

DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO PARA MOTORES ELÉTRICOS EMPREGADOS EM VEÍCULOS EM ESCALA, COM MEDIDA DE DIRETA DE TORQUE E CARGA VARIÁVEL

Aluno: Vivian Suzano
Orientador: Mauro Speranza Neto

1. Introdução

Atualmente, testes em motores são muito importantes devido ao avanço da indústria automobilística. Estes testes devem simular situações as mais reais possíveis, bem como envolver o veículo como um todo. Pode-se, porém, perceber que é praticamente impossível fazer esses tipos de testes em ruas ou estradas, já que é preciso acompanhar o desenvolvimento do veículo a cada instante, o que tornaria esse tipo de teste economicamente inviável.

Por estes motivos esse tipo de teste é feito em um ambiente controlado (em um laboratório), usando um aparelho chamado de dinamômetro de chassis. Nele, é possível acompanhar o desenvolvimento do veículo a cada instante, colhendo e analisando os resultados com a ajuda de um software de computador. Nele, o veículo fica preso por cabos e permanece parado sobre o rolo (Figura 1) – na verdade pode-se usar de 1 até 4 rolos, dependendo de fatores como, por exemplo, tração nas 4 rodas - enquanto as suas rodas se movem e, conseqüentemente, o rolo gira. Os rolos, por sua vez, podem simular situações diferentes, como aclives e curvas, e ainda impor as dificuldades que o carro teria que enfrentar nas ruas ou estradas (resistência do vento, atrito).

A modelagem do dinamômetro de chassis vai entrar neste trabalho com o objetivo de ceder ao projeto dinamômetro de motores elétricos valores mais precisos para a simulação do contato pneu-solo.

É possível modelar o sistema dinamômetro-roda-rolo por vários tipos de modelagem. Para essa pesquisa, a modelagem será feita utilizando o recurso grafos de ligação.

Posto isso, o objetivo da pesquisa é construir um protótipo de um dinamômetro inercial para testes dos motores elétricos empregados em veículos terrestres em escala.

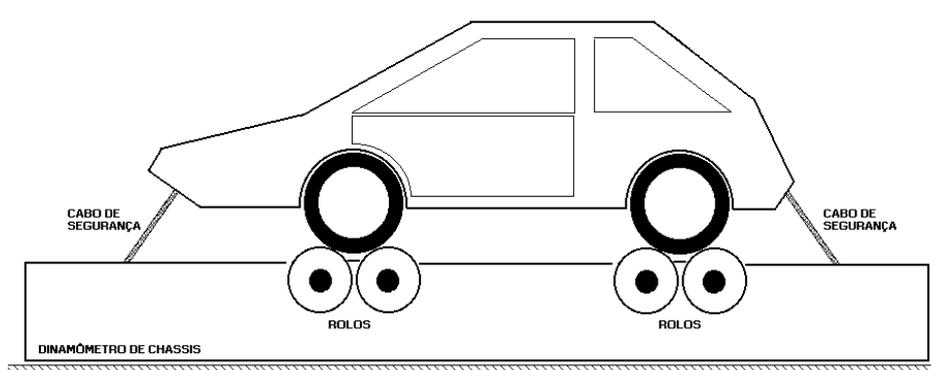


Figura 1

2. Esquema físico

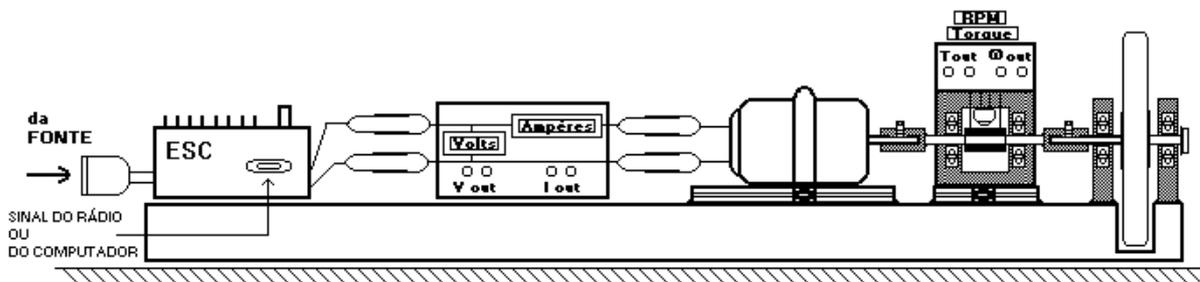


Figura 2

Um possível esquema para o protótipo está representado acima na Figura 2. Ele é composto inicialmente por um *drive* comercial ESC (Eletronic Speed Control) comandado por sinal de rádio, ou via computador – e desenvolvendo os elementos de alimentação, de medida de torque e velocidade angular, e de corrente e tensão, com saídas externas para placa de aquisição compatível com LabView. Acoplado a ele está Fonte de Tensão (Figura 3) controlada manualmente ou através de sinal externo.

