DE GERENCIAMENTO MANUAL E AUTOMÁTICO

**GABRIEL GANANCINI ZIMMERMANN¹, SAMIR PAULO JASPER², GABRIEL
ALEXANDRE DE OLIVEIRA³, MARIANE CONDOL DA COSTA⁴, DANIEL SAVI⁵**

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR, gabrielganancini@gmail.com

² Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

³ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

⁴ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

⁵ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: O gerenciamento automático de produtividade (APM) presente no trator agrícola é uma ferramenta importante que auxilia na operação, aumentando a eficiência e rendimento energético. O objetivo do experimento foi comparar o desempenho operacional e energético de um trator articulado de 373 kW equipado com a tecnologia APM e com o gerenciamento manual da transmissão e rotação do motor, sob diferentes velocidades alvo. O experimento em faixas foi conduzido no delineamento de blocos casualizado, nas parcelas dois gerenciamentos de marchas (manual e automático) e nas subparcelas quatro velocidades alvo (4, 6, 8 e 10 km h⁻¹), com cinco repetições. Foram monitorados a patinagem dos rodados, rotação do motor, consumo horário e específico de combustível, força na barra de tração, e velocidade operacional. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, quando significativo, ao teste de Tukey e análise de regressão. O gerenciamento automático apresentou superioridade quanto ao desempenho energético. Em relação as velocidades alvo, a 10 km h⁻¹ favoreceu o desempenho energético do conjunto com a redução do consumo específico de combustível.

PALAVRAS-CHAVE: TRANSMISSÃO, CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, VELOCIDADE OPERACIONAL

ENERGY PERFORMANCE OF ARTICULATED AGRICULTURAL TRACTOR: COMPARISON OF MANUAL AND AUTOMATIC MANAGEMENT

ABSTRACT: The automatic productivity management (APM) present in the agricultural tractor is an important tool that helps in the operation, increasing efficiency and energy yield. The aim of the experiment was to compare the operational and energy performance of a 373-kW articulated tractor equipped with APM technology and manual management of the transmission and engine speed, under different target speeds. The experiment in strips was carried out in a randomized block design, in the plots with two gait management (manual and automatic) and in the subplots with four target speeds (4, 6, 8 and 10 km h⁻¹), with five replications. Wheel slip, engine speed, hourly and specific fuel consumption, drawbar force, and operating speed were monitored. The collected data were submitted to analysis of variance, when significant, to the Tukey test and regression analysis. Automatic management showed superiority in terms of energy performance. Regarding the target speeds, the 10 km h⁻¹ favored the energy performance of the set with the reduction of specific fuel consumption.

