

Caderno Técnico

Máquinas

Circula encartado na edição Julho / Agosto 2001 - nº 04

Potência

Do motor às rodas



por José Fernando Schlosser,
Universidade de Santa Maria

Você pensa que dinheiro brota do chão? Acertou.



A Massey tem 40 anos de Brasil e a maior rede de assistência técnica do país.

As colheitadeiras MF34 e MF38 enfrentam qualquer colheita, terreno ou clima.

O Datavision II é um computador de bordo que monitora todas as funções da máquina e possibilita alta produtividade com máxima segurança.

Apresenta retrilha independente, para melhor qualidade do grão.

A alta capacidade de armazenamento de grãos promove autonomia e produtividade.

As Plataformas Autolevel se ajustam automaticamente às variações do terreno e permitem uma colheita rente mesmo em solo inclinado.

O sistema de limpeza high-flow com dupla cascata confere grande rendimento com excelente limpeza do grão.

O alto aproveitamento de grãos pode ser conferido nestes dados: rejeio variedade pérola: dano mecânico de 0,2%, perdas de 1,2% e índice de impurezas de 0,15%*.



Colheitadeiras MF34 e MF38.
Máquinas de fazer dinheiro.

SERVÍÇO DE ATENDIMENTO AO PROMOTOR
0800 7044198
LIGACÃO GRATUITA

* Resultados obtidos com umidade de colheita de 16% e produtividade de 2880kg/ha, em máquina MF34 com plataforma de 23 pés a 5km/h. Fazenda Nossa Senhora de Fátima, em Cristalina/GO.





TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

Conheça como se dá esse processo; a partir do motor, passando pela embreagem, caixa de câmbio e transmissão final

O sistema de transmissão de potência dos tratores tem a finalidade de adaptar o motor utilizado aos requerimentos do trabalho agrícola. A fundamentação teórica de uma transmissão de tratores é a alteração de torque e velocidade em função do acoplamento de engrenagens que estiverem unidas no momento. Forma-se uma cadeia cinemática por onde a rotação do motor é reduzida e o torque é ampliado.

No momento atual do projeto dos tratores, este elemento tornou-se a parte mais destacada, pela sua importância funcional e pelo seu preço.

Cada par de engrenagens acoplado, reduzirá, na maioria das vezes, a rotação e ampliará o torque na razão direta dos números de dentes das engrenagens envolvidas. Por uma questão de convenção, forma-se a relação colocando a engrenagem movida (saída) no numerador e a engrenagem motriz (entrada) no denominador, assim a relação geralmente resulta em um número maior que a unidade, sendo assim de redução, o que é comum em tratores:

$$it = \frac{Z_2}{Z_1}$$

it = Relação de transmissão

Z₁ = Número de dentes da engrenagem motora

Z₂ = Número de dentes da engrenagem movida

Multiplicando-se entre si todas as relações entre as engrenagens, se obterá a relação de transmissão total do trator, o que representará a perda total de rotação e o incremento de torque.

Para que seja adaptado à maioria das operações agrícolas um trator deve deslocar-se na faixa compreendida entre 0,8 e 40 km/h. O limite inferior depen-

de de sua aplicabilidade a trabalhos de baixíssima velocidade (Ex.: transplante de mudas com alimentação manual, envaletamento profundo, etc.) e o superior depende basicamente da limitação imposta pela regulamentação de tráfego em estradas imposta pelo país de origem. Dentro do sistema deve ser prevista a possibilidade de conexão e desconexão de engrenagens possibilitando a troca de marchas. Com esta faixa de velocidade utilizada na agricultura são necessárias relações de transmissão (redução) de 500:1 a 30:1.

O torque no eixo onde está presa a roda do trator transforma-se, pela ação da roda (braço) em força de tração.

$$M = F \cdot d$$

M = Torque

F = Força

d = distância de aplicação, raio da roda

A potência do motor do trator, pode transmitir-se:

Aos órgãos que permitem que o trator tracione, arraste e carregue seus implementos;

À tomada de potência para acionar mecanismos das máquinas que o acompanham;

Ao sistema hidráulico que permite operação e controle de implementos;

Para entender a aplicação da potência do motor, deve-se conhecer:

1. Como se transmite a potência dentro do motor;
2. De onde e como se extrai a potência do trator;
3. Como se engatam as diferentes máquinas e como se dispõem no trator.

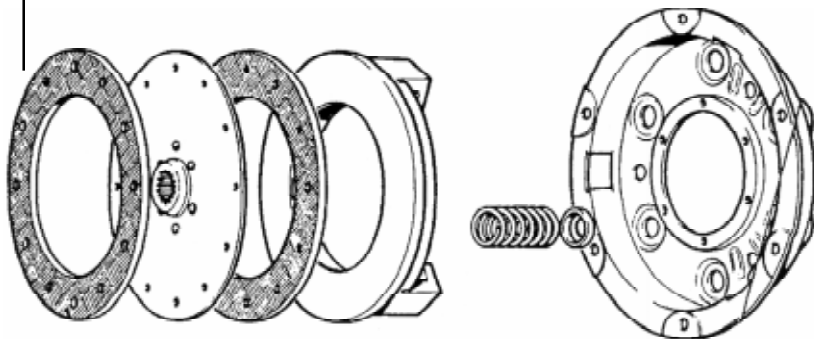
Fundamentação teórica de uma transmissão de tratores é a alteração de torque e velocidade em função do acoplamento de engrenagens que estiverem unidas no momento. Forma-se uma cadeia cinemática por onde a rotação do motor é reduzida e o torque é ampliado

Elementos de desconexão (Embreagem):

É necessária a presença de um elemento de desconexão para que permita conectar ou desconectar, o motor da caixa de câmbio, segundo o controle do operador, pisando ou não, no pedal da embreagem, adaptando, desta forma, o movimento contínuo do motor movimento intervalado e intermitente do trator.

