



A DISCIPLINA INICIAÇÃO À ENGENHARIA MECÂNICA E O PROJETO “CARRINHO DE RATOeira”

Flávio Yukio Watanabe¹ - fywatanabe@ufscar.br

Marcos Tan Endo¹ - marcos.endo@ufscar.br

Osmar Ogashawara² - osmaroga@ufscar.br

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - CCET

¹Curso de Engenharia Mecânica

²Curso de Engenharia Elétrica

Rod. Washington Luís, km 235, Caixa Postal 676

CEP 13.565-905 - São Carlos - SP

Resumo: *No presente trabalho são apresentados os procedimentos básicos de projeto de um “Carrinho de Ratoeira”, utilizando princípios de física e projeto mecânico para a construção e teste de um veículo propulsado por uma ratoeira convencional de mola de torção. O projeto foi adotado na disciplina “Iniciação à Engenharia Mecânica”, ministrada em 2012 para os estudantes ingressantes no curso da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. A referida disciplina integra um elenco de “disciplinas integradoras” que buscam tornar o processo de construção do conhecimento mais dinâmico e interessante para os estudantes, evidenciando por meio de situações problema a importância para os futuros engenheiros do incremento de competências, habilidades, valores e atitudes relacionadas às atividades de comunicação, planejamento, criatividade, modelagem, simulação, ensaio e trabalho em equipe.*

Palavras-chave: *Iniciação à engenharia, Engenharia mecânica, Projeto interdisciplinar*

1. INTRODUÇÃO

As disciplinas “Iniciação à Engenharia Mecânica” e “Iniciação à Engenharia Elétrica”, adotadas, respectivamente, nos Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar integram um elenco de disciplinas denominadas “disciplinas integradoras”, distribuídas ao longo das matrizes curriculares e presentes desde o primeiro período curricular, como é o caso das disciplinas nominadas anteriormente. Estas disciplinas pautam-se principalmente pela interação de conhecimentos por meio de projetos interdisciplinares que têm com o objetivo principal acrescentar paulatinamente às atividades desenvolvidas, novas práticas, técnicas e novos conhecimentos específicos, aumentando o grau de dificuldade de modo compatível ao longo dos cursos.

As disciplinas integradoras fazem parte de uma estratégia inovadora adotada nos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica (UFSCar, 2008a e 2008b) que

Realização:



Organização:





busca tornar o processo de construção do conhecimento mais dinâmico e interessante para os estudantes, evidenciando por meio de situações problema a importância do desenvolvimento de competências, habilidades, valores e atitudes essenciais ao bom desempenho profissional dos futuros engenheiros.

Relatos sobre a implantação das disciplinas de Iniciação à Engenharia, no contexto da implantação dos projetos pedagógicos dos Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica, foram apresentados no Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE em 2009 (WATANABE *et al.*, 2009; OGASHAWARA *et al.*, 2009). Algumas das atividades de projeto desenvolvidas nestas disciplinas foram detalhadas e apresentadas no COBENGE em 2010 (WATANABE *et al.*, 2010). Estes projetos envolvem conceitos e conhecimentos trabalhados em diferentes disciplinas do mesmo período e também de outros mais avançados, apresentados de forma simplificada, e os problemas abordados estão relacionados às áreas de estática de estruturas, cinemática de mecanismos, vibrações mecânicas, sistemas de controle e automação da manufatura.

O presente trabalho apresenta um novo projeto adotado no Curso de Engenharia Mecânica para a turma de estudantes ingressantes no curso em 2012, denominado “Carrinho de Ratoeira”, que utiliza princípios de modelagem matemática e simulação computacional no desenvolvimento do projeto, construção e teste de um carrinho propulsado por uma ratoeira convencional de mola de torção.