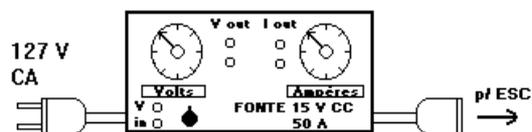


Figura 3

Acoplado a fonte de tensão está o motor, o transdutor de torque e o efeito de inércia do sistema. Este último é formado por discos de certa massa específica que simulam

efeitos de força de resistência aerodinâmica, inércia equivalente do veículo, entre outros.

3. Fluxo de Potência

Uma vez desenhado um protótipo para o esquema físico do dinamômetro, é preciso iniciar a modelagem do sistema. Já que utilizaremos o método grafos de ligação, é crucial identificar o fluxo de potência entre os componentes. Neste sistema, o fluxo de potência está representado na Figura 4:

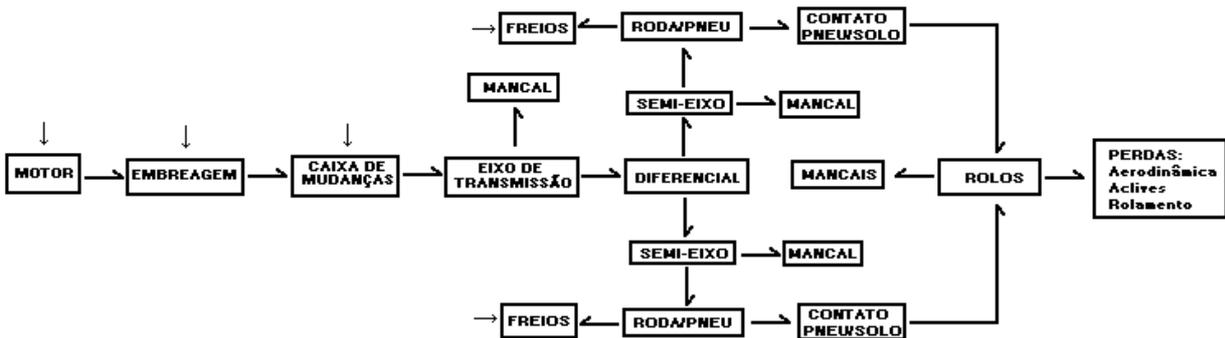


Figura 4

4. Modelo Esquemático: motor, transmissão, caixa de marcha e carga.

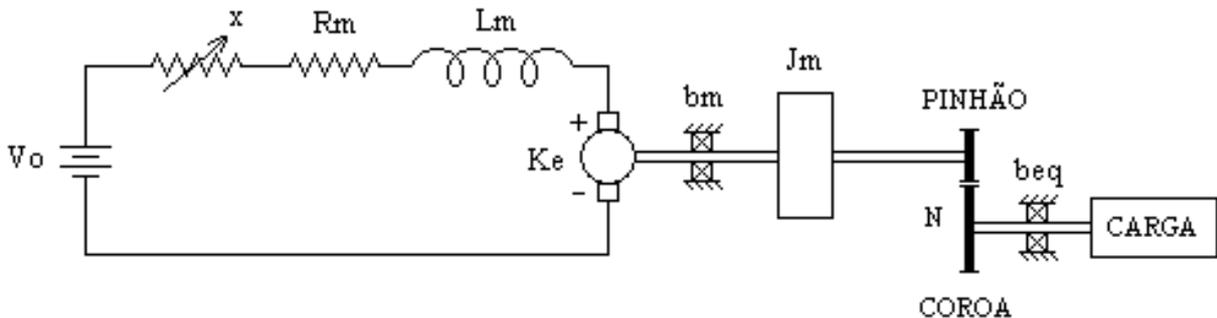


Figura 5

Para o modelo inicial do dinamômetro, podemos representar uma fonte de tensão e o ESC como um potenciômetro com resistência variável entrando em série com o circuito da armadura.

Para este tipo de aplicação, o motor é normalmente CC com excitação independente. Assim, considera-se o fluxo magnético constante em toda a faixa operacional (K_e).

