

REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL COM O USO DE ESTRATÉGIA DE CONDUÇÃO EM TRATOR AGRÍCOLA*

NATÃ MOURA¹; JOSE FERNANDO SCHLOSSER²; GILVAN MOISÉS BERTOLLO³; HENRIQUE EGUILHOR RODRIGUES⁴ E JUNIOR GARLET OSMARI⁵

*Artigo extraído da dissertação do primeiro autor.

^{1,2,4,5}Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, e-mail: ¹nata-moura@hotmail.com, ²Josefernandoschlosser@gmail.com, ⁴heguilhor@gmail.com, ⁵juniorosmarinp@gmail.com

³Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria Campus de Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386, km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil, e-mail: ³gilvanbertollo@yahoo.com.br

RESUMO: O consumo de combustível demandado de um trator é um dos fatores que impacta diretamente nos custos de produção da atividade agrícola. Este trabalho teve como objetivo avaliar distintos modos de condução do trator agrícola, buscando reduzir o consumo de combustível e otimizar seu desempenho em tração. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com seis tratamentos, constituído da combinação dos fatores, marcha de trabalho (L5, L6 e H2) e rotação do motor (1800 e 2000 rpm), com quatro repetições. As variáveis analisadas foram: velocidade de deslocamento, força de tração, eficiência em tração, consumo horário e específico de combustível, potência na barra de tração e patinamento das rodas motrizes. Os resultados indicaram que, ao utilizar a estratégia de marcha para cima e rotação do motor para baixo, obteve-se menor consumo horário de combustível. Ao manter a velocidade de deslocamento e reduzir a rotação do motor, ocorreu redução de até 12% no consumo horário. Esta estratégia não influenciou nos resultados das outras variáveis (consumo específico de combustível, patinamento e potência na barra de tração). Pela correlação linear de Pearson, a velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que interferem nas condições de desempenho em tração do trator.

Palavras-chaves: rotação do motor, consumo horário de combustível, eficiência em tração.

REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION USING THE DRIVING STRATEGY OF THE AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT: The fuel consumption demanded by a tractor is one of the factors that directly impact the production costs of the agricultural activity. This work aimed to evaluate different driving modes of the agricultural tractor, seeking to reduce fuel consumption and optimize its traction performance. The experimental design was randomized blocks with six treatments, consisting of the combination of factors, working gear (L5, L6 and H2) and engine speed (1800 and 2000 rpm), with four replications. The variables monitored were displacement speed, traction force, traction efficiency, time and specific fuel, drawbar power and slippage of the drive wheels. The results indicated that, when using the gear up and engine speed down strategy, lower fuel consumption was obtained. By maintaining the displacement speed and reducing the engine speed, there was a reduction of up to 12% in hourly consumption. This strategy did not influence the results of the other variables (specific fuel consumption, slippage and drawbar power). According to Pearson's linear dynamics, the displacement speed is one of the main factors that interfere in the tractor's traction performance conditions.

Keywords: engine speed, hourly fuel consumption, traction efficiency

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola possui papel fundamental na modernização das atividades e na eficiência dos sistemas agrícolas, proporcionando incremento da capacidade operacional (ALBIERO *et al.*, 2019), possibilitando o melhor aproveitamento das janelas de cultivo das culturas agrícolas, que podem contribuir para o aumento da produção. Para a safra 2022/2023 a área de cultivo do Brasil está estimada em, aproximadamente, 72 milhões de hectares, com produção de 301 milhões de toneladas de grãos para as culturas de verão, e 11 milhões de toneladas para as culturas de inverno, em uma área estimada de 3 milhões de hectares (GRÃOS VERÃO E INVERNO, 2022).

Para que seja possível realizar o cultivo de toda a área agrícola do país, diferentes máquinas agrícolas estão disponíveis para o agricultor. Dentre estas, destaca-se o trator, por ser considerada uma máquina versátil e que na propriedade rural pode ser utilizado de diversas maneiras, sendo que uma das principais é a capacidade de exercer tração, por meio da barra de tração.

A energia consumida pelas máquinas agrícolas para realizar o trabalho, é proveniente do óleo Diesel mineral, combustível mais utilizado no setor, derivado do petróleo e de fonte finita. Os crescentes reajustes no preço deste insumo impactam diretamente nos custos de produção da atividade agrícola. Nesse sentido, torna-se importante avaliar o consumo de combustível das máquinas agrícolas durante as atividades realizadas. Pois a mecanização agrícola corresponde de 20 a 28% do custo total de produção na propriedade agrícola, dependendo da cultura utilizada e da intensidade do uso das máquinas (SILVA *et al.*, 2022).

