



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

ESTUDO DO FUNCIONAMENTO DE UMA CAIXA DE TRANSMISSÃO E SEUS COMPONENTES

Fernanda Leite, José Carlos Teles, Douglas Ferreira, Israel A. M. Lima e Carla T. M. Anflor
UnB, Universidade de Brasília, Curso de Engenharia Automotiva
Campus Gama - Gama - 72405610 – Gama – Distrito Federal
E-mail para correspondência: anflor@unb.br

Introdução

O sistema de transmissão é o conjunto de elementos que garantem a transmissão de potência do motor para os diferentes mecanismos a serem utilizados (Ribas *et al.*, 2010). As caixas de marcha são constituídas basicamente por árvores de engrenagens que formam os chamados trens de engrenagens. São sistemas amplamente empregados em máquinas e veículos com função de estabelecer diversas relações entre a rotação e o torque de entrada e de saída do sistema.

Os motores à combustão interna, que funcionam tanto movidos à gasolina quanto a diesel, possuem um regime ótimo de operação, ou seja, possuem uma faixa de rotação ideal de trabalho que proporciona um funcionamento mais eficiente. As diferentes relações de transmissão proporcionadas pela caixa de marchas permite que o motor opere dentro da faixa ótima de rotação estabelecida e sejam possíveis diferentes combinações entre torque e rotação na saída do sistema (Pulkrabek).

Parte das caixas de marchas faz uso das engrenagens como componente redutor devido sua eficiência e sincronismo, porém outros elementos, como polias, também podem ser utilizadas. As relações de transmissão são obtidas através dos diferentes arranjos de acoplamentos entre estes elementos. O número de marchas existentes em um veículo determina o número de relações diferentes que este possui.

As transmissões veiculares podem ser apresentadas basicamente em quatro formas: manual, automatizada ou semi-automática, automática e as chamadas transmissões continuamente variáveis (CVT - *Continuously Variable Transmission*) (Nahunheimer *et al.*, 2011). A transmissão manual é feita através do acionamento mecânico do pedal da embreagem, que faz com que o sincronizador seja desacoplado da engrenagem e seja acoplado a engrenagem referente a marcha escolhida pelo condutor. A transmissão automatizada dispensa o uso do pedal de embreagem e a troca de marcha pode ser feita através de uma alavanca tradicional ou com o acionamento de botões de forma sequencial. A transmissão automática não faz uso nem de pedal de embreagem e nem precisam que o condutor realize a troca de marcha através do acionamento de um dispositivo, sendo este realizado de forma automática. A vantagem das transmissões automáticas, além de reduzir o trabalho do condutor, são que estas melhoram o desempenho do veículo, pois a troca de marcha é realizada em um momento ótimo e podem chegar até a reduzir o consumo de combustível.

As transmissões CVT's funcionam com um sistema de polias substituindo os trens de engrenagens, que permitem infinitas variações de relações de transmissão. Esta tecnologia apresentou aplicação inicial em sistemas de transmissão de automóveis trazendo como benefício a suave transição entre as relações, reduzindo a fadiga de componentes mecânicos e o aumento do rendimento do motor. Após o sucesso do uso da transmissão CVT em veículos automotivos, diversos trabalhos citam diferentes aplicações para seu uso. Uma aplicação consiste em sua utilização em geradores eólicos de velocidade variável, proporcionando o aumento da faixa de rotação do rotor aerodinâmico (Ribeiro, 2010).

Apesar das diferentes tecnologias de transmissão apresentadas, muitos motoristas ainda optam pela utilização da transmissão manual por deterem o controle do momento das trocas de marchas e por resultarem em um automóvel de valor mais econômico. As engrenagens são componentes mecânicos utilizados para transmitir movimento e potência entre eixos. Elas podem ser classificadas basicamente em cilíndricas de dentes retos, helicoidais, cônicas e sem-fim.