A carga está acoplada ao motor por eixo de transmissão e caixa de engrenagens, sendo representado todos os atritos envolvidos neste acoplamento.

5. Metodologia: Grafo de ligação

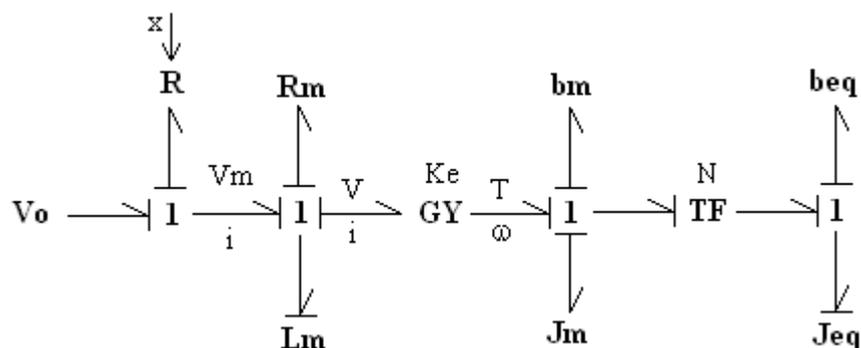
A técnica dos *Grafos de Ligação* é uma ferramenta poderosa na modelagem de dispositivos complexos, que podem incluir sistemas de naturezas físicas distintas, tais como elétricos, mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e térmicos, ou combinações desses, entre outros. Desenvolvida inicialmente para representar sistemas de parâmetros concentrados, lineares ou não, atualmente apresenta generalizações que permitem sua aplicação a sistemas de parâmetros distribuídos e a dinâmica de corpos rígidos no espaço, entre outros. [1]

A escolha deste método de modelagem para aplicação neste sistema se justifica devido à característica deste método de estabelecer uma representação gráfica adequada para a estrutura do modelo físico do sistema e possuir uma formulação bem definida e consistente para o desenvolvimento do modelo matemático. Além disso, a técnica dos grafos de ligação caracteriza-se pela representação do modelo físico de um sistema através de uma estrutura gráfica lógica, onde estão contidos os fluxos de energia e informação entre os componentes do sistema. Isto é, muito mais abrangente e fácil de aplicar que outros métodos. [2]

Além disso, com o grafo de ligação, o equacionamento se torna mais fácil e menos propício a erros. Ao longo do relatório, será possível perceber como o processo de montagem e equacionamento do grafo é de fácil execução e compreensão por parte de terceiros.

6. Grafo de ligação do sistema:

- Modelagem com motor, transmissão, caixa de marcha e carga.



Este grafo, visivelmente baseado no modelo esquemático apresentado no item anterior, é constituído pelos seguintes componentes:

V_o = Fonte de tensão (bateria)

R_x = Controlador de velocidade (ESC) - potenciômetro

R_m = Resistência do rotor

L_m = Indutância do rotor

b_m = Coeficiente de dissipação nos mancais internos

J_m = Inércia do rotor

b_{eq} = Coeficiente de dissipação nos mancais de apoio da carga

J_{eq} = Inércia da carga

Pode-se notar que a inércia J_m fica com sua causalidade forçada. Isso indica que durante o equacionamento irá se obter uma inércia equivalente J_{eq} para esse caso.

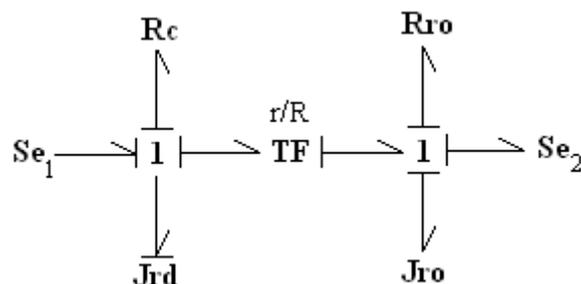
Além disso, estão presentes neste grafo os elementos girador(GY) e transformador(TF).

- Modelagem do sistema roda-rolô sem deslizamento (simulação do contato pneu-solo):

Para um primeiro estudo sobre a modelagem do contato pneu-solo, considere apenas a interação entre a roda do carro e o rolo do dinamômetro. Deve-se conhecer melhor o comportamento desses dois componentes para que depois fique mais claro como tratar o sistema como um todo.

