

**CONJUNTO PARA AVALIAÇÃO DINÂMICA DO DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS**Beethoven Gabriel Xavier Alves¹ & Elton Fialho dos Reis²

1-Engenheiro Agrícola, Professor do IFGoiano/Urutaí-GO, thovin@hotmail.com

2-Engenheiro Agrícola, Professor da UEG/Anápolis-GO, fialhoreis@ueg.br

Palavras-chave:arduino
barra de tração
patinagem**RESUMO**

Determinar o desempenho operacional de máquinas agrícolas ocasionalmente torna-se uma tarefa difícil, devido às variações de carga ao longo do trajeto. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um carro dinamométrico preparado para mensurar o desempenho de tratores agrícolas em diferentes condições operacionais. O conjunto foi instrumentado com célula de carga, sensor magnético e fluxômetro capazes de monitorar a força disponível na barra de tração, o número de voltas dos rodados do trator e o consumo de combustível, respectivamente. Foram montados três experimentos: o primeiro para avaliação do processo de frenagem do carro dinamométrico; o segundo para avaliar o processo de aquisição automatizado do número de voltas dos rodados do trator e o terceiro para avaliação do consumo de combustível. Os processos foram examinados por meio de análise de variância, teste de médias e, quanto à estabilidade, por meio de cartas de controle de processos. O equipamento desenvolvido para avaliação dinâmica de tratores mostrou-se capaz de impor cargas à barra de tração do trator e fazer a coleta dos dados para os ensaios com precisão. A força imposta à barra e o consumo de combustível alcançaram valores médios esperados. A adaptação de um sensor magnético para monitorar o número de voltas das rodas mostrou-se eficaz, não havendo diferença das voltas quanto às contadas visualmente e automaticamente.

Keywords:arduino
drawbar
skating**SET FOR THE DYNAMIC EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF AGRICULTURAL TRACTORS****ABSTRACT**

The performance of agricultural machinery, under field conditions, sometimes becomes a difficult task, due to the variations of load along the route. This work aimed to develop and evaluate a dynamometer car to measure the performance of agricultural tractors under different operating conditions. The set was instrumented with load cell, magnetic sensor, and flow meter able to monitor the available force on the drawbar, the number of the tractor wheels turns and the fuel consumption, respectively. Three experiments were set up: the first one to evaluate the braking process of the dynamometric car; the second to evaluate the process of automated acquisition of the number of tractor wheels turns; and the third to evaluate the fuel consumption. The processes were examined by analysis of variance, test of averages and, related to stability, by control charts process. The equipment developed for dynamic evaluation of tractors proved able to impose loads on the tractor's drawbar and to collect the data for the tests with precision. The force imposed on the bar and the fuel consumption achieved expected average values. The adaptation of a magnetic sensor to monitor the wheels turns number proved effective, not having difference of the turns as counted visually and automatically.

INTRODUÇÃO

A seleção dos equipamentos influencia os custos da produção agrícola. As vendas de tratores de rodas, tanto em 2015 quanto em 2016, representaram mais de 80% do total de máquinas agrícolas e rodoviárias vendidas no Brasil (ANFAVEA, 2017). Investimentos para compra de tratores ultrapassam 14% do total do crédito disponível no país acessível aos produtores (ANFAVEA, 2014), atestando a importância dos tratores na agricultura.

As principais avaliações em tratores agrícolas são feitas por meio de ensaios à tomada de potência ou à barra de tração, sendo este último o que melhor representa as condições operacionais de um trator em campo, auxiliando na seleção do maquinário (ORTIZ-CAÑAVATE, 2012).

Existem basicamente duas maneiras de se ensaiar tratores pela barra: utilizando como freio um segundo trator engatado à barra de tração, que proporciona força contrária ao trator ensaiado, como em GOMES et al. (2016); ou pelo emprego de um carro dinamométrico engatado à barra de tração, como em MONTANHA et al. (2011), MONTEIRO et al. (2013) e FIORESE et al. (2015).

O desempenho de tratores agrícolas avaliados por leituras não automatizadas de alguns parâmetros (PAULA et al., 2016; GOMES et al., 2016) podem apresentar erros, além de ser necessária a manipulação de um número elevado de dados. A automação destas leituras elevaria a precisão e a eficiência dos processos de coleta de dados.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um carro dinamométrico, preparado para mensurar o desempenho de tratores agrícolas em diferentes condições operacionais. Para tal,

foram avaliados: a força imposta à barra de tração de um trator, por meio da frenagem de um carro dinamométrico a ele acoplado; o monitoramento automatizado do número de voltas das rodas motrizes do trator; o sistema para mensurar o consumo de combustível do trator.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás, nas coordenadas geográficas de 16° 22' 56" latitude Sul, 48° 56' 45" longitude Oeste, altitude média de 1097 m. Foram utilizadas pistas de concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura e solo com cobertura. As dimensões das pistas foram de 50 m de comprimento e 5 m de largura. As pistas de ensaio apresentaram inclinação de 1% no sentido do comprimento e não apresentaram inclinação no sentido da largura, características em conformidade à norma da OECD – Code 2 (OECD, 2016).

Foi utilizado um trator agrícola de motor ciclo diesel, turboalimentado com intercooler, sistema de injeção com bomba rotativa, quatro cilindros, cilindrada total de 4485 cm³ e potência nominal de 82,4 kW (112 cv), pesando com lastros 61,054 kN, com lastro dianteiro composto por seis placas de quarenta e cinco quilos cada, com tração dianteira auxiliar desligada. Nas rodas dianteiras do trator, foram utilizados pneus diagonais novos (tamanho 14.9-24), nas rodas traseiras foram utilizados pneus radiais novos (tamanho 18.4R34). Na Tabela 1, consta a caracterização detalhada dos pneus utilizados.

Tabela 1. Caracterização dos pneus utilizados nos experimentos

Característica	Dianteiros do trator	Traseiros do trator	Dianteiros do CD	Traseiros do CD
Medida	14.9-24 R1	18.4R34 R1	9.00-20	10.00-20
Cap. de carga (Ply Rating)	6	8	14	16
Perímetro (m)	3,9	5,25	3,10	3,20
Largura da seção (m)	0,36	0,46	0,20	0,20
Lastragem líquida (litros)	180	210	0	0
Lastragem sólida (kgf)	0	300	0	0
Pressão de insuflagem (psi)	20	23	110	110
Carga estática por eixo (kgf)	2680	3550	i	i

CD: Carro dinamométrico. i: irrelevante.

Para aplicar cargas à barra de tração do trator ensaiado, foi utilizado um carro dinamométrico composto por três eixos, sendo o eixo dianteiro direcional com rodados simples (pneus de tamanho 9.00-20) e os dois eixos traseiros com rodados duplos (pneus de tamanho 10.00-20), totalizando 10 rodas com aro 20. A caracterização detalhada dos pneus utilizados no carro dinamométrico encontra-se na Tabela 1.

