
Ensaaios de tratores na agricultura 4.0

| Kléber Pereira Lanças
UNESP

| Aldir Carpes Marques Filho
UNESP

| Michel dos Santos Moura
UNESP

| Fellippe Aaron Damasceno
UNESP

| André Campos Melo
UNESP

RESUMO

Os ensaios de máquinas em geral são procedimentos padronizados que objetivam apresentar informações confiáveis e imparciais a respeito dos espécimes avaliados. O trator agrícola é a principal fonte de potência no meio agrícola e os ensaios de tratores permitem conhecer profundamente as características construtivas dessa máquina, conferindo a estes maiores rendimentos no campo. A realização de ensaios em tratores e máquinas agrícolas normalmente é de responsabilidade de órgãos governamentais oficiais ou instituições de pesquisa, além dos próprios fabricantes. Novas máquinas e tecnologias estão sendo desenvolvidas e, conhecer a situação atual dos ensaios de tratores, detalhar seus procedimentos e avançar na elaboração de metodologias voltadas para avaliação de máquinas é fundamental na atual agricultura 4.0. Esta revisão buscou apresentar o estado da arte na realização de ensaios com tratores agrícolas no mundo e, particularmente, no Brasil. A agricultura 4.0 ou agricultura inteligente, incorpora novos e avançados recursos, tais como a computação embarcada, os sensores e os atuadores aos ensaios de desempenho operacional e de eficiência, contribuindo assim com a modernização da tecnologia e o aprimoramento das máquinas. Novas formas de avaliação do desempenho e coleta de dados estão latentes e precisam ser estabelecidas através de normas claras e específicas.

Palavras-chave: Mecanização, Engenharia Agrícola, Agricultura Inteligente.

■ INTRODUÇÃO

Desde o surgimento das primeiras máquinas agrícolas, o homem sentiu a necessidade de investigar o seu desempenho, para extrair destas o melhor rendimento. Os ensaios padronizados de máquinas, por apresentarem-se imparciais e com procedimentos claros e precisos, surgiram para atender a demanda vertiginosa do uso da mecanização no meio rural.

O trator agrícola é a mais importante fonte de potência móvel na agricultura moderna e, portanto, conhecer bem as características de funcionamento e desempenho desta máquina é fundamental para se obter bons resultados e otimizar a utilização de recursos (Cutini e Bisaglia, 2016; Raikwar *et al.* 2019).

Os ensaios de tratores permitem que sejam divulgados dados de desempenho com precisão e imparcialidade e, para tanto, torna-se necessária a implementação de normas e procedimentos padronizados, com amplo reconhecimento e aceitação pela comunidade científica.

A realização de ensaios em tratores e máquinas agrícolas, normalmente, é de responsabilidade de órgãos governamentais oficiais, ou instituições de pesquisa vinculadas à universidades e centros especializados devidamente credenciados (Mialhe, 1996), além dos ensaios realizados pelos próprios fabricantes.

A finalidade principal dos ensaios em máquinas e tratores agrícolas é a geração de informações, relacionadas ao desempenho dos motores, sistemas de transmissão, capacidade de tração, estruturas de proteção, ergonomia e rendimento energético.

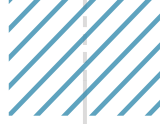
Novas máquinas e tecnologias estão sendo desenvolvidas na atualidade e, portanto, é preciso avaliar tecnicamente cada equipamento e procedimento de ensaio. Novas metodologias de ensaio e simulação estão sendo criadas em consonância com a evolução das máquinas (Kumar e Pandey, 2012; Mattetti *et al.* 2019; Raikwar *et al.*, 2019; Salmasi, 2007).

É de fundamental importância conhecer a situação atual dos ensaios em tratores, bem como detalhar seus procedimentos e regras, para que se possa avançar na elaboração de metodologias eficientes de avaliação de máquinas para a agricultura inteligente ou 4.0.

Tratores de grande porte e capacidade operacional elevada, autônomos ou mesmo elétricos, são as novas perspectivas da agricultura do futuro e, principalmente, avaliar esses novos equipamentos de forma a fornecer e ajudar na maximização da sua eficiência operacional.

■ MÉTODO

Este trabalho apresenta em forma sequencial uma extensa revisão referente aos ensaios de tratores e sua aplicação no Brasil desde que, em 1911 foi realizada a primeira demonstração de tratores dos EUA, na cidade de Omaha, Nebraska.



Após muita evolução e melhorias, em 1919 o estado de Nebraska aprovou uma lei que exigia que todo trator vendido nesse estado deveria ser ensaiado e ter os resultados amplamente divulgados. Além disso exigia-se do fabricante que estabelecesse um estoque regular de peças de reposição para a unidade comercializada. Rapidamente esses ensaios, então realizados na cidade de Lincoln, passaram a ter reconhecimento mundial e foram decisivos na elaboração de normas de classificação de tratores e melhorias na sua constituição geral, incorporando constantemente novas tecnologias e decretando o insucesso e a descontinuação de modelos que apresentavam problemas de projeto e baixos desempenhos.