KEYWORDS: TRANSMISSION, FUEL CONSUMPTION, OPERATING SPEED

INTRODUÇÃO: O surgimento das máquinas e implementos para a agricultura no século XIX possibilitou ganhos de produtividade e desempenho operacional (KIM et al., 2021). A utilização de máquinas capazes de tracionar implementos com alta demanda energética visa a obtenção de maiores níveis de desempenho operacional, atendendo a um anseio da agricultura nacional (BOYER et al., 2015). Um exemplo é o trator articulado 4WD (4-wheel drive), com alta potência e capacidade de tração. O desempenho operacional e energético dos tratores agrícolas são indicadores interrelacionados que avaliam a execução das atividades mecanizadas com o objetivo de realizar as operações de forma rápida, eficiente e com menor custo (KUMAR et al., 2019). Com isso, auxiliam na tomada de decisão para o controle e melhoria na qualidade dos processos mecanizados nas propriedades agrícolas. Entre as tecnologias embarcadas nos tratores agrícolas atuais está o sistema de gerenciamento automático de produtividade (APM). Segundo STRAPASSON NETO et al. (2021), o software APM atua no gerenciador de transmissão eletrônica, selecionando automaticamente a relação de transmissão e rotação do motor de acordo com as cargas demandadas. Em contrapartida, o gerenciamento manual ainda é amplamente utilizado, operando com a rotação do motor e relação de transmissão pré-estabelecida. O objetivo do experimento foi comparar o desempenho operacional e energético de um trator articulado de 373 kW equipado com a tecnologia APM e com o gerenciamento manual da transmissão e rotação do motor, sob diferentes velocidades alvo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado em superfície de concreto de acordo com os critérios estabelecidos pela ASABE (EP 496.3, 2011), conduzido no delineamento de blocos casualizado, e resultou em dois gerenciamentos de marchas (G), manual e automático, alocados nas parcelas, e as velocidades alvo (VA), nas subparcelas (4, 6, 8, 10 km h⁻¹), totalizando oito tratamentos. Para cada tratamento foram realizadas cinco repetições, resultando em 40 unidades experimentais. Os manejos automáticos da transmissão e rotação do motor foram realizados simultaneamente pelo software APM. O experimento utilizou um trator Case IH[®], modelo Steiger 500, com potência nominal (ISO TR14396) de 373 kW, gerenciamento eletrônico de potência extra de 410 kW, com transmissão Full PowerShift (16 x 2), tração 4WD e sistema de gerenciamento automático de produtividade. Durante o ensaio o conjunto foi equipado com pneus duplos Goodyear[®] 710/70R42 na dianteira e traseira, com pressões de 68,95 kPa (10 psi) e 82,74 kPa (12 psi) nos internos e externos, respectivamente. A massa total de 27.280 kg estava distribuída 61% no eixo dianteiro e 39% no eixo traseiro, e a relação massa potência foi de 73,14 kg kW⁻¹. O experimento foi conduzido pelo método em comboio, com a frenagem realizada por marcha pré-estabelecida, selecionada com base na norma ASABE 497.7 (2011). Para o estudo do desempenho operacional e energético foram determinados o índice de patinagem, o consumo horário e específico de combustível, e força na barra de tração, conforme STRAPASSON NETO et al. (2020). Os valores de velocidade operacional foram determinados através do radar 740030A (Vansco[®]), a rotação do motor estabelecida com Encoder Autonics[®] (modelo E100S), a força na barra de tração com a célula de carga Berman[®], com capacidade de 300 kN, calculados em função do número de pulsos emitidos. O consumo horário de combustível foi determinado com dois medidores de vazão (tipo volumétrico - disco de natação) modelo RCDL25 (BadgerMeter[®]) alocados na entrada e retorno de combustível. As pressuposições de normalidade do resíduo e homogeneidade da variância foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Brown-Forsythe. Atendido essas premissas foram aplicados à análise de

variância, em caso de significância as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para fatores qualitativos (G) e teste de regressão para fatores quantitativos (VA).

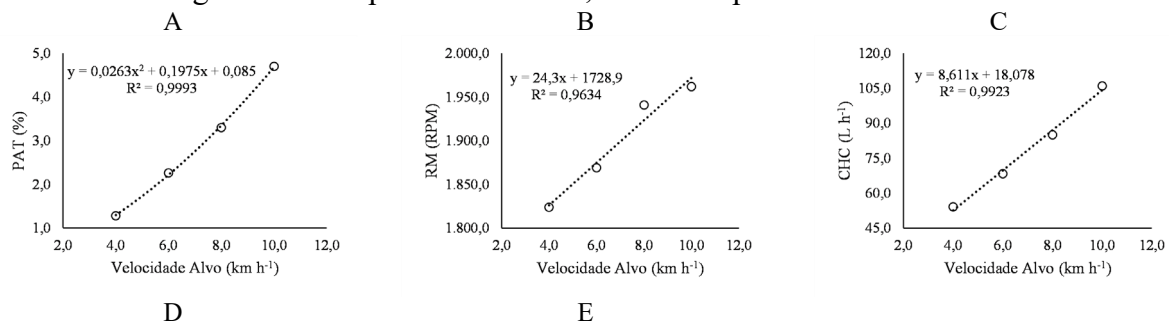
RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de variância e do teste de médias dos dados de desempenho operacional e energético, denotando a normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade dos resíduos das variâncias (Brown-Forsythe), salvo os parâmetros velocidade operacional e consumo específico de combustível, que apresentou anormalidade e heterogeneidade dos dados. O coeficiente de variação para todos os parâmetros foi categorizado como estável, exceto na patinagem, o qual apresentou uma dispersão média para todos os fatores analisados, conforme FERREIRA (2018).

