



DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA A SIMULAÇÃO DE MECANISMOS

Marcos Antônio da Silva Irmão

Universidade Federal da Paraíba
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó
C.P. 58.109-970, Campina Grande, PB
mirmao@yahoo.com

Manuel Pereira do Nascimento Neto

Universidade Federal da Paraíba
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó
C.P. 58.109-970, Campina Grande, PB

Antonio Almeida Silva

Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó
C.P. 58.109-970, Campina Grande, PB
almeida@dem.ufpb.br

Resumo. *Face à necessidade de preparar os alunos de Engenharia Mecânica para aplicação dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Mecanismos e Dinâmica de Máquinas, com relação à simulação e análise do funcionamento de vários tipos de mecanismos, este trabalho tem como objetivos descrever as experiências obtidas em laboratório no desenvolvimento de uma bancada didática para simulação de mecanismos e utilização de recursos computacionais para visualização de trajetórias e movimentos resultantes. Inicialmente é feita a simulação de alguns mecanismos no ambiente MATLAB, inclusive com visualização gráfica em modo contínuo do movimento, e análise de parâmetros como deslocamento, velocidade e aceleração. Em seguida, é discutida a experiência vivenciada de construção de uma bancada didática resultante de um Trabalho de Conclusão de Curso. Esta consta de um painel removível que permite acoplar diversos tipos de mecanismos comuns e especiais para simulação e análise de mecanismos de máquinas, usando um motor de acionamento com inversão de rotação. É possível demonstrar que mesmo para mecanismos simples como o mecanismo de quatro barras, se faz necessário durante a fase de projeto, se obter informações via simulação computacional, e fazer análises de sua funcionalidade através de medidas reais, como a obtenção de trajetórias e análise das forças atuantes nos componentes.*

Palavras-chave: *Bancada didática, Simulação e animação de mecanismos, Dinâmica das máquinas.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Mabie & Ocvirk (1980), com avanço alcançado no projeto de instrumentos, controles automáticos e equipamentos automatizados, o estudo de mecanismos tomou novo significado. Mecanismo pode ser definido como a parte do projeto de máquinas relacionadas com o projeto cinemático de sistemas articulados, cames, engrenagens, trens de engrenagens, etc. Já o projeto

cinemático se baseia nos requisitos relativos ao movimento, diferindo do projeto baseado em requisitos de resistência. Para Grosjean (1991), os mecanismos desempenham uma função importante em praticamente todos os ramos da engenharia. Os mesmos encontram-se presentes em escavadoras, guindastes, locomotivas, máquinas de empacotamento, manipuladores, maquinário têxtil, dentre outros. Alguns mecanismos são muito simples, como o mecanismo de locomotiva. Já outros são mais complexos, como por exemplo: máquinas de tear, que consiste de conexões, deslizadores, engrenagens, operando individualmente ou em combinação, modificando movimentos, transmitindo forças, trabalhando com alta ou baixa velocidade e operando em todas as espécies de ambientes. Muitos mecanismos são constituídos de simples conexões ou barras ligadas por meio de pinos ou deslizadores.

Segundo Shigley & Uicker (1995), tanto métodos gráficos como algébricos podem ser utilizados para calcular deslocamentos, velocidades e acelerações. Métodos gráficos são rápidos e permitem boa visualização para uma determinada posição do mecanismo, mas tornam-se tediosas se muitas posições são solicitadas para se obter um desenho da performance do mecanismo durante um ciclo de operação; sua precisão também é limitada. Métodos algébricos expressam deslocamento, velocidade e aceleração por meio de equações que permitem serem manuseadas por computadores com alto grau de precisão em todas as possíveis posições do mecanismo. Com o advento das calculadoras programáveis e computadores pessoais, estes métodos são facilmente implementados permitindo a visualização rápida destes parâmetros e otimização do processo de projeto.