2. O PROJETO CARRINHO DE RATOeira

A atividade de projeto de um carrinho de ratoeira (*mousetrap car*), como o apresentado na Figura 1, é comumente adotada em escolas de nível médio e superior, tendo como objetivo principal o aprendizado e a utilização de fundamentos de mecânica, tais como o princípio de alavanca, a aplicação da 2ª lei de Newton em sistemas com movimento de translação ou rotação, a transformação de energia potencial em energia cinética e a ação de forças dissipativas.

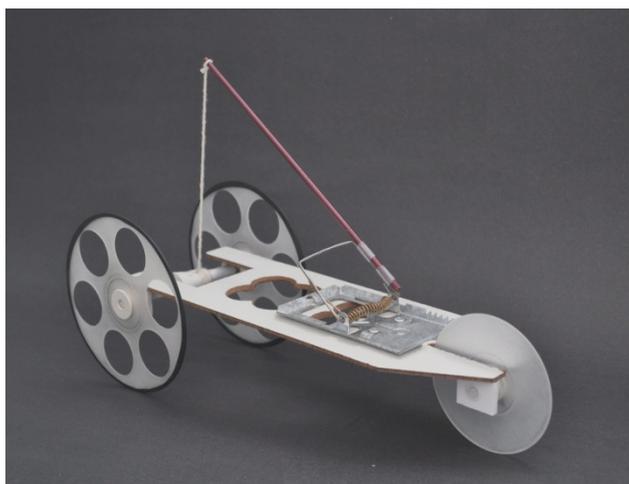


Figura 1. Carrinho de ratoeira

Usualmente, os carrinhos de ratoeira são projetados para a participação em competições de maior velocidade média ou de distância percorrida; entretanto, frequentemente os projetos finais resultam mais da aplicação de conhecimentos empíricos do que de fundamentos físicos aplicados como ferramenta de projeto.



Modelos matemáticos e numéricos que descrevem o comportamento cinemático e dinâmico de um carrinho de ratoeira foram desenvolvidos, utilizando modelos físicos simplificados (MERKEL, 2002; DUQUE et al., 2010; JUMPER, 2012) e possibilitando o desenvolvimento de projetos fundamentados na análise da influência dos múltiplos parâmetros do modelo.

2.1. A ratoeira como elemento propulsor

Uma ratoeira convencional e seus principais componentes são apresentados na Figura 2. A mola da ratoeira é de torção e é responsável pelo movimento do braço giratório quando a trava desprende-se do porta-isca.

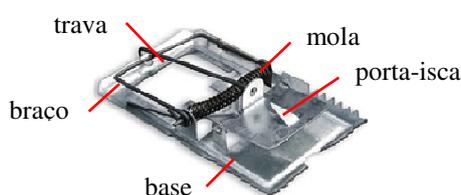


Figura 2. Ratoeira convencional

A ratoeira é empregada como o elemento propulsor de um carrinho, tendo como base o princípio de transformação da energia potencial elástica da mola em energia cinética de translação do carrinho. Usualmente, o comportamento da mola pode ser assumido como sendo linear e a curva de calibração do momento M proporcionado pela mola em função da posição angular θ do braço da ratoeira pode ser levantada experimentalmente, utilizando massas suspensas na extremidade do braço nas configurações apresentadas na Figura 3. As massas m_1 , m_2 e m_3 correspondem às massas que equilibram o braço da ratoeira quando o ângulo de deflexão θ é igual a 0° , 90° e 180° , respectivamente.