Fig. 01

Embreagem de discos simples (Fonte: material técnico AGCO)



Tipos:

- Monodisco: A seco: um só disco, trabalhando em seco. Ex.: automóveis, tratores (Valmet 138)
- Embreagem dupla: Um disco serve à embreagem e outro à tomada de potência. Ex.: MF 275
- Embreagem de discos múltiplos: vários discos embebidos em óleo. Ex.: MF 5320 e JD 7810.

Quanto à lubrificação:

A seco: O disco funciona em contato direto com o platô e o volante dentro da capa seca, sem contato nenhum com o óleo lubrificante. Ex.: Ford 6610, Valmet 88, maioria dos automóveis e tratores.

Fig. 02

Embreagem de discos duplos. (Fonte: material técnico AGCO)

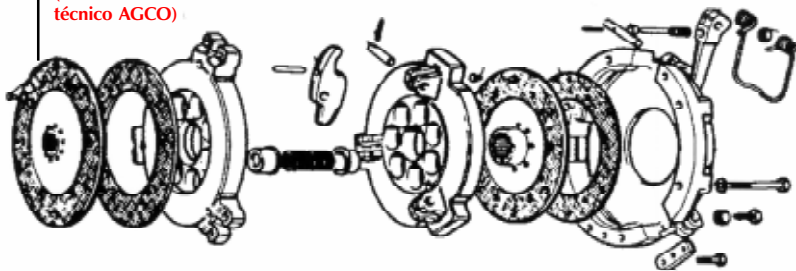
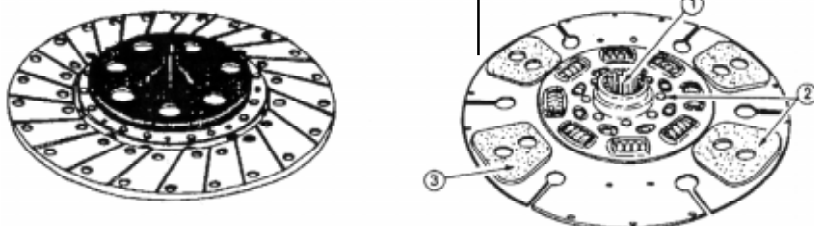


Fig. 03

Discos de embreagem: Comum de material amianto e de pastilhas ceraméticas (1. Estrias, 2. Rebites, 3. Pastilhas ceraméticas) (Fonte: material técnico AGCO)



Úmida: O conjunto funciona dentro do óleo da caixa de transmissão, é mais suave, geralmente tem mais de um disco. Ex.: MF 5320

Caixa de câmbio:

Função:

A caixa de câmbio, colocada logo atrás da embreagem, consiste de uma série de engrenagens que serve para desmultiplicar mais ou menos o movimento de rotação do virabrequim, segundo o controle do operador. Faz a conversão de velocidade em torque.

O que se perde em velocidade se ganha em torque (força).

Tipos de caixas de marchas:

1. Transmissões mecânicas convencionais com pares de engrenagens:

Nesta construção, as engrenagens deslocam-se em eixos com ranhuras para engatarem-se às outras. A velocidade de saída depende do número de pares engatados e do número de dentes das engrenagens.

Partes componentes da caixa de câmbio de uma caixa convencional

Eixo primário: Está ligado ao disco de embreagem, tem o movimento do motor, a não ser que a embreagem esteja acionada.

Eixo intermediário: Dá movimento ao secundário, também chamado "grupo", tem as suas engrenagens fixas.

Eixo secundário: Recebe o movimento do eixo primário (motor), através do eixo intermediário. Está ligado diretamente ao pinhão do diferencial.

Tem as suas engrenagens moveis, que deslizam sobre o eixo, que tem ranhuras no sentido longitudinal. Por isto este eixo é também chamado de entalhado.

A caixa de câmbio pode ser classificada de acordo com o engrenamento em:

Sincronizada: É um mecanismo composto de garfas e pontas que proporciona que o eixo se bloqueie em relação à engrenagem ou a deixe girar independentemente. A marcha pode ser engatada com o trator em movimento, pois anéis próprios acertam a velocidade de giro das engrenagens a serem engatadas. Possui os anéis sincronizadores e os cones de fricção, que são montados nas próprias engrenagens que se vai acoplar. Depois que a velocidade entre as engrenagens seja igualada, a luva que é acionada pelos garfos do trambulador faz o engate das marchas da relação. Ex.: Valmet 88, John Deere 6300 (*Sincroplus*), MF 660 e 680.

Esta sincronização é pouco útil na prática mas bastante confortável. Sua utilidade se resume ao transporte e a movimentação intensa, como é o caso da atividade florestal. Quando se está praticando um

trabalho de alta demanda de tração, o seu uso é difícil, pois a velocidade cai rapidamente no intervalo da troca de marchas. Neste caso a solução é um tipo de transmissão chamada "Câmbio em carga".

O câmbio em carga pode ser:

- Com pares de engrenagens sobre eixos paralelos;
- Com trem epicicloidal (engrenagens planetárias).

Parcialmente sincronizada: A primeira marcha deve ser engatada com o trator parado e as outras podem ser com o trator em movimento.

Seca: A marcha deve ser selecionada antes do início do trabalho segundo critério do operador e se for necessário trocá-la, deve-se parar o trator.