Os tratores agrícolas apresentaram um crescimento gradual da sua potência disponível, acompanhando o rápido aumento do tamanho das áreas agrícolas a serem preparadas e cultivadas. Em 1950 mais de 90% dos tratores fabricados possuíam menos de 26 kW de potência disponível e, já na década de 60, somente 17% deles tinham essa potência. Em 1975, 13% dos tratores fabricados tinham menos de 30 kW e 50% possuíam mais de 75 kW de potência disponível.

Com o passar do tempo, diversas inovações e componentes foram sendo introduzidos nos tratores para atender às práticas agrícolas modernas e melhorar as suas condições operacionais. Quando os tratores passaram a ser produzidos em série, seu preço agregado diminuiu sensivelmente, o que contribuiu muito para a sua popularização e a aceitação em todo o mundo tornando-o, talvez, a máquina que mais influiu nas mudanças e no desenvolvimento social da humanidade, principalmente em relação ao êxodo rural.

Hoje em dia existe uma grande variedade de modelos de tratores com diferentes sistemas de rodados, diversos órgãos com funções bastante específicas, além de maior conforto para o tratorista que pode usufruir de assento estofado com amortecedores pneumáticos, cabines com ar condicionado, som ambiente e computadores de bordo e, mais importante que isso, contando com sistemas de segurança tais como a estrutura de proteção ao capotamento, cinto de segurança, proteção em partes móveis, alarmes e bloqueadores eletrônicos.

No Brasil, por muito tempo, só havia tratores importados, o que provocava grandes variações nos custos de aquisição, manutenção e reposição de peças, com grande diversidade de modelos e tipos de tratores de vários fabricantes e de diferentes países.

Para minimizar os problemas de padronização e com a intenção de fornecer melhor esclarecimento do potencial de cada trator, o Ministério da Agricultura criou em 1949 o CENTRI - Centro de Ensaio e Treinamento Rural de Ipanema em Sorocaba-SP para realizar ensaios oficiais de tratores e máquinas agrícolas.

O CENTRI, posteriormente denominado CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola, juntamente com a Divisão de Engenharia Agrícola de Jundiaí, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, realizavam ensaios normatizados em tratores e máquinas,





seguindo normas brasileiras específicas, tais como a NBR 10400 e antiga MB 484 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Centros de ensaios de tratores no Brasil

Os ensaios de tratores no Brasil começaram a ser realizados no início dos anos 50 na fazenda Ipanema - Iperó (SP), no CENEA e, na década de 80, também contava com o credenciamento do DEA/IAC, localizado em Jundiaí (SP).

No Brasil, após um longo período de ensaio de tratores, com grande contribuição para instalação e melhoria da indústria nacional de tratores, os ensaios passaram a ser vistos de maneira negativa, como uma forma de “reprovar” ou “aprovar” as máquinas ensaiadas, o que prejudicou a continuidade dos trabalhos e culminou na desativação dos centros de pesquisa.

No início da década de 90, com a desativação do CENEA e DEA/IAC a indústria nacional ficou sem os subsídios das valiosas informações levantadas pelos ensaios oficiais. Atualmente, os ensaios de tratores e máquinas no Brasil tem sido realizados em instituições de ensino superior, em parcerias público privadas de forma não oficial, seguindo metodologias internacionais e procedimentos padronizados. São exemplos dessas instituições a UNESP, a USP, a UFSM, a UFV, a UFC, a UFSC, a UFPR, entre outras.

As empresas fabricantes de tratores vêm equipando e modernizando os seus centros de apoio ao desenvolvimento de novos produtos e, ainda de forma tímida, algumas empresas privadas vêm oferecendo serviços de consultoria e avaliação de máquinas e equipamentos agrícolas, inclusive os tratores.

Centros de ensaios no exterior

A universidade de Nebraska – Lincoln nos Estados Unidos da América, abriga um dos mais tradicionais e famosos centro de ensaios do mundo, o Nebraska Tractor Test Laboratory (NTTL) que realizou centenas de ensaios e é uma referência internacional na área de ensaios com tratores agrícolas.

O centro de ensaios de Nebraska teve o início de suas atividades impulsionado pelo esforço de um fazendeiro, que insatisfeito, após comprar um trator que não funcionou como o esperado, e que não possuía peças para reposição na região, buscou o departamento de engenharia agrícola da universidade de Nebraska, elaborando uma lei para tornar obrigatórios os testes em tratores antes de serem comercializados.

O centro de ensaios alemão conhecido como Centro de Ensaio de Máquinas Agrícolas da *Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft* (DLG), Gross-Umstadt, é mantido pela sociedade alemã de agricultura, fundada em 1885, e credenciado pelo órgão governamental de agricultura desse país. Os ensaios são voluntários e são publicados na forma de boletim de





ensaio, distribuídos entre os sócios e vendidos ao público em geral. As máquinas e produtos que estão de acordo com as exigências pré-estabelecidas pelo padrão mínimo de qualidade recebem um “selo de qualidade DLG”.