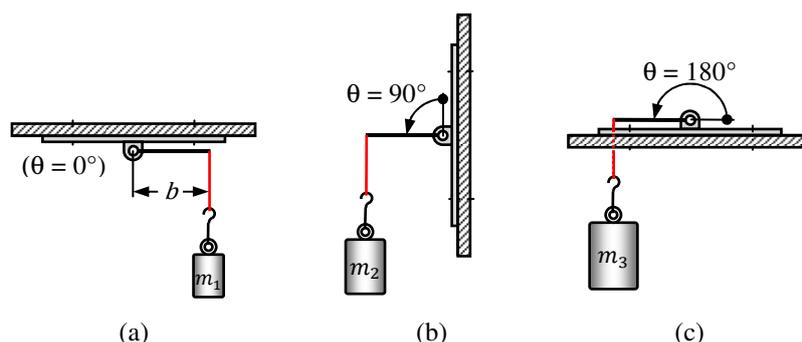


Figura 3. Ensaio de calibração da mola da ratoeira

Tabela 1. Resultados do ensaio de calibração da mola de uma ratoeira

Ângulo de deflexão θ	Massa suspensa m	Momento da mola M
0°	$m_1 = 171\text{g}$	$M_1 = 0,0738\text{Nm}$
90°	$m_2 = 290\text{g}$	$M_2 = 0,1252\text{Nm}$
180°	$m_3 = 388\text{g}$	$M_3 = 0,1675\text{Nm}$



Os resultados do ensaio de calibração da mola de uma ratoeira são apresentados na Tabela 1, considerando $M = mgb$, onde $g = 9,81m/s^2$ é a aceleração da gravidade e $b = 44mm$ é o comprimento do braço da ratoeira. Graficamente, estes dados são apresentados na Figura 4, juntamente com uma curva de calibração obtida por meio da interpolação linear destes dados, resultando na Equação (1) que quantifica o momento M em função de θ .

$$M = 0,0005\theta + 0,0753 \quad (1)$$

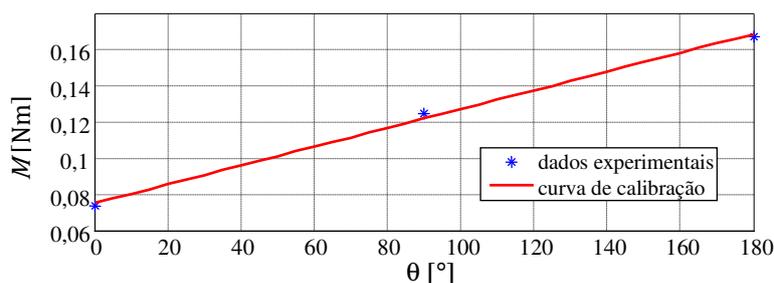


Figura 4. Curva de calibração da mola

2.2. Relações geométricas do carrinho de ratoeira

Os elementos principais de um carrinho de ratoeira são apresentados de forma esquemática no modelo apresentado em vista lateral na Figura 5. A ratoeira é fixada ao chassi do carrinho e uma haste de extensão é presa ao braço da ratoeira. Na extremidade livre desta haste é preso um fio de barbante que é enrolado em um carretel acoplado ao eixo das rodas traseiras do carrinho, promovendo assim a transferência de energia potencial da mola para estas rodas.

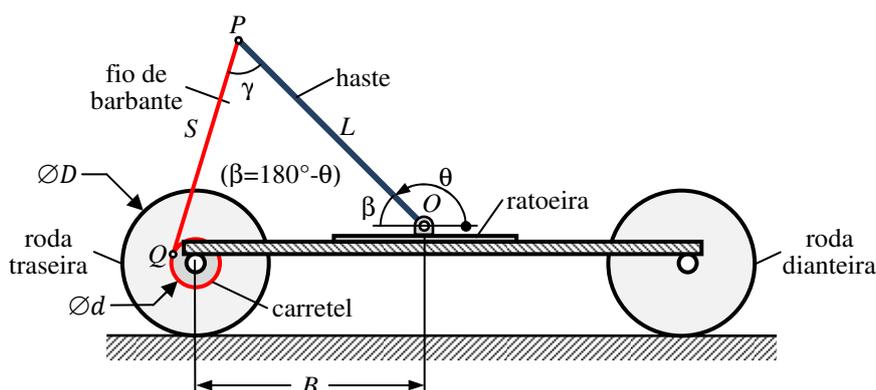


Figura 5. Modelo simplificado de um carrinho de ratoeira

onde:

- θ - ângulo de deflexão da mola da ratoeira
- L - comprimento da haste
- B - distância entre o eixo das rodas traseiras e a mola da ratoeira
- D - diâmetro da roda traseira



- d - diâmetro do carretel
- S - comprimento do fio de barbante esticado
- O - centro de rotação da haste
- P - ponto de conexão entre a haste e o fio de barbante
- Q - ponto de tangência do fio de barbante no carretel

O comprimento L da haste pode ser menor, igual ou maior à distância B entre o eixo das rodas traseiras e a mola da ratoeira, conforme ilustrado de forma simplificada nas Figuras 6a a 6c, respectivamente.