O tipo de caixa *constant mesh* como a tradução do seu nome pode sugerir, é de engrenamento constante, pois as engrenagens estão sempre engatadas aos pares, o que proporciona a união efetiva quando se seleciona uma marcha é o movimento de uma luva deslizante em direção a um cubo que está fixo ao eixo. A luva fica sempre entre dois pares que se quer acoplar e desliza longitudinalmente.

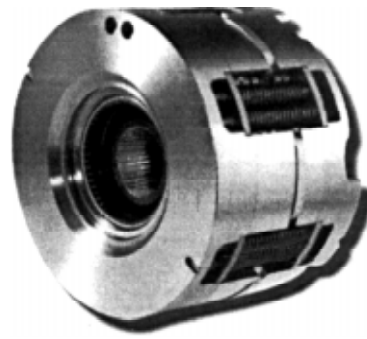


Fig. 06
Pacote de discos de uma transmissão com câmbio em carga (Fonte: Material técnico John Deere)

Funcionamento:

O movimento do motor vem pela embreagem à caixa de mudanças, entrando pelo eixo primário ou eixo piloto, havendo uma engrenagem motora permanentemente ligada à outra movida que está no eixo intermediário. A árvore secundária (entalhado) tem suas engrenagens móveis, podendo correr ao longo do eixo e conforme o seu deslocamento longitudinal podem acoplar-se ou não ao eixo da árvore intermediária ou "grupo". O deslocamento das engrenagens no entalhado é obtido por garfos ligados diretamente à alavanca por meio do trambulador.

O trator tem geralmente um número maior de marchas que o automóvel porque a velocidade de deslocamento é dada, no trator, pela caixa de câmbio e não pelo acelerador, como no automóvel.

As sobrecargas momentâneas são compensadas pela bomba injetora e não pela mudança da posição do acelerador, como nos automóveis.

Condições de engrenamento das marchas:

O acoplamento das marchas só ocorre se forem satisfeitas duas condições:

- 1) As duas engrenagens devem estar paradas.
- 2) As duas engrenagens devem estar girando a mesma velocidade (Velocidade relativa entre ambas igual a zero).

A primeira condição se consegue com o trator parado, em ponto morto com o motor funcionando ou em qualquer condição com o motor desligado. A segunda condição ocorre quando houver presença de sincronizadores ou a habilidade do operador propiciam que as engrenagens girem a mesma velocidade (velocidade relativa zero), por meio do acerto da velocidade (rotação) do motor (eixo primário) e do eixo secundário (rodas).

Os sincronizadores são anéis que fazem com que as engrenagens girem a mesma velocidade. Só existem nas caixas sincronizadas ou parcialmente sincronizadas.

Sistema de alta e baixa:

A maioria dos tratores tem um sistema de velocidade agrupada em dois ou mais conjuntos, baixa ou reduzida e alta ou direta. Isto pode ser feito pela união de duas caixas ou pela introdução de engrenagens de diâmetro diferente na união entre o eixo primário e o intermediário (dispositivo de mudança de regime).

Modernamente as transmissões mecânicas com pares de engrenagens já não tem a predominância surgindo nos tratores mais recentes a adoção de outros dois tipos que são:

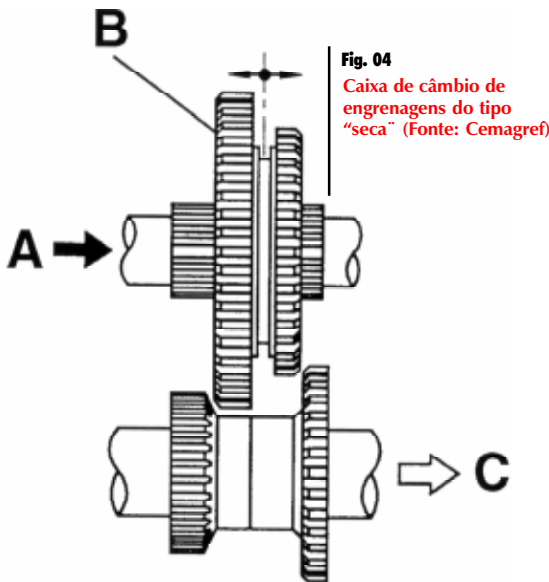


Fig. 04
Caixa de câmbio de engrenagens do tipo "seca" (Fonte: Cemagref)

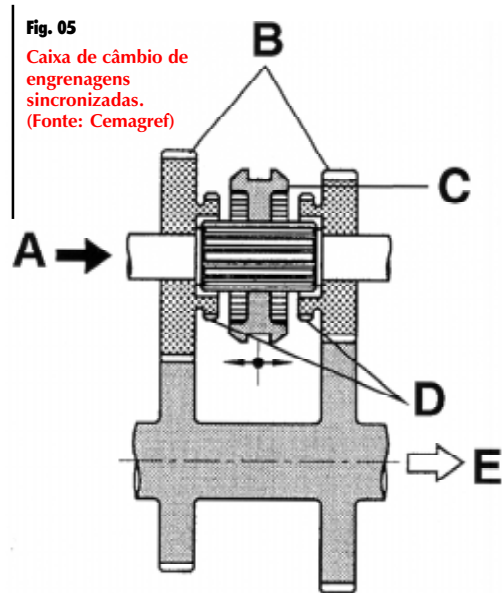


Fig. 05
Caixa de câmbio de engrenagens sincronizadas. (Fonte: Cemagref)

A maioria dos tratores tem um sistema de velocidade agrupada em dois ou mais conjuntos, baixa ou reduzida e alta ou direta. Isto pode ser feito pela união de duas caixas ou pela introdução de engrenagens de diâmetro diferente na união entre o eixo primário e o intermediário (dispositivo de mudança de regime)

1. Transmissões hidrostáticas ou semi automáticas (câmbio em carga):

O chamado câmbio em carga é o primeiro estágio de automatização da caixa de transmissão dos tratores agrícolas. Esse sistema torna possível a redução da velocidade e conseqüente ampliação do torque sem a necessidade de parar o trator (caixas secas) ou pisar a embreagem (caixa sincronizada). Mesmo porque nas caixas chamadas sincronizadas a troca de marchas, em trabalho, muitas vezes leva à imobilização imediata do trator, invalidando essa tecnologia.

