

Descomplicando as transmissões e seus sistemas



O trator agrícola é considerado uma ferramenta indispensável na propriedade rural, pois executa as principais operações de interesse agrícola, como por exemplo tracionar implementos, reboques, máquinas agrícolas e, ainda, quando requerido, aciona mecanismos através da tomada de potência (TDP) ou sistemas hidráulicos, como ensina o professor Luis Márquez, da Universidade Politécnica de Madrid, Espanha. Logo, estas operações necessitam de energia, a qual é proveniente da transformação da energia química do combustível em energia mecânica (trabalho mecânico) pelo motor do trator agrícola e transferida para o restante do sistema pela transmissão do mesmo.

No trator agrícola, é o sistema de transmissão o responsável pela transferência de potência e torque do motor para as rodas motrizes, o sistema hidráulico e a TDP. Essa transferência ocorre pela modificação da velocidade angular do virabrequim (rpm) e do torque do motor (Nm), através de um sistema de conjunto de engrenagens, que ao aumentar o torque, reduz a velocidade angular, de modo que se atinjam condições favoráveis para o funcionamento do trator agrícola no campo. Essa redução é conhecida como relação de transmissão (RT), sendo expressa como o quociente entre a velocidade angular do motor e a velocidade do eixo das rodas motrizes.

Em virtude do movimento contínuo do motor, é necessário ter elementos de desconexão que permitam interromper o movimento transmitido do motor à caixa de câmbio, a fim de parar o veículo ou alterar a relação de transmissão. Logo, isto é atribuição da embreagem, que é ativada segundo o controle do operador, seja pelo acionamento do pedal da embreagem ou de forma automatizada.

Como o diferencial e as reduções finais dos tratores agrícolas

possuem relações de transmissão fixas, o principal componente no sistema de transmissão responsável por realizar a alteração da RT é a caixa de câmbio, também chamada de caixa de velocidades. Esta é formada por uma série de engrenagens, que permitem a seleção da velocidade e, conseqüentemente, do torque mais adequado a uma determinada operação. Em resumo, quanto menor for a marcha escolhida, maiores serão a RT e o torque, por conseqüência menor será a velocidade desenvolvida nas rodas motrizes. Do contrário, quanto maior a marcha utilizada, maior também será a velocidade e menor será o torque disponível nas rodas.

De forma prática, a qualidade da transmissão do trator pode ser mensurada através do escalonamento de marchas e suas faixas de sobreposição, uma vez que esta deve fornecer as velocidades necessárias para desempenhar todas as atividades para as quais ele foi proposto, sempre respeitando a velocidade angular do motor que realiza adequadamente a operação ou forneça a velocidade correta na TDP (540 ou 1.000rpm). O escalonamento de marchas pode ser verificado no manual do operador ou em adesivos geralmente fixados no para-lama direito ou vidro do trator.

No Brasil, as transmissões presentes nos diferentes modelos de tratores agrícolas, apesar dos diversos nomes comerciais, classificam-se em duas categorias: mecânicas e hidrostáticas.

As transmissões mecânicas caracterizam-se pela presença de engrenagens, as quais se deslocam em eixos com ranhuras para encaixarem-se umas às outras, sendo a velocidade de saída dependente do número de pares engatados e do número de dentes das engrenagens, formando a RT. Nesse tipo de transmissão a caixa de câmbio pode ser classificada, de acordo com o engrenamento, em engrenagem deslizante (*sliding gears*), engrenamento constante (*constant mesh*) ou

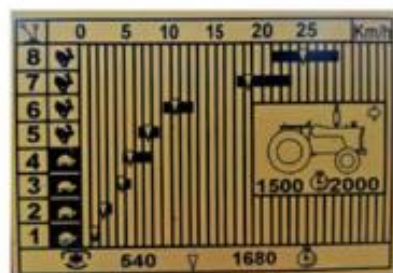
sincronizada (*synchronesh*).

Quando o acoplamento de engrenagem é deslizante, popularmente conhecido como "caixa seca", a marcha é selecionada antes do início do trabalho e suas trocas são realizadas com o trator parado, uma vez que para a troca da RT é necessário que as velocidades das engrenagens estejam sincronizadas, do contrário o acoplamento não ocorre. Neste tipo de acoplamento as engrenagens apresentam dentes retos.

