



SÍNTESE DE MECANISMOS DE 4 BARRAS PARA GERAR TRAJETÓRIA CURVA ACOPLADORA

Carlos Sergio Pivetta¹ – carlos.pivetta@etep.edu.br

Oswaldo Prado de Rezende¹ – osvaldo.rezende@etep.edu.br

Euler Barbosa¹ – euler.barbosa@etep.edu.br

Ana Maria Fortes Fonseca¹ – anafortes.fonseca@gmail.com

Alcir Donizete de Souza¹ – doni507@yahoo.com.br

¹CETEC Centro de Tecnologia e Ciência de São José dos Campos, Av. Barão do Rio Branco, 882

CEP 12242-800 – São José dos Campos – São Paulo

José Geraldo Trani Brandão² – brandao@feg.unesp.br

Marcelo Sampaio Martins² – marcelo.sampaio@feg.unesp.br

²UNESP - Universidade Estadual Paulista, Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá – SP

Resumo: As trajetórias de pontos do mecanismo de 4 barras são determinadas pelas dimensões das barras e o tipo de mecanismo. Quando se deseja obter uma trajetória de um ponto do mecanismo, não existentes em procedimentos de síntese mais comuns utilizados na engenharia, a solução torna-se mais difícil. Com a finalidade de facilitar a abordagem do assunto para os estudantes de engenharia e tornar o assunto de fácil resolução comparado com os métodos tradicionais, neste trabalho é apresentada uma rotina analítica e iterativa de projeto a qual utiliza a Equação de Freudenstein, o método dos mínimos quadrados e o MS Excel para obter o mecanismo que atenda uma trajetória, denominada de curva acopladora, definida por um número de posições desejadas de um ponto de interesse. São apresentados exemplos da síntese e das trajetórias desejadas e obtidas. Os resultados deste trabalho, para os casos estudados, mostraram que as trajetórias desejadas e as obtidas são bem aproximadas. A utilização do método apresentado permite obter soluções adequadas e visualização rápida que auxiliam no ensino de Engenharia.

Palavras-chave: Síntese de trajetória para mecanismos, Projeto de mecanismos de 4 barras, Síntese para curva acopladora.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema mecânico é resultado da associação de subsistemas estruturais, denominados de mecanismos cujos objetivos são os de transmitir esforços ou movimentos. Estes sistemas podem ser definidos como um conjunto de corpos rígidos ou flexíveis interligados por juntas cinemáticas.

De acordo com Flores e Claro (2007), ao se projetar um sistema mecânico ou ao se analisar um sistema já existente, problemas podem ser detectados, principalmente nas dimensões de cada um dos componentes ou nas ligações entre eles. Deve-se permitir que cada

um dos elos tenha o seu próprio e determinado movimento e cada um dos elementos que deve ser capaz de resistir às solicitações atuantes.

Síntese ou projeto de um mecanismo tem como objetivo determinar as dimensões das barras que o compõem de forma a alcançar posições específicas no funcionamento (NORTON, 1999).

O objetivo deste trabalho é o de estudar, analisar e descrever de forma didática o procedimento iterativo de Freudenstein, proporcionando facilidade para projetar mecanismos de 4 barras que gerem trajetórias desejadas. Este trabalho foi motivado pelo interesse em utilizar o método de síntese para obter trajetória existente na literatura e ora não divulgado nas referências atuais.

A motivação principal deste trabalho foi a de analisar a publicação de Soni (1974), detalhar e determinar uma rotina bem definida e adaptável a uma ferramenta computacional adequada visando elaborar o projeto de mecanismos de 4 barras para gerar uma trajetória desejada de uma forma rápida e precisa à partir das coordenadas de cada ponto e das posições da barra de entrada estabelecidas.

2. DESENVOLVIMENTO

O projeto de um mecanismo, também denominado de síntese, cujo objetivo é o de executar uma função específica, tal como atingir uma ou mais posições ou realizar uma trajetória, pode ser feito por procedimentos gráficos ou analíticos tradicionais já consolidados.

Nem sempre é possível obter a trajetória para a qual o mecanismo foi projetado e sim uma trajetória aproximada gerando assim o conhecido erro estrutural (MABIE & REINHOLTZ, 1987). Existem também erros gerados na fabricação dos mecanismos resultantes das tolerâncias especificadas para as dimensões de comprimentos das barras, diâmetros de furos e de pinos, e das folgas dos pontos de articulação, conhecidos como erros mecânicos (PIVETTA *et al.*, 2009). Uma única solução bem determinada, em vários casos torna-se impossível. Em geral, há um número maior de variáveis do que o número de equações presentes, requerendo atribuir valores iniciais de projeto do mecanismo e o processo torna-se iterativo, alternando entre a síntese e a análise.