Como exemplo de câmbio em carga, poderíamos citar todas as transmissões que incorporam pacotes de discos acionados eletro-hidraulicamente por um interruptor na alavanca de mudança de marcha, conhecidos, segundo a marca a que pertencem, como Dual power, hi-lo, multi-torque, power shift, etc. Também há exemplos no Brasil de transmissões integralmente baseadas neste sistema como a transmissão *Powrquad* da John Deere que é composta por conjuntos de engrenagens epi-

cicloidais comandadas por embreagens e freios hidráulicos com um inversor. É dividida em quatro grupos, com três marchas e o inversor que somente divide a caixa em ré e marcha para frente. Todas as trocas de marchas dentro e fora dos grupos podem ser trocadas sem o uso de embreagem. Outro exemplo de câmbio em carga integral é o existente na linha Case de tratores, vendida no Brasil.

As configurações de câmbios hidrostáticos que se utilizam em tratores agrícolas, são baseadas em pacotes de discos que formam embreagens que direcionam o movimento da potência e do torque diferentemente dentro da caixa de marchas. Como no exemplo da transmissão do trator Case da série 8900, comercializado no Brasil, apresentado na figura 7, há 18 velocidades em uma configuração denominada powershift em que não há necessidade de uso da embreagem e com pequenas alterações de movimento do trator, como ocorre em embreagens comuns. As engrenagens são agrupadas de modo a receber o movimento pela ação de dois pacotes de discos (Embreagens).

Esse sistema torna possível a redução da velocidade e conseqüente ampliação do torque sem a necessidade de parar o trator (caixas secas) ou pisar a embreagem (caixa sincronizada)

Trator Case Internacional - série 7100 Magnum

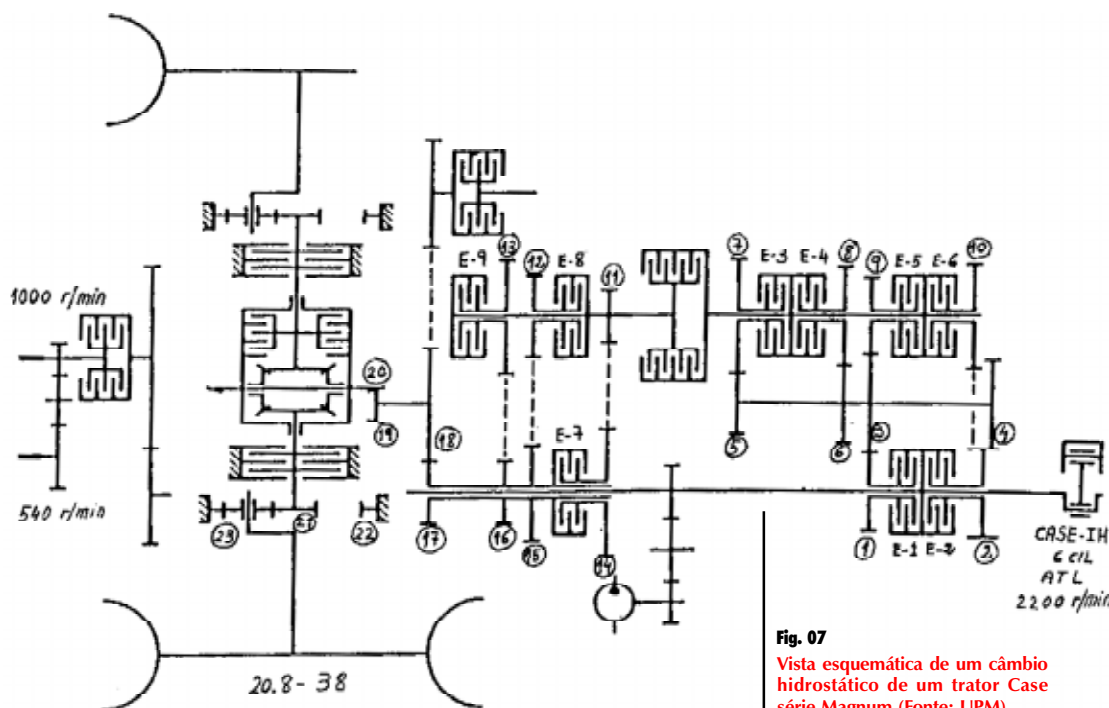


Fig. 07

Vista esquemática de um câmbio hidrostático de um trator Case série Magnum (Fonte: UPM)

Explicação do sistema:

Para entender este tipo de construção mecânica, devemos visualizar este esquema a partir dos dois pacotes de discos, as chamadas embreagens (E-1 e E-2) colocadas entres dois pares de engrenagens (P-1, P-2, P-3 e P-4). Neste esquema se pode entender os dois caminhos possíveis que são:

- Eixo de entrada girando a mesma velocidade do eixo de saída, e;
- Eixo de saída girando a uma menor velocidade que o eixo de entrada.