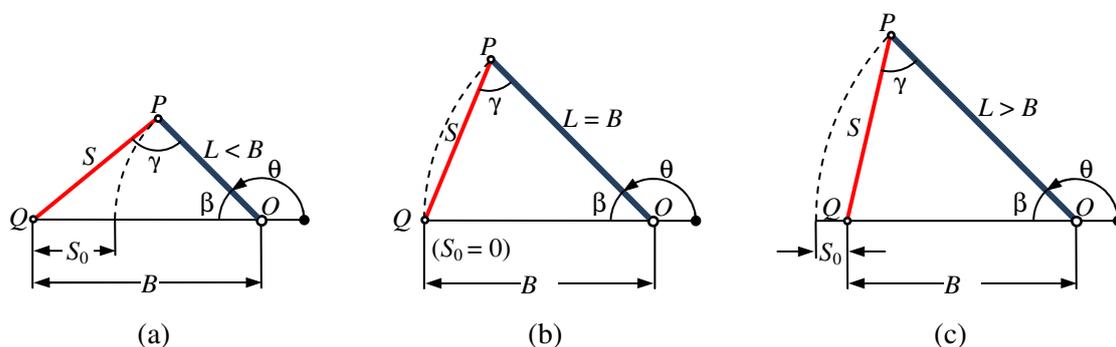


Figura 6. Relações possíveis entre o comprimento L da haste e a distância B entre o eixo das rodas traseiras e a mola da ratoeira

Definindo-se S_0 como sendo o comprimento do barbante que não fica enrolado no carretel quando $\theta = 180^\circ$, tem-se $S_0 = 0$ para o caso em que $L = B$ (Figura 6b) e para os outros dois casos em que $L < B$ (Figura 6a) ou $L > B$ (Figura 6c), o comprimento S_0 é dado por

$$S_0 = |L - B| \quad (2)$$

Para um ângulo θ genérico, o comprimento S do barbante esticado pode ser obtido com o auxílio da lei dos cossenos, em função do ângulo interno $\beta = 180^\circ - \theta$

$$S = \sqrt{L^2 + B^2 - 2LB \cos \beta} \quad (3)$$

Consequentemente, os valores máximo, $S_{m\acute{a}x}$, e mínimo, $S_{m\acute{i}n}$, do comprimento S do barbante esticado são definidos pelas seguintes expressões

$$S_{m\acute{a}x} = B + L \quad \text{e} \quad S_{m\acute{i}n} = S_0 \quad (4)$$

O barbante não pode ficar preso ao carretel após o movimento rotativo total da haste para evitar que este acabe se enrolando no sentido contrário, travando o eixo e as rodas traseiras. Assim, o comprimento S_r do barbante que fica enrolado em um número n de voltas no carretel de diâmetro d é determinado por

$$S_r = S - S_0 = \pi dn \quad (5)$$

Assumindo que as rodas traseiras não escorregam em relação ao piso, o deslocamento



longitudinal x do carrinho (Figura 7), a partir da posição inicial na qual $\theta = 180^\circ$, corresponde ao comprimento de arco da roda de diâmetro D , ou seja