Na Espanha a Estação de Mecânica Agrícola de Madri (EMA), reconhecida pela OECD - *Organization For Economic Cooperation And Development* e pelo ministério da indústria e energia como laboratório oficial para ensaios relacionados com a homologação de tratores agrícolas é bastante atuante e respeitado no meio agrícola, apresentando grande contribuição no desenvolvimento de diversos tipos e modelos de ensaios de máquinas agrícolas.

Na Inglaterra o *Silsoe Research Institute*, ligado à universidade de Oxford, criado em 1924 na região de Bedford, os ensaios também eram realizados de acordo com os códigos OECD e por normas da comunidade europeia, hoje encontra-se desativado.

Na Argentina, o Instituto de Engenharia Rural (INTA), sediado em Buenos Aires, iniciou suas atividades em 1944, em diversas áreas agrícolas, bem como para avaliação de desempenho de tratores, semeadoras e pulverizadores, além da normalização das máquinas agrícolas.

A Itália é um país muito atuante na área de máquinas agrícolas e, conta com centros de ensaios muito desenvolvidos e de grande atuação na OECD, podendo ser citados os Centros de Ensaios de Milão, Bolonha e Nápoli.

Na França, o *Centre National d'Etudes et d'Experimentation de Machinisme Agricole* “CNEEMA”, em Antony, é um dos mais atuantes na área e representa o órgão central de coordenação dos ensaios de tratores realizados pela OECD.

Ensaio de Conformidade, Certificação e Homologação de Tratores

Os ensaios de tratores podem ter objetivos ou finalidades distintas, de acordo com a aplicação e a utilização dos seus resultados, sendo que podem ser classificados como ensaios de certificação, de conformidade ou de homologação.

O Certificado de Conformidade objetiva atestar que um determinado produto está de acordo ou conforme normas especificadas pelo seu fabricante. O ensaio segue modelos internacionalmente padronizados, que envolve instituições devidamente credenciadas. O Certificado de Conformidade é o mesmo que o Certificado de Qualidade, podendo ser fornecido através de um documento ou símbolo gráfico (normalmente um selo).

A homologação é o ato de verificar se um produto, antes de ser vendido ou que seja autorizada sua fabricação em série, atende a certas exigências estabelecidas por uma autoridade competente. Na homologação são levadas em consideração os aspectos técnicos; porém, os fatores econômicos e políticos também são levados em consideração. A homologação foi o sistema utilizado pelo CENEA ao longo de sua existência, apresentando relação





direta com os atos do Ministério da Agricultura e com os financiamentos fornecidos pelas instituições financeiras, principalmente as oficiais, para os agricultores.

A Certificação de Conformidade consiste, genericamente, em atestar que um produto, serviço, sistema ou pessoal, cumpre com os requisitos de uma norma técnica. A certificação traz como consequência, uma referência aos consumidores de que o produto ou serviço atende a padrões mínimos de qualidade.

A certificação é importante para o comércio exterior, a participação dos países em blocos econômicos e estabelecimento de relações comerciais que, em alguns casos, só se viabilizam caso os países integrantes possuam um sistema de certificação harmônico e mutuamente reconhecido.

Atualmente o Brasil está iniciando sua participação na OECD, o que abre um novo horizonte de benefícios para a normatização e estabelecimento de boas práticas de desenvolvimento econômico sejam cumpridas. As normas, internacionais e nacionais, são parte fundamental para a existência da certificação. No exterior diversas são as normas adotadas, tais como a SAE, DIN, ISO e, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade de direito privado, sem fins lucrativos, é o fórum nacional de normalização.

A ABNT tem como objetivo garantir o consenso entre os segmentos envolvidos como a indústria, o comércio, os consumidores e o governo, através da garantia de assento e voto de todos nos comitês estabelecidos oficialmente.

Além de inúmeras normativas direcionadas aos sistemas mecanizados agrícolas, as normas ABNT NBR/ISO 789, contemplam diversas metodologias e instruções para elaboração de ensaios com tratores. Elaboradas pelo comitê brasileiro de tratores, máquinas agrícolas e florestais, a normativa possui 13 capítulos com o objetivo de fornecer diretrizes confiáveis para a realização de ensaios com tratores agrícolas.

O conjunto de normas brasileiras foi baseado na integridade na normativa internacional ISO, criado pelo *“Technical Committee Tractors and Machinery for Agriculture and Forestry (ISO/TC 23), Subcommittee Common Tests (SC 2) (ABNT ISO 789-1:2020)*.