Devido a constante busca por melhorias no desempenho de máquinas e componentes mecânicos, diversos trabalhos têm explorado o estudo de engrenagens. Um dos trabalhos realizados em engrenagens referem-se à otimização de topologia, na qual consiste, neste caso na redução de peso e no alívio de tensões

sem que ocorra perda na eficiência estrutural (Oberg *et al.*,2012). A Fig. 1 compara duas topologias, uma concebida através da aplicação de algoritmos genéticos (a) e a outra resultante de uma adaptação para a fabricação da engrenagem otimizada (b).

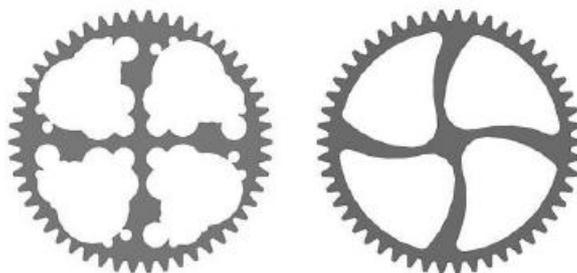


Figura 1 - Comparativo de engrenagens.

Este trabalho contempla o estudo do funcionamento de uma caixa de transmissão de um veículo automotivo, identificação e caracterização de seus componentes, identificação das marchas e determinação das relações de transmissão das marchas e do diferencial.

Objetivo

O presente trabalho possui o objetivo de estudar o funcionamento de uma caixa de transmissão de um veículo e seus respectivos componentes, caracterizar os tipos de engrenagens presentes, determinar o número de marchas e as relações de transmissão das mesmas e do diferencial.

Metodologia

Funcionamento de uma caixa de transmissão

A caixa de transmissão possui um eixo primário, proveniente do motor, e um eixo secundário de transmissão. As engrenagens dos eixos primários e secundários encontram-se acopladas. As engrenagens do eixo primário são solidárias ao eixo enquanto que as engrenagens do eixo secundário não são.

Ao acionar a embreagem e selecionar uma marcha através do câmbio, o sincronizador referente à marcha selecionada acopla-se a engrenagem referente à marcha no eixo primário. Os sincronizadores são solidários ao eixo e normalmente um sincronizador atua em duas engrenagens. O movimento do eixo primário é transferido através do acoplamento das engrenagens ao eixo secundário. Existe uma engrenagem no eixo secundário está sempre solidária a uma engrenagem situada em um terceiro eixo que transmite o movimento para o diferencial fazendo com que a rotação do motor seja transferida para as rodas do veículo.

A Figura 2 apresenta os componentes de acionamento das marchas em um veículo.

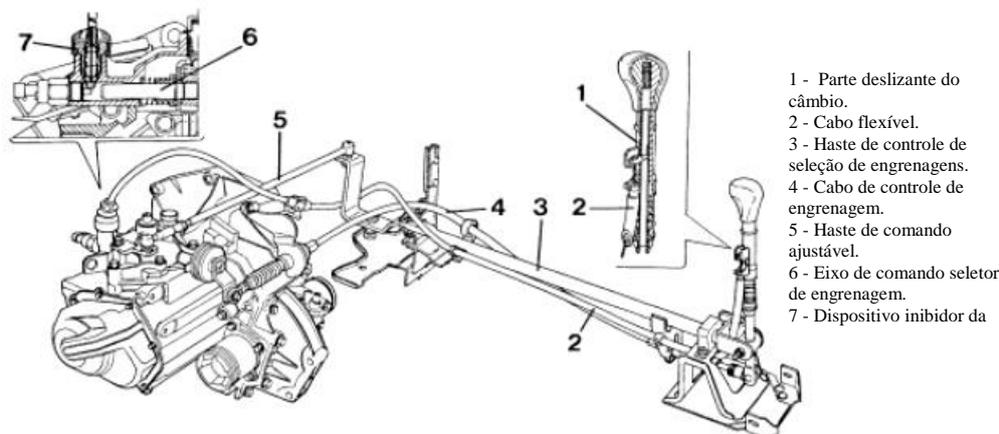


Figura 2 - Esquema de acionamento de marchas. Fonte: Fiat Uno: Service and Repair Manual.