2. PROBLEMÁTICA

Segundo Skarski (1980), de um modo geral, a análise cinemática trata através de verificações e determinações da resolução dos seguintes problemas:

Deslocamento - Para um mecanismo projetado torna-se indispensável o controle da extensão de movimento das peças para evitar sua colisão durante o ciclo completo de movimento e, ao mesmo tempo, para verificar a compatibilidade dimensional com o espaço disponível;

Velocidade - Cada mecanismo não é apenas um transformador de movimento, mas também, transformador de potência, definida como produto de força e velocidade, ou, para o movimento de rotação, como produto de momento das forças (externas) para velocidade angular. A partir da velocidade conhecida e da potência desenvolvida pode-se determinar as forças atuantes necessárias para o dimensionamento das peças de um mecanismo. A análise trata, pois, da verificação da exatidão de um desejado diagrama de velocidade. A solução deste problema cinemático exige, muitas vezes, uma situação repetitiva para, através da análise, comprovar a aproximação mais adequada do diagrama almejado;

Aceleração - O dimensionamento dos mecanismos depende, também, das forças de inércia, as quais, mediante a segunda Lei de Newton são expressas em termos de aceleração das partes móveis. É interessante ressaltar que as forças de inércia são frequentemente maiores do que as forças de tração, ou forças de natureza estática. Elas determinam, em última análise, a máxima rotação e o rendimento de um mecanismo e, portanto, de uma máquina.

3. MECANISMOS BÁSICOS

3.1. Mecanismos de Quatro Barras

Um dos mecanismos mais simples e de aplicação variada em máquinas e equipamentos é o mecanismo de quatro barras ou quadrilátero articulado, conforme ilustrado na Fig. (1), (Mabie & Ocvirk, 1980). A peça 1 é o suporte ou chassi, geralmente estacionária. A manivela 2 é a peça acionadora que pode girar ou apenas oscilar. Em ambos os casos, a peça 4 (balancim) irá oscilar. Se a peça 2 gira, o mecanismo transforma movimento de rotação em oscilação. Se a manivela oscila, o mecanismo então multiplica o movimento de oscilação, através da peça 3 (biela). Enquanto a manivela 2 gira, não há perigo de travamento do mecanismo. Entretanto, se esta oscila, deve-se

tomar cuidado no dimensionamento dos comprimentos das peças para evitar pontos mortos de modo que o mecanismo não pare em suas posições extremas (travamento). Estes pontos mortos ocorrerão quando a linha de ação da força acionadora tiver a mesma direção da peça 4.

- 1 – Suporte
- 2 – Manivela
- 3 – Biela
- 4 – Balancim

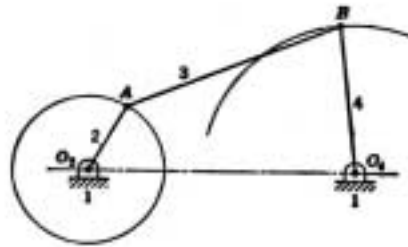


Figura1. Mecanismo de quatro barras

3.1.1. Lei de Grashoff

Segundo Mabie & Ocvirk (1980), pode-se aplicar a Lei de Grashoff como uma maneira de determinar se o mecanismo irá operar como manivela balancim, manivela dupla ou balancim duplo. Esta lei estabelece que se a soma dos comprimentos da maior e da menor peça for *menor do que* a soma dos comprimentos das outras duas, o mecanismo formará:

- 1) Dois mecanismos manivela balancim, diferentes, quando a menor peça for a manivela e qualquer das peças adjacentes for a peça fixa;
- 2) Um mecanismo manivela dupla quando a menor peça for a fixa;
- 3) Um balancim duplo quando a peça oposta à menor for a peça fixa.

Também, se a soma dos comprimentos da maior e da menor peça for *maior do que* a soma dos comprimentos das outras duas, somente resultarão balancins duplos. Também, se a soma da maior e da menor peça for *igual* à soma das outras duas, os quatro mecanismos possíveis são similares aos dos casos 1, 2 e 3 acima citados. Entretanto, neste último caso a linha de centro do mecanismo pode ficar alinhada com as peças de modo que a manivela conduzida possa mudar o sentido de rotação a não ser que algo seja feito para evitá-lo. Tal mecanismo é apresentado na Fig. (2b), onde as peças podem ficar alinhadas com a linha de centros O_2O_4 . Nesta posição, o sentido de rotação da peça 4 pode mudar a não ser que a inércia desta peça a leve a ultrapassar este ponto.