Considera-se, então, o motor do carro como uma fonte de esforço que fornece potência para o sistema (para a roda girar). Em seguida, deve-se considerar as várias componentes que constituem a roda (a roda possui um inércia J_{rd}) e que influenciam no movimento da roda (atrito nos mancais - R_c). Pode-se tratar o rolo de uma forma análoga, com a diferença de que o motor do dinamômetro tira potência do sistema, uma vez que ele simula as várias dificuldades que um carro encontra para o seu movimento (forças dissipativas).

O modelo, já feitas as simplificações, fica do seguinte modo:



Se1 = Motor do Carro

R_c = Atrito nos Mancais do Carro

J_{rd} = Inércia da Roda

R_{ro} = Atrito nos Mancais do Rolo

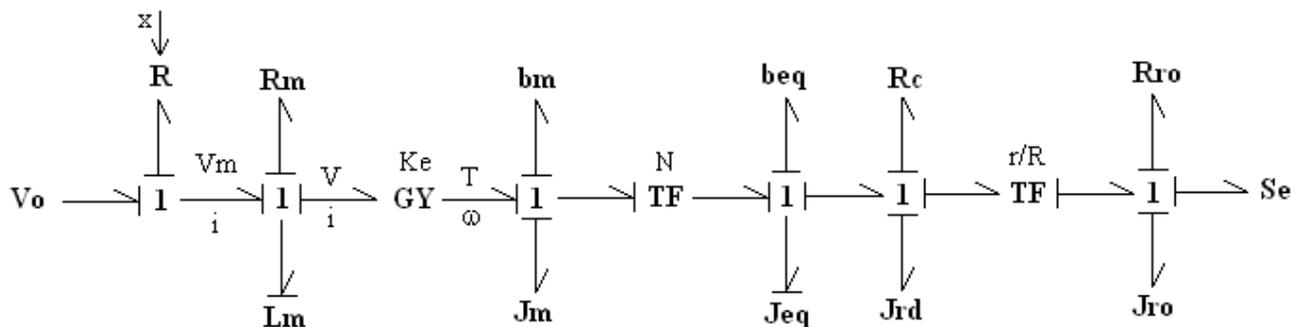
J_{ro} = Inércia do Rolo

Se_2 = Motor do Dinamômetro

Pode-se notar que acontece, neste grafo, o mesmo que aconteceu no grafo anterior. A inércia J_{ro} fica com sua causalidade forçada. Isso indica que durante o equacionamento irá se obter uma inércia equivalente J_{eq} também para esse caso.

- **Modelo Completo:** motor, transmissão, caixa de marcha e a carga como um sistema roda-rola sem deslizamento.

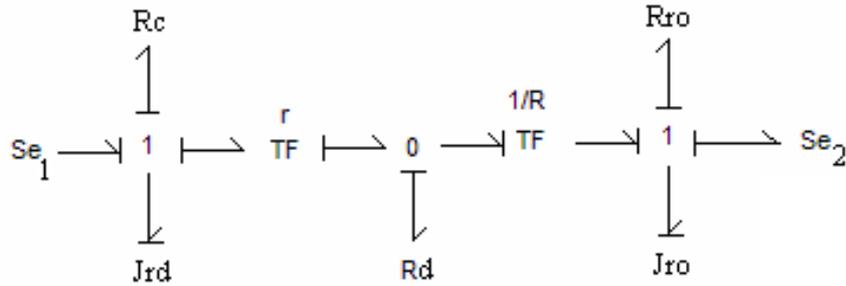
Para se obter o grafo de ligação do modelo completo, basta acoplar os dois grafos apresentados anteriormente. Observe que, para respeitar a causalidade das junções envolvidas, foi preciso acoplar o motor ao sistema roda-rola como fonte de fluxo, deixando a inércia J_{rd} também com a sua causalidade forçada. Isso indica que no equacionamento, surgirá um efeito de inércia equivalente (como já era esperado).



- Modelagem do sistema roda-rola com deslizamento (simulação do contato pneu-solo com deslizamento):