As dimensões do carro dinamométrico foram: 2,58 m de largura, 7,25 m de comprimento e 3,14 m de altura. Foi utilizada a estrutura de um caminhão do tipo baú, mantendo-se o sistema de freio principal e removendo-se a parte do motor, cabine, demais sistemas e adicionando-se lastro no interior do baú para aumentar o coeficiente de atrito entre os pneus do carro e a pista. O peso total do carro dinamométrico, lastro e equipamentos instalados foi de 98,686 kN.

A força resultante na barra de tração do trator foi imposta pelo carro dinamométrico com um sistema de frenagem a ar. Os freios foram acionados isoladamente e a força foi monitorada por meio da leitura do sinal de uma célula de carga, instalada entre a barra de tração do trator e o carro dinamométrico (Figura 1).

O sistema de freio foi composto por um gerador de energia elétrica à diesel, compressor de ar, circuito de freio a ar e sistema de frenagem, por meio do acionamento manual de reguladores de pressão (Figura 1).

Para aferição da força média na barra de tração, foi utilizada uma célula de carga do tipo tração/

compressão da marca Excel, modelo RS-5000, construída em aço de baixa liga, com tratamento térmico e propriedades mecânicas controladas, apresentando formato em “S”, com temperaturas de utilização entre -5 a 60 °C e alimentação entre de 6 a 10 Vcc, com capacidade nominal de 50 kN, com possibilidade de sobrecarga admissível para atuações esporádicas e eventuais de até 150% da carga nominal.

O sinal da célula de carga foi amplificado, utilizando um amplificador do tipo INA 125P (Figura 2), seguindo a metodologia para amplificação de sinal proposta por MARTINS JÚNIOR *et al.* (2013).

O sinal amplificado foi então convertido para valores de força observada, em Newton (kN), conforme curva de calibração (Figura 3).

Após conversão, foi efetuada média de cem valores de forças observadas por segundo, utilizando-se um micro controlador do tipo Arduino®, que transmitiu a força média na barra de tração por segundo a um computador com processador Intel® Core™ i7-4510U 2GHz, 8GB de RAM, HD 500 GB e sistema operacional Windows 8 64bits, localizado dentro da cabine do trator.

O processo de aquisição do número de voltas dos rodados do trator foi avaliado por meio da aquisição do número de voltas de maneira automatizada e de maneira convencional, possibilitando assim a avaliação do sistema automatizado em comparação com o método visual de contagem. Durante a aquisição de número de voltas por ambos os

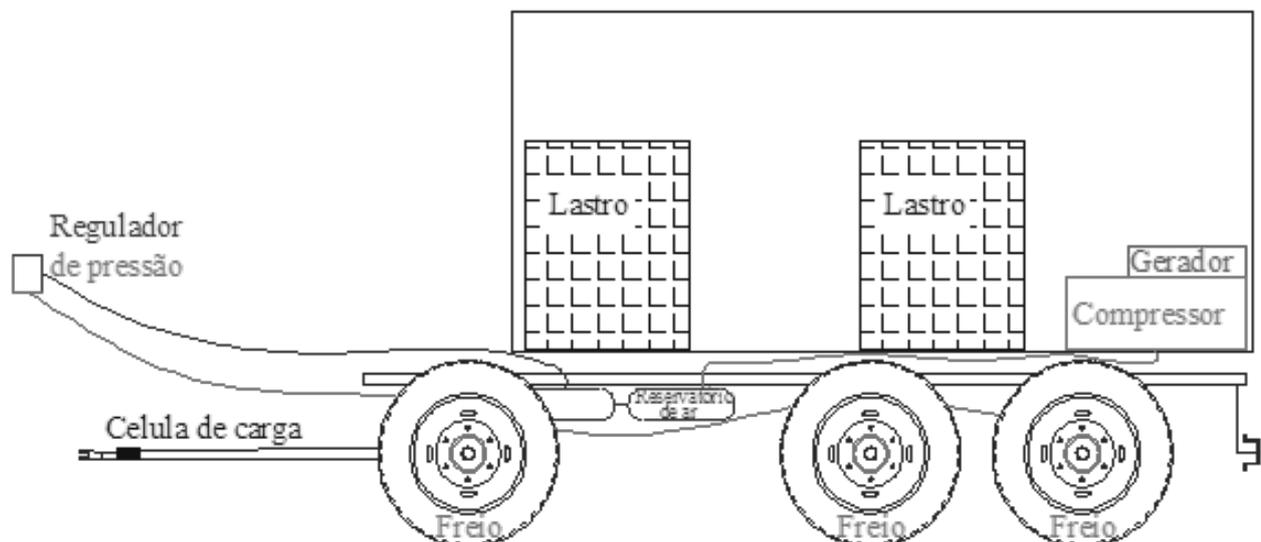


Figura 1. Esquema do sistema de frenagem a ar e monitoramento da força do carro dinamométrico.

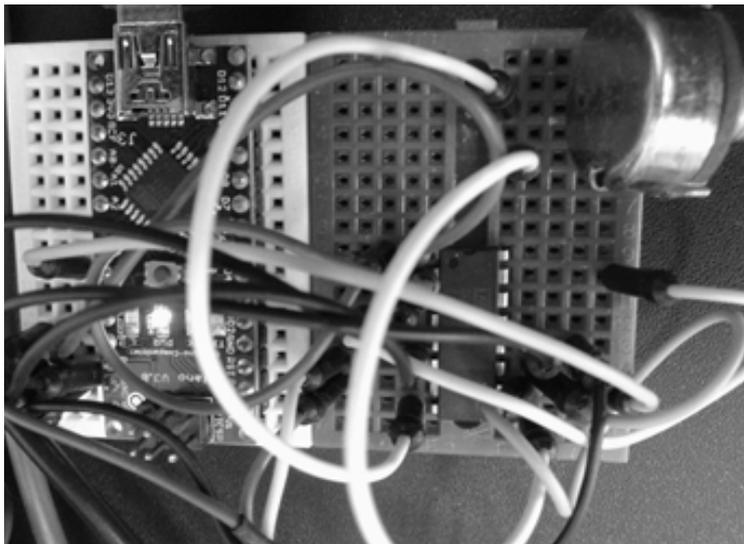


Figura 2. Ligações do amplificador INA 125 P ao microprocessador Arduino®.