O Mecanismo de quatro barras pode assumir várias formas como as mostradas na Fig. (2). Na Fig. (2a) o mecanismo está cruzado, isto é, quando as peças 2 e 4 giram, o fazem em sentido opostos. Na Fig. (2b) as peças opostas têm o mesmo comprimento e, portanto, sempre permanecem paralelas; as peças 2 e 4 têm o mesmo movimento de rotação. Este tipo de mecanismo é característico das rodas motrizes de uma locomotiva a vapor. A Fig. (2c) mostra outro arranjo no qual a peça motriz e a conduzida giram continuamente. Esta forma de quadrilátero articulado é a base para o mecanismo de manivela dupla e corredeira. Se a peça 2 girar a uma rotação constante, a peça 4 terá uma velocidade angular não uniforme. A Fig. (2d) mostra um arranjo onde a peça 4 da Fig. (1) foi substituída por um bloco deslizante. O movimento dos dois mecanismos é idêntico.

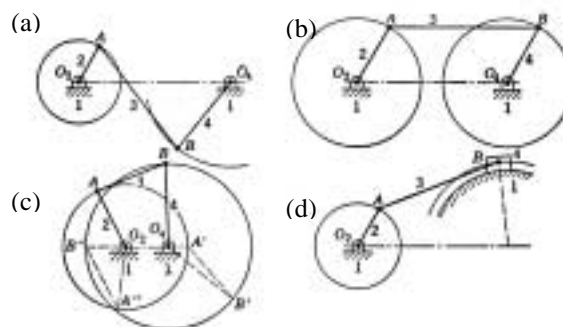


Figura 2. Outros sistemas de quatro barras.

3.2. Mecanismo Cursor-Manivela

Este mecanismo é amplamente utilizado e encontra sua maior aplicação no motor de combustão interna. A Fig. (3a), (Mabie & Ocvirk, 1980), mostra um esboço em que a peça 1 é o bloco do motor (considerado fixo), a peça 2 é a manivela, a peça 3 a biela e a peça 4 o êmbolo ou cursor. Sobre a peça 4 atua a pressão dos gases, no motor de combustão interna. A força é transmitida à manivela, através da biela. Pode-se ver que haverá dois pontos mortos durante o ciclo, um em cada posição extrema do curso do êmbolo. Para evitar a parada do mecanismo nesses pontos mortos é necessário o emprego de um volante solidário à manivela. Este mecanismo também é usado em compressores de ar onde um motor elétrico aciona a manivela que por sua vez impulsiona o êmbolo que comprime o ar.

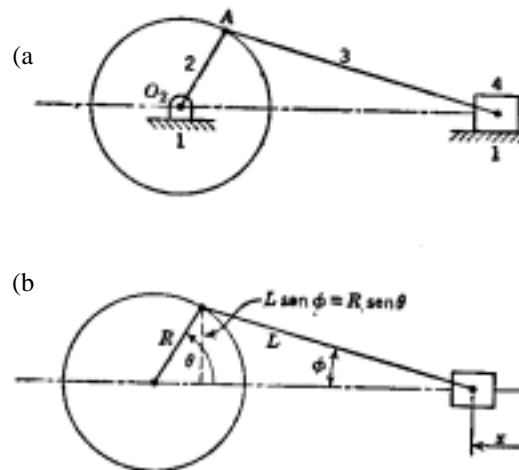


Figura 3. Sistema cursor-manivela.