Caracterização da caixa de transmissão em estudo

Para realizar este trabalho foi adquirida uma caixa de transmissão, a qual passou por um processo de usinagem no laboratório de processos de fabricação da Universidade de Brasília - Faculdade do Gama. A fresagem foi realizada em dois locais para que fosse possível a visualização do seu interior da . Após esta etapa, a caixa de transmissão foi parcialmente desmontada, sendo mantida a montagem original dos eixos e engrenagens, conforme pode ser observado na Fig. 3.

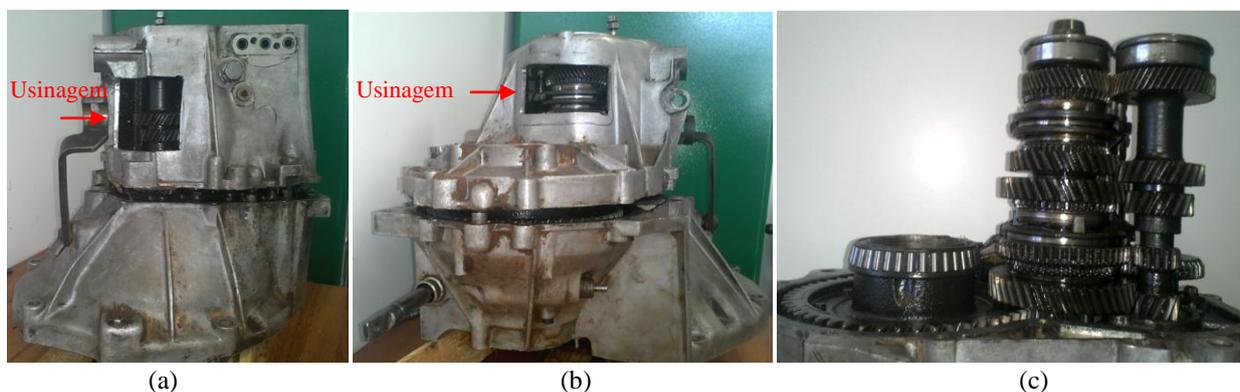


Figura 3 – Detalhe da caixa de transmissão: (a) visualização árvore primária, (b) visualização da árvore secundária e (c) sistema de transmissão.

Foram identificados três tipos de engrenagens nesta caixa de transmissão: as de dentes retos, helicoidais e cônicas. As engrenagens de dentes retos são empregadas para transmitir movimento entre dois eixos paralelos, são as mais simples e mais ruidosas. As engrenagens helicoidais apresentam dentes inclinados em relação ao eixo de rotação. Este tipo de engrenagem possui a mesma aplicação que as de dentes retos, porém são menos ruidosas devido ao engranzamento mais gradual. As engrenagens cônicas possuem aplicação em transmissão de movimento entre eixos que se interceptam (Shigley *et al.*, 2005).

A caixa de transmissão em estudo possui três engrenagens de dentes retos (engrenagens 4,9 e 13), oito helicoidais (engrenagens 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 e 10) e duas cônicas (engrenagens 11 e 12). A ré faz uso das engrenagens de dentes retos e as engrenagens cônicas transmitem movimento do eixo secundário para o eixo do diferencial e estão sempre engranzadas. A Fig. 4 apresenta um esquema com os eixos e as engrenagens da caixa de transmissão.