Instituições internacionais de pesquisa e mesmo fabricantes de máquinas que possuem centros de ensaio próprios, fazem uso dos códigos da *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* para realização da avaliação do desempenho de tratores agrícolas. Os códigos de ensaios propostos pela OECD atendem diversas aplicações e situações, estando distribuídos em códigos ordenados de 2 até o 10.

Dentre os códigos de ensaio propostos pela OECD, o código 2 possui destaque especial para a normatização dos ensaios com tratores agrícolas, já que trata do desempenho destes em ensaios dinamométricos estáticos e, bem como, em ensaios de tração dinâmicos em pista com superfície de rolamento padronizada.





Os códigos 3 e 4 da OECD abordam ensaios das estruturas de proteção e segurança dos tratores. O código 5 normatiza os níveis de ruídos no posto de operação. E os códigos de 6 a 10 especificam as normas de avaliação da estrutura de proteção, ergonomia e segurança em tratores.

Ensaio de Tratores – Diferentes visões e aplicações dos resultados

A realização de ensaios em tratores agrícolas objetiva, fundamentalmente, levantar informações e dados técnicos sobre o desempenho da máquina em trabalhos agrícolas, visando obter dados livres de interferências comerciais ou tendenciosidades.

Do ponto de vista do usuário do trator ou consumidor final, o centro de ensaios e seus resultados atuam indiretamente como elementos de garantia, propiciando condições mínimas de funcionamento e durabilidade das máquinas. Fornecer aos usuários dados que permitam a adoção de critérios racionais de seleção e operação de tratores, é um dos maiores benefícios dos ensaios padronizados para esse público.

Por outro lado, os fabricantes de máquinas e equipamentos necessitam obter dados quantitativos, usados no aprimoramento de seus produtos e sistemas, uma vez que os fabricantes nem sempre possuem condições de instalar e manter um centro de ensaios próprio, além do fato de que o fabricante necessita de um agente terceiro para certificar ou avaliar seu produto, garantindo assim a isonomia dos resultados.

Como vantagens proporcionadas pelos ensaios aos fabricantes de máquinas, pode-se citar a imparcialidade dos resultados obtidos, a utilização dos resultados para argumento de venda e marketing e o constante aprimoramento dos produtos.

Ensaio na tomada de potência do trator

Os ensaios na Tomada de Potência (TDP) representam o primeiro passo para avaliar o desempenho energético de um trator, pois permitem analisar as perdas de potência geradas pelos elementos acessórios do motor e elementos de transmissão do trator, além de ser uma forma indireta de se obter as informações do motor do trator.

Para a realização do ensaio na TDP do trator, esta deve ser conectada a um freio dinamométrico mediante transmissão articulada ou eixo cardã de forma que não apresente inclinação superior a 5°. A relação entre rotação da TDP e rotação do motor é direta, passando por um ou dois pares de engrenagens, de forma que a queda de rotação na TDP, implica em queda proporcional de rotação no motor.

O princípio básico de funcionamento dos freios dinamométricos é impor cargas na tomada de potência do trator (Figura 1), com a finalidade de impedir o movimento giratório da TDP. Quando o freio é acionado, uma força é aplicada na célula de carga do equipamento,





indicando em tempo real a força provocada no braço do dinamômetro. O produto dessa força pelo braço de alavanca fornece o torque na TDP. Existem os dinamômetros de corrente elétrica, no qual o giro do eixo principal e a força aplicada no freio produzem uma corrente elétrica proporcional ao torque, e este é obtido indiretamente através dessa relação.

Figura 1. Ensaio dinamométrico em trator agrícola, bancada de trabalho e instrumentação. NEMPA/Botucatu 2017.



Fonte: NEMPA/Botucatu - 2017.

Para a realização do ensaio normatizado, a TDP deve estar girando em rotação recomendada ou nominal (540 rpm / 1000 rpm) com o débito da bomba injetora do motor no ponto máximo. Após estabilizada a rotação na TDP deve-se aplicar o freio até que se obtenha a rotação mais reduzida do motor, registrando-se esse ponto. A partir daí, libera-se o freio gradativamente, marcando-se os valores de torque para diversas condições de rotação e carga.

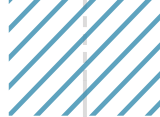
Dessa maneira pode-se construir um gráfico do Torque em função da rotação da TDP ou do motor (em função da relação de transmissão entre o motor e a TDP). Com o par torque e rotação pode-se calcular a potência no motor ou TDP nas diversas condições.

Os dados anotados nos ensaios oficiais devem incluir: velocidade angular do motor e da TDP, o momento de força do dinamômetro, as temperaturas dos fluidos de arrefecimento, do combustível, do lubrificante, do ar de admissão e do bulbo úmido e seco, a pressão atmosférica e o consumo de combustível.

As modalidades do ensaio incluem: ensaio de potência disponível a velocidades angulares variáveis do motor; ensaio de potência disponível à velocidade angular nominal do motor e ensaio de potência disponível a momentos de força parciais.