3.3. Mecanismo de Plana Limadora

Este mecanismo é uma variação da segunda inversão do mecanismo cursor-manivela em que a biela é a peça fixa. A Fig. (4) apresenta este mecanismo onde a peça 2 gira e a peça 4 oscila. Este mecanismo é usado em máquinas operatrizes para dar-lhes um curso de corte lento e um curso de retorno rápido para uma velocidade angular constante da manivela motriz. No projeto de mecanismo de retorno rápido, a razão entre os ângulos descritos pela manivela motriz durante o curso de corte e o curso de retorno é de suma importância e é conhecido como razão de tempos. Esta razão deve ser maior do que a unidade e seu valor deve ser o maior possível para que haja um retorno rápido da ferramenta de corte, representada pelo cursor 6.

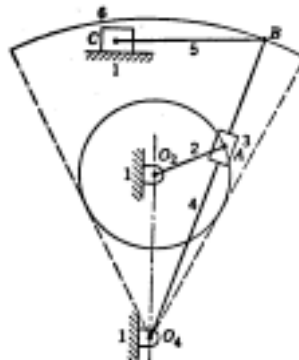


Figura 4. Mecanismo de plana limadora.

4. DESCRIÇÃO DE PROGRAMAS MATLAB PARA SIMULAÇÃO E ANIMAÇÃO DE MECANISMOS

Para a simulação e análise dos mecanismos, foram utilizadas algumas rotinas computacionais de simulação no ambiente MATLAB desenvolvidas por Silva (2001), bem como novas rotinas com recursos de animação dos movimentos, desenvolvidas num trabalho de Estágio docência na disciplina de Mecanismos (Irmão, 2002).

4.1. Mecanismo de quatro barras: Este programa simula o comportamento cinemático de um mecanismo de quatro barras, conforme ilustrado na Fig. (5). O mecanismo é formado por uma peça fixa, representando o suporte (barra 1), uma peça rotativa representando a manivela (barra 2), uma peça de interligação ou biela (barra 3) e uma quarta barra, articulada na extremidade direita do suporte (balancim). O programa permite, a partir de uma entrada conhecida (deslocamento angular da manivela θ_2), localizar a posição espacial dos outros membros restantes, pelas seguintes expressões: $\theta_4 = \theta_2 + \arccos((r_3^2 - r_2^2 - r_4^2) / (2 * r_2 * r_4))$, onde $r_e = (r_1^2 + r_2^2 - 2 * r_1 * r_2 * \cos(\theta_2))^{0.5}$; r_1 , r_2 , r_3 e r_4 , são os comprimentos das barras 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Como resultado do programa são plotados em modo contínuo o mecanismo em várias posições, dando idéia visual do deslocamento completo do mecanismo; E ainda curvas que relacionam o ângulo de entrada com deslocamento, velocidade e aceleração de qualquer uma das barras.

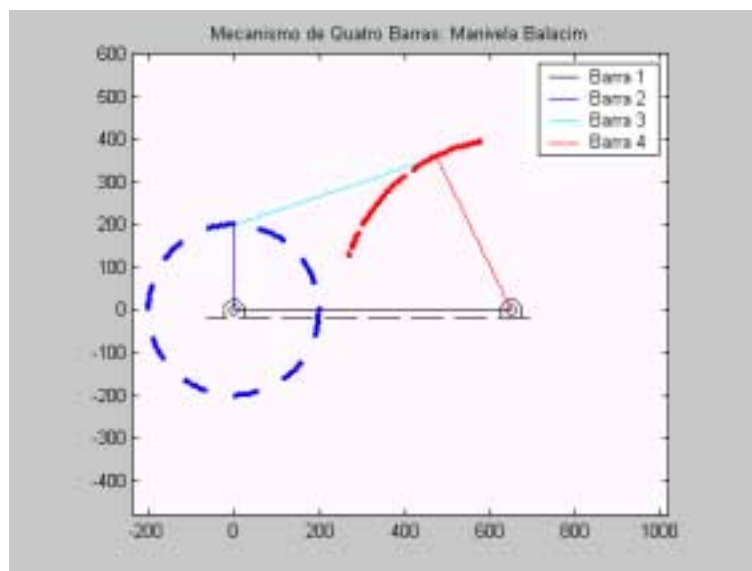


Figura 5. Simulação do mecanismo de quatro barras.