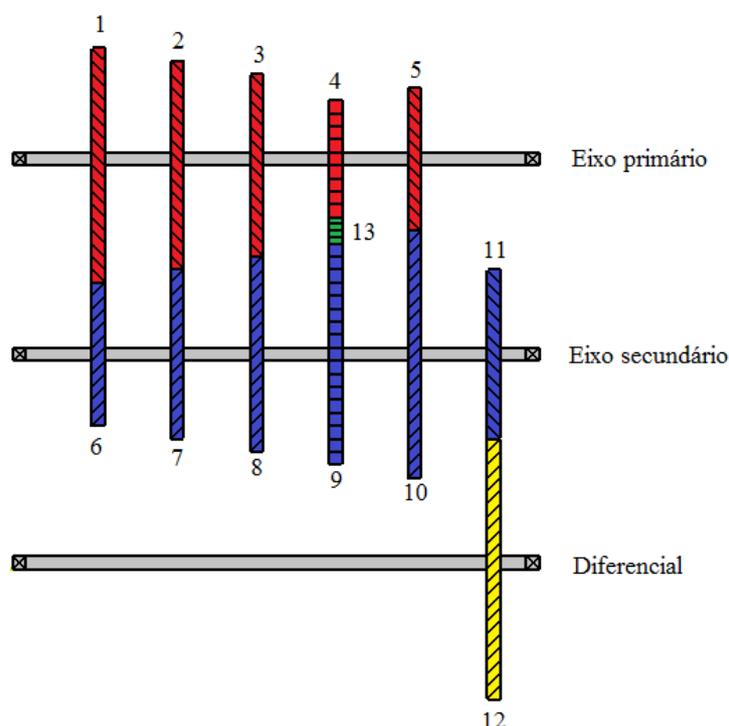


Figura 4 – Esquema do trem de engrenagens da caixa de transmissão.

Se duas engrenagens estão engranzadas, estas movimentam-se solidariamente, sem que ocorra escorregamento. Sendo R_1 e R_2 os raios primitivos de duas engrenagens, ω_1 e ω_2 as velocidades angulares e N_1 e N_2 o número de dentes das mesmas, têm-se a seguinte relação (Shigley *et al.*, 2005):

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (1)$$

As relações de transmissão das marchas foram obtidas a partir da contagem dos dentes das engrenagens dos eixos primário e secundário, e posteriormente calculadas através da Eq. (1). Os valores obtidos para as relações foram comparados com dados de modelos automotivos comerciais. A partir das relações de transmissão obtidas e do perfil da roda do veículo é possível calcular a velocidade que o veículo atinge de acordo com a rotação de entrada do sistema. Sendo ω_1 a rotação do motor (entrada do sistema), ω_2 a rotação de saída do sistema no diferencial, $\frac{N_2}{N_1}$ a relação de transmissão de uma marcha e $\frac{N_{12}}{N_{11}}$ a relação de transmissão do diferencial, pode-se calcular a rotação de saída do sistema:

$$\omega_2 = \frac{N_{12} N_2}{N_{11} N_1} \omega_1 \quad (2)$$

A velocidade linear do veículo depende do perfil do pneu do mesmo. Utilizando um pneu 175/70 R13, obtém-se a velocidade linear do veículo V , a partir da Eq. (3):

$$V = \omega_2' * R \quad (3)$$

sendo ω_2' a velocidade angular de saída do sistema em radianos/segundos e R o raio do pneu do veículo. Variando a rotação do veículo de zero a 7000 RPM obteve-se o gráfico de velocidade linear do veículo.

(PORQUE DE 7000 RPM?)

Resultados

A Tabela 1 contém os números de dentes de cada engrenagem presente na caixa de transmissão e a relação de transmissão de cada marcha.

Tabela 1 – Relação de transmissão.

Marcha	Eixo	Número de dentes	Relação de transmissão
1ª	Primário	11	4,0909
	Secundário	45	
2ª	Primário	17	2,2353
	Secundário	38	
3ª	Primário	22	1,4545
	Secundário	32	
4ª	Primário	49	0,9592
	Secundário	47	
Ré	Primário	14	3,7143
	Secundário	52	
Diferencial	Secundário	12	4,4167
	Diferencial	53	

O gráfico apresenta a variação de velocidade linear do veículo com a variação de rotação de entrada do sistema (rotação do motor) para cada uma das marchas quando exigidas ao seu máximo de rotação. É possível verificar que para a primeira marcha atingir aproximadamente 40 km/h seria necessário 7000 RPM. As curvas de velocidade do veículo em função da rotação do motor defini-se o local onde as curvas de potência para cada marcha serão traçadas. A intersecção entre as curvas de potência da primeira para a segunda marcha, da segunda para a terceira e assim sucessivamente, determinam a rotação ideal para a troca de marchas para se obter a maior potência.