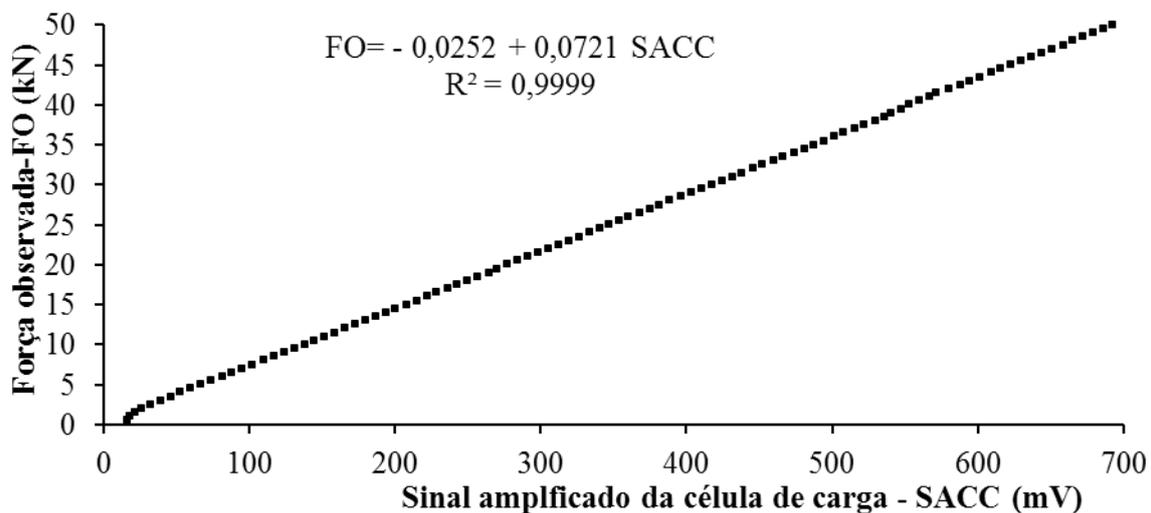


Figura 3. Curva de calibração da célula de carga Excel RS-5000 em laboratório.

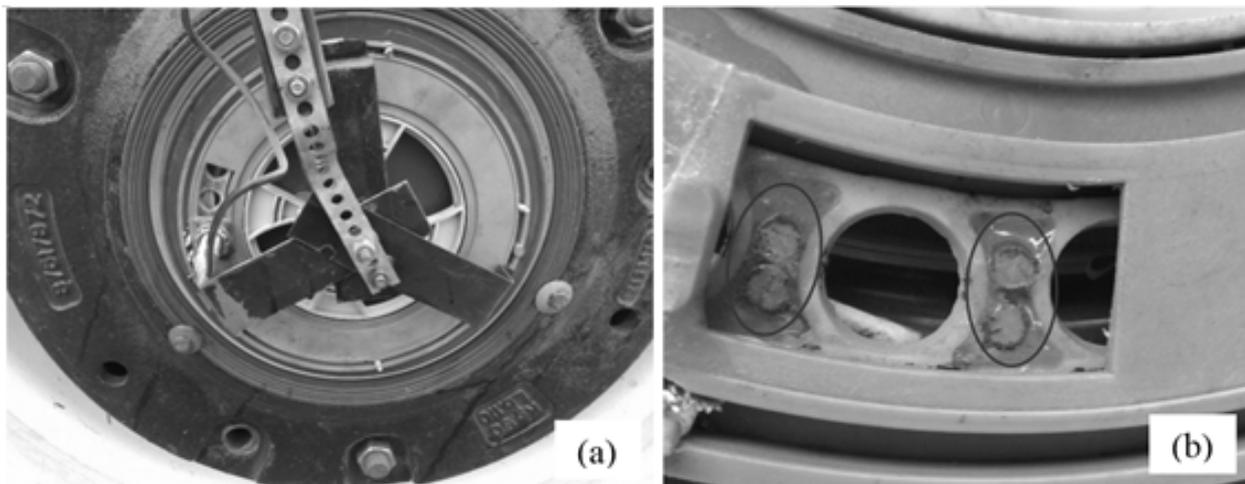


Figura 4. Sensor magnético montado no interior da roda do trator (a). Detalhe ressaltados dos pares de ímãs permanentes de neodímio (b).

métodos, não foi aplicada nenhuma carga à barra de tração do trator ensaiado.

Para o número de voltas das rodas do trator, adquirido de maneira automatizada, empregou-se um sensor magnético, modelo I0526012, capaz de captar o distúrbio magnético ocasionado por cada um dos vinte e oito pares de ímãs permanentes de neodímio (Figura 4 b), situados na parte interna das rodas motrizes do trator (Figura 4a). O formato destes ímãs foi cilíndrico, com dimensões de 0,004 m, posicionados a 0,001 m do sensor magnético utilizado, dispostos equidistantes em um círculo contido no interior das rodas.

O número de voltas das rodas do trator, adquirido

de maneira convencional, foi determinado durante o percurso do trator em pistas com cinquenta metros de comprimento. Ao passar pelo ponto inicial do ensaio, foi feita uma marcação em cada roda, acompanhando-se as mesmas, contando as voltas completas realizadas pelos pneus até o final da parcela, onde foi feita outra marcação e medida a distância entre as marcações, determinada pelo perímetro do pneu.

Para mensurar o consumo horário de combustível do trator, foi utilizado um fluxômetro volumétrico, marca Oval Corporation, modelo FLOWMATE OVAL M-III LSF41L0-M2, instalado entre o filtro e a bomba injetora do motor do trator (Figura 5). O princípio de funcionamento do fluxômetro

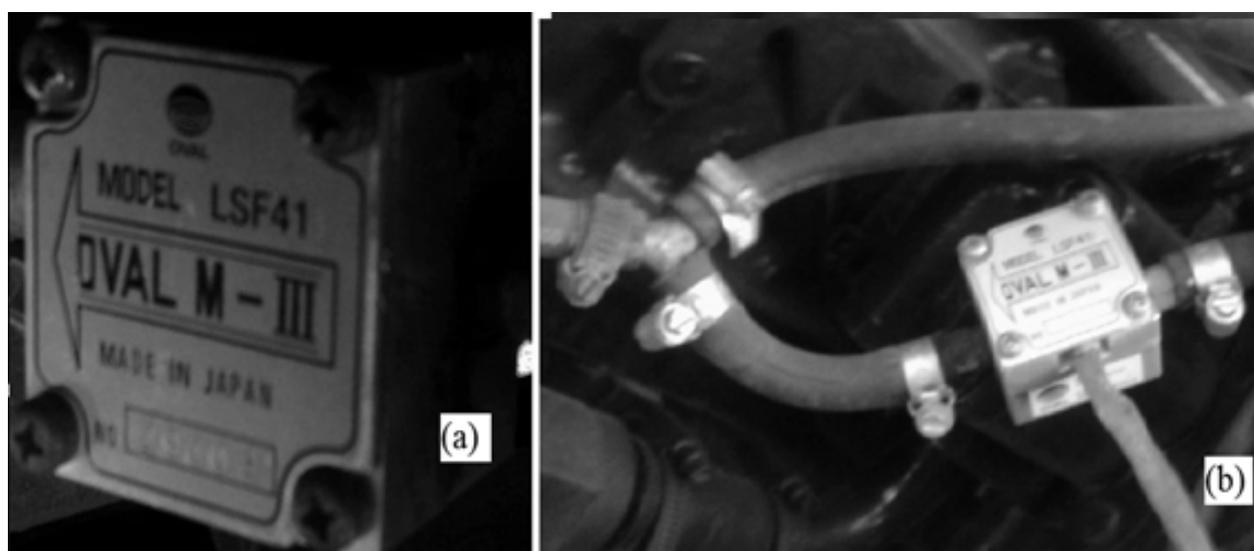


Figura 5. Fluxômetro volumétrico, marca Oval Corporation, modelo FLOWMATE OVAL M-III LSF41L0-M2 (a). Representação da instalação do fluxômetro no trator (b).