Semelhantemente, os tratores agrícolas equipados com o tipo de caixa *constant mesh* também precisam estar parados para a realização da troca da RT. Por utilizar engrenagens helicoidais, transmite maior torque do que as engrenagens de dentes retos, sendo o seu sistema mais robusto do que o sistema de engrenagem deslizante. Neste sistema, as engrenagens encontram-se, em uma tradução livre do seu próprio nome, em engrenamento constante. Logo, as engrenagens estão sempre engatadas aos pares, e a seleção e acoplamento de uma marcha ocorre pelo deslocamento longitudinal de uma luva deslizante em direção a um cubo que está fixo ao eixo, resultando no movimento do eixo na nova RT. Vale ressaltar que a luva deslizante se encontra sempre disposta entre os dois pares que se pretende acoplar.

TRANSMISSÃO SINCRONIZADA

Já na transmissão do tipo sincronizada, pode-se selecionar qualquer marcha com o trator em movimento, pois anéis sincronizadores acertam a velocidade de giro das engrenagens



Adesivo com o escalonamento de marchas de um trator - trator com oito marchas à frente

a serem acopladas. Estas podem ser parcialmente sincronizadas, onde apenas algumas engrenagens são sincronizadas, geralmente dentro do regime de velocidades, e as demais, entre as gamas alta, média e baixa, são engrenagens deslizantes. Também se apresentam na disposição totalmente sincronizadas, em que ocorre a sincronização total de todas as velocidades, gamas e grupos, incluindo, ainda, em alguns modelos de tratores, o avanço e a reversão.

Embora os sistemas mecânicos permitam a troca de marchas em movimento, utilizando estes sistemas a campo com implementos engatados e demandando tração, ao pressionar a embreagem para efetuar a mudança de marchas ocorrerá a parada do trator ou a redução da velocidade, mesmo para operadores habilidosos. Desta forma, mesmo que o trator não pare na mudança de marchas, ao pisar na embreagem ocorrerá a parada momentânea da transmissão de torque aos rodados, prejudicando as atividades que necessitam de velocidade constante

de deslocamento ou da TDP. Diante disso, o correto é selecionar a marcha antes do início da operação, assim, qualquer um dos sistemas mecânicos desempenhará satisfatoriamente o trabalho a campo. Contudo, o sistema sincronizado apresenta vantagem na troca de marchas em situações de deslocamento (transporte) do trator.

Com o intuito de melhorar a qualidade ergonômica dos postos de operação dos tratores agrícolas, nos últimos anos surgiram modelos de tratores com o acionamento eletro-hidráulico da embreagem através de um botão, em geral localizado na alavanca de mudança de marchas. Neste caso, para o operador efetuar as trocas basta pressionar o botão antes de começar a movimentar a alavanca, soltando-o logo após a seleção da marcha desejada.

Juntando o acionamento eletro-hidráulico da embreagem com o sistema robotizado de troca de marchas, temos a forma mais simples de câmbio automatizado, chamado na língua inglesa de *on the move*, e em espanhol de *cambio en movimiento*. Neste sistema o operador, ao invés de pisar na embreagem e selecionar a marcha desejada, apenas pressiona botões na alavanca/manche, para aumentar ou diminuir as marchas. Ao pulsar o botão, uma unidade eletrônica aciona a embreagem eletro-hidráulica e um atuador hidráulico movimenta as engrenagens para a seleção das marchas. Por possuir uma atuação rápida, quando a carga tracionada não é elevada, se comporta similarmente a um câmbio em carga, não detendo o trator a cada troca de marchas. No entanto, quando



Transmissão de engrenagem deslizante



Transmissão mecânica do tipo sincronizada



Trator com transmissão hidrostática

a carga é elevada, o sistema perde velocidade e pode até parar em cargas máximas de tração, como ocorre nos sistemas mecânicos, pois se interrompe momentaneamente a transmissão de potência às rodas.