4.2. Mecanismo de plaina limadora: Este mecanismo é formado por cinco peças, conforme já ilustrado na Fig. (4). O programa desenvolvido simula o comportamento cinemático, a partir de uma entrada θ_2 , que é a posição angular da manivela. Esta entrada se relaciona com a posição linear da ferramenta de corte (cursor 5) pela expressão: $x = (\sin(\theta_2) * L * R) / (R * \cos(\theta_2) + D)$, obtida a partir das relações geométricas do mecanismo. Portanto, para cada posição angular da barra 2 é possível definir a posição do cursor, e também das outras peças do mecanismo, que plotados num modo contínuo pelo comando "movie" do Matlab, simula o movimento completo do mecanismo, conforme ilustrado na Fig. (6). Além disso, o programa permite conhecer o comportamento dos parâmetros deslocamento, velocidade e aceleração de todas as peças em função do ângulo de entrada.

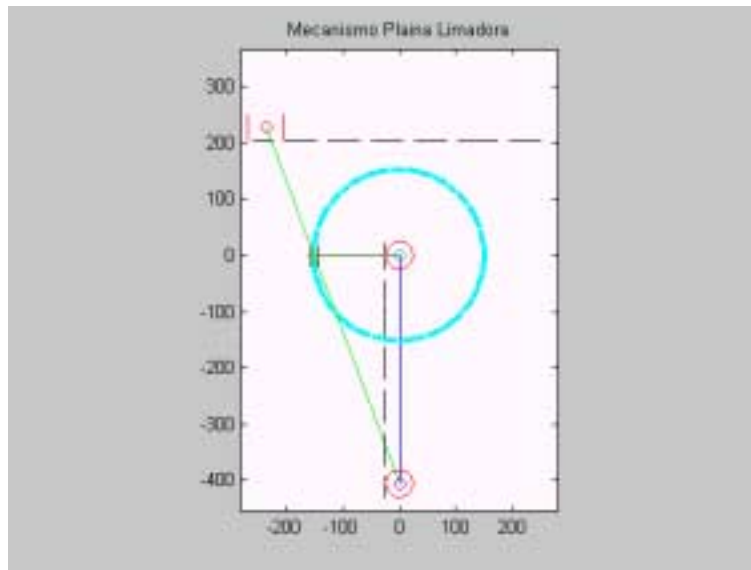


Figura 6. Simulação do mecanismo plaina limadora.

4.3. Mecanismo combinado cursor-manivela dupla: Este mecanismo é uma combinação de um mecanismo de quatro barras com um mecanismo cursor-manivela, conforme ilustrado na Fig. (7). Num primeiro momento, se equacionou o mecanismo de quatro barras relacionando o seu ângulo de saída (θ_4) com o ângulo de entrada da manivela do segundo mecanismo, que difere de uma fase de aproximadamente 90° . Em seguida, se relacionou esta entrada com a saída deste segundo mecanismo, que é o deslocamento linear do cursor. A partir disto foi então calculada cada posição instantânea, e plotado a representação de todo o mecanismo, para cada uma destas posições no modo contínuo, da mesma forma que nas simulações anteriores.