$$x = \pi D n \quad \text{ou} \quad x = \frac{D}{d} S_r \quad (6)$$

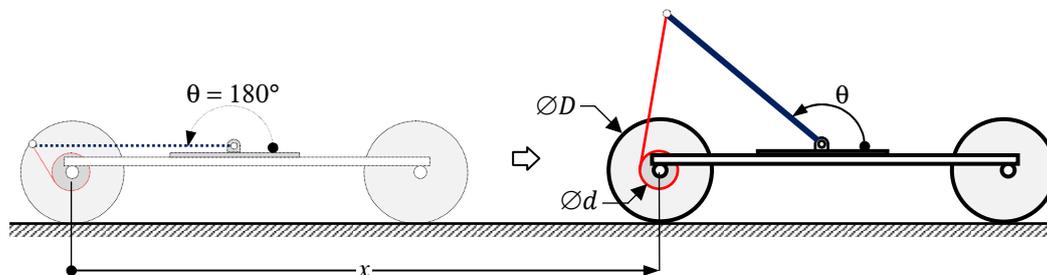


Figura 7. Deslocamento longitudinal do carrinho

2.3. Dinâmica do movimento do carrinho de ratoeira

Os esforços mais significativos que atuam em um veículo convencional em movimento no plano (GILLESPIE, 1999) são identificados na Figura 8. Os esforços de resistência à rolagem nas rodas, R_r e R_f , refletem os efeitos do atrito dos pneus com o solo e de deformações dos pneus; entretanto, este último efeito pode ser desconsiderado no caso do carrinho de ratoeira, onde normalmente são utilizadas rodas rígidas sem pneus. Além disso, o carrinho de ratoeira desloca-se em velocidades relativamente baixas e a força de resistência aerodinâmica R_a também pode ser desprezada. Neste estudo, será considerada uma força global de resistência ao movimento F_f , correspondente aos esforços de atrito nos mancais e entre as rodas e o piso.

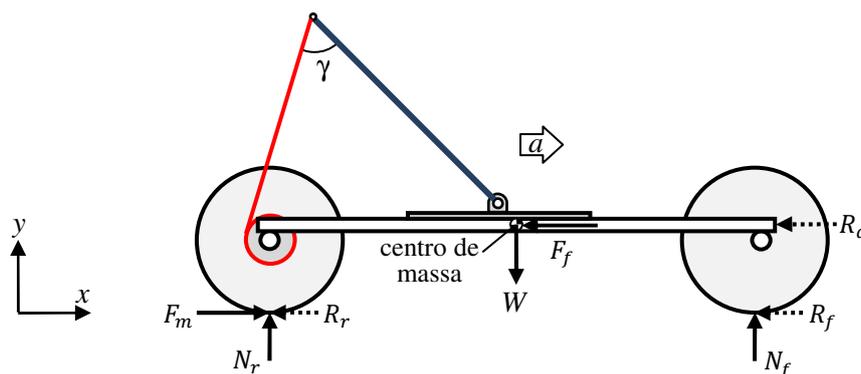


Figura 8. Esforços que atuam no carrinho em movimento no plano

onde:

- a - aceleração do carrinho
- W - força peso ($W = mg$)
- m - massa do carrinho
- N_r e N_f - forças normais nas rodas traseiras e dianteiras, respectivamente
- F_m - força motriz
- R_a - força de resistência aerodinâmica



- R_r e R_f - forças de resistência à rolagem das rodas traseiras e dianteiras, respectivamente
- F_f - força global de resistência ao movimento

A força global de resistência ao movimento F_f será estimada experimentalmente, utilizando um dispositivo com polia, fio auxiliar e cliques de papel representado na Figura 9 (MERKEL, 2002).

