

INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO DO MOTOR NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM TRATOR AGRÍCOLA DURANTE OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO EM VÁRZEA

Fernando José Kern¹; Rafael Sobroza Becker²; Maurício Limberger de Oliveira³, Carlos Antônio da Costa Tillmann⁴, Priscila Pacheco Mariani⁵

Palavras-chave: eficiência energética, arroz irrigado, sistemas mecanizados, consumo de combustível.

Introdução

A intensificação sustentável da produção de arroz irrigado em solos de várzea exige práticas de preparo do solo que favoreçam a uniformização da superfície, o manejo eficiente dos resíduos culturais e o uso racional de máquinas agrícolas. Nessas áreas, caracterizadas por elevada umidade, variabilidade textural e alta suscetibilidade ao adensamento, a definição adequada dos parâmetros operacionais como profundidade de trabalho, tração e rotação do motor é essencial para garantir eficiência energética e preservar a estrutura do solo.

Nesse contexto, o trator agrícola deve fornecer a força motriz necessária para o acionamento de implementos como a grade niveladora, amplamente utilizada na incorporação de resíduos da cultura anterior e nivelamento da área antes da semeadura.

O consumo de combustível é um dos principais fatores que influenciam os custos operacionais em sistemas mecanizados de cultivo, especialmente em áreas de várzea, onde o esforço de tração é intensificado pelas condições de solo saturado. A rotação do motor (rpm) impacta diretamente o desempenho do trator, influenciando o ponto de operação na curva de torque e potência, e, conseqüentemente, afetando o consumo específico de combustível.

Estudos recentes demonstram que a operação de motores diesel próxima à faixa de torque máximo tende a melhorar o desempenho energético e reduzir significativamente o consumo de combustível, contribuindo também para menores emissões de poluentes (SHICHEN *et al.*, 2025). Tecnologias embarcadas modernas como sistemas de injeção eletrônica de combustível integrados a transmissões variáveis com gerenciamento eletrônico contínuo têm contribuído significativamente para aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo de diesel em tratores, ajustando-se automaticamente às condições operacionais (JENSEN; ANTILLE; TULLBERG, 2024).

Diante disso, torna-se pertinente avaliar como diferentes faixas de rotação do motor influenciam o consumo de combustível durante o preparo do solo em áreas de arroz irrigado, subsidiando decisões mais assertivas por parte de técnicos, produtores e operadores.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o consumo de combustível de um trator agrícola operando em diferentes rotações de acionamento do motor durante a execução do preparo de solo em área de várzea.

¹ Eng. Agrônomo, Universidade de Santa Cruz do Sul.

² Eng. Agrônomo, prof. Dr. do Curso de Agronomia, Universidade de Santa Cruz do Sul, Avenida Independência, nº 2293, Bairro Universitário, CEP 96815-900. E-mail: rafaelsob@unisc.br.

³ Eng. Agrônomo, prof. Me do Curso de Agronomia, Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁴ Eng. Agrícola, prof. Dr. Do Curso de Agronomia, Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁵ Eng^a. Ambiental, prof^a. Dr^a. Do Curso de Agronomia, Universidade de Santa Cruz do Sul.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em uma propriedade rural, localizada no município de Pantano Grande – RS, em uma área cultivada anteriormente com arroz irrigado na safra 2023/2024. A área apresentava resíduos culturais incorporados com grade niveladora e alta infestação de azevém (*Lolium multiflorum*). Foram determinadas as características físicas do solo por meio de amostragem encaminhada à Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, obtendo-se umidade de 14,27%, teor de argila de 16%, areia de 64,8% e silte de 19,2%. O trator utilizado foi um John Deere 6190J, com potência de 190 cv, torque máximo de 813 Nm a 1550 rpm, reserva de torque de 28%, transmissão Power Quad de 16 marchas à frente e 16 à ré, equipado com rodado duplo traseiro e lastragem líquida parcial (75% de água nos pneus internos). O implemento acoplado foi uma grade niveladora Piccin modelo GNPCR, fabricada em 2013, com 52 lâminas de 22 polegadas e espaçamento ampliado entre discos, favorecendo maior capacidade de corte.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), composto por quatro tratamentos, definidos pelas rotações do motor (1400, 1600, 1800 e 2000 rpm), com três repetições, totalizando 12 unidades experimentais. A operação foi realizada com marcha fixa (Grupo B2), e o controle das passadas foi feito por piloto automático, utilizando o monitor John Deere 4640 (Geração 4) para medição precisa da distância percorrida. A medição do consumo de combustível foi realizada pelo método do tanque cheio, utilizando um recipiente volumétrico graduado de dois litros para quantificar o volume reabastecido ao final de cada repetição. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação da normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente. Em seguida, foi aplicada análise de variância (ANOVA) e teste F para verificação da significância dos tratamentos. Por se tratar de variáveis quantitativas, também foi realizada análise de regressão. As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do software SISVAR® versão 5.7.