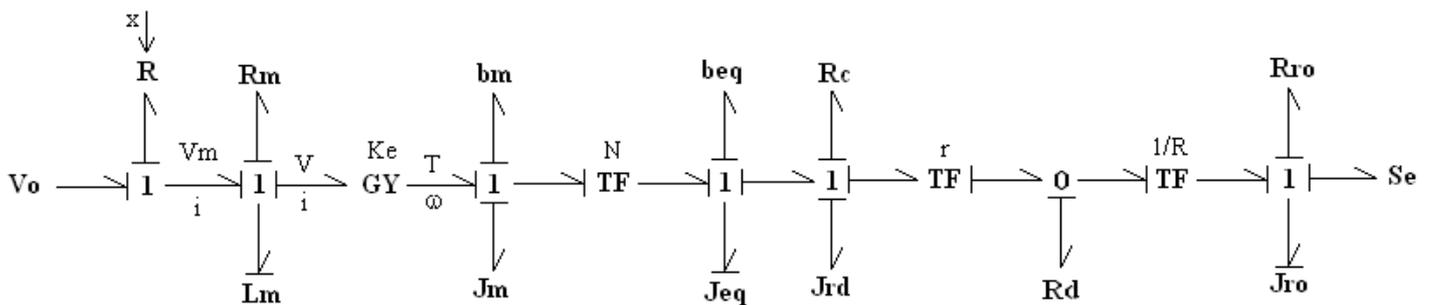
Para estudar o sistema roda-rola real, deve-se levar em consideração algumas informações adicionais. Sabe-se que na realidade a roda desliza sobre o rolo e isso deve ser mostrado no grafo de ligação. Uma boa representação para o deslizamento é uma junção zero com uma resistência, que deve ser introduzida no 'contato' do rolo com a roda. É válido ressaltar que, devido à mudança na causalidade de J_{ro} , não será encontrado o efeito de inércia equivalente para esse grafo individualmente.

O novo modelo, agora com o deslizamento entre a roda e o rolo, fica de seguinte forma:



- Se1** = Motor do Carro
- Rc** = Atrito nos Mancais do Carro
- Jrd** = Inércia da Roda
- Rd** = Perdas Relativas ao Deslizamento
- Rro** = Atrito nos Mancais do Rolo
- Jro** = Inércia do Rolo
- Se2** = Motor do Dinamômetro

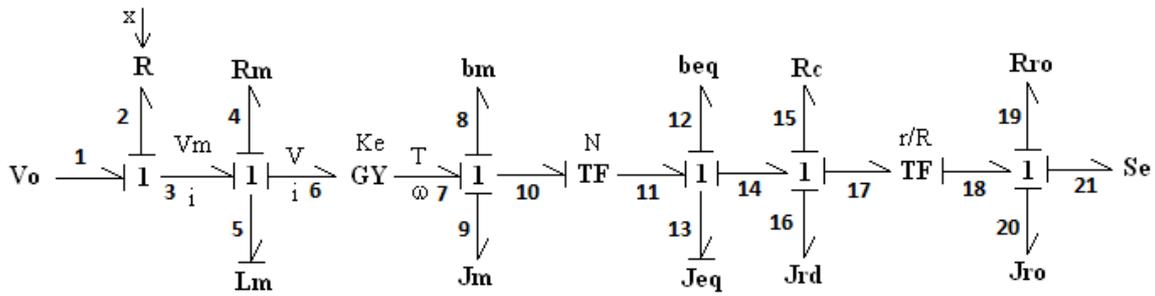
- **Modelo Completo:** motor, transmissão, caixa de marcha e a carga como um sistema roda-rola com deslizamento.



Observe que, novamente, no acoplamento do grafo que representa o sistema roda-rola com deslizamento, foi preciso utilizar o motor como fonte de fluxo para respeitar a causalidade das junções envolvidas. A consequência é que a inércia Jrd também aparece com a sua causalidade forçada. Isso indica que no equacionamento, surgirá um efeito de inércia equivalente.

7. Equacionamento:

Para a análise inicial do sistema, foi equacionado o **Modelo Completo:** motor, transmissão, caixa de marcha e a carga como um sistema roda-rola sem deslizamento.



Onde,

Vo = Fonte de tensão (bateria)

Rx = Controlador de velocidade (ESC) - potenciômetro

Rm = Resistência do rotor

Lm = Indutância do rotor

bm = Coeficiente de dissipação nos mancais internos

Jm = Inércia do rotor

beq = Coeficiente de dissipação nos mancais de apoio da carga

Jeq = Inércia da carga

Rc = Atrito nos Mancais do Carro

Jrd = Inércia da Roda

Rro = Atrito nos Mancais do Rolo

Jro = Inércia do Rolo

Se = Motor do Dinamômetro

Dando início ao equacionamento, estabelecem-se as equações de cada componente separadamente, com base nas regras de equacionamento associada à técnica de grafos de ligação.

