

Desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica para determinação de desempenho de tratores agrícolas utilizando carro dinamométrico

Daniel Ciro de Souza¹, Alexandre Russini¹, Cristiano Galafassi¹, Rogério Rodrigues de Vargas¹, Luis David de Nazaré Martins¹

¹ Universidade Federal do Pampa, Rua Luiz Joaquim de Sá Britto, s/n Pró Morar, 9765000, Itaqui, Brasil
{danielciro6}@gmail.com,
{alexandrerrussni,cristianogalafassi,rogérioovargas}@unipampa.edu.br,
{luisdavidmartins}@outlook.com

Resumo. O trator agrícola é considerado a máquina mais importante dentro do processo de produção agropecuário, podendo ser utilizado em várias operações, sendo seu desempenho em tração motivo de inúmeras pesquisas. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma instrumentação eletrônica e equipar um carro dinamométrico para aquisição de dados de desempenho de tratores agrícolas em tração. A instrumentação foi desenvolvida por meio da utilização da plataforma Arduino, juntamente com um conjunto de sensores para obtenção de dados de força de tração, rotação das rodas motrizes, velocidade de deslocamento e consumo de combustível. Para os testes dinâmicos a campo foi utilizado um trator agrícola da marca NEW HOLLAND modelo TL 75E com potência nominal no motor de 55 kW e um cavalo mecânico da marca SCANIA, modelo 112 HW com potência nominal do motor de 265 kW, atuando como carro dinamométrico para frenagem do trator. O conjunto trator-carro dinamométrico foi submetido a um experimento de tração em pista de concreto, aplicando-se ao trator diferentes cargas, a fim de determinar o desempenho em tração a partir dos dados obtidos pela instrumentação desenvolvida.

1 Introdução

O trator agrícola é considerado uma das máquinas mais importantes na agricultura, estando presente em praticamente todo o processo de produção, devido principalmente, a sua versatilidade na execução das diferentes operações agrícolas. Segundo Silva e Benez (1997), o desempenho de um trator agrícola pode ser avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, potência e torque na tomada de potência, eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível. A força de tração, conforme descrito por Gabriel Filho et al. (2009), dependerá da potência do motor do trator, da transmissão, da distribuição de massa sobre os rodados e também da altura de engate do implemento à barra de tração. De acordo com Márquez (2012), a maioria dos tratores, aproximadamente 60 a 65% da potência fornecida pelo motor

se transforma efetivamente em potência de tração. Neste sentido, conforme Monteiro et al. (2013), os experimentos/ensaios em solo agrícola são uma maneira de se obter informações referentes ao seu desempenho em tração. A partir dos ensaios torna-se possível avaliar o desempenho de tratores agrícolas em condições padronizadas (pista de concreto), possibilitando a realização de comparações entre diferentes marcas e modelos (Macmillan, 2002). Para a determinação dos parâmetros de desempenho de um trator agrícola, torna-se necessário a aquisição de dados durante operação, podendo esta ser realizada por um conjunto eletrônico de aquisição e armazenamento de dados. Isto vai ao encontro do que foi descrito por Junior (2017), onde as informações referentes aos parâmetros de desempenho de um trator agrícola são obtidas por meio de sensores e precisam sofrer processamentos para se transformar em informações úteis, e é nesse sentido que aquisição automática de dados contribui de maneira importante com pesquisadores e produtores. Em 1960, com os processos de Metrologia Aplicada, mais o uso de sensores e a ajuda da informática, tornou-se possível criar métodos para realizar as medições de parâmetros físicos em tratores agrícolas (SERRANO 2007). Para a realização dessas medições existem equipamentos, alguns simples outros sofisticados, que utilizam uma célula de carga, medidores de fluxo e sensores magnéticos dispostos em partes do trator onde se deseja obter informações e um *Datalogger* para o registro dos dados obtidos. Um *Datalogger*, em inglês, pode ser descrito como um equipamento auxiliar que coleta e armazena dados de outros instrumentos nele inseridos (WILLRICH, 2000). Atualmente, pesquisadores de diferentes instituições dedicadas ao ensino e pesquisa tem carreado esforços no desenvolvimento de instrumentações eletrônicas, como por exemplo, o trabalho de Gabriel Filho et al (2008), onde foi desenvolvido um carro dinamométrico, denominado UMEB (Unidade Móvel de Ensaio da Barra de Tração) que é uma bancada de instrumentação com painéis de leitura e de aquisição de dados para se obter dados referentes a força de tração desempenhada por tratores.