Resultados e Discussão

A rotação do motor influenciou significativamente todas as variáveis avaliadas: consumo de combustível (l h^{-1} e l ha^{-1}) e ritmo operacional (ha h^{-1}) (Figura 1). O consumo horário aumentou progressivamente com o acréscimo da rotação, variando de 17,58 l h^{-1} a 1400 rpm para 31,14 l h^{-1} a 2000 rpm ($p < 0,05$). Esse comportamento é coerente com o aumento da demanda energética exigida do motor em rotações mais elevadas, resultando em maior injeção de combustível para manter o desempenho. O coeficiente de variação (CV) de 3,75% evidencia adequada precisão dos dados coletados.

O trator avaliado apresenta torque máximo próximo de 1550 rpm, e rotação nominal de 2100 rpm, o que sugere que operar em faixas intermediárias, especialmente em torno de 1600 rpm, promove melhor relação entre consumo e desempenho. Isso é confirmado por estudos que mostraram consumo de diesel significativamente maior a rotações mais elevadas do que a rotação de torque máximo, reforçando que um gerenciamento adequado da rotação pode maximizar a eficiência energética (TSIROPOULOS *et al.*, 2023).

A curva característica de torque e potência de motores agrícolas expressa o comportamento do motor em diferentes regimes de rotação por minuto (rpm), sendo fundamental para a definição de estratégias operacionais eficientes. O torque máximo geralmente ocorre em faixas intermediárias de rotação, refletindo o ponto em que o motor entrega o maior momento de força com menor demanda energética relativa, condição ideal para operações com elevada exigência de tração. Já a potência máxima, resultante do produto entre torque e velocidade angular, é atingida em regimes mais elevados (próximos de 2100–2200 rpm), sendo mais

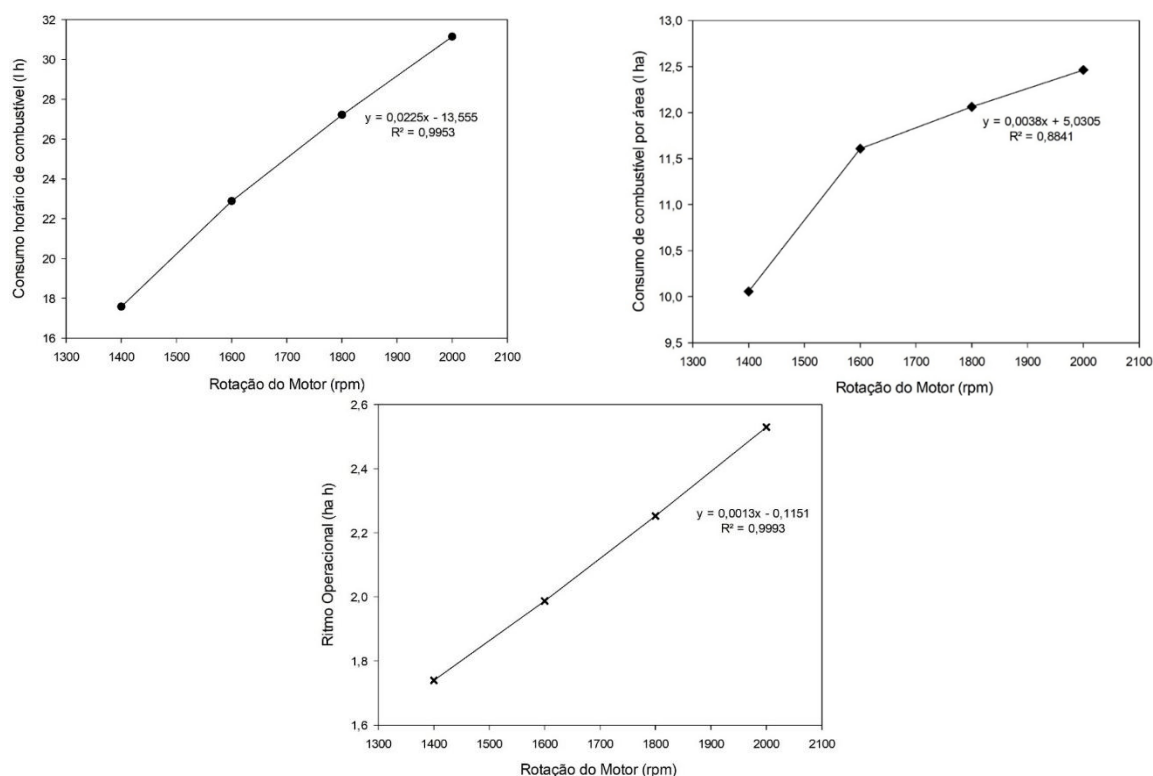
adequada para operações que demandam maior velocidade e menor resistência ao deslocamento.