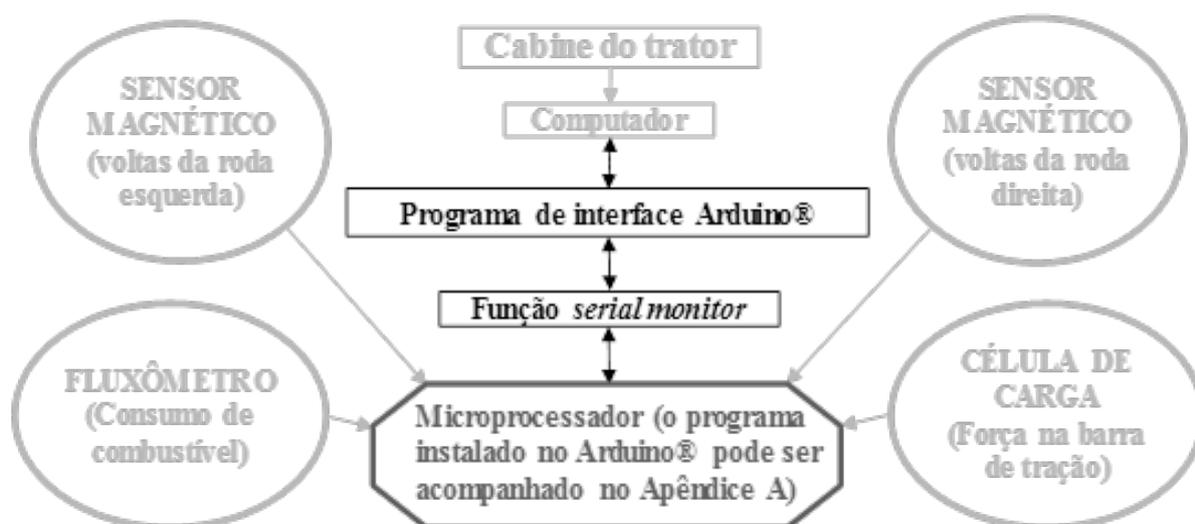


Figura 6. Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados para avaliação dinâmica do desempenho da barra de tração de tratores.

consistiu em contabilizar o volume de combustível por unidade de tempo. Dentro do fluxômetro, o combustível passou entre duas engrenagens ovais que, ao completarem uma volta, deslocavam 1 ml de combustível, gerando então um pulso elétrico que foi transformado em valores de consumo dentro do micro processador (LEITE et al., 2011; GOMES et al., 2016).

O computador instalado na cabine do trator foi conectado ao carro dinamométrico e aos sensores embarcados no trator, monitorando e armazenando os dados por meio do circuito microcontrolador do tipo Arduino®, conforme fluxograma da Figura 6. Foram coletados dados referentes à força na barra de tração (célula de carga), número de voltas das rodas (sensores magnéticos) e consumo horário de combustível (fluxômetro).

Para avaliação da força de tração, foi adotado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, no esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, composto por vinte tratamentos, três repetições por tratamento, totalizando sessenta unidades experimentais. O primeiro nível foi composto por duas situações das forças (força esperada e força observada), o segundo nível foi constituído por duas diferentes superfícies das pistas de ensaio (concreto asfáltico e solo firme sem cobertura) e o terceiro nível dos fatores foram as solicitações de carga na barra, compostos por cinco forças de tração (4, 10, 15, 20 e 24 kN).

No experimento que avaliou a força na barra de tração, foram definidas cinco diferentes solicitações de carga (4, 10, 15, 20 e 24 kN), em conformidade com a força máxima admitida na barra de tração do trator ensaiado (OECD, 2013). No início de cada ensaio, foram inseridos no arquivo de dados o tipo de pista ensaiado (concreto asfáltico ou solo firme sem cobertura) e o dado de força referente àquela que esperava-se no ensaio, sendo este definido pelo parâmetro de situação: “força esperada”. Durante o ensaio, os valores de força coletados pelo micro processador foram armazenados na variável de situação: “força observada”.

Para avaliação do número de voltas das rodas, foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, no esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, composto por dezesseis tratamentos, dez repetições por tratamento, totalizando 160 unidades experimentais. O primeiro nível dos fatores foi constituído por dois métodos de aquisição de

número de voltas (automatizado e convencional), o segundo nível foi composto por duas diferentes posições (roda direita e roda esquerda) e o terceiro nível foi constituído por quatro diferentes pistas de ensaio (concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura e solo com cobertura).

No experimento que avaliou o número de voltas das rodas não foram aplicadas cargas na barra de tração. Inicialmente, foi inserido no arquivo de dados o tipo de pista ensaiado (concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura ou solo com cobertura). No decorrer do ensaio, os dados referentes ao número de voltas nas diferentes posições analisadas (roda direita e roda esquerda), quando adquiridos pelo microprocessador, foram armazenados como “método de aquisição automatizado”; enquanto que os mesmos dados, quando adquiridos de maneira visual, foram armazenados ao final dos ensaios como “método de aquisição convencional”.

Para avaliação do consumo de combustível, foi montado o delineamento estatístico inteiramente casualizado em fator único, composto por quatro tratamentos, dez repetições por tratamento e quarenta unidades experimentais. O tratamento foi constituído por quatro diferentes pistas de ensaio (concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura e solo com cobertura).

No experimento que avaliou o consumo horário de combustível, não foram aplicadas cargas na barra de tração. Inicialmente, foi inserido no arquivo de dados o tipo de pista ensaiado (concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura ou solo com cobertura). No decorrer do ensaio, os dados referentes ao consumo de combustível adquiridos pelo microprocessador foram armazenados.

Os valores de força de tração, número de voltas das rodas motrizes e consumo horário de combustível foram analisados quanto à estabilidade, por meio de carta de controle estatístico e submetidos à análise de variância pelo teste de F, a 1% de probabilidade. Existindo diferença significativa entre os tratamentos, suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nos procedimentos estatísticos descritos, foi utilizado o programa SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2014).

A análise de qualidade dos processos, por meio

da carta de controle, teve a linha central definida pela média geral e os limites superior e inferior de controle definidos, respectivamente, como a média dos valores mais três vezes o desvio padrão (LSC) e a média dos valores menos três vezes o desvio (LIC) (ZERBATO *et al.*, 2013). A carta de controle foi utilizada em algumas repetições, tratada como um valor individual, a fim de verificar a variabilidade pontual e existente ao longo dos ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 2, apenas as diferentes solicitações de carga na barra apresentaram diferença significativa quanto às forças de tração. Os tipos de superfícies da pista e a situação da força não apresentaram

efeito na força de tração. Então, aceita-se a hipótese de que as situações das forças (força esperada e força observada) são iguais, independentemente das solicitações de carga na barra e das superfícies de pistas percorridas, comprovando a eficiência do carro dinamométrico em impor força à barra de tração do trator, independente das superfícies das pistas e das solicitações de cargas ensaiadas.