O gasto com combustível pelo trator agrícola, pode ser reduzido com a otimização nos processos operacionais. De acordo com Kim, Chung e Choi (2013), é importante analisar a seleção de marchas durante a operação e a rotação do motor, pois podem apresentar diferentes níveis de consumo de combustível, inclusive quando o mesmo trabalho é realizado.

A utilização de diferentes modos de condução em tratores pode ser executada tanto de modo manual, feito pelo operador ou automático, neste caso com o uso de transmissões continuamente variável, que são equipadas com um sistema de controle, que podem ajustar a relação de transmissão e a rotação do motor, para que se possa trabalhar em um ponto que proporcione a máxima eficiência de consumo de combustível em determinadas condições de trabalho (RENIUS; RESCH, 2005).

Os tratores modernos, normalmente são operados por meio do gerenciamento independente do motor e da transmissão, situação em que o operador altera a rotação do motor através da posição do acelerador e, na transmissão, pela modificação da relação das engrenagens, pelas alavancas das marchas (LINARES; CATALÁN; MÉNDES, 2006). Com a utilização de diferentes modos de condução é possível alterar o gerenciamento do motor e da transmissão, de forma que se possa encontrar a situação que proporcione redução do consumo de combustível.

Nos Estados Unidos da América, esta técnica é denominada como “*Gear up and Throttle Down*”, ou seja, “Marcha para cima e acelerador para baixo”, que pode ser utilizada em operações que não exijam a potência máxima do trator, e que consiste na redução da rotação do motor e no aumento da marcha de trabalho (GRISSO, 2020). Isso faz com que se reduza a rotação do motor e mantenha a velocidade de deslocamento durante a realização do trabalho.

A velocidade é um fator determinante para que se tenha maior qualidade durante operação desenvolvida a campo, desta forma a manutenção da velocidade e com a alteração da marcha de deslocamento e rotação do motor, não causa interferências na qualidade do serviço e da capacidade operacional do trator (PARK *et al.*, 2010). Enquanto, reduzir a rotação do motor implica em menor consumo de combustível, pois há maior disponibilidade de torque em rotações menores além de reduzir a potência de atrito do motor. A eficiência da operação agrícola pode ser

melhorada, quando ocorre o aumento da capacidade operacional ou a redução do consumo de combustível, assim a busca por operações mais eficientes se torna uma das principais preocupações dos agricultores devido aos altos custos com combustível, mão de obra e manutenção (KUMAR; PANDEY, 2015).

Em estudos realizados por Hunt (1995) mantendo a velocidade de operação, com a redução da aceleração do motor e através do escalonamento de marchas, foi possível aumentar a eficiência do uso de combustível em até 17%. Em outro trabalho, desenvolvido por Silva *et al.* (2003) utilizando uma marcha e quatro rotações do motor, verificou-se um aumento de 71% no consumo de combustível da menor rotação para a maior. Já Gotoh *et al.* (2010) utilizando estratégias de condução encontrou redução do consumo de combustível variando de 7 a 13%.

Dentro desta proposta, este trabalho teve como objetivo avaliar distintos modos de condução do trator agrícola, buscando reduzir o consumo de combustível e otimizar seu desempenho em tração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em área experimental do Departamento de Zootecnia, com coordenadas 29°43'30.19"S e 53°44'12.08"O. No local foi selecionada uma área com 110 metros de comprimento por 100 metros de largura, com relevo plano, bastante regular. O solo típico da região foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), pertencente a Unidade de Mapeamento Santa Maria, e segundo a caracterização climática de Köppen (1931) é subtropical úmido.