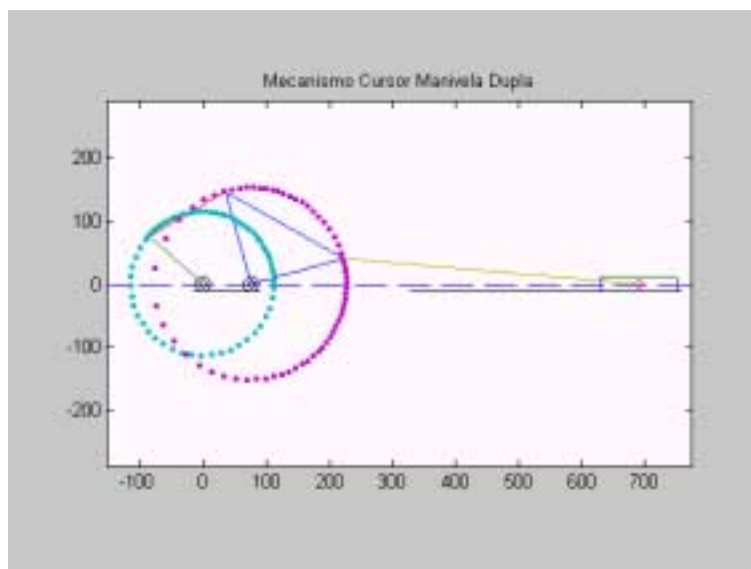


Figura 7. Simulação do mecanismo combinado cursor - manivela dupla.

4.4. Mecanismo came cilíndrica - seguidor plano: Este mecanismo é simples e bastante utilizado em aplicações onde se deseja transformar o movimento rotativo de um excêntrico num movimento angular oscilatório, sendo formado por uma barra fixa ou suporte, onde são acopladas na sua extremidade direita uma came cilíndrica e na outra extremidade uma barra deslizante, que se desloca tangencialmente à circunferência da came, conforme ilustrado na Fig. (8). A partir da

intersecção da barra deslizante (seguidor) com a circunferência da came (excêntrico) no ponto $P(x,y)$, obtém-se um conjunto de equações que descrevem a trajetória de movimento do sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - A)^2 + (y - B)^2 = R^2 \\ (x + L) * (A - x) - (y - 0) * (y - B) = 0 \end{array} \right\}. \text{ Definida esta solução, através do comando } \textit{solve} \text{ no Matlab,}$$

relaciona-se por trigonometria a posição angular do seguidor e suas respectivas velocidades angulares, que também é a saída do programa. Além da plotagem em modo contínuo do movimento completo do mecanismo, pode-se plotar os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração do seguidor em função do ângulo de entrada da came.

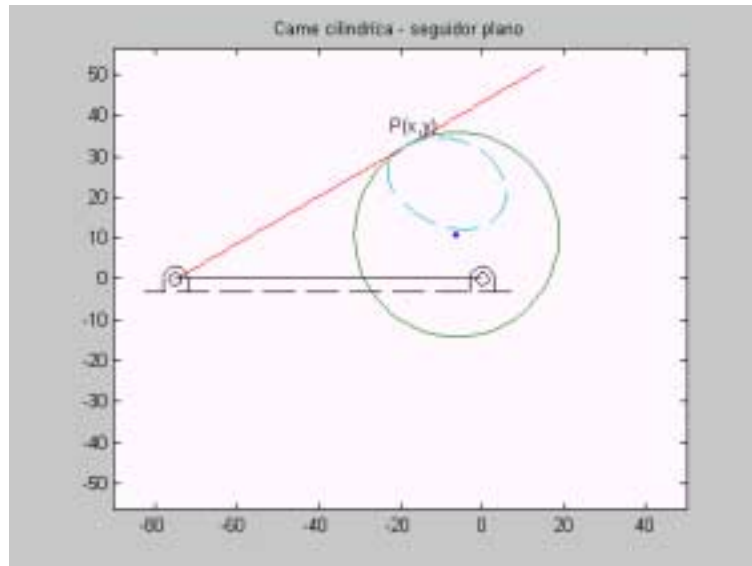


Figura 8. Simulação do mecanismo came cilíndrica - seguidor plano.

5. CONSTRUÇÃO DA BANCADA DIDÁTICA

Com o objetivo de melhor entender o funcionamento de alguns mecanismos, e verificar os resultados obtidos de simulação computacional, foi construída uma bancada didática cujos requisitos de projeto são principalmente a facilidade de montagem dos componentes e intercambialidade dos vários tipos de mecanismos num painel modular. Inicialmente, foi construído um mecanismo de quatro barras, que permite a variação do posicionamento das respectivas barras e inversão do mecanismo. O material escolhido para a fabricação das barras foi o alumínio em função da leveza apresentada pelo mesmo. Nas articulações dos mecanismos foram inseridos, sob pressão, rolamentos de motores de passo com a finalidade de reduzir atritos entre as conexões e possibilitar um melhor acabamento do projeto.