Na Tabela 3, são apresentadas as médias esperadas e observadas da força de tração em função das solicitações de carga na barra, em que todas as solicitações diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Esta diferenciação entre as solicitações de cargas é importante na avaliação do desempenho na barra de tração de tratores, que usualmente se dá em diferentes solicitações. Valores semelhantes de força na barra de tração foram observados por FIORESE *et al.* (2015) e GOMES *et al.* (2016), enquanto avaliavam

Tabela 2. Resumo da análise de variância para força de tração

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado médio da força de tração
Situação da força (SIT)	1	0,4013
Superfície da pista (SUP)	1	0,0446
Solicitação de carga (SOL)	4	743,8141**
(SIT) x (SUP)	1	0,0446
(SIT) x (SOL)	4	0,5022
(SUP) x (SOL)	4	0,0554
(SIT) x (SUP) x (SOL)	4	0,0554
Resíduo	40	0,3720
Total	59	

Coeficiente de Variação (%) = 4,15
Média = 14,682 kN

GL: Grau de liberdade. QM: Quadrado médio. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 3. Valores médios das forças solicitadas, esperadas e observadas na barra de tração impostas pelo carro dinamométrico

Solicitações de carga (kN)	Força de tração esperada (kN)	Força de tração observada (kN)
4	4,0000e	3,9305e
10	10,0000d	10,3043d
15	15,0000c	15,2665c
20	20,0000b	20,0723b
24	24,0000a	23,8353a

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 5\%$).

o desempenho de tratores, o que corrobora com a adequação do processo de frenagem do carro dinamométrico em análise.

Para avaliação da conformidade das forças impostas pelo carro dinamométrico à barra de tração, foram efetuados testes preliminares em uma pista de concreto asfáltico, com 20 kN de carga imposta pelo carro. Durante os ensaios, foi observado que a pressão de ar no sistema dos freios oscilava, interferindo na estabilidade da força imposta à barra de tração (Figura 7), mostrando que o processo estava fora dos limites de controle, ou seja, não estava estável.

A fim de homogeneizar a pressão de saída nos reservatórios de ar para as linhas de freio do carro dinamométrico, foi instalada uma válvula de descarga no compressor, com acionamento por meio de válvula do tipo piloto (Figura 8). Esta implementação foi efetuada por meio de regulagens na válvula piloto, com o intuito de manter o motor do compressor sempre em funcionamento, evitando oscilações de pressão do ar na linha de freio, evitando assim diferença na carga imposta à barra de tração.

Após a adaptação da válvula de descarga no compressor, utilizado para geração do ar do sistema

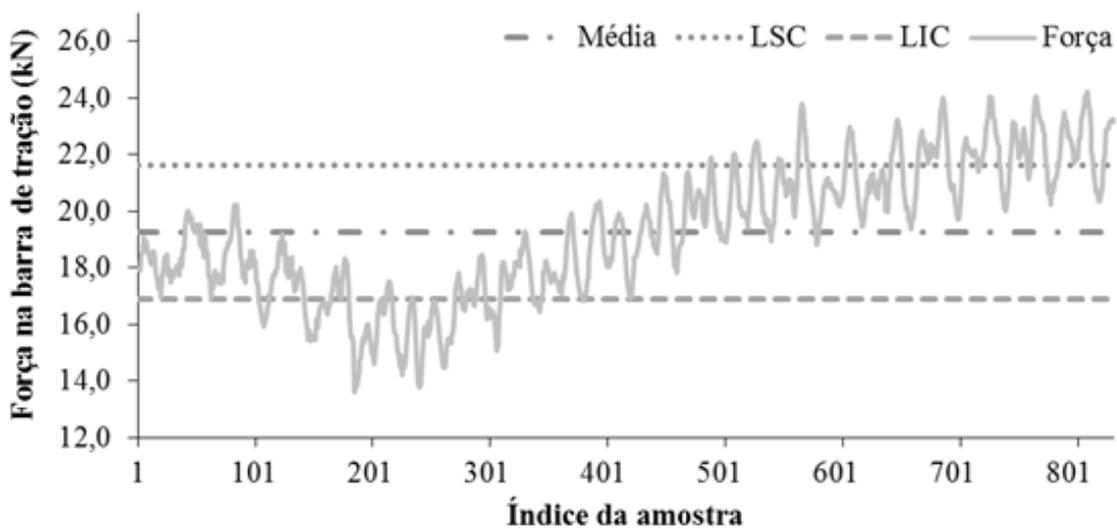


Figura 7. Carta individual de controle para a carga de 20 kN imposta à barra de tração em pista de concreto asfáltico, anterior à implantação da válvula piloto para estabilização da pressão no sistema de freio. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

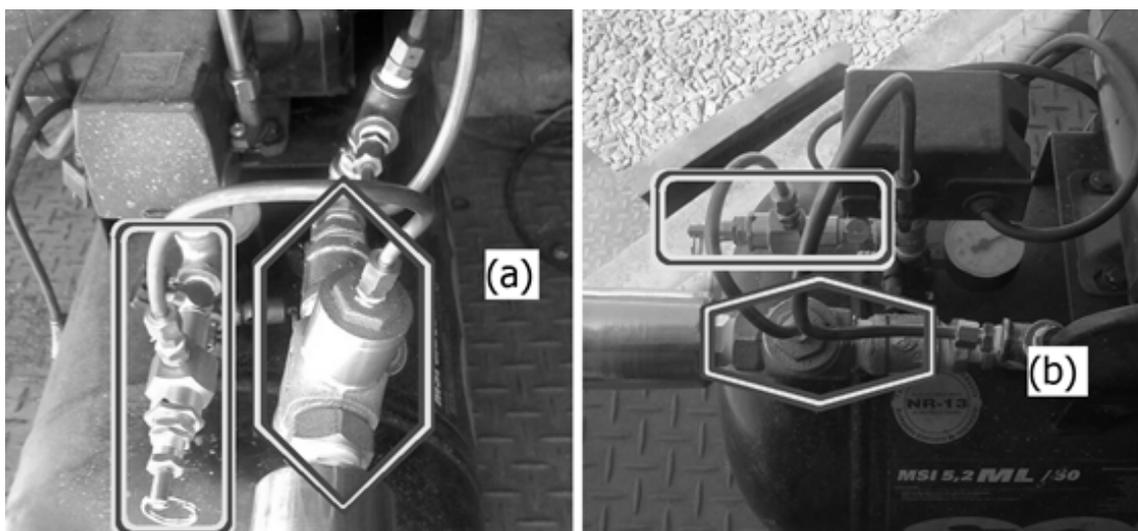


Figura 8. Sistema para regularização da pressão no compressor embarcado no carro dinamométrico. Válvula piloto em destaque à esquerda em (a) e acima em (b). Válvula de descarga em destaque à direita em (a) e abaixo em (b).