No primeiro caso, em que os dois eixos giram a mesma velocidade, corresponde à marcha direta, ou à situação em que o powershift não está acionado. Na prática muitas vezes é o caso em que o botão da alavanca não está pressionado, nos sistemas em que usa este dispositivo. Por exem-

plo, o sistema dualpower da NewHolland e o sistema recentemente lançado na linha 5000 de Massey Ferguson com uma só alavanca e 16 velocidades. Em outros sistemas como a Case e John Deere esse sistema utiliza alavanca normal que altera o funcionamento destas embreagens. Para que o primeiro caso ocorra, a embreagem E-1 deve estar atuante e assim o movimento passa direto ao eixo de saída por dentro de um colar colocado depois da segunda embreagem. Embreagem atuante quer dizer que por meio de fluido hidráulico os discos são pressionados fazendo com que todo o conjunto gire solidariamente. Neste caso, se a velocidade de entrada é de 2000 rpm a saída será com a mesma rotação.

No caso do acionamento do sistema, quer dizer "powershift" acionado, botão apertado, o mo-

vimento entra pelo eixo 1, sofre a interrupção na primeira embreagem, E-1, e se obriga a passar pelos pares de engrenagens que estão ligados ao sistema, ligando-se na saída pelo colar que está colocado depois da segunda embreagem (E-2), que está acionada, dando a possibilidade de que o eixo de saída gire a menor velocidade que o de entrada, proporcionando maior torque, isto é, maior disponibilidade de força na roda motriz. Assim, um tratorista, ao encontrar uma situação desfavorável no campo onde o trator “apanha”, aciona o sistema e este possuindo maior torque, vence a sobrecarga. A redução se dá porque há uma relação de redução como se pode ver no exemplo.

- P-1: 18 dentes
- P-2: 36 dentes
- P-3: 33 dentes
- P-4: 21 dentes

Calculando a redução:

$$it = 36/18 \cdot 21/33 = 1,2727$$

$$w2 = w1/1,2727$$

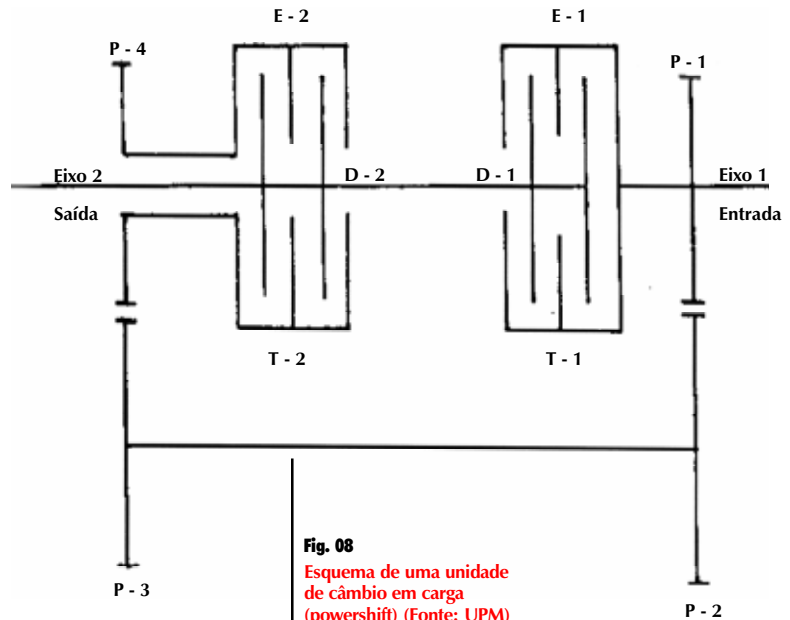
$$w2 = 2000 \text{ rpm}/1,2727 = 1571,46 \text{ rpm}$$

Interpretando este exemplo, pode-se ver que o fato que utilizar esse tipo de dispositivo há a possibilidade de reduzir 27,27% a velocidade de um movimento, ampliando o torque, com um simples sistema de acionamento hidráulico.

Esse sistema representado na figura 9 é utilizado nos tratores de linha SLC-John Deere, que vêm equipados com transmissão do tipo Powrquad, que é de linha nos modelos maiores e opcionais nos modelos menores.

Consiste de um câmbio em carga, isto é, não necessita o acionamento de embreagem para a troca das marchas, baseado em uma unidade powershift colocada na entrada da caixa de câmbio. Os números colocados ao lado das engrenagens representam a quantidade de dentes. As quatro marchas são agrupadas em seis grupos (marchas sincronizadas) possibilitando um total de 24 marchas para frente e outras 24 para trás, por meio de um inversor assistido com posição de ponto morto. Há ainda outros esquemas para 16 e 20 marchas com alteração apenas do número de grupos.

Como se havia dito antes, a unidade de powershift está colocada na entrada da transmissão, local onde o torque é menor, proporcionando assim uma maior suavidade de engate das marchas. Se de outra forma se coloca esta unidade na saída, o torque aí é muito alto, proporcionando “trancos” desnecessários quando se troca a marcha.



2. Transmissões hidrodinâmicas:

As transmissões hidrodinâmicas são mais difíceis de ser encontradas que as demais e não equipam tratores agrícolas brasileiros. Também conhecidas com transmissões hidráulicas. Como o trabalho do trator envolve utilizações de grandes torques, este tipo de transmissão se torna ineficiente.