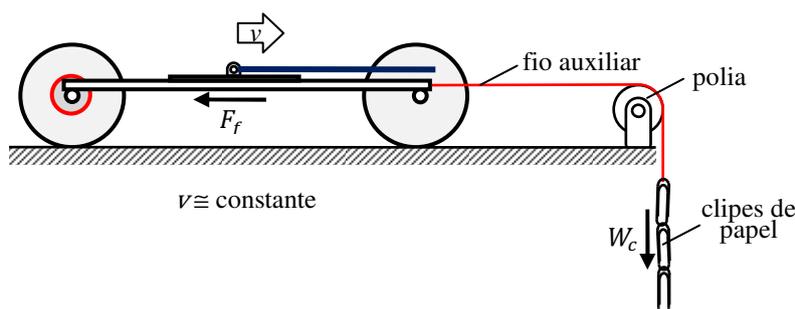


Figura 9. Determinação experimental da força de resistência ao movimento

Neste experimento, um número suficiente de cliques de papel é pendurado no fio que passa pela polia, de modo que o carrinho se mova com uma velocidade baixa, mas constante. Nesta condição, pode-se assumir que a força peso dos cliques W_c é aproximadamente igual à força de resistência ao movimento F_f , ou seja,

$$F_f \cong W_c \quad (7)$$

Para se determinar a aceleração do carrinho, deve-se determinar também a força motriz F_m e aplicar-se a 2ª lei de Newton. Para isso, é necessário relacionar o momento M fornecido pela mola da ratoeira com a força T transmitida pelo barbante ao eixo traseiro, tomando como base o diagrama de corpos livres apresentado na Figura 10.

Aplicando a 2ª lei de Newton para a haste, considerando apenas o movimento rotativo em torno do ponto eixo da articulação, tem-se

$$\sum M_O = I_O \alpha_O \Rightarrow M - TL \sin \gamma = I_O \alpha_O \quad (8)$$

onde

- I_O - momento de inércia de massa do conjunto haste e braço da ratoeira
- α_O - aceleração angular do conjunto haste e braço da ratoeira
- $\sin \gamma = (B/S) \sin \beta$ (expressão obtida a partir da Figura 5, usando a lei dos senos)

Assumindo que as massas da haste e do braço da ratoeira podem ser minimizadas no projeto, o momento de inércia I_O também será reduzido e o termo $I_O \alpha_O$ pode ser desconsiderado na Equação (8), resultando em uma expressão aproximada para a força T transmitida pelo barbante

$$T \cong M / (L \sin \gamma) \quad (9)$$



Portanto, analisando as equações que descrevem o movimento do carrinho de ratoeira, observa-se que sua aceleração a depende da massa m , do momento M da mola, que depende do ângulo θ , da força de resistência ao movimento F_f e das dimensões B , L , D e d .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das equações resultantes do processo de modelagem do carrinho de ratoeira, é possível elaborar-se planilhas eletrônicas ou rotinas de programa que permitam simular o modelo, considerando diferentes características físicas e geométricas, visando avaliar a influência destas no comportamento cinemático e dinâmico do carrinho a ser construído. Nas Figuras 11 e 12 são apresentados graficamente os resultados das simulações de um carrinho de ratoeira para as duas configurações distintas de características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros característicos de um carrinho de ratoeira

Parâmetro característico	Configuração A	Configuração B
L	170mm	255mm
B	170 mm	170 mm
D	120mm	120mm
d	8mm	4mm
m	130g	130g
F_f	0,01N	0,01N

Na prática, a haste da ratoeira trabalha com um ângulo β inicial sempre superior a 0° , por questões construtivas; além disso, não é funcional quando β é próximo de 180° , pois nesta condição o barbante está se soltando do carretel. Estes fatos resolvem a questão de divisão por zero que pode ocorrer quando $\gamma = 0^\circ$ ou 180° na Equação (9).