No experimento foi utilizado um trator da marca Massey Ferguson, modelo MF 6711,

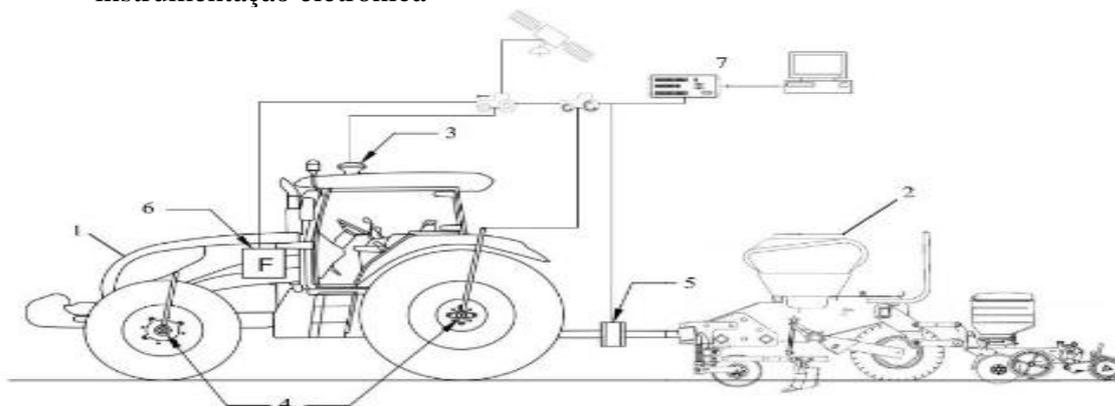
com tração dianteira auxiliar, motor de ciclo Diesel, marca AGCO Power, modelo 44WC3, turbo *intercooler* com quatro cilindros, de 4.400 cm³ de volume interno deslocado, com potência máxima de 74 kW a 1806 rpm e torque máximo de 431 Nm a 1402 rpm. Para o levantamento destas informações o trator foi previamente submetido a um teste dinamométrico.

O trator possui massa total com lastro de 25,77 kN (6.460 kgf), com a distribuição estática de massa de 40,7% no eixo dianteiro e 59,3% no eixo traseiro. De acordo com Strapasson Neto *et al.* (2021), é uma distribuição estática que proporciona máximo desempenho em tração. O trator estava equipado com pneus do tipo R1, da marca Goodyear, modelo Dyna torque II de 12 lonas, com medidas de 14.9-26 nos rodados dianteiros e pneus do tipo R1 da marca Goodyear, Dyna torque III de 12 lonas, com medidas de 23.1-30 nos rodados traseiros. O trator trabalhou sempre com a tração dianteira auxiliar e com o mecanismo de bloqueio do diferencial ativados.

Para aplicar carga na barra de tração do trator, simulando a operação de semeadura, foi utilizada uma semeadora da marca Massey Ferguson, modelo MF 509, de 8 linhas com sistema de sulcador do tipo haste, com profundidade de trabalho de 0,10 m e massa constante.

Para a coleta dos dados, foi utilizada a instrumentação eletrônica (Figura 1), capaz de coletar simultânea e instantaneamente os dados de velocidade de deslocamento, força de tração, consumo horário de combustível e rotação das rodas motrizes, com frequência de 1 Hertz, armazenando-os em um *datalogger*, apropriado para atividades mecanizadas e pesquisa científica, desenvolvida por Rosa (2019).

Figura 1. Representação esquemática do conjunto mecanizado trator + semeadora com a instrumentação eletrônica



Fonte: Farias *et al.* (2020)

Legenda: 1 – Trator, 2 – semeadora, 3 – velocidade real de trabalho, 4 – patinamento das rodas motrizes, 5 – força na barra de tração, 6 – consumo de combustível, 7 – central de armazenamento de dados.

A força de tração foi obtida por meio de uma célula de carga, posicionada entre o trator e a semeadora por meio de uma barra de tração retrátil, onde a força demandada é medida em mV que gera pulsos elétricos de acordo com a intensidade do esforço demandado. Já a velocidade teórica dos rodados foi obtida por meio de rodas dentadas de 32 dentes cada, acopladas a um extensor e fixadas aos rodados dianteiro e traseiro do trator, sendo que em cada roda dentada foi colocado um sensor indutivo para detectar a passagem dos dentes da engrenagem pelo sensor, de acordo com a velocidade de giro. A velocidade real de deslocamento do trator foi obtida por um receptor de sinais de satélite (GNSS). Para a estimativa da velocidade teórica foi utilizada a Equação 1:

$$V_{roda} = \frac{(Freq \times Per \times 3,6)}{n} \quad (1)$$

Onde:

V_{roda}: Velocidade da roda (km.h⁻¹);

Freq: Frequência captada pelo sensor (Hz);

Per: Perímetro da roda (m);

n: Número de dentes da roda dentada.

O consumo horário de combustível foi medido por meio do fluxômetro da marca Oval M III, modelo LSF 41 que gera determinado número de pulsos de acordo com o volume de combustível que passa pelo mesmo, sendo calculado pela Equação 2:

$$CH = Pul \times 3,6 \quad (2)$$

Onde:

CH: Consumo de combustível (L h⁻¹);

Pul: Pulsos gerados pelo fluxômetro.