Neste sentido, Russini (2009) desenvolveu uma instrumentação eletrônica para aquisição de dados para determinação da força de tração, consumo de combustível, velocidade das rodas motrizes e velocidade do trator, sendo que os dados coletados eram armazenados em um sistema de aquisição de dados constituído por um *datalogger* modelo CR 1000 da marca Campbell, porém o autor ressalta o elevado custo para o desenvolvimento da instrumentação. Outra instrumentação foi desenvolvida por Júnior (2017), na qual utiliza uma placa eletrônica Arduino, configurada para atuar conjuntamente com componentes eletrônicos de baixo custo e com módulo *bluetooth* e cartão de memória, realizando o acompanhamento e armazenamento em tempo real. O Arduino é um tipo de plataforma de código aberto baseada em hardware e software empregados nas áreas de automação e robótica com baixo custo de operação, utilizados por comunidades de fabricantes, estudantes, *hobistas*, artistas, programadores e profissionais que ao mesmo tempo em que fazem uso da plataforma dão suas contribuições somando em quantidade conhecimento, que são disponibilizados (ARDUINO, 2017).

Desta forma, o presente estudo tem por objetivo desenvolver uma instrumentação eletrônica para a aquisição de dados referentes ao desempenho de tratores agrícolas baseada na plataforma Arduino, visando equipar um carro dinamométrico para reali-

zação de experimentos/ensaios de tração em solos destinados ao cultivo de arroz irrigado na fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS).

2 Materiais e métodos

A instrumentação, para determinação do desempenho de tratores em tração foi desenvolvida no Laboratório de Sistemas Inteligentes e Modelagem (LabSIM), pertencente a Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui. Para a construção da instrumentação foi utilizada a plataforma Arduino composta por uma placa MEGA e uma Pró Mini. Outros componentes também foram utilizados como *shield* GPS, *shield* display, capacitores, reguladores de tensão, dissipador de calor, jumpers, módulo SD Card, botão liga e desliga, adaptador VGA macho DB15 e um *case* (caixa hermética). Como sensores foram utilizados uma célula de carga com capacidade de 50 kN acoplada à barra de tração do trator, fluxômetro de combustível, sensores de roda e um receptor GPS. Uma programação específica foi desenvolvida a partir da criação de um algoritmo no qual permite que os valores coletados pelos sensores sejam armazenados de forma contínua e cumulativa em tempo pré-estabelecido.

Os dados obtidos pelos sensores instalados no trator são transmitidos por meio de cabeamento ao *datalogger* (placa Arduino), que constitui o sistema de aquisição de dados, podendo estar localizado conforme necessidade do usuário, no interior do trator ou do carro dinamométrico. O *Datalogger* realiza a transformação dos dados e os armazena em um Módulo SD Card de 250 MB sendo salvos em arquivo de texto (*.txt), podendo ser abertos em processadores de planilha (exemplo: Microsoft Excel e Libre Office Calc). O receptor GPS fornece as coordenadas geográficas e velocidade de deslocamento, sendo esta necessária para determinação da potência de tração e patinamento. O fluxômetro registra a quantidade de combustível consumido pelo motor, sendo instalado no sistema de alimentação de combustível. A instalação possui uma derivação do retorno de combustível, forçando que este retorne ao reservatório, utilizado para o armazenamento do combustível. O *Datalogger*, também registra os pulsos gerados pelo fluxômetro decorrente da passagem do fluxo de combustível nas tubulações do sistema de alimentação, sendo que cada pulso corresponde a um volume médio de 1 mL. A célula de carga registra a força de tração exercida pelo trator, sendo está instalada no trator e, podendo o display ser também instalado no cavalo mecânico para que o operador do carro dinamométrico visualize-a carga exercida e controle a frenagem. A célula de carga foi acondicionada em uma estrutura metálica retrátil que permite o acoplamento da célula, a qual substitui a barra de tração do trator. Os sensores magnéticos, foram instalados nas quatro rodas motrizes, obtendo-se a rotação (rpm) individualmente, permitindo desta forma, a partir do raio dinâmico dos rodados, determinar a velocidade da roda, valor este utilizado na determinação do patinamento das rodas motrizes. A disposição dos sensores no trator pode ser visualizada na Figura 1.

