

SIMULAÇÃO DE MOVIMENTO DE UMA BICICLETA RECLINÁVEL – ANÁLISE DAS RELAÇÕES DE TRANSMISSÃO ADEQUADAS.

André Garcia Chiarello

Departamento de Mecânica, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, CP50, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brasil, E-mail: andre@iem.efei.br.

Guilherme Machado

Departamento de Mecânica, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, CP 50, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brasil, E-mail: gcmachado@yahoo.com

Palavras Chave: Transmissão, simulação de movimento, bicicleta reclinável.

RESUMO

As bicicletas comerciais possuem como sistema de acionamento da roda traseira, um conjunto de engrenagens ligadas por uma corrente de elos. Este sistema é amplamente conhecido por suas vantagens relativas, como baixo custo, peso e manutenção. Entretanto, o uso da relação de transmissão adequada depende do sentimento do ciclista, que deve operar a alavanca de marchas sempre que perceber que existe necessidade de mudar para uma marcha mais leve ou pesada. Neste trabalho usa-se um modelo matemático, baseado nas equações de Lagrange para descrever o movimento de uma bicicleta do tipo reclinável. São adotados parâmetros baseados em um modelo real e as simulações de movimento objetivam obter a relação de marchas ótima em função da inclinação do terreno. Os resultados mostram que existe uma relação de transmissão adequada para cada inclinação o que possibilita utilizar um sistema de transmissão de marchas automático, facilitando sua condução.

1. INTRODUÇÃO

Os Veículos Movidos por Força Humana (VMFH) sempre atraíram a atenção de cientistas e pesquisadores, porque constituem uma maneira natural de aproveitar eficientemente a capacidade de trabalho do corpo humano. Dentre os diversos veículos já inventados pela humanidade, a bicicleta é de longe o VMFH mais utilizado como transporte.

Um tipo especial de bicicleta que vem sendo mais recentemente empregado para transporte e diversão é conhecido com bicicleta reclinável (*recumbents*). A palavra reclinado refere-se à posição do assento, onde o ciclista pode apoiar completamente as costas. Normalmente esses veículos possuem duas rodas, embora alguns modelos possuem três rodas. Ao contrario das bicicletas convencionais, os assentos das reclinadas são maiores proporcionando maior conforto (Christiaans,1998). A posição do guidão está acima do assento, no nível do ombro, ou debaixo do assento em uma posição onde os braços penduram naturalmente. Esta combinação cria um passeio confortável livre de tensões no pescoço e dores no pulso. Uma bicicleta reclinada pode o oferecer o mesmo desempenho mas em uma posição mais confortável.

O corpo humano é uma fonte muito limitada de potência. Sabe-se que um ciclista pouco treinado não fornece em média mais que 350 W (Whitt, 1971; Cavanagh, 1962) contínuos por mais de uma hora, por meio de movimentação de pedais. Esta disponibilidade limitada de energia obriga os fabricantes de VMFH a desenvolverem máquinas cada vez mais eficientes.

A transmissão de movimento na bicicleta reclinável se faz através de um ou mais volantes acoplados por meio de corrente de elos a um conjunto de engrenagens ligadas a roda traseira. Por meio de um câmbio mecânico, o ciclista pode variar o volante dianteiro e também a engrenagem traseira, de modo que a relação de transmissão entre volante e roda traseira possa ser adequada a velocidade da bicicleta. O ciclista sabe que quando a força aplicada ao pedal fica muito alta, ele deve procurar uma marcha mais “leve”, por outro lado, quando as rotações do pedal ficam muito rápidas, ele deve procurar uma marcha mais “pesada”(Cho *et all*,1999).

A procura por uma marcha apropriada, nem sempre é fácil de ser feita. Deve-se lembrar que na bicicleta convencional e mesmo na reclinada, nada “avisa” ao ciclista que ele esta usando uma marcha inapropriada, porque esta escolha depende da experiência do ciclista. Um sistema automático para mudança de marchas da bicicleta seria útil, caso este garantisse que o ciclista esta sempre na relação de marchas adequada.