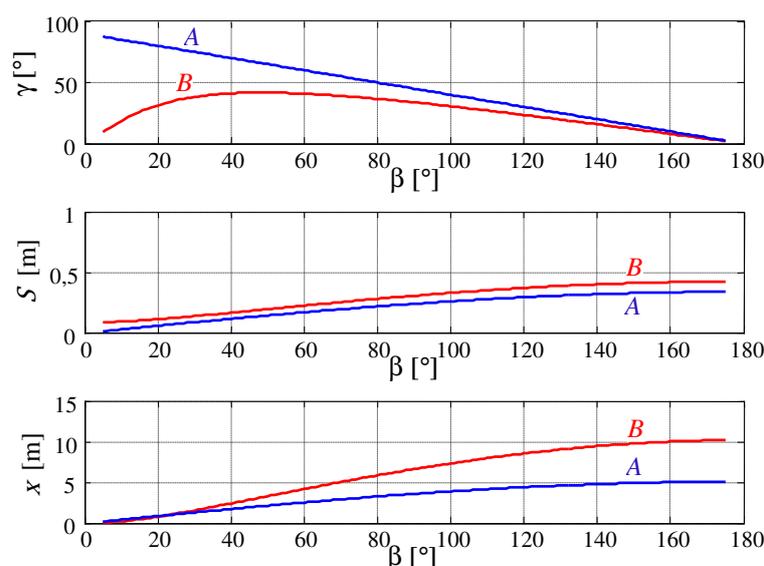


Figura 11. Ângulo interno γ , comprimento S do barbante esticado e deslocamento x do carrinho de ratoeira, em função do ângulo β da haste

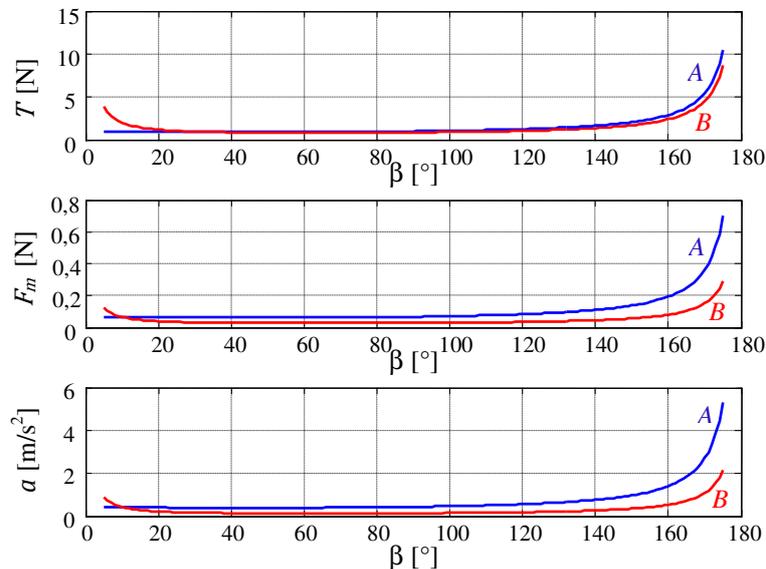


Figura 12. Força T transmitida pelo barbante, força motriz F_m e aceleração a do carrinho de ratoeira, em função do ângulo β da haste

Nos gráficos apresentados, as dimensões L e d foram variadas simultaneamente, apenas para efeito ilustrativo, entretanto, o recomendado é que cada um dos parâmetros seja variado isoladamente de modo a permitir uma melhor avaliação de sua influência no desempenho global do carrinho.

Os estudantes, reunidos em equipes, devem planejar e realizar as simulações que considerarem mais relevantes, analisando os resultados de modo a projetar um carrinho de ratoeira que percorra a maior distância possível sobre um piso liso e plano, dentro de uma faixa de largura pré-estabelecida.

Para a construção dos carrinhos, são fornecidos apenas alguns materiais básicos como ratoeira padronizada, placa de madeira, CDs usados, buchas para fixação dos CDs, barbante, bexigas de borracha e barra de PVC, os quais devem ser utilizados com criatividade para resolver problemas como a derrapagem das rodas traseiras e a necessidade de se reduzir massas e momentos de inércia dos componentes do carrinho. O uso de outros materiais, tais como mancais de rolamento, haste de fibra de carbono e estrutura treliçada, é permitido, mas estes devem ser providenciados pelos próprios estudantes.

Na etapa de construção, conta-se com o apoio dos funcionários técnicos para as operações de fabricação de peças que envolvem maiores riscos de acidentes no uso de máquinas e ferramentas elétricas.