No ensaio de potência disponível as velocidades angulares variáveis do motor devem ser registradas juntamente com os dados necessários para traçar as seguintes curvas, em





função da velocidade angular: curva de potência; curva de momento de força; curva de consumo específico de combustível e curva de consumo horário de combustível.

Os ensaios são conduzidos com velocidades angulares desde 15% abaixo daquela que corresponde ao máximo momento de força até a máxima velocidade angular sem carga.

Capacidade de levante traseiro e engate de três pontos

Este ensaio é regido principalmente pela norma NBR/ISO 789-2 e especifica os procedimentos para determinar a capacidade de levantamento de sistemas de engate de três pontos acoplados na traseira dos tratores.

Deve-se controlar a posição da carga aplicada, sendo que o centro de gravidade deve estar disposto a 610mm na traseira dos pontos de engate. É preciso verificar durante os ensaios a pressão do fluido hidráulico e sua temperatura em cada fase do ensaio, sendo que o ponto zero é considerado quando os braços estão sem carga e no ponto mais baixo em relação ao solo.

A pressão em kPa do sistema hidráulico deve ser obtida em cada condição de carga nos braços hidráulicos, juntamente com a altura de levante.

Diâmetro de giro e espaço de giro

Os tratores agrícolas realizam trabalhos em locais de difícil manobra e direcionamento, portanto é fundamental conhecer a capacidade destes em realizar curvas em menor raio possível. Tratores com bom desempenho em ensaios de diâmetro de giro, podem apresentar maior versatilidade no campo, em manobras com máquinas e implementos.

Para o ensaio de diâmetro de giro, a norma NBR ISO 789-3 recomenda utilizar uma superfície plana, sem declividade maior que 3% em qualquer direção, preferencialmente seca, compactada ou pavimentada, de forma a oferecer aderência adequada aos rodados, imprimindo marcas legíveis e resistentes à desfiguração pelo giro das máquinas.

As medições são realizadas no solo, em marcas deixadas pelos rodados e podem ser realizadas com o auxílio de sistemas de navegação global por satélites, com o uso de receptor GNSS em modo armazenamento de pontos, ou rotas.

O ensaio consiste em fazer curvas fechadas, com o volante em seu ponto máximo de esterçamento, com e sem o uso dos freios nos dois sentidos de deslocamento do trator. As curvas para direita e esquerda devem ser realizadas em marcha lenta, não ultrapassando a velocidade de 2 km.h^{-1} e no caso de esterçamento com freios, a pressão no pedal não deve ultrapassar 60daN.

Todas as características construtivas do trator devem ser claramente definidas e a configuração deve ser a original especificada pelo fabricante. Preferencialmente a bitola





dos tratores deve ser ajustada para valores próximos a $1,5 \pm 0,025\text{m}$. Dados completos do fabricante, tipos de rodados, lastros e pressões dos pneus devem ser descritos no relatório de ensaios.

Ensaio de potência na barra de tração

A tração é uma das aplicações mais importantes dos tratores agrícolas, sendo que a posição da barra de tração e a sua inclinação em relação ao solo para o acoplamento às máquinas ou implementos deve ser realizado adequadamente.

No Ensaio utilizando a barra de tração, esta deve estar acoplada ao elemento resistente ao trator (dinamômetro instalado para medida da força) de forma que a linha de tração deve estar paralela ao plano de apoio e posicionada no plano longitudinal central do trator (Figura 2), sendo que a sua altura em relação ao solo deve permanecer constante, nivelada e alinhada.

Os ensaios de desempenho na barra de tração devem ser realizados em pista padrão (de concreto, asfalto ou de terra batida) ou em condições operacionais de campo, tracionando uma máquina ou implemento agrícola. A força de tração deve ser tal que não exceda a 80 % de transferência de peso do rodado dianteiro para o traseiro (referencial estático).

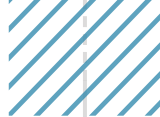
Os seguintes dados devem ser registrados: força média na barra de tração; velocidade angular do motor; número de voltas das rodas ou esteiras; tempo gasto nos trechos retilíneos da pista para se percorrer um determinado espaço e consumo de combustível nessas condições; volume total de combustível consumido; temperaturas do fluido de arrefecimento, do óleo lubrificante, do ar de admissão no motor, do combustível, de bulbo seco e úmido e do óleo de transmissão, além de pressão atmosférica local.

Figura 2. Unidade dinamométrica para aplicação de cargas controladas em ensaios de desempenho na barra de tração. NEMPA/Botucatu 2018.



Nos ensaios de tração é necessário aplicar cargas controladas de frenagem no trator agrícola, podendo ser geradas por outros tratores ou por carros dinamométricos, acoplados na traseira do trator ensaiado. Para a aplicação das cargas, coleta e armazenamento dos





dados para posterior ajuste e apresentação, os sistemas de frenagem devem estar equipados com dispositivos, sensores, controladores e sistema de aquisição de dados e, atualmente, sistemas inteligentes de comunicação e transmissão de dados.