Primeiramente é preciso numerar as ligações do grafo uma a uma. Uma vez sendo executado esse passo, têm-se associada a cada ligação duas variáveis, uma é o esforço (e) e a outra é o fluxo (f). Desta forma, cada uma dessas ligações representa um fluxo de potência no sistema, uma vez que $P = e \cdot f$. As setas em cada ligação indicam se a potência é positiva ou negativa, ou seja, entra ou sai do sistema naquele ponto. Além disso, há também uma barra que representa as relações de causalidade, extremamente importantes para a análise do sistema. Para facilitar a montagem das equações, foi feito $m = r/R$ (constante do segundo transformador).

RESISTORES:

$$R_x \rightarrow e_2 = f_2 \cdot R_x$$

$$R_m \rightarrow e_4 = f_4 \cdot R_m$$

$$b_m \rightarrow e_8 = f_8 \cdot b_m$$

$$b_{eq} \rightarrow e_{12} = f_{12} \cdot b_{eq}$$

$$R_c \rightarrow e_{15} = f_{15} \cdot R_c$$

$$R_{ro} \rightarrow e_{19} = f_{19} \cdot R_{ro}$$

INÉRCIAS:

$$L_m \rightarrow \begin{cases} f_5 = \frac{1}{L_m} \cdot p_5 \\ dp_5 = e_5 \end{cases}$$

$$J_{eq} \rightarrow \begin{cases} f_{13} = \frac{1}{J_{eq}} \cdot p_{13} \\ dp_{13} = e_{13} \end{cases}$$

$$J_{ro} \rightarrow \begin{cases} p_{20} = J_{ro} \cdot f_{20} \\ e_{20} = dp_{20} \end{cases}$$

$$J_m \rightarrow \begin{cases} p_9 = J_m \cdot f_9 \\ e_9 = dp_9 \end{cases}$$

$$J_{rd} \rightarrow \begin{cases} p_{16} = J_{rd} \cdot f_{16} \\ e_{16} = dp_{16} \end{cases}$$

TRANSFORMADORES:

$$\begin{cases} f_{18} = m \cdot f_{17} \\ e_{17} = m \cdot e_{18} \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{10} = N \cdot f_{11} \\ e_{11} = N \cdot e_{10} \end{cases}$$

GIRADOR:

$$\begin{cases} e_7 = K_e \cdot f_6 \\ e_6 = K_e \cdot f_7 \end{cases}$$

JUNÇÕES 1:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_3 \\ f_2 &= f_3 \\ e_1 - e_2 - e_3 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_7 &= f_{10} \\ f_8 &= f_{10} \\ f_9 &= f_{10} \\ e_7 - e_8 - e_9 - e_{10} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_3 &= f_5 \\ f_4 &= f_5 \\ f_6 &= f_5 \\ e_3 - e_4 - e_6 - e_5 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{11} &= f_{13} \\ f_{12} &= f_{13} \\ f_{14} &= f_{13} \\ e_{11} - e_{12} - e_{14} - e_{13} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{15} &= f_{14} \\ f_{16} &= f_{14} \\ f_{17} &= f_{14} \\ e_{14} - e_{15} - e_{16} - e_{17} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{19} &= f_{18} \\ f_{20} &= f_{18} \\ f_{21} &= f_{18} \\ e_{18} - e_{19} - e_{20} - e_{21} &= 0 \end{aligned}$$

Com isso quer-se resolver o sistema

$$S = \begin{cases} \dot{\vec{X}} = A \vec{X} + B \vec{U} \\ \vec{Y} = C \vec{X} + D \vec{U} \end{cases}$$

Para tanto deve-se definir os vetores \vec{X} , \vec{U} e \vec{Y} . Segundo o método de grafos de ligação, tem-se que os vetores \vec{X} e \vec{U} são:

$$X := \begin{bmatrix} p_3 \\ p_9 \\ p_{13} \\ p_{16} \\ p_{20} \end{bmatrix} \quad U := \begin{bmatrix} V_0 \\ Se \end{bmatrix}$$

E o vetor \vec{Y} ainda está por definir. Sabe-se que a idéia é defini-lo como algumas das variáveis que devem ser mais bem estudadas para que seja possível conhecer mais sobre o problema em questão. Note que seria interessante conhecer melhor a potência de entrada (relativa à fonte V_0) e a potência consumida pelo motor do dinamômetro. Para isso, deve-se conhecer e_1, f_1, e_{21}, f_{21} , uma vez que $P = e \cdot f$. Outra incógnita sobre a qual é importante obter mais informações é e_{17} , uma vez que ela representa o $\tau_{c \text{ arg } a}$ que o rolo realiza sobre a roda. Ainda é importante analisar o torque T e a velocidade angular ω do motor, que correspondem respectivamente a e_7, f_7 . Com estas

informações, definimos o seguinte $\vec{Y} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_7 \\ e_{17} \\ e_{21} \\ f_1 \\ f_7 \\ f_{21} \end{bmatrix}$