A partir dos dados obtidos de força de tração e de velocidade real de deslocamento, foi determinada a potência na barra de tração pela Equação 3:

$$PBT = \frac{FT \cdot Vr}{3,6} \quad (3)$$

Onde:

PBT: Potência na barra de tração (kW);

FT: Força de tração na barra (kN);

Vr: Velocidade real de deslocamento (km h⁻¹).

Com os dados de consumo horário de combustível, densidade do combustível e potência na barra de tração se obtém o consumo específico, conforme a Equação 4:

$$CE = \frac{CH \times \rho \times 1000}{PBT} \quad (4)$$

Onde:

CE: Consumo específico (g kWh⁻¹);

CH: Consumo horário de combustível (L h⁻¹);

ρ: Densidade do combustível (0,875 kg L⁻¹);

PBT: Potência na barra de tração (kW).

Para a obtenção do patinamento das rodas motrizes foi utilizado os dados da velocidade das rodas motrizes e a velocidade do trator, conforme a Equação 5:

$$\delta = \left[1 - \left(\frac{V_r}{V_t} \right) \right] \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

δ : Patinamento (%);

V_r : Velocidade real do trator (km.h^{-1});

V_t : Velocidade da roda (km.h^{-1}).

Com os dados de potência na barra de tração e potência fornecida pelo motor, se obteve a eficiência em tração do trator, conforme a Equação 6:

$$ET = \frac{PBT}{Nm} \quad (6)$$

Onde:

ET: Eficiência em tração;

PBT: Potência na barra de tração (kW);

Nm: Potência fornecida pelo motor (kW).

Os tratamentos constituíram-se pela combinação de marchas de trabalho e rotação do motor, totalizando seis tratamentos (Tabela 1). As rotações do motor foram definidas visando comparar duas condições de trabalho, a primeira a 2000 rpm, tradicionalmente utilizada pelos usuários e a segunda com 1800 rpm, considerada reduzida. Para a definição das marchas utilizadas foram selecionadas as marchas que proporcionaram as velocidades de deslocamento mais próximas e a melhor condição de tração do implemento, correspondendo as marchas: L5, L6 e H2. Para a escolha das combinações foi realizado um experimento prévio, com todas as marchas do trator e que foram capazes de tracionar a semeadora.

Foi determinada também a relação de transmissão do trator (it) para as marchas nas velocidades periféricas do motor utilizadas. Sendo determinada com tacômetro digital, onde obteve-se a rotação do eixo do rodado traseiro. A relação de transmissão é determinada por meio da divisão da rotação do motor pela rotação obtida no rodado, os resultados estão disponíveis na tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos utilizados no experimento

Ordem	Marcha	Rotações do motor	Tratamento	it
1	L5	1800	L5 1800	171,43
2	L5	2000	L5 2000	190,48
3	H2	1800	H2 1800	160,71
4	H2	2000	H2 2000	178,57
5	L6	1800	L6 1800	139,53
6	L6	2000	L6 2000	155,04

Fonte: O autor

O delineamento experimental escolhido foi de blocos ao acaso com quatro repetições. As variáveis dependentes analisadas foram a velocidade (km h^{-1}), consumo horário de combustível (L h^{-1}), consumo específico de combustível (g kWh^{-1}), força de tração (kN), patinamento (%), potência na barra de tração (kW) e a eficiência em tração (%).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias residuais e aditividade do modelo estatístico e posteriormente foi empregado a análise de variância, a 5% de probabilidade de

erro. Com base nos dados que diferiram entre si, foi realizado o teste de Scott Knott, para a comparação de médias. Para identificar as relações estatísticas entre as variáveis, foi utilizado a correlação linear de Pearson. A análise dos dados foi realizada pelo programa estatístico RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 2, pode-se verificar o resultado da comparação de médias pelo teste de Scott – Knott a 5% de

probabilidade de erro para as variáveis analisadas.

Tabela 2. Comparação de médias de Scott-Knott para as variáveis velocidade (km h⁻¹), CH – Consumo horário (L h⁻¹), CE – Consumo específico (g kW h⁻¹), FT- Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - potência na barra de tração (kW) e ET - eficiência em tração.

TRAT	VELOCIDADE	CH	CE	FT	δ	PBT	ET
L5 1800	5,54 c	20,39 b	347,43 a	32,218 a	16,99 a	49,98 b	0,67 b
L5 2000	6,16 b	21,40 a	331,66 b	32,504 a	8,69 c	55,25 a	0,74 a
H2 1800	6,26 b	20,58 a	315,99 b	32,334 a	11,16 b	56,05 a	0,75 a
H2 2000	6,24 b	20,77 a	322,15 b	32,150 a	7,64 c	55,56 a	0,75 a
L6 1800	6,40 b	18,82 c	324,74 b	28,483 b	7,64 c	50,48 a	0,68 b
L6 2000	7,09 a	20,77 a	330,74 b	27,276 c	8,80 c	54,43 a	0,73 a
CV (%)	5,87	4,39	2,69	2,55	12,97	5,38	5,38

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Fonte: O autor.