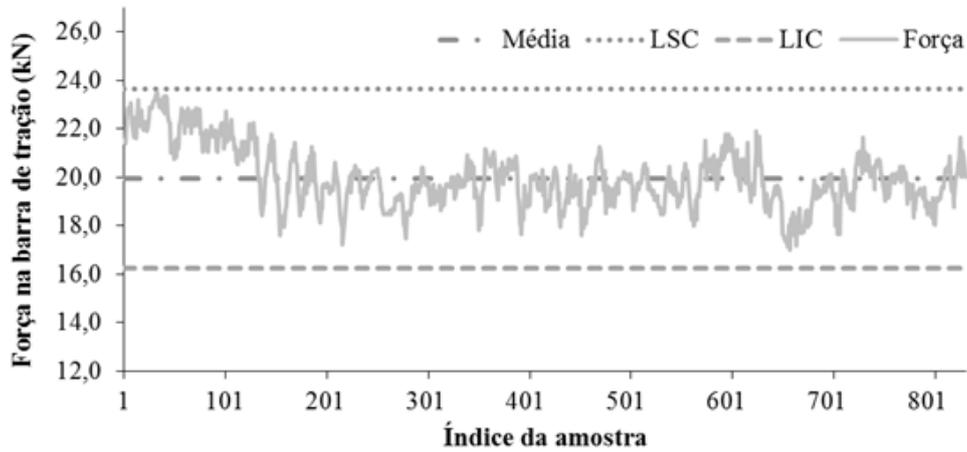


Figura 9. Carta individual de controle para a carga imposta de 20 kN à barra de tração em pista de concreto asfáltico. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

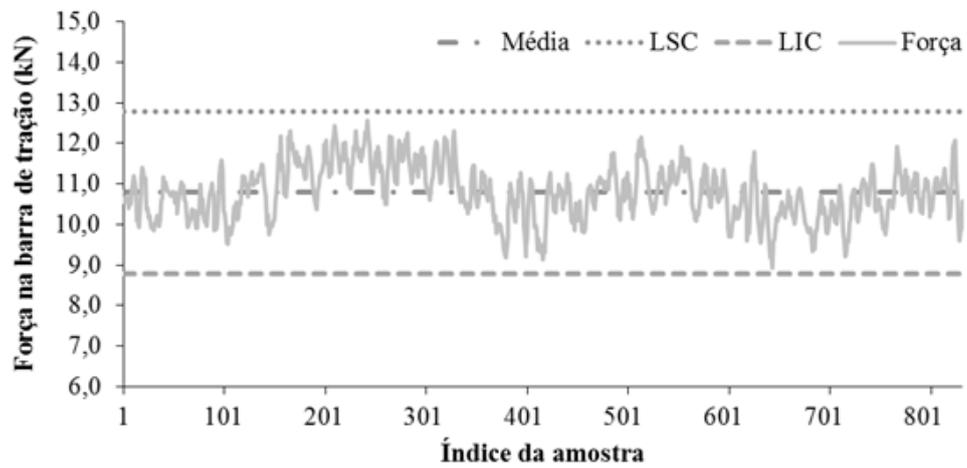


Figura 10. Carta individual de controle para a carga imposta de 10 kN à barra de tração em pista de concreto asfáltico. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

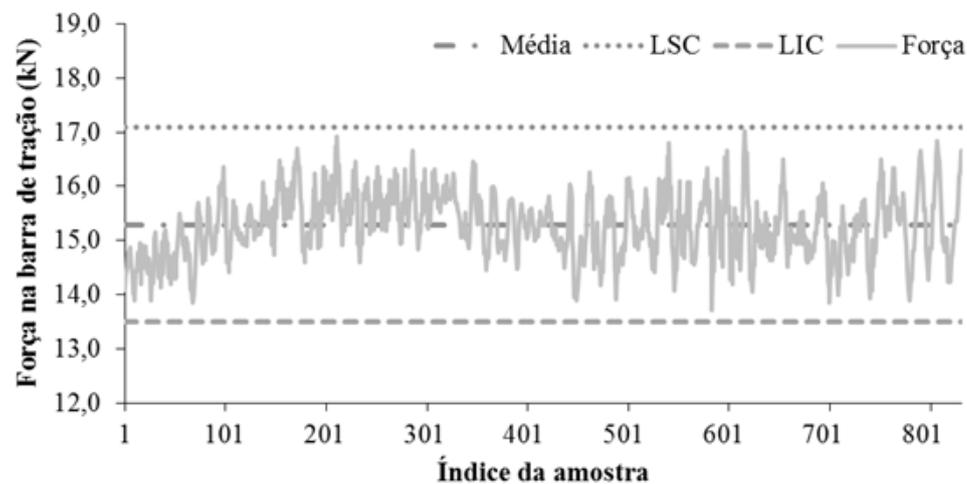


Figura 11. Carta individual de controle para a carga imposta de 15 kN à barra de tração em pista de concreto asfáltico. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

de freios do carro dinamométrico, os valores da força na barra de tração, em pista de concreto, apresentaram-se dentro do controle de processos, conforme Figura 9. Observa-se que as cargas impostas passaram a apresentar variação estável. Todos os ensaios subsequentes foram efetuados com a utilização das válvulas no compressor.

Durante o experimento, com todas as cargas impostas à barra de tração, o processo de frenagem mostrou-se dentro do controle e classificado como estável. Contudo, houve variações nas forças impostas, todas dentro dos limites de controle utilizados na avaliação, como pode ser observado na Figura 10 e 11. Variações dentro dos limites de controle são explicadas por SILVA et al. (2013) como causas comuns aos processos.

Estudos posteriores podem alcançar métodos de frenagem que proporcionem uma maior estabilidade

da força imposta à barra de tração, com menores variações ao decorrer dos ensaios. Uma automação no acionamento dos freios do carro dinamométrico poderia elevar a precisão e estabilidade da força imposta ao trator, aumentando o controle sobre esta variável. Esta automação poderia ser inserida com o emprego de uma Rede Neural Artificial (RNA), que, segundo SIQUEIRA-BATISTA et al. (2014), possibilitaria o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de alto desempenho pela elevada capacidade de processamento.

De acordo com a análise de variância, apresentada na Tabela 4, o número de voltas das rodas do trator apresentou-se significativamente diferente quanto aos tipos de pista; enquanto os métodos de aquisição e a posição avaliada não apresentaram efeitos no número de voltas das rodas do trator. Então, aceita-se a hipótese de que os métodos de aquisição (convencional e automático)

Tabela 4. Resumo da análise de variância para o número de voltas das rodas motrizes do trator

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado médio do número de voltas das rodas
Método de aquisição (MA)	1	0,001210
Posição (POS)	1	0,000360
Superfície da pista (SUP)	3	0,096817**
(MA) x (POS)	1	0,004622
(MA) x (SUP)	3	0,002482
(POS) x (SUP)	3	0,006045
(MA) x (POS) x (SUP)	3	0,002208
Resíduo	144	0,002663
Total	159	

Coeficiente de Variação (%) = 0,51
Média = 10,1611

GL: Grau de liberdade. QM: Quadrado médio. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 5. Valores médios do número de voltas das rodas motrizes do trator para os diferentes tipos de superfícies

Tipo de pista	Número de voltas das rodas do trator
Concreto armado	10,1025c
Concreto asfáltico	10,1385b
Solo firme	10,2043a
Solo com cobertura	10,1993a

As médias dos números de voltas das rodas do trator, seguidas pelas mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 5%).

são iguais, independentemente das posições avaliadas e das superfícies percorridas, atestando a eficiência das leituras automatizadas do número de voltas das rodas.