Projeto e dimensionamento de uma caixa de câmbio:

Quando um projetista realiza um projeto de uma caixa de câmbios de um trator, ele deve levar em conta vários fatores:

- As velocidades de deslocamento devem ser dentro da faixa de 1 a 40 km/h.
- Quanto maior o número de marchas maior a possibilidade de encontrar uma velocidade adequada ao trabalho.
- A necessidade de marchas e velocidades depende do tipo de trabalho que o trator vai executar.
- O número de marchas e suas relações dependem do esforço de tração e velocidade das operações típicas.
- O escalonamento deve proporcionar a divisão em faixas (tabela abaixo):

Assim obrigatoriamente deve alcançar de 2,0 a 30 km/h. Marquez (1990) recomenda que de uma marcha para outra não deve superar 25% a mais de torque. Uma percentagem de 30% de ampliação de torque faria com que a diferença entre velocidades fosse demasiado grande e menos de 18% deixaria as marchas com diferenças de velocidade insignificantes.

Transmissões hidrodinâmicas são mais difíceis de ser encontradas que as demais e não equipam tratores agrícolas brasileiros. Também conhecidas com transmissões hidráulicas. Como o trabalho do trator envolve utilizações de grandes torques, este tipo de transmissão se torna ineficiente

- 0,8 a 2,5 km/h
- 2,0 a 6,0 km/h
- 5,0 a 12 km/h
- 10 a 40 km/h

- Trabalhos lentos como transplante, envaletamento. Não há necessidade de mais de duas outras marchas. É opcional.
- Trabalho de preparo do solo. Grupo que deve contar o maior número de opções.
- Trabalho de preparo secundário do solo, semeadura, aplicação de produtos químicos, etc.
- Operações de transporte interno e em estrada. Em alguns países pode ser limitado em 30 km/h.



Fig. 09
 Transmissão hidrodinâmica PowrQuad da linha John Deere (Fonte: Material técnico John Deere)

Assim, um câmbio estará bem escalonado se,

$$\frac{V_{mc}}{V_{ml}} = 0,80 \text{ a } 0,85$$

V_{mc} = Velocidade da marcha mais curta
 V_{ml} = Velocidade da marcha mais longa

Número de velocidades(marchas):

Na década de 60, o normal era um trator ter seis marchas, posteriormente, a partir de 1970, oito e doze velocidades era o número que se esperava nos projetos novos e atualmente a maioria dos tratores têm entre 12 e 36 velocidades, com predominância para os tratores de 12 e 16 marchas, com uma tendência de aumento para a próxima década.

O número de velocidades varia com o modelo e marca do trator, e depende da aplicação que se espera do trator. Quanto mais velocidades compuserem uma caixa de transmissão, mais fácil a adaptação deste veículo aos diferentes trabalhos exigidos pelos sistemas agrícolas. Quanto mais específica for a aplicação do trator menor a sua exigência em número de velocidades. Como exemplos de transmissões utilizadas em algumas marcas de tratores, podemos citar (tabela).

A vantagem de um câmbio com muitas marchas é que torna possível trabalhar na velocidade exata que a operação requer, proporcionando qualidade de trabalho e economia de combustível. Como desvantagens se pode relacionar o maior custo, a maior possibilidade de erro na seleção da marcha e a necessidade de treinamento do operador. Os sistemas de monitoramento eletrônico tão comuns nos tratores estrangeiros, podem vir a solucionar parcialmente a dificuldade encontrada pelo operador no momento da escolha da marcha adequada.

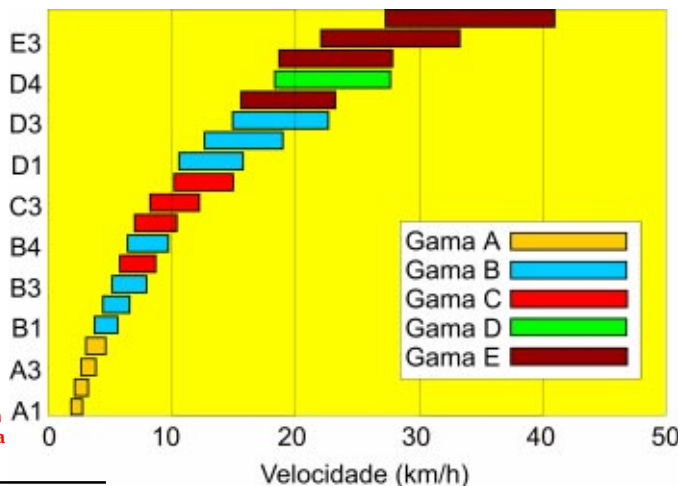
A questão da marcha à ré é simples, para operações agrícolas, bastaria uma caixa com uma ré em reduzida e outra em direta, ao passo que operações com árvores, como é o caso da exploração florestal e em pomares de árvores frutíferas pode haver a necessidade de um número igual de marchas a frente e para trás. Também a recente introdução dos sistema de engate frontal obriga que o trator tenha o mesmo número de marchas para trás e para frente. Assim a utilização dos inversores sincronizados passa a ser uma opção cada vez mais freqüente nos modelos modernos.

Diferencial:

Função:

- Transmitir potência do motor às rodas motrizes, de acordo com a seleção feita na caixa de câmbio.
- Mudar o sentido do movimento em 90 graus.
- Distribuir a rotação entre as rodas motrizes:
 - igual: linha reta
 - desigual: curvas
- Promover mais uma redução de velocidade e ampliação do torque.