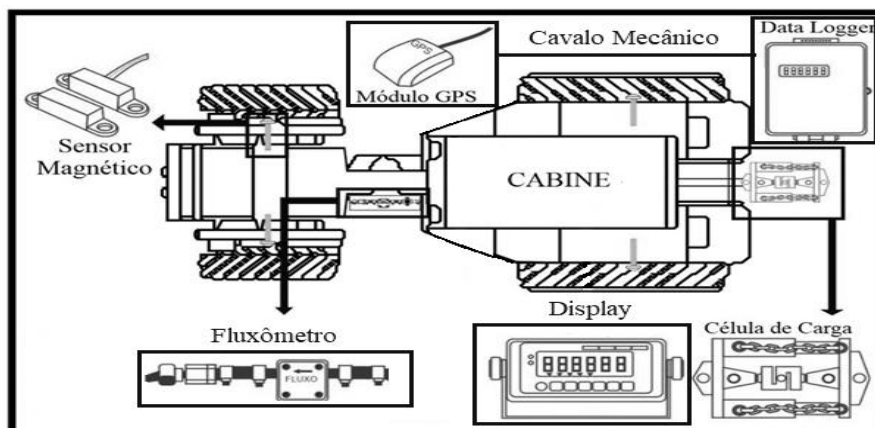


Fig. 2. Disposição dos sensores instalados no trator e sistema de aquisição de dados.

A instrumentação foi instalada em trator da marca NEW HOLLAND modelo TL 75E com potência nominal no motor de 55 kW (75cv), com tração dianteira auxiliar (TDA), equipados com pneus do R2. A massa do trator era 3870 kg, com distribuição estática de 39% e 61%, entre os rodados dianteiros e traseiro, respectivamente. A relação massa/potência $70,36 \text{ kg.kW}^{-1}$, superior a recomendada por Schlosser et al. (2005), onde a relação massa/potência ideal para operações agrícolas pesadas, isto é, de maiores exigências de força de tração deve ficar em torno de 60 kg.kW^{-1} . Tal utilização de maior relação massa/potência, visava atingir as capacidades máximas de tração possível para célula de carga.

Para realização da frenagem utilizou-se de um carro dinamométrico constituído de um cavalo mecânico da marca SCANIA, modelo 112 HW com potência nominal do motor de 265 kW (360 cv) e massa de 8700 kg, podendo ser alterada com adição ou retirada de lastro, conforme a necessidade de frenagem. Foram realizadas adaptações no cavalo mecânico para transformá-lo em um carro dinamométrico, como a construção de uma barra e suporte dianteiro de tração, compartimento de lastro e sistema de frenagem. A partir do redirecionamento do sistema auxiliar de frenagem utilizado em semi-reboques para o sistema de frenagem independente do cavalo-mecânico tornou possível a imposição de cargas constantes ao trator. A força de tração é observada em tempo real pelo operador do carro dinamométrico, tendo-se assim precisão na frenagem, conforme a carga a ser utilizada. O trator instrumentado e carro dinamométrico podem ser visualizados na Figura 2.

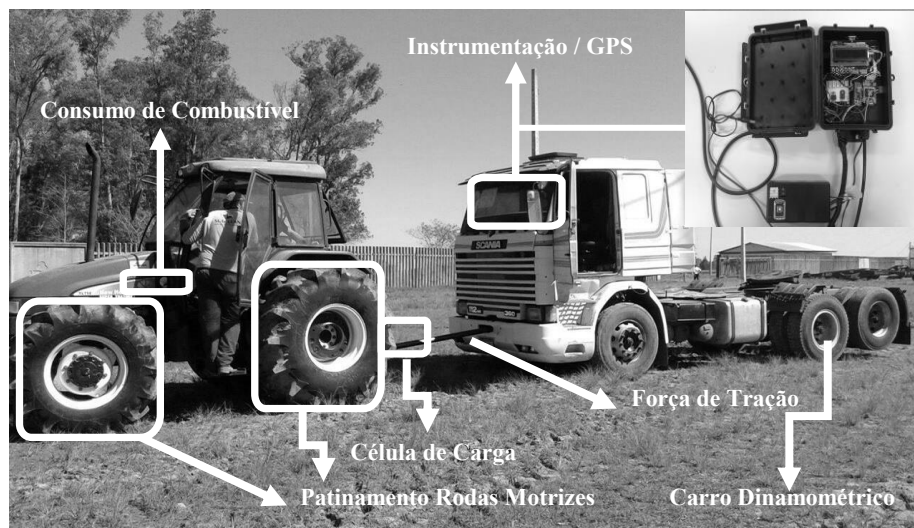


Fig. 2. Trator instrumentado e carro dinamométrico.