Na Tabela 5, observa-se que o número de voltas das rodas motrizes do trator em pista de concreto foi menor do que o número de voltas nas diferentes pistas de solo, pois obviamente ocorre maior patinação em pistas de solo, conseqüentemente, um maior número de voltas dos rodados motrizes

em pista de solo em comparação com pistas de concreto, corroborando com ORTIZ-CANAVATE (2012).

Ainda na Tabela 5, observa-se que não houve diferença significativa entre o número de voltas das rodas do trator em solo firme e em solo com cobertura, salientando-se que durante a contabilização do número de voltas, não foi imposta nenhuma carga à barra de tração. Resultados semelhantes aos números de voltas dos rodados foram encontrados

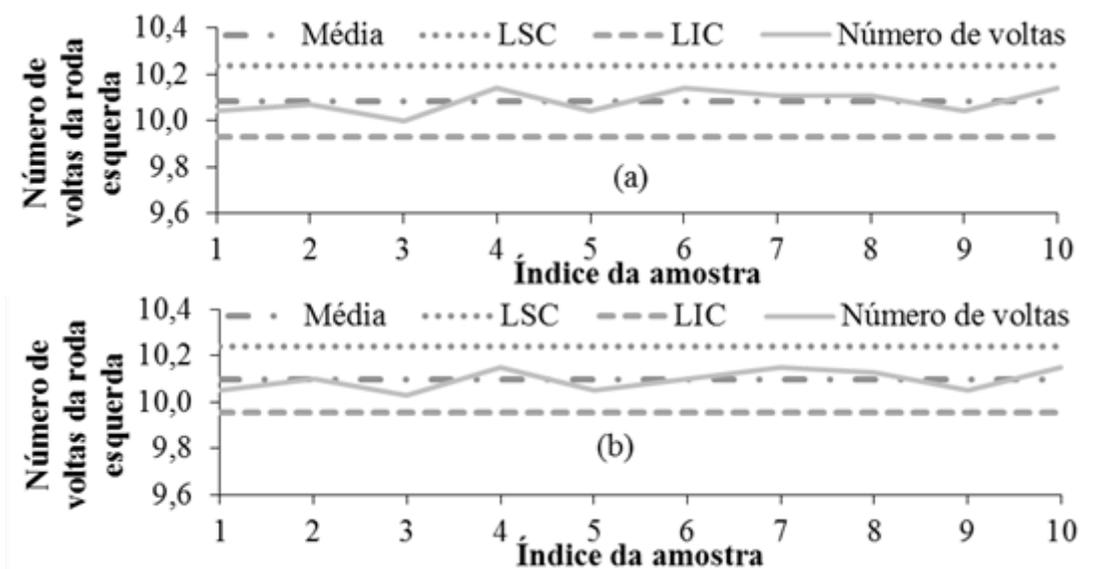


Figura 12. Carta individual de controle para número de voltas da roda esquerda pelo método automatizado (a) e pelo método convencional (b), em pista de concreto armado. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

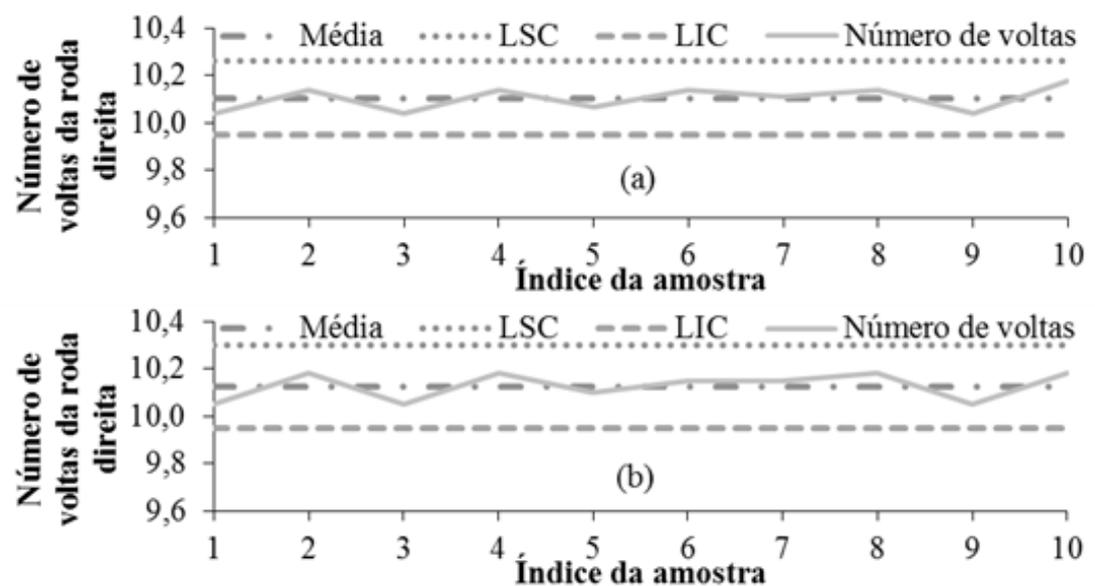


Figura 13. Carta individual de controle para número de voltas da roda direita pelo método automatizado (a) e pelo método convencional (b), em pista de concreto armado. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

por MONTEIRO et al. (2011), enquanto avaliavam o desempenho de tratores agrícolas, corroborando com a exatidão dos dados adquiridos pelo processo automatizado de aquisição do número de voltas dos rodados do trator.

Mesmo não apresentando diferença significativa na análise resumida na Tabela 4, o número de voltas das rodas direita e esquerda do trator, em pista de concreto armado, foi apresentado nas cartas de controle das Figuras 12 e 13. Observa-se que o processo de aquisição automatizado do número de voltas das rodas mostrou-se estável, com valores dentro dos limites de controle. Não se observou indícios de que a precisão deste sensor foi afetada pelo acúmulo de qualquer resíduo após o experimento.

Comparando a Figura 12 (a) com a 12 (b) e a Figura 13 (a) com a 13 (b), observa-se que as

mesmas variações verificadas no método de aquisição convencional foram também mensuradas pelo método automatizado, ou seja, as variações ocorreram semelhantemente em ambos métodos e foram provenientes de outros fatores. Atribui-se essas pequenas variações aos fatores inerentes ao processo (COMPAGNON et al., 2012), fatores estes como a própria patinação das rodas no decorrer dos cinquenta metros das diferentes unidades experimentais analisadas, além de possíveis erros experimentais, que proporcionaram quantidades de número de voltas com diferenças sutis, mais perceptíveis quando analisadas por meio de cartas de controle.