Ensaio de tratores de rodas em pista de concreto

A pista de concreto é a superfície mais utilizada pelos diversos centros de ensaios de tratores, por ser de mais fácil padronização, devendo ser plana e com os trechos retilíneos suficientemente longos para facilitar a estabilização dos equipamentos de medição, bem como o armazenamento de uma quantidade de dados suficientes em regime de deslocamento estável com velocidade constante.

As pistas de concreto normalmente apresentam formato oval, com os trechos retilíneos de 100 a 200 m e raio da curva interna em torno de 20 m. As medições devem ser realizadas somente nos trechos retos da pista.

Para avaliar todos os parâmetros recomendados pela norma, o trator a ser ensaiado deve tracionar um sistema de freio ou um carro dinamométrico, equipado com um dinamômetro de tração (célula de carga), tacômetro independente (roda odométrica), tacômetro instalado nas rodas motrizes do trator, tacômetro no eixo-árvore do motor, aparelho de precisão para medida do consumo de combustível em pequenos deslocamentos (fluxômetros), aparelhos para a medida das temperaturas e condições atmosféricas, bem como, propiciar uma carga suficientemente adequada para que o trator a ser ensaiado seja solicitado até os seus recursos extremos.

Para carros dinamométricos de pequeno porte que não possuam grande capacidade de frenagem, são adicionados outros tratores ao conjunto frenante, que deverão estar engrenados em uma determinada marcha e com os motores desligados (trabalhando como compressores) para aumentar a resistência ao movimento e, conseqüentemente, a força de tração a ser vencida pelo trator ensaiado. O conjunto formado pelo trator a ser ensaiado, o carro dinamométrico e o trator auxiliar é conhecido como Comboio de Ensaio.

Ensaio de tração em condições de campo agrícola

Para realização de ensaios de campo (Figura 3) não existem normas específicas, devido principalmente à variabilidade ambiental e ao difícil controle das fontes de variação nos resultados, apesar da OECD apresentar a possibilidade de execução de ensaios em condições reais de campo. Como providência fundamental para garantir a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados obtidos em ensaios de campo, é necessária a caracterização detalhada de todos os processos, equipamentos e componentes do ensaio.





O ponto de partida de um ensaio de campo deve ser a perfeita caracterização do tipo e das condições iniciais do solo, bem como do equipamento a ser tracionado, sua velocidade de deslocamento desejada e as dimensões do talhão a ser trabalhado pelo conjunto.

Todos os instrumentos utilizados para obtenção dos dados em ensaios padronizados, tais como a célula de carga entre o trator e o equipamento para determinação da força de tração, os medidores de consumo de combustível, os tacômetros instalados nas rodas, os sensores de rotação do motor, devem ser compatíveis com as condições operacionais e perfeitamente descritos.

Figura 3. Ensaios de campo avaliando desempenho de tratores, com carro dinamométrico (esquerda) e com subsolador (direita). NEMPA/Botucatu 2018.



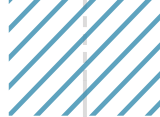
Parâmetros avaliados e análise dos resultados dos ensaios de tração normalizados

Os principais ensaios realizados na barra de tração podem ser divididos em ensaios de potência máxima, onde em diferentes marchas com o trator em aceleração máxima são aplicadas cargas variáveis até o trator perder rotação no motor, ou até atingir a patinação limite de acordo com a superfície. Todos os ensaios são realizados com e sem lastros nos tratores.

Para cada marcha devem ser traçadas diferentes curvas em função da força de tração, composta pelas variáveis: velocidade de deslocamento; potência na barra de tração; consumo horário de combustível; consumo específico de combustível e deslizamento.

Os ensaios de tração com força constante na barra podem ser divididos em duas partes, sendo que na primeira é preciso aplicar durante cinco horas contínuas na marcha normalmente utilizada em trabalho agrícola de campo, acordada entre o centro de ensaios e o fabricante e que possibilite uma força de tração equivalente a 75 % daquela correspondente à máxima potência na barra de tração, na marcha escolhida.





Na segunda etapa do teste, é preciso aplicar durante cinco horas contínuas, uma força de tração, que ocasionou no ensaio de potência máxima, um deslizamento de 15% para tratores com rodas pneumáticas e 7% para tratores de esteiras. A marcha deve ser a mais rápida que proporcione a força de tração exigida, com o motor funcionando na zona de ação do regulador de rotação.

Associadas ao desempenho energético do trator nos ensaios é possível relacionar também os parâmetros de consumo de combustível, potência na barra, força de tração rendimento de tração, coeficiente de tração em cada condição, com e sem a presença de lastros no trator. Essas variáveis podem ser comparadas com os resultados dos ensaios dinamométricos, demonstrando nesse caso a eficiência dos mecanismos de transmissão e rodados na conversão de potência.