TABELA 1. Síntese estatística das análises de variância e do teste de médias para as variáveis de desempenho operacional e energético avaliado

Análises	Variáveis avaliadas					
	PAT (%)	RM (rpm)	CHC (L h ⁻¹)	FBT (kN)	VO (km h ⁻¹)	CEC (g kW h ⁻¹)
Normalidade						
SW	0,26	0,51	0,86	0,06	0,01	0,35
Homogeneidade						
BF	0,50	0,17	0,79	0,28	0,60	0,04
Teste F						
G	225,91**	2161,81**	0,94 ^{NS}	2,38 ^{NS}	5,23 ^{NS}	0,15 ^{NS}
VA	33,94**	4721,36**	384,17**	1,75 ^{NS}	23.115,34**	42,19**
CV (%)						
G	15,29	0,57	3,61	3,77	1,44	3,90
VA	22,99	1,15	4,60	6,23	0,73	5,34
Teste de médias (G)						
Manual	3,93 A	1.978 A	78,79	93,31	7,07	378
Automático	1,84 B	1.820 B	77,92	91,61	7,00	380

Parâmetros: Patinagem dos rodados (PAT), Rotação do motor (RM), Consumo horário de combustível (CHC), Força na barra de tração (FBT), Velocidade operacional (VO) e Consumo específico de combustível (CEC). Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk: $SW \leq 0,05$ – Anormalidade dos dados; $SW > 0,05$ – Normalidade nos dados. Teste de Homogeneidade das variâncias de Brown-Forsythe: $BF \leq 0,05$ – Variâncias Heterogêneas; $BF > 0,05$ – Variâncias homogêneas. Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; * ($p < 0,05$) e ** ($p < 0,01$). CV: Coeficiente de variação. Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste Tukey” ($p < 0,05$). Fonte: O autor (2022).

Com relação ao fator gerenciamento, apenas os parâmetros PAT e RM apresentaram diferença significativa. Já para o fator velocidade alvo, todos os parâmetros foram significativos, exceto o FBT, demonstrando a estabilidade da força de tração demandada durante os tratamentos. Ambos os gerenciamentos estiveram abaixo do intervalo de patinagem que, conforme recomendado pela ASABE D496.3 (2011), é de 4 a 8% para operações em superfície de concreto. O gerenciamento manual foi o que chegou mais próximo do intervalo ideal, apresentando PAT 2,09% superior ao automático, demandando maior RM. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de o índice de patinagem estar delimitado numa faixa ideal, conforme BATTIATO & DISERENS (2017). O gerenciamento manual apresentou maior RM, sendo 7,98% superior ao automático, decorrente da manutenção da rotação alvo selecionada ao decorrer do ensaio. Já com o funcionamento do APM, a RM foi adequada conforme a carga exercida, não sendo constante como o manual, que possui a rotação alvo pré-estabelecida pelo operador. Na Figura 1 são representados os efeitos das velocidades alvo sobre os parâmetros estudados. Observa-se comportamento linear para RM, CHC e VO, e polinomial de segunda ordem para PAT e CEC, com R^2 superior a 96% em todos os casos.