Para entender melhor o problema da escolha da marcha ou relação de transmissão adequada para uma bicicleta reclinável, este trabalho propõe um modelo matemático do sistema homem + bicicleta. O estudo da simulação do movimento em condições de terreno diferentes pode ser útil no projeto de câmbios mecânicos mais adequados ou mesmo no projeto de câmbios automáticos para bicicletas reclináveis.

2. METODOLOGIA

Existem diferentes métodos em mecânica para se determinar a eficiência de veículos movidos a força humana. As Equações de Lagrange, descritas por um balanço de energia dentro do sistema em termos de coordenadas generalizadas e suas derivadas, resultam em equações escalares. Uma das vantagens desse método é que as equações de movimento são derivadas do mesmo modo para qualquer conjunto de coordenadas, as acelerações não precisam ser determinadas e algumas dificuldades como sinais algébricos são eliminadas.

Por esse motivo escolheu-se modelar o sistema utilizando as Equações de Lagrange, sendo possível simular a eficiência do sistema sob diferentes condições.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial q_k} \right) = Q_k$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^p F_j \frac{\partial s_j}{\partial q_k}$$

$$s_j = s_j(q_1, q_2, \dots, q_n, t)$$

$$L = T - V$$

A Fig.1 mostra o ciclista pedalando uma bicicleta reclinável sobre um terreno inclinado e a configuração de forças utilizadas no modelo matemático.

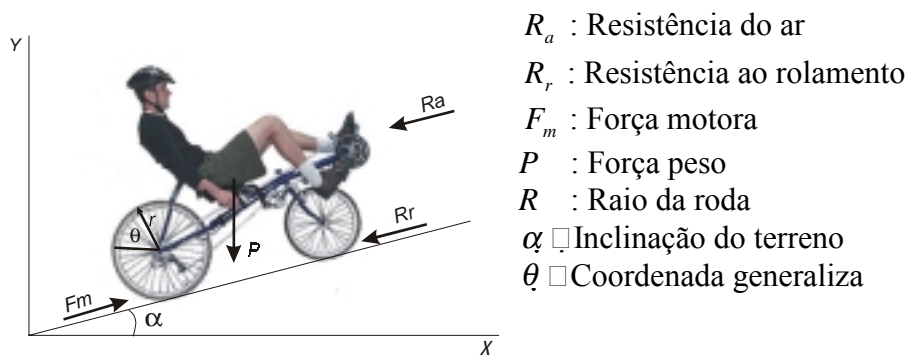


Figura 1 - Configuração de forças externas que atuam no sistema.

3. RESULTADOS

A Fig.2(a) mostra os resultados obtidos da simulação para relações de transmissão extremas, ou seja, a menor relação $r_t = 0,2$ e para a maior relação $r_t = 1,5$, mantendo-se constante a potencia do ciclista em 300 W. Nota-se que usando $r_t = 1,5$, o ciclista pode percorrer terrenos em inclinação variando de 4° a 25° graus, sem ultrapassar o limite fisiológico. Entretanto, nota-se que a relação $r_t = 0,2$ não permite ao ciclista trafegar em terreno com inclinação superior a 4°.

Na Fig.2 o índice Ideal se refere aos valores obtidos sem limitações fisiológicas e o índice Real se refere aos valores obtidos com as limitações fisiológicas do ciclista. A Fig.2(b) mostra o comportamento da força no pedal para as relações extremas. Para pequenas

inclinações, até 4° a relação de transmissão $r_t = 1,5$ não é adequada, devido as limitações fisiológicas e pelo mesmo motivo, a relação de transmissão $r_t = 0,2$ não deve ser usado em inclinações maiores que 4° . Em ambos os gráficos, a área entre as curvas limitadas pelas condições fisiológicas do ciclista pode ser utilizada qualquer relação de transmissão. Entretanto, alguns estudos indicam que ciclistas profissionais sentem-se mais eficientes utilizando uma rotação do pedal próxima a 20 rd/s .