Fig. 10
 Escalonamento de marchas de um trator com 20 velocidades, com quatro marchas em 5 grupos. (Fonte: Revista Agrotécnica)



| MARCA | TIPO | Nº DE MARCHAS | ARRANJO |
|-----------------|--|--|---|
| John Deere | Sincronizada | 9 marchas à frente e 3 a ré 3 x 3 | Dois alavancas: Uma seleciona grupos (3) e a outra as velocidades (3) |
| | Câmbio em carga | 16 marchas à frente e 16 à ré 4 x 4 | Três alavancas: Uma seleciona grupos (4), outra as velocidades (4) e a outra o inversor |
| Massey Ferguson | Seca | 8 marchas à frente duas à ré 4 x 2 | Dois alavancas: Uma seleciona velocidades (4) e a outra os grupos (2) |
| | Seca | 12 velocidades à frente e 4 a ré 3 x 2 x 2 | Três alavancas: Uma de velocidades (3), uma de grupo de redução (2) e outra de regime (2) |
| | Engrenamento constante ou sincronizada | 12 marchas à frente e 4 à ré 3 x 4 | Dois alavancas: uma de velocidades (3) e a outra composta pelos grupos (2+2) |
| | Câmbio em carga | 18 velocidades à frente e 3 à ré | Uma alavanca agrupando as velocidades (3) os grupos (3) e um botão para acionamento do <i>power shift</i> |
| New Holland | Sincronizada | 12 velocidades à frente e 4 à ré 4 x 3 | Dois alavancas: Uma de velocidades (4) e outra de grupos (3) |
| | Sincronizada com inversor | 12 velocidades à frente e 12 à ré 4 x 3 | Três alavancas: uma de velocidades (4) e outra de grupos (3) com outra de inversão |
| | Sincronizada com super-redutor | 20 velocidades à frente e 4 à ré (4 x 3) + (2 x 4) | Três alavancas: uma de velocidades (4) e outra de grupos (3) com outra do super-redutor |
| | Câmbio em carga | 24 velocidades à frente e 12 à ré 4 x 3 x 2 | Dois alavancas: um de velocidades (4) outra de grupos (3) e um botão para o acionamento do <i>power shift</i> |

Partes

- 1) **Pinhão:** engrenagem cônica que traz o movimento da caixa de câmbio (eixo secundário);
- 2) **Coroa:** impulsiona pelo pinhão, juntos fazem redução movimento;
- 3) **Carcaca da coroa:** Caixa cilíndrica presa à coroa, contendo no seu interior as satélites e planetárias;
- 4) **Satélites:** tem seu eixo de giro montado na carcaça da coroa;
- 5) **Planetárias:** são engrenagens montadas nos extremos dos semi-eixos das rodas.

Funcionamento:

Quando o trator está se deslocando em linha reta, as rodas giram a uma mesma rotação. As planetárias giram com a mesma velocidade da carcaça e da coroa. As satélites estão em movimento de translação junto com a carcaça. Se o trator está fazendo uma curva, as rodas giram com rotação diferente. A de dentro gira menos e a de fora mais porque tem que compensar o raio maior do arco a percorrer. A planetária que aciona a satélite e a roda do lado externo giram com velocidade maior que a carcaça do diferencial. Essa diferença se dá graças ao movimento de rotação dos satélites em torno do seu eixo comum.

Em um diferencial, valem as seguintes relações:
Quando o trator está se deslocando em linha reta:

$$M_c = M_{se1} + M_{se2}$$

$$V_{se1} = V_{se2}$$

Quando o trator realiza uma curva:

$$V_{se1} \neq V_{se2}$$

Quando uma roda está freada:

$$V_{se1} = 0 \therefore V_{se2} \text{ max}$$

A velocidade da coroa do diferencial é dada por:

$$\frac{V_{se}}{V_c} = V_c$$

- M_c = Torque na coroa
- M_{se} = Torque no semi-eixo
- V_{se} = Velocidade do semi-eixo
- V_c = Velocidade da coroa

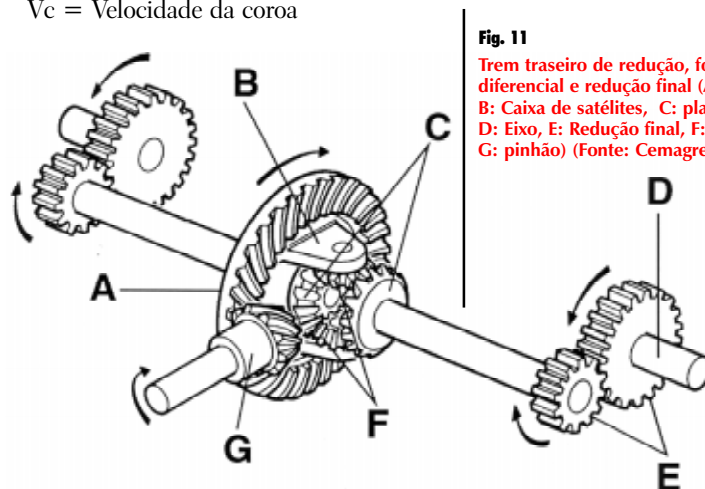


Fig. 11
Trem traseiro de redução, formado pelo diferencial e redução final (A: Coroa, B: Caixa de satélites, C: planetárias, D: Eixo, E: Redução final, F: satélites, G: pinhão) (Fonte: Cemagref)