Em função do contínuo desenvolvimento da síntese de mecanismos, vários métodos analíticos foram introduzidos, dentre eles o uso da equação de Freudenstein (UICKER *et al.*, 2010). A equação de Freudenstein foi obtida utilizando-se o mecanismo de 4 barras considerando as barras como vetores. A Figura 1 ilustra o mecanismo de 4 barras com suas respectivas denominações em que a equação de Freudenstein foi deduzida.

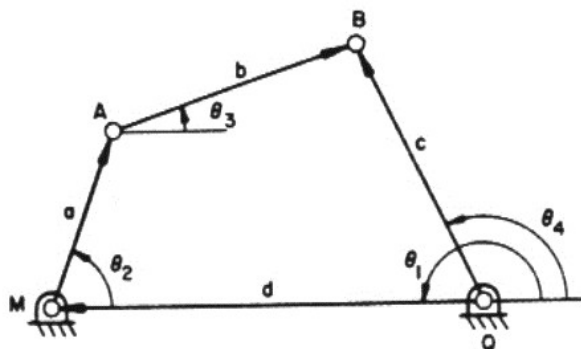


Figura 1 – Representação das variáveis dimensionais (SONI, 1974).

Ao se verificar a relação entre as barras pode-se deduzir a Equação de Freudenstein resultando na Equação (1) a qual é determinada pela somatória dos vetores posição que representa cada barra, iniciando pelo ponto Q .

$$d + a + b - c = 0 \quad (1)$$

A barra MQ está posicionada horizontalmente e ao se usar a notação de números complexos pode-se escrever a Equação (2).

$$de^{j\theta_1} + ae^{j\theta_2} + be^{j\theta_3} = ce^{j\theta_4} \quad (2)$$

Com base na Equação (2) e utilizando-se a notação retangular obtêm-se a Equação (3) e a Equação (4), que representam a somatória dos comprimentos das barras nas direções ortogonais.

$$a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3 - c \cos \theta_4 = d \quad (3)$$

$$a \sen \theta_2 + b \sen \theta_3 - c \sen \theta_4 = 0 \quad (4)$$

Ao se utilizar matemática recursiva eliminando-se o ângulo θ_3 , indesejado, aplicando-se a relação fundamental da trigonometria e isolando-se os fatores $\cos \theta_3$ e $\sen \theta_3$ obtêm-se a equação de Freudenstein. Considerando-se a fase do mecanismo definida pelo ângulo de posição da barra de entrada θ_2 e estabelecendo-se um índice “i” para cada fase, a equação de Freudenstein pode ser escrita conforme a Equação (5).

$$k_1 \cos \theta_{4i} + k_2 \cos \theta_{2i} + k_3 = \cos (\theta_{2i} - \theta_{4i}) \quad (5)$$

Ao se utilizar as Equações (6), (7) e (8) pode-se estabelecer a relação dos valores de k_1 , k_2 e k_3 .

$$k_1 = d / a \quad (6)$$

$$k_2 = d / c \quad (7)$$

$$k_3 = (a^2 - b^2 + c^2 + d^2) / (2ac) \quad (8)$$

A equação de Freudenstein, Equação (5), é geralmente utilizada para a síntese analítica de mecanismos de 4 barras quando se desejam 3 deslocamentos (4 fases) definidos pelas posições angulares das barras de entrada e de saída especificados pelos ângulos θ_{2i} e θ_{4i} . A solução é feita substituindo-se os respectivos ângulos θ_{2i} e θ_{4i} de cada fase do mecanismo na Equação (5), obtendo-se um sistema de 3 equações de 3 incógnitas k_1 , k_2 e k_3 . Ao se resolver o sistema de equações simultâneas e estabelecer um valor para a barra “a” e utilizar as Equações (6), (7) e (8) obtêm-se os valores de “d”, “c” e “b”.

Para a síntese de trajetória, a qual compreende mais que 4 fases do mecanismo, ao utilizar a equação de Freudenstein aplica-se a Equação (5) adaptando-a às condições de contorno do mecanismo. A Figura 2 ilustra as variáveis usadas para executar o projeto de mecanismos de 4 barras aplicando a equação de Freudenstein para se obter uma trajetória definida por um número “*n*” de posições do ponto *C*.

A Figura 2a) apresenta as variáveis utilizadas e a Figura 2b) ilustra os deslocamentos do ponto *C* da posição *C*₁ para *C*₂ e para *C*₃ ao movimentar a barra de entrada *r*₂ do mecanismo, neste caso no sentido anti-horário.