Ao analisar o teste de médias para a variável velocidade, a maior ocorreu na marcha L6 a 2000 rpm, justamente por ser a marcha que possui a menor relação de transmissão entre as utilizadas no experimento (Tabela 1) desenvolvendo a maior velocidade do trator. O tratamento L5 1800 rpm, apresentou menor deslocamento quando comparado ao L5 2000 rpm, justamente pela diferença entre as rotações do motor destes tratamentos sendo que, neste último com a maior rotação resultou em incremento na velocidade de deslocamento. Nos tratamentos L5 2000 rpm, H2 1800 rpm, H2 2000 rpm e L6 1800 rpm não houve diferença significativa para esta variável. O comportamento entre as velocidades de deslocamento estando relacionado com a marcha de trabalho já era previsto, pois justamente pelo aumento da marcha do trator, ocorre o incremento da velocidade de deslocamento (AMORIM *et al.*, 2019).

Para a variável consumo horário de combustível (CH) (Tabela 2) pode-se verificar que os tratamentos L5 2000 rpm e L6 2000 rpm, apresentaram maiores níveis de consumo com 21,40 e 20,77 L h⁻¹ respectivamente, mas não diferindo dos tratamentos H2 1800 rpm e H2 2000 rpm. Já o menor consumo de combustível foi verificado para o tratamento L6 1800 rpm com 18,82 L h⁻¹ respectivamente. Quando se comparam os tratamentos L5 1800 rpm com L5 2000 rpm e L6 1800 rpm com L6 2000 rpm, que são os tratamentos com mesma marcha, mas com o incremento da velocidade

angular do motor, observa-se o acréscimo do consumo de 5% e 9%, respectivamente.

O menor consumo de combustível foi verificado nos tratamentos que possuem as menores rotações, L6 1800 rpm e L5 1800 rpm. A menor rotação nos motores de ciclo Diesel obtém maior eficiência, devido a maior capacidade em admitir oxigênio (comburente), maior tempo para completar o ciclo da combustão e menor atrito entre os componentes dinâmicos e estáticos do motor (MÁRQUEZ, 2012).

O maior consumo específico de combustível (CE) ocorreu no tratamento L5 1800 rpm com 347,43 g kW h⁻¹, já para os demais tratamentos não houve diferença (Tabela 1). Esse comportamento dos resultados está relacionado com a potência na barra de tração, considerada para o cálculo do consumo específico de combustível.

Embora não tenha apresentado diferença entre os tratamentos, o menor consumo específico foi verificado para o tratamento H2 1800 rpm com 315,99 g kW h⁻¹. Quanto menor o consumo específico de combustível significa que há maior otimização do desempenho do motor, na eficiência em tração e a adequação do implemento ao trator (LYNE; BURT; MEIRING, 1984).

Para a variável força de tração (FT), os maiores valores foram verificados nos tratamentos L5 1800 rpm, L5 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm com 32,22, 32,50, 32,33 e 32,15 kN respectivamente, sendo que estes tratamentos não diferiram entre si

(Tabela 3). Isso pode estar associado a pouca variação da velocidade de deslocamento nestes tratamentos e devido a área experimental ser plana, fez com que a força de tração demandada apresentasse valores próximos.

O tratamento que apresentou maior diferença foi o L6 2000 rpm com 27,28 kN, também podendo estar relacionado com a variação da velocidade de deslocamento entre estes tratamentos, que foi de 7,09 km h⁻¹, tendo redução da força de tração com o incremento da velocidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Furlani *et al.* (2007), onde com o aumento da velocidade de deslocamento ocorre redução da força de tração

Para o patinamento das rodas motrizes (δ), o maior índice foi encontrado no tratamento L5 1800 rpm com 16,99% (Tabela 3). Isso pode estar associado a condição da velocidade de deslocamento do trator. Em estudos realizados por Furlani *et al.* (2007) encontraram maior valor com a menor velocidade de deslocamento do trator. Para o tratamento H2 1800 rpm o patinamento apresentou índice de 11,16%, o ideal em solos sem mobilização deve ficar entre 8 e 10% (ASAE, 2003).