Ensaio de vibração incidente no posto do operador

As vibrações mecânicas são originadas tanto pelo funcionamento do motor quanto pela rugosidade da superfície de deslocamento. As vibrações se tornam problemáticas quando a frequência a qual o corpo humano é exposto afeta suas funções vitais.

Os ensaios de vibração são realizados de acordo com a NBR/ISO 2631, *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. Na norma são definidos os limites de exposição do corpo humano às vibrações buscando estabelecer os níveis de conforto, eficiência de trabalho e risco a saúde, sendo eles: nível de conforto reduzido (preservação do conforto), nível de eficiência reduzida/fadiga (preservação da eficiência de trabalho) e limite de exposição (preservação da saúde e/ou segurança). Estes limites são estabelecidos de acordo com os níveis de frequência vibratória, acelerações, tempo de exposição e direção da vibração em relação ao tronco.

Os procedimentos para realização dos testes também exigem superfícies padronizadas, de forma que as pistas de vibração são aplicadas para tais ensaios. As normas recomendam que as medições sejam feitas o mais próximo possível do ponto ou área na qual a vibração é transmitida ao operador do trator, para se conhecer o seu nível real de ação. É comum utilizar o Ponto de Referência do Assento (PRA) definido pela Norma NBR/ISO 5353 quando deseja-se obter os valores de vibração que incidem sobre o corpo inteiro do operador.

A faixa de frequência obtida nos ensaios determinam a carga horária a qual o operador pode ser submetido. Quanto maior a vibração, menor o tempo que o operador deve ficar exposto.





Ensaio de ruído em tratores agrícolas

Os ruídos ocasionam traumas acústicos e problemas de ordem ocupacional em operadores de máquinas agrícolas. Como o trator é uma máquina amplamente utilizada na agricultura e as jornadas de trabalho são extensas, é fundamental avaliar os níveis de ruído aos quais o operador está submetido em cada máquina ou situação de trabalho.

Os ensaios de ruído podem ser realizados com base no CODE 5 da OCDE, onde recomenda-se que seja utilizado equipamento de precisão para aquisição de dados sonoros. O decibelímetro utilizado deve atender a normativas internacionais IEC 60651, e a mensuração deve ser realizada em ponderação de frequência para a curva “A”, de resposta lenta e mais indicada para a avaliação de ruído emitido por máquinas.

A medição deve ser realizada em local silencioso e amplamente aberto, com o trator sem lastro. No entorno da área de medição deve-se ter no mínimo 20 metros de raio plano, e a superfície de rolamento deve ser suficientemente lisa para não causar ruído excessivo.

Em tratores com cabine, as medições internas devem ser realizadas com portas e janelas completamente fechadas e o diafragma do microfone deve estar voltado para frente de forma que seu centro fique a 250mm do plano médio do banco do operador, do lado de maior ruído do trator, posicionado 700mm acima do ponto central de referência do operador e 10mm à frente.

Ensaio de tratores agrícolas no NEMPA/UNESP Botucatu

O Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrofloretais (NEMPA) foi instituído pelo Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/Botucatu).

O NEMPA desenvolve há mais de 20 anos pesquisas com máquinas e tratores, envolvendo parcerias internacionais, possuindo infraestrutura compatível para ensaios de tratores, utilizando as normas OECD, além de contar com uma mão de obra qualificada e dispositivos exclusivos para avaliação de máquinas e pneus agrofloretais. Contando com uma área experimental composta por cinco pistas de ensaio e uma pista de vibração (Figure 4).





Figura 4. Pistas padronizadas para ensaios de tratores agrícolas, da esquerda para direita: pista oval de concreto; pista de solo mobilizado; pista de solo em preparo convencional; pista de solo em sistema de plantio direto, pista de solo firme e pista de vibração de tratores.



O grupo de pesquisa do NEMPA vem desenvolvendo, em convênio com a Fundação de Ensino e Pesquisa Agrícolas e Florestais (FEPAF), diversas atividades de ensaios e avaliações de máquinas englobando a grande maioria dos fabricantes nacionais de tratores, pulverizadores, colhedoras e de pneus, podendo ser citados: AGCO – Massey Ferguson e Valtra-, Agrale, CNH – Case New Holland-, John Deere, Siltomac, Jacto, Goodyear - Titan, Michelin, Pirelli – Bridgestone, Trelleborg, além de ensaios de campo com grandes empresas do setor sucroenergético.

■ CONCLUSÃO

O trator agrícola moderno evoluiu muito quando comparado com seus ancestrais. Eletrônica embarcada, sistemas de direcionamento e geoposicionamento, telemetria entre outras tecnologias, fizeram do trator uma máquina altamente complexa, polivalente e de elevado custo de aquisição.