O sistema *Hi-Lo*, popularizado no Brasil em meados da década de 1990 em tratores de porte médio, com nomes comerciais de *dual power*, *hi-lo*, *multi-torque*, dentre outros, é um sistema simplificado de câmbio em carga de duas velocidades. O *Hi-Lo* é proveniente da contração dos termos em inglês *high* (alto) e *low* (baixo), e utiliza pacotes de discos acionados hidráulicamente. Por meio do acionamento de um botão é possível realizar a alteração entre duas marchas, passando de uma mais alta para uma mais baixa, e vice-versa, sem parar a transmissão de potência às rodas, permitindo aos operadores superar uma demanda maior de tração, por exemplo ao passar um obstáculo, reduzindo uma marcha sem acionar a embreagem e/ou parar o trator, e retornar à condição inicial pressionando o botão novamente.

Com a presença de pacotes de discos acionados hidráulicamente, as transmissões nos tratores agrícolas passam a ser classificadas como hidrostáticas. Esses pacotes, juntamente com a embreagem principal, são responsáveis pelo direcionamento do movimento e parada do sistema de transmissão, através do princípio de pressão hidrostática e comandos hidráulicos. Chamado de câmbio em carga (*bajo carga*, em espanhol), este sistema torna possível a alteração de velocidade e torque sem a necessidade de parar o trator ou acionar a embreagem.

De forma simples, seu princípio de funcionamento estabelece que, ao efetuar a troca de marchas, enquanto um conjunto de pacotes de discos vai desacoplando de uma marcha, outro conjunto vai acoplando. Assim, cada engrenagem de marchas possui a "sua própria embreagem".

POWERSHIFT

O sistema *Full Powershift* possui pacotes de discos, tanto para seleção das marchas (velocidades) como para alteração dos grupos, permitindo a troca entre todas as combinações com o trator "em carga". Já o sistema *Semi Powershift* possui os pacotes de discos apenas dentro das marchas (velocidades), sendo a troca entre grupos

realizada pressionando a embreagem e movendo a alavanca ou através de uma embreagem automatizada apenas movendo a alavanca seletora (sistema *on the move*). Vale ressaltar que o termo *Powershift* se refere ao fato de não ser necessário o acionamento da embreagem pelo operador durante a troca de marchas.

Em termos práticos, em uma transmissão com quatro velocidades (1-2-3-4) e quatro grupos (A-B-C-D), no sistema *Full Powershift* é possível efetuar a troca da combinação 4A para 1B com o trator "em carga" (transmissão contínua de potência aos rodados), e no sistema *Semi Powershift* deve-se acionar a embreagem para fazer a alteração de grupo, o que pode ocasionar a parada



Transmissão Powershift

ou grande perda de velocidade do trator. Alguns tratores *Semi Powershift* permitem todas as trocas de marchas por botão, e acabam sendo confundidos com modelos *Full Powershift*, no entanto eles são câmbio em carga no regime de velocidades (por exemplo de 2B para 3B), e on the move na troca de grupos (por exemplo de 4B para 1C).

Os tratores agrícolas também podem apresentar sistemas de dupla embreagem, similares aos encontrados em veículos automotores, caminhões e carros de Fórmula 1 (não confundir com a "embreagem dupla" que atua para a caixa de câmbio e TDP). Conta com dois conjuntos de pacotes de discos, onde um conjunto fica no eixo primário (marchas pares), e outro no secundário (marchas ímpares). Essa concepção permite que o trator possua, com apenas dois pacotes de discos, um sistema *Semi Powershift* de oito ou mais velocidades por grupo, ao invés de um pacote de discos para cada marcha (velocidade).

Esta característica construtiva, ao aliar o sistema de câmbio 100% mecânico e o sistema de dupla embreagem (com pacotes de discos), diminui os custos de aquisição e manutenção do sistema de transmissão, e permite que os tratores possuam uma infinidade de marchas em um mesmo grupo. Sistemas de dupla embreagem já são adotados por diversos fabricantes, como a transmissão *Active Drive* da Case IH, *Direct Drive* da John Deere, *Dynamic Command* da New Holland, *Intelli-Shift* da Kubota, dentre outras.

Sistemas modernos de transmissão efetuam o gerenciamento das marchas de forma automatizada. Nestes casos, o operador pode fixar a rotação ou velocidade de trabalho pretendida e o sistema eletrônico gerenciará a transmissão, utilizando os dados vindos da central do motor e dos diversos sensores espalhados no trator, reduzindo ou aumentando automaticamente a marcha de acordo com a carga submetida, propiciando maior eficiência operacional e menor consumo de combustível. O gerenciamento de forma conjunta do motor e transmissão pode receber os mais variados nomes, como por exemplo mapas, estratégias ou gestão, variando de acordo com os fabricantes.