Para a variável potência na barra de tração (PBT), os maiores valores foram obtidos para os tratamentos L5 2000 rpm, L6 1800 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, com 55,25, 50,48, 54,43, 56,05 e 55,56 kW respectivamente, mas não diferindo entre si. Já a menor potência foi registrada no tratamento L5 1800 rpm com 49,98 kW. A potência na barra de tração para ser obtida, considera os parâmetros de força de tração e velocidade de deslocamento, como demonstrado na Equação 3. Neste sentido, os maiores valores para esta variável estão relacionados aos tratamentos com a maior velocidade de deslocamento do trator. Em estudo conduzido por Silveira *et al.* (2013) verificou-se que, com o aumento da velocidade de deslocamento ocorreu

incremento na demanda de potência na barra de tração do trator.

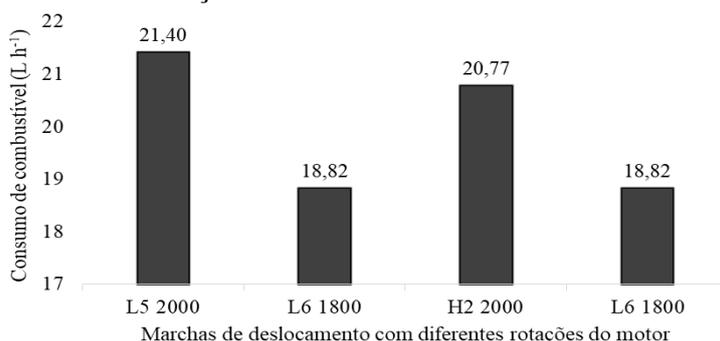
Para a eficiência em tração (ET), os maiores valores foram obtidos nos tratamentos L5 2000 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, com 0,74, 0,73, 0,75 e 0,75 respectivamente, sendo estes não diferindo entre si. Esses maiores valores podem estar associados às condições de patinamento do trator. Em estudo conduzido por Fiorese *et al.* (2019) obtiveram as maiores eficiências de 0,76 e 0,73 nas operações de subsolagem e gradagem, respectivamente com patinamento entre 8 a 10%.

Os menores valores de eficiência em tração de 0,67 foram obtidos para o tratamento L5 1800 rpm, devido ao maior patinamento. Já para o tratamento L6 1800 rpm foi de 0,68, efeito relacionado a menor potência na barra de tração que foi desenvolvida neste tratamento, pois para a obtenção da eficiência em tração, considera-se a relação entre a potência na barra de tração e a potência fornecida pelo motor, conforme demonstrado na Equação 6.

Em outra forma de analisar os resultados obtidos, pode-se comparar os tratamentos de acordo com a obtenção da mesma velocidade de deslocamento, com marcha de trabalho reduzida e rotação do motor alta e vice-versa, conforme proposta de Grisso (2020). Os tratamentos que proporcionaram essa análise foram as alternativas propostas na comparação de L5 2000 rpm com L6 1800 rpm, e entre tratamentos H2 2000 rpm com L6 1800 rpm.

Pode-se observar que, para o consumo horário de combustível (Figura 2) conforme aumentou a marcha de trabalho de L5 para L6, diminuindo a rotação do motor de 2000 rpm para 1800 rpm, verificou-se redução do consumo horário de 12%. Para outra comparação, a redução do consumo foi de 9,4%, aumentando a marcha de H2 para L6 e reduzindo a rotação do motor.

Figura 2. Consumo horário de combustível em mesma velocidade de deslocamento, mas em diferentes marchas e rotação do motor.



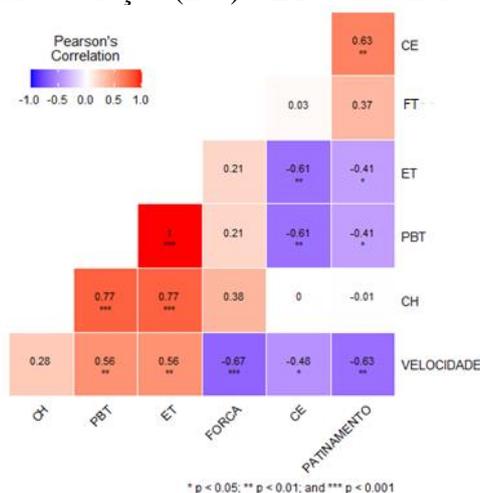
Fonte: O autor

Em estudo conduzido por Silveira *et al.* (2013) utilizando diferentes rotações do motor para a mesma velocidade de deslocamento, encontraram variações de 7 a 44% no consumo horário de combustível, da menor para a maior rotação. Miranda, Oliveira e Nunes (2000) utilizando duas velocidades periféricas do motor (1800 rpm e 2000 rpm), obtiveram incremento de 12,9% no consumo horário de

combustível, quando o trator foi conduzido na maior rotação.