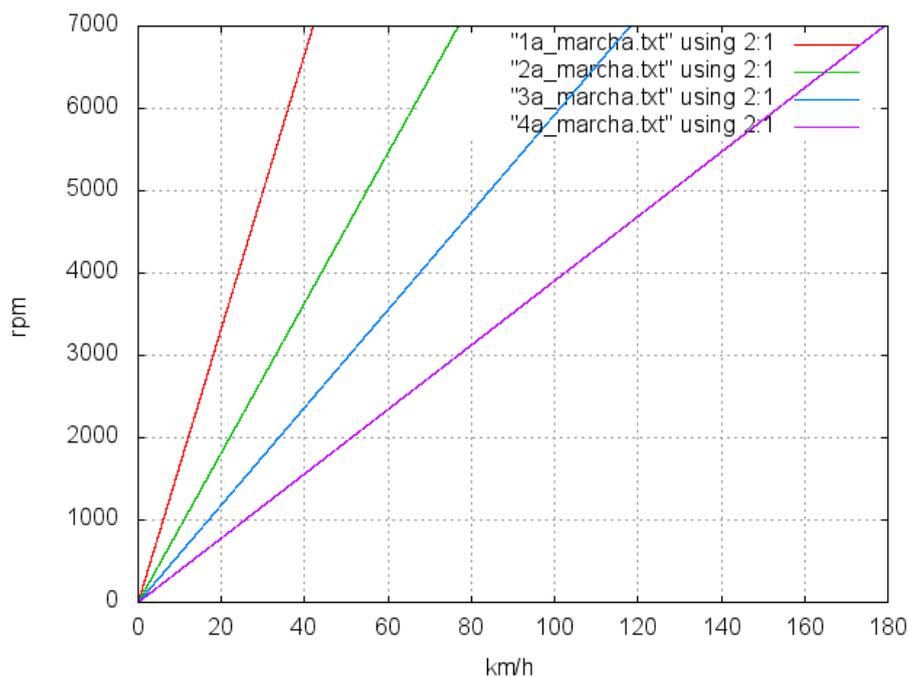


Figura 5 - Gráfico de velocidade linear do veículo em função da rotação do motor.

Conclusão

Através do estudo da referida caixa de transmissão pôde-se entender seu funcionamento, calcular a relação de transmissão de cada marcha e obter a velocidade obtida em cada marcha em função da rotação do motor. Os componentes principais da caixa (engrenagens e eixos) foram caracterizados e a relação de transmissão do diferencial também foi obtida.

O presente estudo foi de suma importância para a assimilação dos conceitos teóricos estudados. Foi possível a compreensão do sistema de transmissão automotiva observando a transformação da rotação de entrada do sistema.

Convém salientar que o presente trabalho trata-se de um projeto embrionário. Desta forma pode-se afirmar que é possível fazer um estudo mais aprofundado da caixa de transmissão, tendo em vista que neste artigo foram contemplados apenas a caracterização dos elementos principais e as relações de transmissão. O próximo passo natural a ser seguido neste trabalho será o estudo das curvas de potência, torque e rotação.

Referências Bibliográficas

- Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G., "Projeto de Engenharia Mecânica", Bookman, Porto Alegre, RS, 2005.
- Ribas, R. L., Schlosser, J. F., Frantz, U. G., Farias, M. S., Nietiedt, G. H., "Transmissões em tratores agrícolas no Brasil", Ciência Rural, Santa Maria, 2010.
- Pulkarabek, W. W., "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Oberg, M. B. A. M. ; Gonçalves, G. S. ; Anflor, C. T. M., "Otimização topológica em engrenagens utilizando algoritmo genético". In proceedings of: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012, Maranhão. Anais do VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012.
- Naunheimer, H., Bertsche, B., Ryborz, J., Novak, W., "Automotive Transmissions, Fundamentals, Selection, Design and Application", Springer, Friedrichshafen, Germany, 2011.
- Strasman, P. G., "Fiat Uno: Service and Repair Manual", Haynes Publishing, 1996.