A partir dos dados obtidos, referentes à força de tração, velocidade de deslocamento, são determinados o patinamento das rodas motrizes, potência na barra de tração e o consumo horário de combustível conforme as equações 1, 2 e 3 respectivamente:

$$Pat = \left[1 - \frac{GPS-Roda}{Roda} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde:

Pat: patinamento dos rodados (%);

GPS: velocidade de deslocamento obtida pelo receptor do GPS (km.h⁻¹)

Roda: velocidade da roda motriz (km.h⁻¹).

$$PotBt = \frac{F*V}{3,6} \quad (2)$$

Onde:

PotBt: Potência exercida na barra de tração (kW);

F: Força de tração exercida na barra (kN);

V: Velocidade (km.h⁻¹).

O consumo horário de combustível foi obtido pela equação 3.

$$C = \frac{(n \cdot 3,6)}{T} \quad (3)$$

Onde:

C: consumo horário de combustível (L.h⁻¹);

N: número de pulsos;

T: tempo de medição (s⁻¹).

Para calibração do fluxômetro, foi utilizado um recipiente de vinte litros, sendo o consumo horário determinado pela diferença entre o volume inicial e o volume completado com auxílio de proveta graduada, em tempo determinado. A partir do volume de combustível obtido de forma manual, observou-se o número de pulsos registrados pelo fluxômetro e o tempo de registro. Dessa forma foi possível determinar o volume correspondente a cada pulso, por meio do quociente entre o volume obtido manualmente, pelo número de pulsos. Foram realizadas vinte e uma determinações, visando maior representatividade e precisão.

Para validação dinâmica da instrumentação, realizou-se um experimento para determinação do desempenho em tração do trator teste, em pista de concreto, tendo como objetivo comparar os resultados obtidos com a literatura existente. Foi utilizado o delineamento experimental blocos ao acaso, sendo que os blocos compreenderam a extensão em faixas (Gomes, 1982) da pista de concreto, com extensão de 85 metros. Foram utilizadas três cargas, 2.600 kgf (25,5 kN), 3100 kgf (30,41kN) e 3600 kgf (35,32kN), correspondendo aos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Estas cargas foram aplicadas em apenas uma marcha a fim de verificar o comportamento do trator referente aos parâmetros de desempenho, mediante a variação das cargas impostas pelo carro dinamométrico. Foram realizadas sete repetições em cada tratamento. Os dados resultantes para força de tração, potência de tração e consumo de combustível nas velocidades avaliadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey, de comparação de médias, em nível de 5% de significância, com o auxílio do *software* Assistat[®].

3 Resultados e discussão

As variações na força de tração, potência de tração, patinamento e consumo de combustível, sofreram variações conforme aumento da carga imposta pelo carro dinamométrico. A partir dos dados, pode-se inferir que houve variação significativa nos três tratamentos, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabla 1. Média geral da Força de Tração (Ft), Potência na Barra de Tração (PotBt), Patinamento de Rodas Motrizes (Pat) e Consumo de Combustível (Cons).

Cargas	FT (kN)	PotBt (kw)	Vel (km.h ⁻¹)	Pat (%)	Cons (L.h ⁻¹)
T3	30,60a*	14,33a	1,69b	22,66a	5,30a
T2	24,36,b	14,90a	1,90a	12,34b	5,17b
T1	18,63c	10,00b	1,93a	11,28b	4,66c
Média	24,52	12,41	1,84	15,43	5,04
CP	5,98	2,21	0,13	6,29	0,34
CV(%)	24,36	17,80	7,31	40,77	6,64

* Médias com letras iguais minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

O aumento da carga imposta, promoveu alteração na força de tração entre os tratamentos, na ordem de 5,98 kN, demonstrado pelo valor do desvio padrão. A diferença apresentada foi de 5,73 kN entre T1 e T2 e 6,24 kN entre T2 e T3. Já a diferença entre T1 e T3 foi de 9,81 kN. Se formos observar as variações entre as cargas aplicadas a diferença entre os tratamentos foi de 4,91kN (cargas fixas), porém as diferenças observadas no experimento foram de maior amplitude devido ao trator apresentar elevada relação massa/potência, a qual permitiu atingir um coeficiente dinâmico de tração, isto é, a relação entre a força de tração e massa aderente, de 0,8; 0,64 e 0,49 para T3, T2 e T1, respectivamente. As cargas aplicadas para o tratamento T1 e T2 foram baixas em relação a massa do trator, tendo esta, maior capacidade de tração, explicado pelo baixo patinamento das rodas motrizes. Segundo NEUJAHN e SCHLOSSER (2001), os valores de patinamento compreendidos entre 5 e 20%, promovem as maiores eficiências de tração, sendo esta atingida em todos os tratamentos, ultrapassado em T3, o que explica pela diminuição da velocidade. Conforme Márquez (2012), os tratores agrícolas apresentam um coeficiente dinâmico de tração de aproximadamente de 0,6 para solo agrícola com cobertura vegetal. Russini (2012), ao realizar um ensaio de tração, encontrou valores do coeficiente de tração de 0,73, porém o trator utilizado no experimento apresentava uma relação massa/potência de 64,63 kg.kW⁻¹.