As barras utilizadas têm espessura de 3 mm, e apresentam os seguintes comprimentos: manivela = 200 mm; biela = 500 mm; balancim = 400 mm e suporte = 650 mm. Para acionamento da haste motora utilizou-se um motor CC (Corrente Contínua) de 12V, com uma velocidade de acionamento reduzida para 60 rpm, e possibilidade de inversão do sentido de rotação.

Uma simulação do comportamento dinâmico deste mecanismo pode ser visto na Fig. (9). Verifica-se que a velocidade angular do balancim atinge valores próximos de zero para posições da manivela correspondentes a 40° e 210° , enquanto os valores máximos de velocidade angular ocorrem para posições correspondentes a 120° e 340° , respectivamente. No que diz respeito a aceleração angular do balancim, observa-se que a mesma assume valores próximos de zero para posições da manivela correspondentes a 120° e 340° , enquanto que os valores de máximo e mínimo correspondem às posições 20° e 180° , respectivamente. Maiores detalhes da análise destes parâmetros estão descritos em Neto (2000).

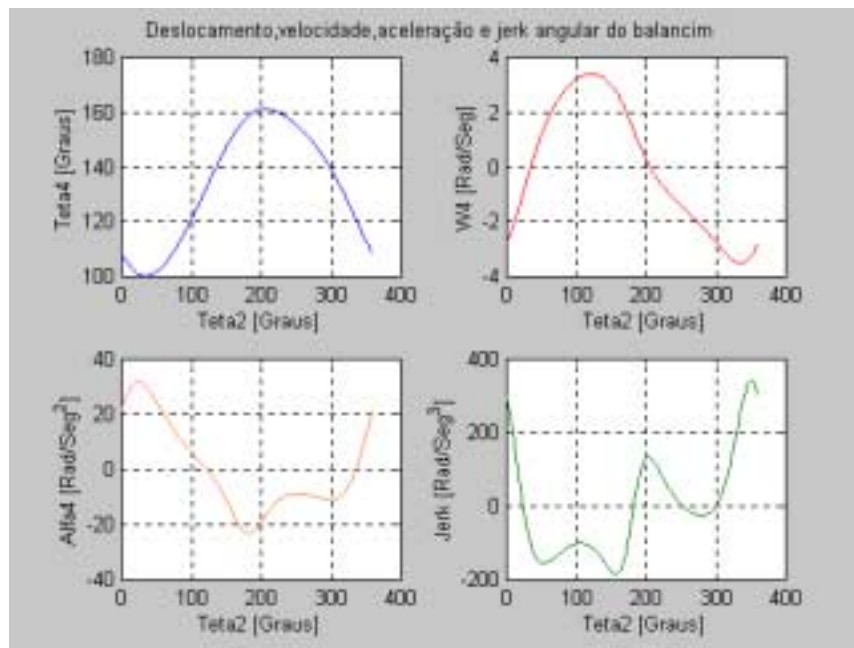


Figura 9. Simulação do comportamento dinâmico do mecanismo da bancada didática.

Uma visão do conjunto das barras e componentes montados, é mostrada na Fig. (10).



Figura 10. Componentes do mecanismo (barras e suporte de fixação).

Na construção da mesa de apoio para fixação do painel modular e componentes, foram utilizadas cantoneiras de aço, bloco de madeira, fórmica e rodízios para facilitar o deslocamento da bancada. O painel foi fixado na posição perpendicular à mesa de apoio para reduzir os efeitos de atritos entre as conexões durante o acionamento do mecanismo e permitir uma melhor visualização do funcionamento do mesmo. O mesmo também é dotado de chave liga-desliga que permite a inversão do sentido de rotação do motor. Outros painéis ou barras com diferentes dimensões poderão ser facilmente acoplados à mesa de apoio para permitir a simulação de outros mecanismos.