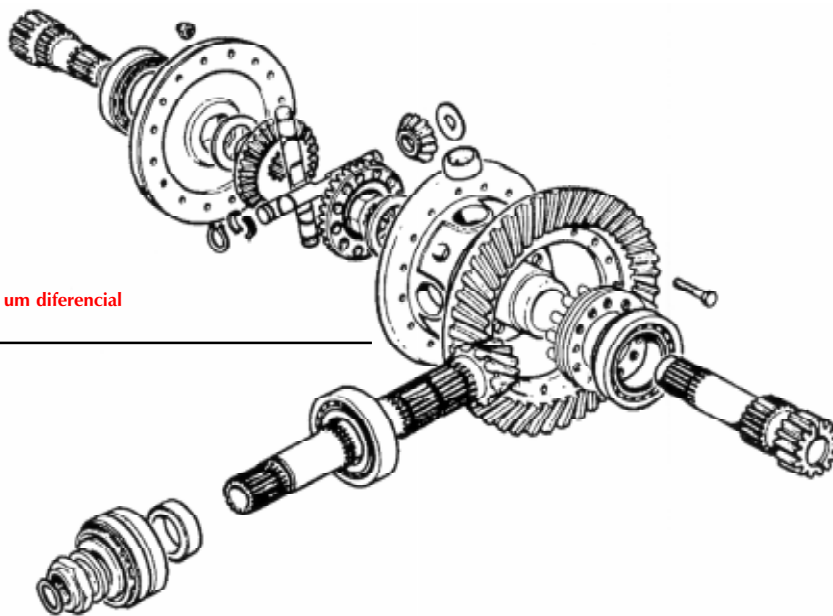


Fig. 12
Vista explodida de um diferencial
(Fonte: Cemagref)

Bloqueio do diferencial

As desvantagens do diferencial são o funcionamento deficiente, em solos com teor de umidade desuniforme, provocando patinamento desigual entre as rodas, quando o diferencial atua como se estivesse fazendo uma curva. Igual situação ocorre quando o trator está trabalhando com uma das rodas dentro do sulco, na aração, assim o diferencial permanece atuando durante todo o tempo do trabalho. Em função disso se estabeleceu uma previsão de acionamento de um dispositivo que interrompesse a ação do diferencial, que é o chamado bloqueio. É um dispositivo que bloqueia o movimento da caixa de satélites, impedindo a ação do diferencial. Ele é aplicado toda a vez que se quiser rotações iguais para ambas as rodas, como é o caso de atolamento do trator, onde a roda que está em terreno úmido demais gira e a que está em terreno seco fica parada. O bloqueio divide a rotação, igualando rotações para cada lado, desatolando o trator. Nesta situação de bloqueio aplicado não se deve fazer curvas, porque danificaria o diferencial.

Nos tratores nacionais o bloqueio geralmente é feito pelo acionamento de uma alavanca ao alcance do

operador e o desbloqueio é automático. Ter que parar para acionar o bloqueio é uma das desvantagens do sistema, que não tem mecanismo sincronizador. Atualmente já se está desenvolvendo dispositivos de bloqueio acionados eletronicamente, utilizando sensores de velocidades nas engrenagens planetárias.

Redução Final:

São sistemas de engrenagens situadas na saída dos semi-eixos e entradas para as rodas e que reduzem ainda mais o movimento que vem do diferencial, possibilitando maior torque e cada vez menos velocidade. A redução da velocidade e ampliação do torque geralmente é da razão de 5:1. Podem ser:

- Engrenagens cilíndricas, dentes paralelos.
- Engrenagens epicicloidais.

*José Fernando Schollosser,
Universidade de Santa Maria*

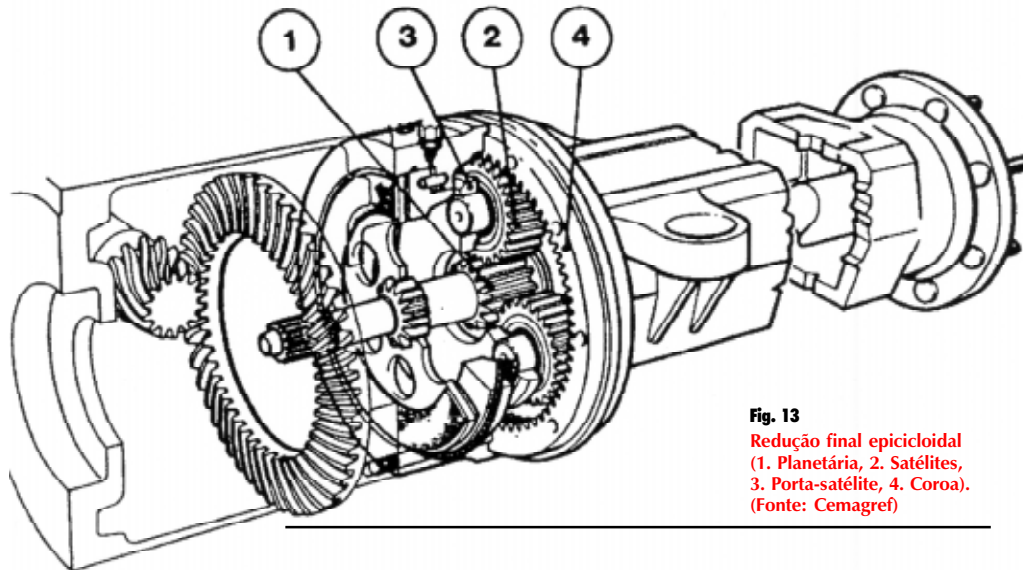


Fig. 13
Redução final epicicloidal
(1. Planetária, 2. Satélites,
3. Porta-satélite, 4. Coroa).
(Fonte: Cemagref)

Nos tratores nacionais o bloqueio geralmente é feito pelo acionamento de uma alavanca ao alcance do operador e o desbloqueio é automático. Ter que parar para acionar o bloqueio é uma das desvantagens do sistema, que não tem mecanismo sincronizador