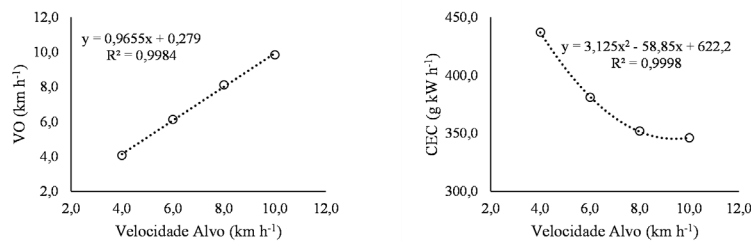


Figura 1. Regressão para o fator velocidade alvo

Em relação ao índice de patinação (Figura 1A), observa-se um crescimento não linear, no qual de acordo com a equação gerada, houve um aumento de 1% nas velocidades 6 e 8 km h⁻¹ e de 1,4% em 10 km h⁻¹, indicando que PAT pode ser influenciada pela velocidade alvo selecionada. A RM (Figura 1B) apresentou crescimento linear conforme a velocidade, observando-se o incremento de 24,3% com o aumento de 1 km h⁻¹, acrescentado aos 1728,9 rpm, podendo ser explicado pela influência do gerenciamento APM na rotação do motor para atingir a velocidade alvo (STRAPASSON NETO et al., 2020). Quanto ao CHC (Figura 1C), observa-se uma tendência crescente de 8,61 L h⁻¹ com o aumento de 1 km h⁻¹, acrescentado aos 18,07 L h⁻¹ demandados para a manutenção dos componentes do trem de força. Isso se deve ao fato de a seleção de marchas altas resultarem em maior velocidade efetiva, o que eleva o CHC. A VO (Figura 1D) exibiu incremento linear, possibilitando atingir 96,55% da velocidade desejada devido à patinação das rodas motrizes e à ocorrência de alternâncias nos momentos de cargas no motor. Em relação ao CEC (Figura 1E) verifica-se um comportamento polinomial em detrimento da velocidade alvo. O menor CEC (345,13 g kW h⁻¹) ocorreu na velocidade alvo de 9,40 km h⁻¹. Valores baixos de CEC em maiores velocidades alvos, significam otimização simultânea do desempenho do motor.

CONCLUSÕES: O gerenciamento automático apresentou superioridade quanto ao desempenho energético, destacando-se nas variáveis de patinação e rotação do motor. Em relação as velocidades alvo, a 10 km h⁻¹ favoreceu o desempenho energético do conjunto com a redução do consumo específico de combustível.

REFERÊNCIAS:

- BATTIATO, A.; DISERENS, E. Tractor traction performance simulation on differently textured soils and validation: A basic study to make traction and energy requirements accessible to the practice. **Soil and Tillage Research**, v. 66, p. 18-32, 2017.
- BOYER, C.N.; ROBERTS, R.K.; MCCLURE, A.T.; TYLER, D.D.; SMITH, A.S. Efeitos dos preços recentes do milho e da energia no investimento em irrigação no clima úmido do Tennessee. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 47, p. 105-122, 2015.
- FERREIRA P.V. Estatística experimental aplicada as ciências agrárias. Viçosa, p. 126, 2018.
- KIM, W.S.; KIM, Y.J.; PARK, S.U.; KIM, Y.S. Influence of soil moisture content on the traction performance of a 78-kW agricultural tractor during plow tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 207, p. 104851, 2021.
- KUMAR, S.; NOORI, M.D.; TABISH PANDEY, K.P. Performance characteristics of mode of ballast on energy efficiency indices of agricultural tyre in different terrain condition in controlled soil bin environment. **Energy**, v. 182, p. 48-56, 2019.
- STRAPASSON NETO, L.; JASPER, S.P.; KMIECIK, L.L.; SILVA, T.X.; SAVI, D. Desempenho do trator agrícola com e sem gerenciamento automático da transmissão e rotação do motor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p. 498-502, 2021.
- STRAPASSON NETO, L.; KMIECIK, L.L.; JASPER, S.P.; ZIMMERMANN, G.G.; SAVI, D. Interferência do número de válvulas de controle remoto em uso no desempenho energético de um trator agrícola com gestão de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.40, p. 362, 2020.