Ao final da atividade, com o objetivo de familiarizar os estudantes com o uso de normas técnicas na elaboração e apresentação de relatórios técnicos e/ou científicos, eles devem entregar um relatório técnico de projeto estruturado conforme estabelecido na norma NRB 10719 (ABNT, 2009).

As etapas de elaboração de projeto, construção e testes dos carrinhos de ratoeira, além da entrega de relatório técnico, seguem um cronograma pré-estabelecido e são acompanhadas e cobradas pelo professor responsável, simulando uma situação real de trabalho de uma equipe de desenvolvimento de um produto em uma empresa.



4. CONCLUSÕES

As atividades de projeto nas disciplinas de “Iniciação à Engenharia” dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica da UFSCar, têm proporcionado aos estudantes a oportunidade de trabalhar na resolução de problemas de engenharia, desde o início do curso, sempre buscando evidenciar a importância e a inter-relação entre os conhecimentos das áreas básicas e específicas, e entre a teoria e o experimento.

A atividade de projeto de um carrinho de ratoeira desperta grande interesse e envolvimento dos estudantes, que se mostram capazes de superar as dificuldades iniciais de entendimento e aplicação de conceitos e conhecimentos básicos de física e de projeto mecânico.

A metodologia de ensino empregada evidencia aos estudantes a importância das atividades de modelagem e simulação no processo de desenvolvimento de um projeto de engenharia, antes de se construir um protótipo para testes. Adicionalmente, o caráter competitivo da atividade e as limitações de material e requisitos de projeto impostas aos estudantes estimulam a criatividade e a busca por soluções alternativas para os problemas encontrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10719**: Informação e documentação - Relatório técnico e/ou científico - Apresentação. Rio de Janeiro, 2009.
- DUQUE, G.W.D. *et al.* Otimização do rendimento de um *Mousetrap Car* através de planilhas eletrônicas interligadas. In: SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL – SIMMEC, 9., 2010, São João Del-Rei. **Anais...**, São João Del-Rei: UFSJ, 2010.
- GILLESPIE, T.D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992.
- JUMPER, W.D. Modeling the Mousetrap Car. **The Physics Teacher**, v.50, p.137-142, 2012.
- MERKEL, C.T. Modeling the Mouse Trap Car. In: AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 109., 2002, **Proceedings...**, 2002.
- OGASHAWARA, O. *et al.* “Iniciação à Engenharia Elétrica” como parte do Processo de Implantação do Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSCar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 37., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UPF, 2009.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Projeto Pedagógico - Curso de Graduação em Engenharia Mecânica**. São Carlos: UFSCar, 2008a.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Projeto Pedagógico - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. São Carlos: UFSCar, 2008b.
- WATANABE, F.Y. *et al.* A Disciplina “Iniciação à Engenharia Mecânica” no Contexto do Processo de Implantação do Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da UFSCar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 37., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UPF, 2009.
- WATANABE, F.Y. *et al.* Desenvolvimento de Atividades de Projeto nas Disciplinas de “Iniciação à Engenharia”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 38., 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC/UNIFOR, 2010.



THE INITIATION TO ENGINEERING DISCIPLINE AND THE “MOUSETRAP CAR” PROJECT

Abstract: *In the present paper, the basic design procedures of a "Mousetrap Car" are presented, using principles of physics and mechanical design for the construction and testing of a vehicle propelled by a conventional mousetrap with a torsion spring. This project was adopted in the discipline "Introduction to Mechanical Engineering", offered in 2012 for the first period students of the course at the Federal University of Sao Carlos - UFSCar. This discipline integrates a group of "integrative disciplines" that seek to make the process of knowledge construction more dynamic and interesting for students, showing through real problems and situations the importance for the future engineers of the increase of abilities, competences, values and attitudes related to communication activities, planning, creativity, modeling, simulation, testing and teamwork.*

Key-words: *Initiation to engineering, Mechanical engineering, Interdisciplinary design*