No caso da potência de tração, houve variação significativa em T1, sendo que em T2 e T3 não houve diferença significativa. Observa-se um aumento dos valores de potência entre T2 e T3 devido ao aumento da carga aplicada, o que proporcionou maior força de tração, até atingir o limite do coeficiente dinâmico de tração, também estando relacionado ao maior valor de patinamento (22,66%). Já em relação a velocidade o comportamento observado foi o contrário, diminuindo conforme o aumento da carga exercida, embora não diferindo entre T1 e T2, devido a carga insuficiente imposta pelo carro dinamométrico, diferindo em T3. Este comportamento já foi observado por diferentes autores, podendo-se citar Russini (2009). Onde este explica que a diminuição ocorre devido ao aumento da força de tração. Ainda, o autor ressalta que a força de tração tem um acréscimo com o aumento da velocidade até determinado ponto onde se atinge a velocidade crítica, ou seja, a velocidade onde o trator consegue utilizar toda a potência produzida pelo motor em relação ao seu peso.

Em relação ao consumo de combustível, pode-se observar que houve diferenças significativas entre os tratamentos, aumentando conforme o aumento da carga imposta. Esse comportamento deve-se a maior demanda de potência do motor, sendo que a relação de transmissão não foi alterada, faz com que a bomba injetora forneça mais combustível para tentar compensar em parte a demanda de potência excedente.

A velocidade diminuiu gerando o aumento do consumo de combustível. O patinamento é de suma importância pois este determina o desempenho do trator conforme Russini (2009), pois este também determinará o gasto com o combustível. Desta maneira, a partir dos resultados obtidos no experimento realizado com a instrumentação, pode-se inferir que a instrumentação atingiu nível de resultados satisfatórios adequado para a realização de experimentos, demonstrando ser uma excelente ferramenta para a determinação do desempenho em tração de tratores agrícolas.

4 Considerações Finais

O conjunto instrumentação, carro dinamométrico atingiu nível de validação satisfatório para a realização de experimentos/ensaios, demonstrando ser uma excelente ferramenta para a determinação do desempenho de tratores agrícolas em tração.

Esta instrumentação permitirá a formação de um banco de dados no intuito de geração de modelos matemáticos para estimativa do desempenho de tratores agrícolas em outro tipo de pista e solos agrícola.

Referências

1. Arduino: What is arduino. On line: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. Acesso em: 8 ago. (2017)
2. Gabriel Filho et al.: Desempenho de trato em três superfícies de solo e quatro velocidades. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 14. n.3 (2010) p.33-339
3. Gomes, F. P.: Curso de estatística experimental. 10ed. ESALQ/USP Piracicaba (1982) 430p
4. Junior, D. C.: Desenvolvimento e validação de um sistema embarcado para monitoramento de operações agrícolas com tratores. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (2017) 87p
5. Macmillan, R. H: The mechanics of tractor, implement performance: theory and worked examples. Melbourne (2002) 165p
6. Márques, L.: Tractores agrícolas: tecnología y utilización. B&H Grupo Editorial, España (2012) 844p
7. Monteiro, L. A. et al.: Rendimento na barra de tração de uma trator agrícola com diferentes relações de peso e potencia. Revista Ciência Agronômica, Vol. 44. Fortaleza (2013)
8. Neujahr, E. B., Schlosser, J. F.: Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração. Revista Engenharia Agrícola, Vol. 21. n.2. Jaboticabal (2001)

9. Russini, A.: Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campos e pista a partir do ensaio dinamométrico. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (2012)
10. Russini, A.: Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação de desempenho de tratores agrícolas. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (2009) 141p
11. Schlosser, J. F. et al.: Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. Revista Ciência Rural, Vol. 35. Santa Maria (2005)
12. Serrano, J. M. P. R.: Desempenho de tratores agrícolas em tração. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 72. n.7. Brasília (2007) 1021-1027
13. Willrich, R.: Sistema multimídias distribuídos. Departamento de Informática e Estatística. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (2000)