No presente estudo, a operação do trator à 1600 rpm próxima ao ponto de torque máximo resultou em maior eficiência energética, uma vez que a máquina operou com menor consumo específico de combustível, aproveitando a reserva de torque e mantendo a estabilidade do regime de funcionamento sem a necessidade de acelerações abruptas. Tal condição é especialmente vantajosa em áreas de várzea, onde se exige força constante para tração dos implementos. Assim, os resultados obtidos reforçam a premissa técnica de que, para operações de preparo de solo em ambientes com alta demanda de esforço, a faixa de torque máximo deve ser priorizada em detrimento da rotação de potência máxima, visando otimizar o desempenho mecânico e energético do conjunto trator-implemento.

Ao avaliar o consumo específico (l ha^{-1}), foi observada uma menor variação entre os tratamentos, embora o aumento da rotação ainda resulte em consumo crescente, com valores entre $10,06 \text{ l ha}^{-1}$ (1400 rpm) e $12,46 \text{ l ha}^{-1}$ (2000 rpm). A diferença estatística foi menor entre 1600 e 1800 rpm, sugerindo que o incremento de ritmo operacional nestas faixas contribui para diluir o consumo por área trabalhada.

O ritmo operacional (ha h^{-1}) foi significativamente influenciado ($p < 0,05$), apresentando aumento proporcional à rotação do motor. Os valores variaram de $1,74 \text{ ha h}^{-1}$ (1400 rpm) a $2,53 \text{ ha h}^{-1}$ (2000 rpm), com alta consistência dos dados ($\text{CV} = 2,98\%$). A elevação da rotação gera maior velocidade de deslocamento, aumentando a cobertura de área, mas em contrapartida eleva o consumo de diesel, o que deve ser ponderado conforme os objetivos operacionais.

Figura 1 – Análises de regressão para as variáveis analisadas



Fonte: autores (2025)

A operação em 1600 rpm apresentou o melhor equilíbrio entre ritmo de trabalho e consumo específico, tornando-se a faixa mais recomendada para maximizar a eficiência energética em áreas de várzea, onde a resistência do solo é elevada e a exigência de tração é contínua, com isso sugere-se trabalhar com marchas mais longas e rotação reduzida, aproveitando a reserva de torque do motor.

Essa recomendação está alinhada com o princípio de condução econômica, que sugere operar com marchas mais longas e rotações reduzidas, aproveitando a reserva de torque do motor, já que acelerações desnecessárias geram aumento significativo do consumo sem ganho operacional

Conclusões

A rotação do motor influenciou diretamente o consumo de combustível e o ritmo operacional na gradagem de solo em área de várzea. A operação a 1600 rpm, próxima ao torque máximo do trator, apresentou o melhor equilíbrio entre eficiência energética e desempenho, sendo a mais indicada para esse tipo de ambiente.

Esses resultados destacam a importância de ajustar a rotação conforme as condições de solo e a operação executada, contribuindo para a redução do consumo de diesel, preservação do solo e maior sustentabilidade no uso de máquinas agrícolas.

Agradecimentos

Ao curso de Agronomia da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e ao produtor participante pela disponibilidade das áreas e apoio na coleta de dados.

Referências

JENSEN, Troy A.; ANTILLE, Diogenes L.; TULLBERG, Jeff N. Improving on-farm energy use efficiency by optimizing machinery operations and management: a review. **Agricultural Research**, v. 14, n. 1, p. 15–33, 18 nov. 2024.

SHICHEN, Y.; MINGJIANG, Y.; MINGDING, W.; ZHENGJIANG, W.; YUTING, M.; LIZHONG, S.; GUISHENG, C.; YUCHEN, X. Comprehensive optimisation of the economy and emissions of diesel engines: A full factorial design approach combining the Kriging method, NSGA III, and TOPSIS, **Results in Engineering**, Volume 27. 2025.

TSIROPOULOS, Z.; KAMINIARIS, M. D.; SKOUBRIS, E.; VOSKAKIS, M.; TSIROPOULOU, A.; MICHAILIDOU, A. M.. EFFiTILL: An Efficient Tillage System for Tractors Fuel Consumption Reduction and GHG Emissions Mitigation. **World Journal of Agricultural & Soil Science**, v. 8, n. 5, 2023.