Após fazer todas as contas, fica visível o efeito de inércia equivalente que foi citado anteriormente:

Efeito de inércia equivalente

$$\frac{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})}{J_{eq}} \cdot dp_{13} = - \left(\frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{J_{eq}} \right) \cdot p_{13} - m \cdot Se + \frac{N \cdot K_e}{J_m} \cdot p_5$$

Uma vez finalizadas as contas, pode-se colocar o sistema na sua forma matricial com as matrizes em variáveis de estado, para a composição do bloco State-Space:

$$A := \begin{bmatrix} -\frac{(R_x + R_m)}{J_m} & 0 & \frac{K_e \cdot N}{J_{eq}} & 0 & 0 \\ \frac{J_m \cdot N}{J_{eq}} \cdot \frac{\frac{N \cdot K_e}{J_m}}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & -\frac{J_m \cdot N}{J_{eq}} \cdot \frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & 0 \\ \frac{N \cdot K_e}{J_m} & 0 & -\frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & 0 \\ \frac{J_{rd}}{J_{eq}} \cdot \frac{\frac{N \cdot K_e}{J_m}}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & -\frac{J_{rd}}{J_{eq}} \cdot \frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & 0 \\ \frac{m \cdot J_{ro}}{J_{eq}} \cdot \frac{\frac{N \cdot K_e}{J_m}}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & -\frac{m \cdot J_{ro}}{J_{eq}} \cdot \frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\frac{J_m \cdot N}{J_{eq}} \cdot \frac{m}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} \\ 0 & -\frac{m}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} \\ 0 & -\frac{J_{rd}}{J_{eq}} \cdot \frac{m}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} \\ 0 & -\frac{m \cdot J_{ro}}{J_{eq}} \cdot \frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} \end{bmatrix}$$

$$C := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_e}{J_m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{m \cdot J_{ro}}{J_{eq}} \cdot \frac{\frac{N \cdot K_e}{J_m}}{(J_{eq} + J_{ro} \cdot m^2 + J_m \cdot N^2 + J_{rd})} & 0 & \frac{m^2 \cdot R_{ro}}{J_{eq}} & - \frac{m \cdot J_{ro}}{J_{eq}} \cdot \frac{(N^2 \cdot b_m + b_{eq} + R_c + m^2 \cdot R_{ro})}{J_{eq}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{J_m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{N}{J_{eq}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m}{J_{eq}} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

8. Dimensionamento

Depois que o sistema foi equacionado, o próximo passo então é dimensionar as variáveis para que seja possível a simulação de diferentes níveis de carga e a partir da análise dos resultados, dimensionar os componentes do dinamômetro.

A escolha dos valores que correspondem às variáveis associadas ao motor e ao sistema de transmissão foi pautada na análise de motores utilizados em veículos em escala e no comportamento dos dinamômetros empregados para levantar o comportamento desses motores em geral.

Já os valores relativos ao sistema roda-rola são dimensionados a partir da miniatura a ser utilizada no sistema. Neste caso, a escala será aproximadamente 1:10.

Os valores determinados a priori são:

$$J_{eq} := 100 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_m := 10 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$R_m := 20 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$L_m := 100 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$b_m := \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

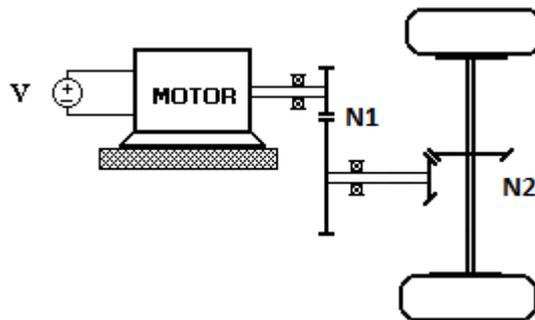
$$b_{eq} := \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$K_e := \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{\frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