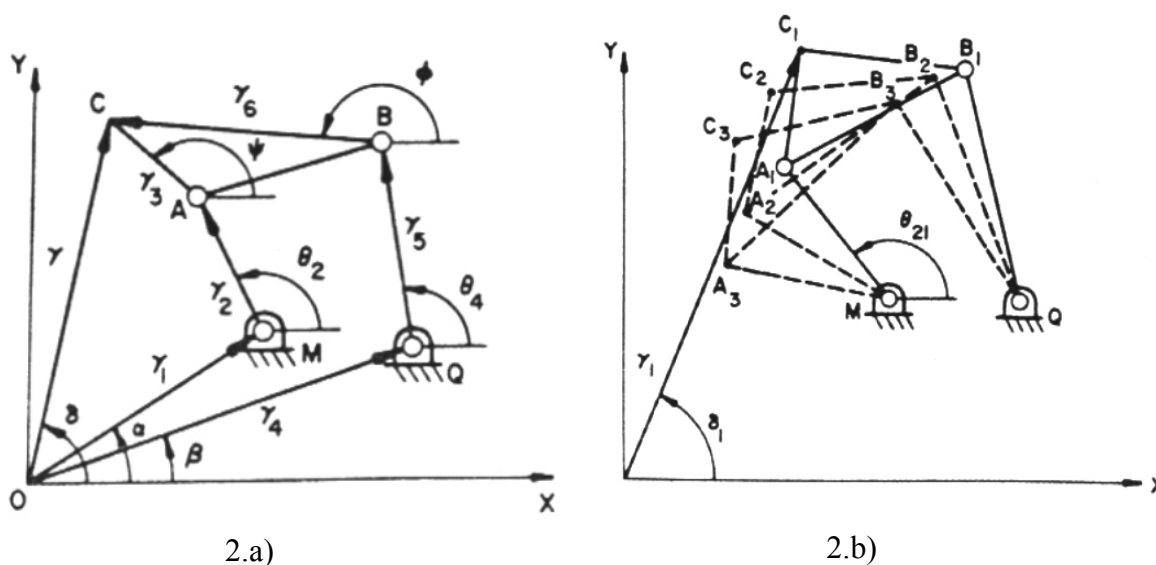


Figura 2 – Esquema de um Mecanismo de 4 barras (SONI, 1974).

Ao se observar a Figura 2a) pode-se definir as equação vetoriais relacionando os vetores *r*₁, *r*₂, *r*₃ e *r* e os vetores *r*₄, *r*₅, *r*₆ e *r*. Utilizando-se a notação de números complexos e substituindo-se a “fórmula de Euler”, e separando-se as partes reais das imaginárias obtêm-se as Equações (9), (10), (11) e (12).

$$r_1 \cos \alpha + r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \psi = r \cos \delta \quad (9)$$

$$r_1 \sin \alpha + r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \psi = r \sin \delta \quad (10)$$

$$r_4 \cos \beta + r_5 \cos \theta_4 + r_6 \cos \phi = r \cos \delta \quad (11)$$

$$r_4 \sin \beta + r_5 \sin \theta_4 + r_6 \sin \phi = r \sin \delta \quad (12)$$

A partir das Equações (9) a (12) podem-se eliminar os ângulos indesejados ψ e θ_4 e racionalizando as equações obtidas e ao se fazer um arranjo, escrevendo em ordem mais interessante obtêm-se as Equações (13) e (14).



$$r_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + r_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + (r_3^2 - r_1^2 + r_2^2) = r_2 + r_1 r_2 [2 \cos(\alpha - \theta_2)] \quad (13)$$

$$r_4 [2r \cos(\delta - \beta)] + r_6 [2r \cos(\delta - \phi)] + (r_5^2 - r_4^2 + r_6^2) = r_2 + r_4 r_6 [2 \cos(\phi - \beta)] \quad (14)$$

Fazendo-se substituições de parâmetros das Equações (13) e (14) por variáveis adequadas definidas na Equação (15) pode-se racionalizar a solução.