Também advindas do ramo automotivo, diversas comodidades têm equipado os tratores, tanto para melhorar a ergonomia quanto a segurança. O *kick-down* é

uma delas, que ao pisar no fundo do acelerador, a transmissão reduz uma ou mais marchas necessárias para o trator retomar a velocidade o mais rápido possível. Também ao pressionar o freio, com velocidade próxima a parar o trator, o sistema desacopla a embreagem, não sendo necessário pisar na embreagem ou engatar neutro, e ao soltar o freio a embreagem acopla novamente, sendo muito útil em atividades de carregamento ou com concha frontal.

CVT

A transmissão continuamente variável, transmissão CVT, do termo em inglês *Continuously Variable Transmission*, também é uma transmissão hidrostática e tem se tornado cada vez mais presente no mercado brasileiro. Neste tipo de sistema, devido à gestão conjunta do motor e da transmissão, as marchas são inexistentes, ou seja, as relações de transmissão são infinitas e a rotação do motor é alterada de acordo com a necessidade da transmissão em manter constante a velocidade da operação.

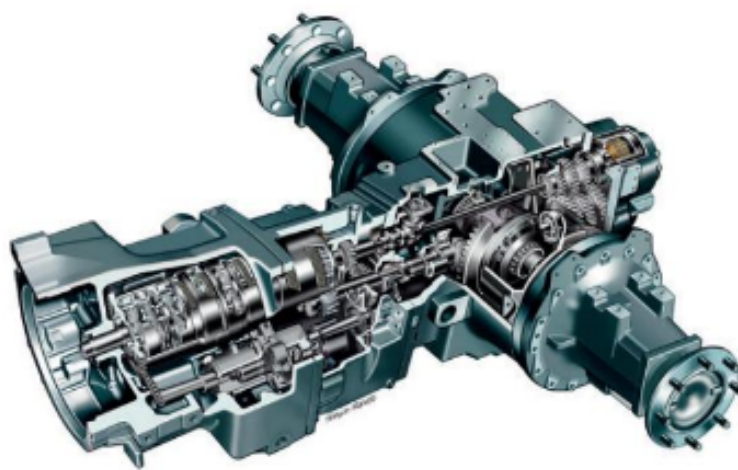
Desta forma, as transmissões CVT oferecem alto potencial de aproveitamento da potência do motor e buscam máxima eficiência trabalhando com rotações menores, velocidades adequadas e menor consumo de combustível. Existem diferentes tipos de transmissões CVT que podem ser classificadas quanto ao fluxo de potência, ao tipo de variador (mecânico e hidráulico) e à natureza dos componentes.

O fluxo de potência é dividido em duas

formas, com divisão ou sem divisão do fluxo. Quando não há divisão (sem ramificação) de potência, a mesma tem somente um trajeto a ser seguido, este tipo é utilizado em colhedoras automotrizes de grãos. E quando há a divisão da potência (ramificadas), dois trajetos fazem parte do sistema, o primeiro consiste em um componente responsável pela "transmissão fixa" (parte mecânica), e o outro é formado pelo "variador" (parte hidrostática), o qual desempenha a função CVT propriamente dita.

Em síntese, a transmissão é um dos componentes dos tratores agrícolas que mais evoluíram nos últimos anos e sua especificação impacta significativamente no custo final do trator. Apesar dos diferentes tipos, o sistema de transmissão deve oferecer ampla variação de marchas e velocidades, adaptar-se às exigências do campo, proporcionar gerenciamento eficiente do conjunto motor/transmissão e, consequentemente, do trabalho. Além disso, observa-se que a utilização da transmissão mecânica diminui com o aumento da faixa de potência dos tratores. O contrário também ocorre, ou seja, a utilização de transmissões hidrostáticas aumenta com o aumento da faixa de potência.

*Rovian Bertinato,
Daniela Herzog,
Leonardo Casali e
José Fernando Schlosser,
Lab. de Agrotecnologia - UFSM*



Transmissão continuamente variável