Para acionamento do motor foi utilizada uma fonte de alimentação 220V/60Hz para 12V/5A, especialmente construída para este fim. A Fig. (11), mostra uma visão geral da bancada didática construída por Neto (2000) durante um Trabalho de Conclusão de Curso, juntamente com o mecanismo de quatro barras montado e seus acessórios.



Figura 11. Visão geral da bancada didática.

6. CONCLUSÕES

O trabalho permitiu a realização de um estudo teórico e aplicação de metodologias gráficas e algébricas para a simulação e construção de uma bancada didática como recurso complementar de ensino, visando a simulação e análise do comportamento dinâmico de diversos tipos de mecanismos. Mesmo a partir da montagem de mecanismos simples como o de quatro barras, foi possível mostrar a importância da realização de simulações computacionais e análises na fase de projeto, tendo em vista o conhecimento da variação de parâmetros como deslocamentos, velocidades e acelerações resultantes nos diversos componentes para cada posição de trabalho.

A partir da montagem em laboratório de uma bancada didática para a simulação de mecanismos, também é possível elaborar roteiros e práticas de análise do mecanismo em escala real, e comparar suas respostas em termos de trajetórias e movimentos com os valores obtidos das simulações via computador. Uma análise da funcionalidade e problemas normalmente encontrados nos sistemas articulados, como pontos de travamento, atritos nas articulações, etc. também poderão ser avaliados e sugeridas novas concepções de projeto.

7. AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro concedido na forma de bolsa de Demanda Social, e a infraestrutura disponível do Laboratório de Vibração e Instrumentação do DEM/CCT/UFPB.

8. REFERÊNCIAS

- Grosjean, J., 1991, "Kinematics and Dynamics of Mechanisms", McGraw-Hill, London, 306 p.
- Irmão, M. A. S., 2002, "Desenvolvimento de Software no Ambiente MATLAB para a Simulação de Mecanismos", Relatório de Estágio Docência, UFPB/CCT/DEM.
- Mabie, H. H. and Ocvirk, F. W., 1980, "Mecanismos", 2ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 272 p.
- Neto, M. P. N. , 2000, "Desenvolvimento e Construção de uma Bancada Didática para a Simulação de Mecanismos", Trabalho de Conclusão de Curso, UFPB/CCT/DEM.
- Shigley, J. E. and Uicker, J. J., 1995 , "Theory of Machines and Mechanisms", Second Edition, McGraw-Hill, New York, 719 p.

Silva, A. A., 2001, "Programas e Rotinas de Simulação de Mecanismos via MATLAB", UFPB/CCT/DEM.
Skarski, B., 1980, "Análise Cinemática dos Mecanismos", Editora da Unicamp. Apostila de Curso.

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A WORKBENCH DIDACTIC FOR THE SIMULATION OF MECHANISMS

Abstract. *Face to the need of preparing the students of Mechanical Engineering for application of the acquired knowledge in the disciplines of Mechanisms and Dynamics of Machines, with relationship to the simulation and analysis of the operation of several types of mechanisms, this work has as objectives to describe the experiences obtained at laboratory in the development of a workbench didactic for simulation of mechanisms and use of computer resources for visualization of trajectory and resulting movements. Initially it is made the simulation of some mechanisms in the environment MATLAB, besides with graphic visualization in continuous way of the movement, and analysis of parameters as displacement, speed and acceleration. Soon after, the lived experience of construction of a workbench didactic resultant of a Work of Conclusion of Course is discussed. This consists of a removable panel that it allows to couple several types of common and special mechanisms for simulation and analysis of machine mechanisms, using an actuation motor with rotation inversion. It is possible to demonstrate that even for simple mechanisms as the four bars mechanism, it is done necessary during the project phase, to obtain information through simulation with computer, and to do analyses of your functionality through real measures, as the obtaining of trajectory and analysis of the forces in the components.*

Keywords. *Workbench didactic, Simulation and animation of mechanisms, Dynamics of the machines*