De acordo com a análise de variância, apresentada na Tabela 6, as médias de consumo horário de combustível apresentaram-se iguais quanto aos tipos de pistas. Então, aceita-se a hipótese de que

Tabela 6. Resumo da análise de variância para consumo horário de combustível

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado médio do número de voltas das rodas
Superfície da pista	3	11,6943 ^{ns}
Resíduo	36	7,7836 ^{ns}
Total	39	

Coeficiente de Variação (%) = 13,16
Média = 21,20 L h⁻¹

GL: Grau de liberdade. QM: Quadrado médio. ns: Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

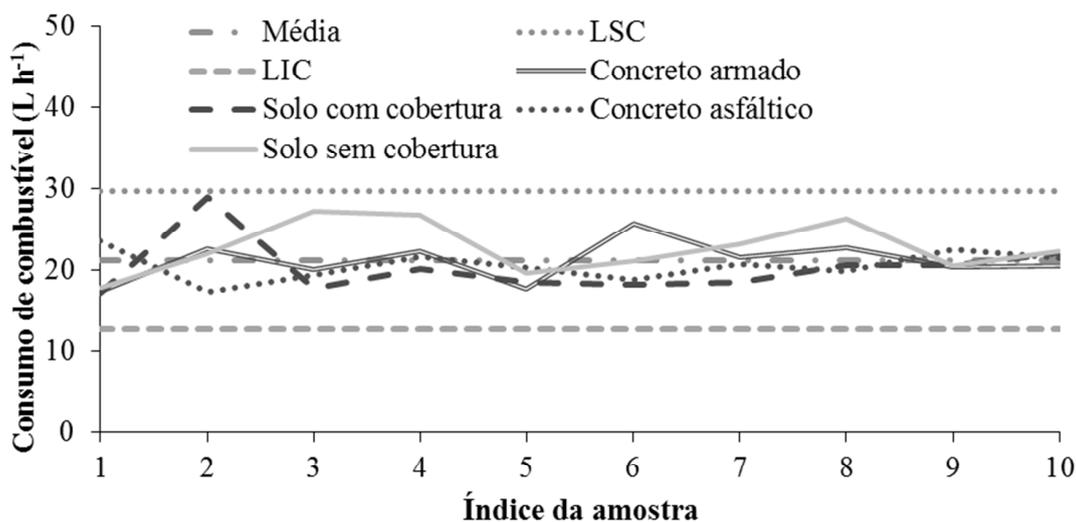


Figura 14. Carta de controle para consumo horário de combustível do trator sem aplicação de carga à barra de tração em pista de concreto armado, concreto asfáltico, solo firme sem cobertura e solo firme com cobertura. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.

os consumos horários de combustível são iguais, independentemente das superfícies percorridas durante os ensaios, atestando a eficiência das leituras automatizadas do consumo de combustível do trator.

Nota-se na Figura 14 que o consumo horário de combustível se mostrou dentro dos limites de controle de processo, valores semelhantes ao consumo horário de combustível foram encontrados por LEITE *et al.* (2011), que avaliaram o desempenho de quatro tratores em pista sem inclinação e os mesmos tratores com cinco diferentes inclinações no sentido da largura da pista.

CONCLUSÕES

- O carro dinamométrico desenvolvido apresentou frenagem constante, impondo forças dentro de limites toleráveis no percurso em diferentes pistas de ensaio, podendo ser utilizado na avaliação dinâmica do desempenho da barra de tração de tratores.
- A adaptação da válvula piloto no compressor utilizado no carro dinamométrico foi determinante para que o processo de imposição de carga à barra de tração passasse a ser estável.
- O processo de aquisição automatizada do número de voltas das rodas do trator e o processo que mensurou o consumo de combustível do trator mostraram-se estáveis, sendo recomendado o emprego destes processos para avaliação dinâmica do desempenho de tratores agrícolas.
- O número de voltas das rodas do trator não se alterou entre os métodos de aquisição automatizado e convencional, mostrando-se igual também nas posições relativas às rodas esquerda e direita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, São Paulo, 2014. 156p.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes

de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, São Paulo, 2017. 158p.

COMPAGNON, A.M.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; GRAAT, D.; VOLTARELLI, M.A. Comparação entre métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v.3, p.215-223, 2012.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A Guide for Its Bootstrap Procedures in Multiple Comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FIGOIRESE, D.A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B.B.; SANDI, J.; MORELLI-FERREIRA, F.; LANÇAS, K.P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.2, n.2, p.68-76, 2015.

GOMES, F.S.; REIS, E.F.; COUTO, R.F.; HOLTZ, V. Desempenho de um trator agrícola sob diferentes cargas e vazões de ar admitidas pelo motor. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.2, p.111-119, 2016.

LEITE, F.; SANTOS, J.E.G.; LANÇAS, K.P.; LEITE JÚNIOR, J.B. Evaluation of tractive performance of four agricultural tractors in laterally inclined terrain. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.5, p.923-929, 2011.

MARTINS JUNIOR, S.L.; VIEIRA, J.S.; VANDRESEN, M.; SCHWARZ, L.; SILVEIRA, J.L. STEPE- Sistema Telemétrico de Pesagem Automotiva. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v.4, p.49-60, 2013.

MONTANHA, G.K.; GUERRA, S.P.S.; ANDREDE-SANCHEZ, P.; CAMPOS, F.H.; LANÇAS, K.P. Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.26, n.1, p.39-51, 2011.

MONTEIRO, L.A.; 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**, Fortaleza, v.44, n.1, p.70-75, 2013.

OECD - The Organisation for Economic Co-operation and Development. **OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. OECD - CODE 2. Paris, 2016. 101p.

OECD - The Organisation for Economic Co-operation and Development. **Tractor performance test, tractor New Holland model TS6.110 AP (4WD)**. OECD - Tractor Test Results. Lincoln: Laboratory Nebraska Tractor Test, 2013. 2p. (OCDE/OECD 2/2 769).

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Tractores: técnica y seguridad**. 2.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2012. 222p.

PAULA, V.R. de; BARBOSA, J.A.; ROMANELLI, T.L.; VOLPATO, C.E.S.; SALVADOR, N. Curvas

de desempenho motor de um trator agrícola utilizando diferentes proporções de biodiesel de soja. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.8, n.1, p.119-127, 2016.

SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; VOLTARELLI, M.A.; COMPAGNON, A.M.; FURLANI, C.E.A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v.44, n.11, p.61-69, 2013.

SIQUEIRA-BATISTA, R.; VITORINO, R.R.; GOMES, A.P.; OLIVEIRA, A.P.; FERREIRA, R.S.; ESPERIDIÃO-ANTONIO, V.; SANTANA, L.A.; CERQUEIRA, F.R. As Redes Neurais artificiais e o Ensino da Medicina. **Revista Brasileira de Educação Médica**, Rio de Janeiro, v.38, n.4, p.548-556, 2014.

ZERBATO, C.; CAVICHIOLI, F.A.; RAVELI, M.B.; MARRAFON, M.; SILVA, R.P. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.3, p.261-270, 2013.