Os ensaios de máquinas permitem otimizar os recursos energéticos, bem como proporcionam a redução dos custos variáveis da operação mecanizada. Porém, as metodologias contemporâneas precisam prever novas formas de avaliar motores híbridos, elétricos e sistemas autônomos, sendo que essa evolução nas normativas é um desafio para os agentes normalizadores nos próximos anos. A OECD acabou de incluir subgrupos de estudos para tratores autônomos e para tratores elétricos.

A agricultura 4.0 ou agricultura inteligente, permite que novos recursos tais como a computação embarcada, os sensores e os atuadores sejam incorporadas aos ensaios de desempenho e eficiência dos tratores, contribuindo assim com a modernização da tecnologia e aprimoramento das máquinas. Novas formas de avaliação do desempenho e a coleta





de dados estão latentes e precisam ser estabelecidas através de normas claras e específicas. Um exemplo dessa evolução é a coleta de dados de consumo de combustível através da rede CAN do trator, dispensando a instalação de sensores de fluxo.

Desde o surgimento dos primeiros tratores com motor à combustão interna, a energia fornecida pelo trator é obtida através do poder calorífico de um combustível, normalmente óleo Diesel, e posteriormente convertido em energia mecânica, com eficiência termomecânica próxima de 35%. A baixa eficiência energética dos motores é um dos fatores que tornam o consumo de combustível um item relevante no custo das operações (Grisso *et al.*, 2010; Karparvarfard e Rahmanian-Koushkaki, 2015).

Novas fontes de energia como o hidrogênio e o metano estão sendo estudadas para aplicação em motores à combustão interna e, certamente, os ensaios devem prever normas detalhadas para cada modelo desenvolvido. Tratores elétricos e autônomos, pequenos robôs com aplicação de inteligência artificial na agricultura apresentam novos desafios às instituições de pesquisa.

Os sistemas de transmissão híbridos ou eletromecânicos apresentam alto grau de evolução. Câmbios continuamente variáveis (CVT) chegaram para ficar na agricultura, bem como controles eletromecânicos de tração, avanço e patinagem nos tratores. As normas e procedimentos de ensaio devem acompanhar essas evoluções e propor metodologias confiáveis de avaliação.

Novos sistemas e ferramentas têm surgido para incrementar o desempenho dos tratores agrícolas, desde procedimentos de controle logístico de tráfego, através de sistemas de navegação global por satélites (GNSS), conhecido como tráfego controlado, até mecanismos de transmissão modernos e com menor perda de energia.

Na área de ensaios de tratores agrícolas existem lacunas a serem exploradas nos quesitos conectividade e aquisição de dados. Existe espaço para a aplicabilidade de novas tecnologias de eletrônica embarcada e sensores que utilizam protocolos de rede sem fio. A chegada da rede de comunicação celular 5G na agricultura pode revolucionar a coleta e transmissão de dados, tais sistemas permitem alta capacidade de processamento e armazenamento em tempo real.

A aplicação da tecnologia de sensores sem fio (RSSF), associadas a uma rede robusta de comunicação em tempo real como a 5G, permitem diagnóstico preciso de funcionamento em tempo real dos tratores e conjuntos motomecanizados.

A concepção de um sistema de coleta de dados em RSSF de alta velocidade de comunicação, permite a intercambialidade dos sensores para outros modelos de ensaios, tais como: ensaios de campo com equipamentos de preparo de solo, ensaios com colhedoras





de grãos, ensaios com colhedoras de cana, ensaios estáticos em laboratório e bancada de testes, ensaios de equipamentos e máquinas motoras em geral.

■ REFERÊNCIAS

1. CUTINI, M.; BISAGLIA, C. Development of a dynamometric vehicle to assess the drawbar performance of high-powered agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, 65: 73-84, 2016.
2. GRISSE, R. D., PERUMPRAL, J. V., VAUGHAN, D. H., ROBERSON, G. T., & PITMAN, R. M. (2010). Predicting tractor diesel fuel consumption, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2010.
3. MATTETTI, Michele, et al. Optimal criteria for durability test of stepped transmissions of agricultural tractors. *Biosystems Engineering*, 2019, 178: 145-155.
4. MIALHE, L.G. Máquinas Agrícolas - Ensaios & Certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1996. 723 p.
5. KARPVARFARD, S. H.; RAHMANIAN-KOUSHKAKI, H. Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. *Biosystems engineering*, 2015, 130: 23-33.
6. KUMAR, Ashok; PANDEY, K. P. A device to measure dynamic front wheel reaction to safeguard rearward overturning of agricultural tractors. *Computers and electronics in agriculture*, 2012, 87: 152-158.
7. OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance, Code 2U.S.C., July 2012.
8. RAIKWAR, S., WANI, L. J., KUMAR, S. A., & RAO, M. S. (2019). Hardware-in-the-Loop test automation of embedded systems for agricultural tractors. *Measurement*, 133, 271-280.
9. SALMASI, F. R. Control strategies for hybrid electric vehicles: Evolution, classification, comparison, and future trends. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 56(5), 2393-2404, 2007.