A correlação linear de Pearson (Figura 3) demonstra a relação entre as variáveis estudadas, independente dos tratamentos utilizados, que pode influenciar positivamente ou negativamente na variável resposta correlacionada.

Figura 3. Correlação de Pearson para as variáveis velocidade (km h⁻¹), CH – Consumo horário (L h⁻¹), CE – Consumo específico (g kW h⁻¹), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - potência na barra de tração (kW) e ET - eficiência em tração.



Fonte: O autor

O patinamento das rodas motrizes demonstra correlação positiva com o consumo específico de combustível (CE), ou seja, conforme ocorre o aumento do patinamento, verifica-se o aumento do consumo específico de combustível pelo trator. O patinamento dos rodados ocorre em virtude de diversos fatores, entre os principais destaca-se o esforço de tração necessário para tracionar determinado

equipamento, como consequência reduz a velocidade do trator. Cortez *et al.* (2005) relatam que, na operação de preparo de solo e semeadura de soja, verificaram que a menor velocidade de deslocamento proporcionou o maior consumo específico de combustível do trator agrícola.

A eficiência em tração (ET), apresenta associação significativa e negativa para o

patinamento das rodas motrizes e consumo específico de combustível, conforme aumenta a eficiência em tração reduz o patinamento. Gabriel Filho *et al.* (2004) avaliando o desempenho do trator em diferentes tipos de cobertura vegetal, encontraram relação semelhante a demonstrada para estas variáveis, onde com o menor patinamento proporcionou o aumento da eficiência em tração. Da mesma forma, ao passo que a eficiência em tração tende a elevar seus índices, proporciona redução do consumo específico de combustível, pois o trator apresenta menos perdas durante o processo de tração se tornando assim mais eficiente (NEUJAHR; SCHLOSSER, 2001).

Para a variável potência na barra de tração (PBT), demonstra também uma associação negativa e significativa para o patinamento e consumo específico de combustível, conforme os valores aumentam da primeira variável, tende a reduzir as outras. A potência na barra de tração, demonstra o quanto da potência do motor está chegando na barra de tração, e com isso proporciona a maior capacidade do trator em tracionar implementos, que tendem a necessitar de maior demanda de tração.

A potência na barra de tração é um produto da multiplicação da velocidade de deslocamento pela força de tração, conforme demonstrado na Equação 3, com isso, qualquer fator que venha a influenciar nestes requisitos, interferem no desenvolvimento da potência na barra de tração. Neste sentido, o aumento do patinamento leva a diminuição da velocidade de deslocamento, que por sua vez diminui a potência na barra de tração.

A redução do consumo específico de combustível, relacionado com o aumento da potência na barra de tração, pode estar associado a velocidade de deslocamento, conforme descrito anteriormente. Para a obtenção do consumo específico, além dos dados de densidade do combustível, consumo horário, também considera os valores da potência na barra conforme demonstrado na Equação 4 que, deste modo, quanto maior o valor, menor é o consumo específico de combustível. A eficiência em tração apresentou correlação positiva e significativa

elevada com a potência na barra de tração, isso está relacionado pelo fato destas variáveis serem dependentes umas das outras.

O consumo horário de combustível (CH) evidenciou correlação positiva para as variáveis potência na barra de tração e eficiência em tração. Para a primeira variável isso pode ocorrer devido a potência na barra de tração ser dependente da força de tração exercida pelo trator, com maiores demandas de força, o consumo horário de combustível tende a ser maior. Isso também pode ser relacionado para a segunda variável, pois para a obter a eficiência em tração, é considerado a potência desenvolvida na barra de tração.

A velocidade de deslocamento apresentou o maior número de correlações com as outras variáveis analisadas, na medida que aumenta a velocidade tende a reduzir a força de tração, consumo específico de combustível e o patinamento das rodas motrizes. Já para a potência na barra de tração e eficiência em tração ocorre o aumento com o incremento da velocidade do trator.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- i. Mantendo a mesma velocidade de deslocamento e reduzindo a velocidade angular do motor, obtém-se menor consumo horário de combustível.
- ii. Na proposta de marcha para cima e rotação para baixo como estratégia de redução do consumo de combustível, ocorre redução de até 12% no consumo horário.
- iii. O uso de estratégias de condução não influenciou nas variáveis consumo específico de combustível, patinamento e potência na barra de tração

iv. A correlação linear de Pearson demonstra que, a velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que interferem nas condições de desempenho do trator.