9. Simulação do efeito de carga

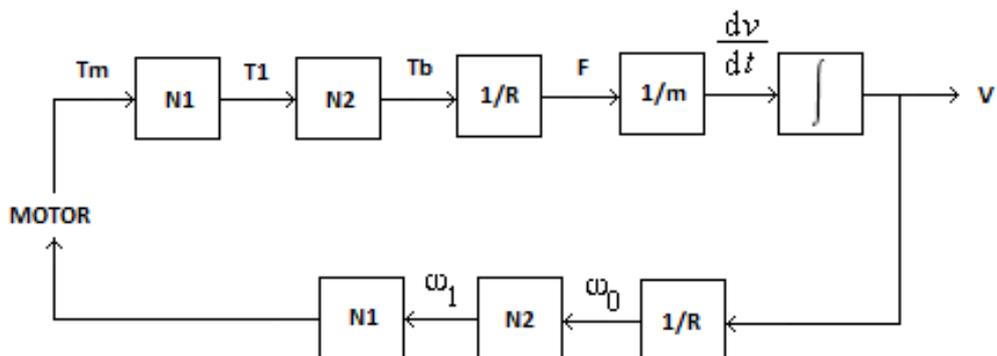
- Carga inercial equivalente (“Power train”)

A carga inicial equivalente corresponde à inércia de um sistema composto por eixo de transmissão, caixa de marcha, diferencial e rodas, como no esquema abaixo.



Equacionando,

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega + b \cdot \omega = T_m$$



$$\omega_m = N_1 \cdot \omega_1$$

$$F = m \cdot \frac{d}{dt} V$$

$$\omega_1 = N_2 \cdot \omega_0$$

$$\frac{T_b}{R} = m \cdot R \cdot \frac{d}{dt} \omega_0$$

$$\omega_0 = \frac{V}{R}$$

$$T_m = \frac{m \cdot R^2}{N_2^2 \cdot N_1^2} \cdot \frac{d}{dt} \omega_m$$

$$J_{eq} = \frac{m \cdot R^2}{N_2^2 \cdot N_1^2}$$

Onde,

T_m – torque do motor

R – raio da roda

T_b – torque do eixo

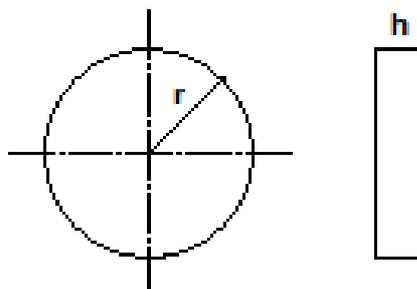
m – massa do veículo

V – velocidade

$\omega_1, \omega_0, \omega_m$ – velocidades angulares das engrenagens do sistema de transmissão e da roda

- Especificação

Para efeitos práticos, o valor de inércia equivalente encontrado nos cálculos acima será representado por um disco maciço de aço de diâmetro d e espessura h , acoplado ao eixo do motor para simulação de carga:



$$J_m = \frac{m \cdot r^2}{2}$$

$$m = \rho \cdot v$$

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$J_m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^4 \cdot h}{2}$$

Onde,

ρ – massa específica do aço (7850 kg/m³)

v – volume do corpo (m³)

r – raio da seção reta do corpo (m)

h – espessura do corpo (h)

10. Conclusões

Com os estudos desenvolvidos na primeira parte do projeto, foi realizada uma análise quase completa da dinâmica do sistema, simulações de testes de carga e dimensionamento dos componentes. Tal análise só foi possível com a utilização do Matlab, um programa que reúne importantes ferramentas, é fácil de trabalhar e com código baseado em uma linguagem de utilização em ampla escala. Além disso, outro software amplamente utilizado para a manipulação das equações foi o Maple.

A aplicação da técnica de grafos de ligação se mostrou uma ótima escolha para análise do projeto, por sua fácil montagem e equacionamento. Essa escolha se mostra ideal ainda em outros aspectos, pois considerando a grande quantidade de variáveis envolvidas no sistema dinamômetro-roda-rola, foi possível modelar com bastante precisão as variações de torque e carga.

No decorrer do projeto, ficou bem claro que esse sistema empregado no dinamômetro é de larga utilização na área automobilística e de automação. Trata-se de um projeto que abrange várias áreas de conhecimento dentro da engenharia, aplicando vários conceitos importantes.

Referências

1 - SPERANZA NETO, M., DA SILVA, F.R, **Modelagem e análise de sistemas dinâmicos**, Rio de Janeiro, Julho 2005

2 - MACHADO, Josélio Alves. **Modelagem e simulação de um dinamômetro para motores elétricos empregados nos veículos terrestres em escala**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2001. 118 p. Tese (Mestrado)