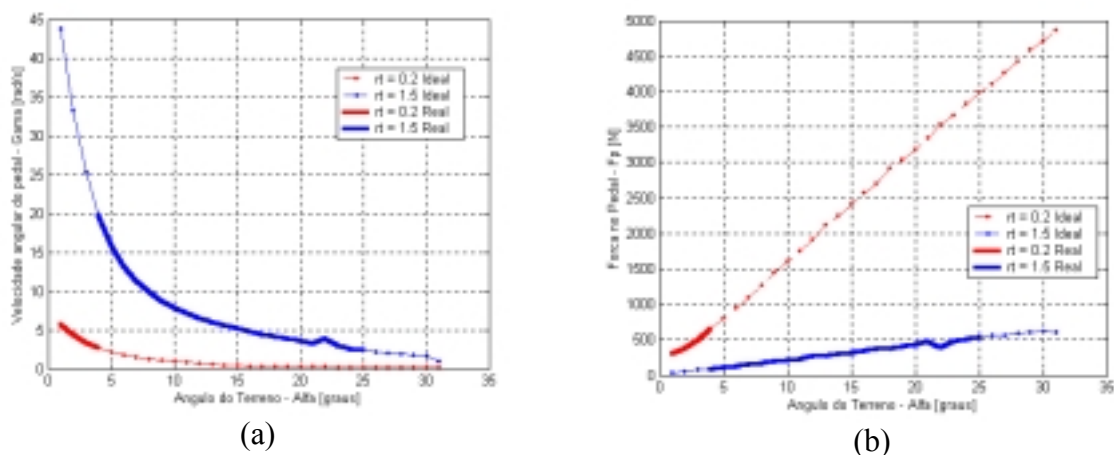


Figura 2. (a) Velocidade angular do pedal para diferentes inclinações de terreno. (b). Força no pedal para diferentes inclinações de terreno.

4. CONCLUSÕES

Um modelo matemático descrevendo o movimento de uma bicicleta reclinável foi desenvolvido objetivando analisar o problema das relações de transmissão adequadas. As simulações do modelo mostraram que as limitações fisiológicas do ciclista impõem claros limites sobre as relações possíveis. Embora as condições fisiológicas variem muito dependendo do tipo de ciclista, pode-se afirmar que existe uma faixa adequada de relação de transmissão dependendo da inclinação do terreno.

Utilizando-se as curvas obtidas na simulação, e assumindo que o ciclista prefira pedalar em uma determinada rotação fixa, pode-se estabelecer uma relação de transmissão adequada para cada inclinação de terreno. Esta análise é interessante para o projeto de um sistema automático de transmissão, e será apresentada em um próximo trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

BIBLIOGRAFIA

- Cavangh, P.R. and Sanderson, D.J.,1985, The Biomechanics of Cycling: Studies of the Pedaling Mechanics of Elite Pursuit Riders, The Pennsylvania State University, U.S.A.
- Cho CK, Yun MH, Yoon CS, Lee MW , 1999, An Ergonomic Study on the Optimal Gear Ratio for a Multi-Speed Bicycle, International Journal of Industrial Ergonomics ,23(1-2) pg.95-100.
- Christiaans H.H.C.M, Bremner A , 1998. Comfort on bicycles and the validity of a commercial bicycle fitting system, Applied Ergonomics ,29: (3), pg. 201-211.
- Prampero, P.E. , 1979, Equation of a Motion of Cyclist, Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology, v.47(1), pg. 201-206.
- Whitt, F. R. ,1971, A Note on the Estimation of the Energy Expenditure of Sporting Cyclists, Ergonomics, vol.14, No. 3, pg 419-424.