5 REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D.; XAVIER, R. S.; GARCIA, A. P.; MARQUES, A. R.; RODRIGUES, R. L. The technological level of agricultural mechanization in the state of Ceará, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 6, p. 133-138, jan./feb. 2019.
- AMORIM, M. Q.; BORGES, R. C. P.; BRITO, L. L. M.; LIMA, I. O.; MAIA, A. L.; CHIODEROLI, C. A.; SILVEIRA, W. M.; NASCIMENTO, E. M. S. Desempenho na barra de tração de um conjunto trator-semeadora. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 26762-26769, nov. 2019.
- ASAE. **ASAE EP496.2**: Agricultural Machinery Management. St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. p. 366-372.
- CORTEZ, J. W.; CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A. Consumo de um trator acoplado a uma semeadora adubadora em sistema de plantio direto para a cultura da soja. **Nucleus**, Ituverava, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2005.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999.
- FARIAS, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; CASALI, L.; CELLA, M. C.; MARTINI, A. T. Demanda energética na semeadura da soja com diferentes configurações de sulcadores. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 507-515, 2020.
- FIGLIARELLI, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B. B.; SANDI, J.; MORELLIFERREIRA, F.; LANÇAS, K. F. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 2, p. 68-76, 2019.
- FURLANI, C. E. A.; PAVAN JÚNIOR, A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C.; CORTEZ, J. W. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 456-462, maio/ago. 2007.
- GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. D. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004.
- GOTOH, T.; TESHIMA, T.; SUGIURA, Y.; TAKAHASHI, H.; SHIMIZU, K.; SEKI, E. Reduction rates of fuel consumption by gear up and throttle down on an agricultural tractor. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 44, n. 4, p. 369-374, 2010.
- GRÃOS VERÃO E INVERNO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: grãos, Brasília, DF, v. 10. N. 1, p. 1-76, jan. 2022. Safra 2022/2023, Primeiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 27 jul. 2022.
- GRISSE, R. D. I. “Gear up and throttle down” to save fuel. **Virginia Cooperative Extension**, Richmond, ID BSE-326P, p. 1-8, 2020.
- HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995.
- KIM, Y. J.; CHUNG, S. O.; CHOI, C. H. Effects of gear selection of an agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, p. 90-96, 2013.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. Mexico: Fundo de Cultura Econômica. 1931.
- KUMAR, N.; PANDEY, K. P. A visual basic program for predicting optimum gear and throttle position for best fuel economy for 32 kW tractor. **Computers and Electronics in**

- Agriculture**, West Bengal, v. 119, p. 217-227, 2015.
- LYNE, P. W. L.; BURT, E. C.; MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. **Transaction of the ASABE**, Saint Joseph, v. 27, n. 1, p. 5-11, 1984.
- LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 2006.
- MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: Tecnologías y utilización**. Madrid: B&H Grupo Editorial, 2012.
- MIRANDA, N. D. O.; OLIVEIRA, M. D.; NUNES, R. L. Desempenho operacional de trator com tração dianteira auxiliar na subsolagem de um inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 97-102, 2000.
- NEUJHR, E. B.; SCHLOSSER, J. F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação a tração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 180-189, maio 2001.
- PARK, S. H.; KIM, Y. J.; IM, D. H.; KIM, C. K.; JANG, Y.; KIM, S. S. C. Analysis of factors affecting fuel consumption of agricultural tractor. **Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 35, n. 1, p. 15-20, 2010.
- RENIUS, K. T.; RESH, R. **Continuously variable tractor transmissions**. St. Joshep: ASAE, 2005. (Distinguished Lecture Series, 29).
- ROSA, L. S. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados para avaliações de máquinas agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- STRAPASSON NETO, L.; LASKOSKI, M.; JASPER, S. P.; CAMPOS, G. S.; KMIECIK, L. L.; PARIZE, G. L. Agricultural tractor traction efficiency by changing the mass distribution between axles and speed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 4, p. 277-281, 2021.
- SILVA, A. C. C. J.; ROSSATO, J. V.; KRAETZIG, E. R. S.; SILVA, V. R. Custos de produção da soja em uma propriedade rural no interior do Estado do Rio Grande do Sul. **Custos e Agronegócio**, Recife, v. 18, n. 1, p. 2-24, jan./mar. 2022.
- SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J. C. M.; RICIERI, R. P. Redução do consumo de combustível em função da rotação no eixo do motor. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SBEA, 2003. p. 1-4.
- SILVEIRA, J. C. M. D.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. D. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.