Ao substituir as os parâmetros da Equação (15) nas Equações (13) e (14) podem-se obter as Equações (16) e (17).

$$\begin{Bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3^2 - r_2^2 - r_1^2 \\ r_1 r_2 \\ r_4 \\ r_6 \\ r_5^2 - r_4^2 - r_6^2 \\ r_4 r_6 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$k_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + k_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + k_3 = r_2^2 + k_4 [2 \cos(\delta - \theta_2)] \quad (16)$$

$$k_5 [2r \cos(\delta - \beta)] + k_6 [2r \cos(\delta - \phi)] + k_7 = r_2^2 + k_8 [2 \cos(\phi - \beta)] \quad (17)$$

De acordo com Soni (1974), que utiliza as variáveis “k” com o índice “p” das Equações (16) e (17), linearizando-se o sistema usando a Equação (18) e fazendo-se as respectivas substituições obtêm-se as Equações (19) e (20).

$$k_p = l_p + \lambda m_p \quad (18)$$

$$l_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + \lambda m_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + l_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + \lambda m_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + l_3 + \lambda m_3 = r^2 + \lambda [2 \cos(\alpha - \theta_2)] \quad (19)$$

Resolvendo-se a Equação (19) obtêm-se 2 incógnitas “l” e “λm”. Fazendo-se uso das parcelas de “λmp”, dividindo-se por “λ”, e de “lp” pode-se obter as Equações (20) e (21).

$$l_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + l_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + l_3 = r^2 \quad (20)$$

$$m_1 [2r \cos(\delta - \alpha)] + m_2 [2r \cos(\delta - \theta_2)] + m_3 = [2 \cos(\alpha - \theta_2)] \quad (21)$$

Fazendo-se analogias e substituições para as Equações (11) e (12) obtêm-se as Equações (22) e (23).

(22)

$$l_4 [2r \cos(\delta - \beta)] + l_5 [2r \cos(\delta - \phi)] + l_6 = r^2$$

$$m_4 [2r \cos(\delta - \beta)] + m_5 [2r \cos(\delta - \phi)] + m_6 = [2 \cos(\alpha - \phi)] \quad (23)$$

Usando-se o método dos mínimos quadrados para se obter um ajuste mais preciso entre a trajetória real a ser obtida e a possível, Soni (1974) desenvolveu a aplicação empregando a Equação (5) (de Freudenstein), considerando um mínimo erro no ângulo de posição da barra de saída.

O fator “D” é o quadrado do erro de acordo com a Equação (24). Para se obter o mínimo erro entre os ângulos θ_{4i} obtidos e os desejados são feitas as derivações parciais de “D” em relação aos coeficientes k_1 , k_2 e k_3 e ajustando-as a zero, assim obtêm-se as respectivas Equações (25), (26) e (27).

$$D = \sum_{i=1}^n [k_1 \cos \theta_{4i} - k_2 \cos \theta_{2i} + k_3 - \cos(\theta_{2i} - \theta_{4i})]^2 \quad (24)$$

$$\frac{\partial D}{\partial k_1} = \sum_{i=1}^n [k_1 \cos \theta_{4i} - k_2 \cos \theta_{2i} + k_3 - \cos(\theta_{2i} - \theta_{4i})] \cos \theta_{4i} = 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial D}{\partial k_2} = \sum_{i=1}^n [k_1 \cos \theta_{4i} - k_2 \cos \theta_{2i} + k_3 - \cos(\theta_{2i} - \theta_{4i})] \cos \theta_{2i} = 0 \quad (26)$$

$$\frac{\partial D}{\partial k_3} = \sum_{i=1}^n [k_1 \cos \theta_{4i} - k_2 \cos \theta_{2i} + k_3 - \cos(\theta_{2i} - \theta_{4i})] = 0 \quad (27)$$

Com “n” posições (fases) desejadas e as respectivas coordenadas denominadas de “xc”, “yc” e aplicando-se a equação de Freudenstein para cada fase podem-se definir as dimensões das barras do mecanismo para realizar a trajetória próxima da desejada. As Equações (28) e (29) são usadas para o cálculo das coordenadas “ xc_i ” e “ yc_i ”.

Ao se substituir os valores nas Equações (19) a (23) serão obtidos 4 sistemas de equações simultâneas com as incógnitas “ l_i ” e “ m_i ”. Os valores de “r” de cada fase são determinados pela Equação (28) e os valores do ângulo “ δ ” são determinados pela Equação (29).

$$r_n = \sqrt{(xc_i^2 + yc_i^2)} \quad (28)$$

$$\delta_i = \tan^{-1}(yc_i / xc_i) \quad (29)$$

Para executar o cálculo dos valores de “ ϕ_i ” e de “ ψ_i ” se estima um valor inicial adequado para “ ϕ_i ” e se utiliza a Equação (30) para os demais valores de “ ψ_i ” e a Equação (31) para os ângulos “ ϕ_i ”.

$$\psi = [\cos^{-1}(r \cos \delta - r_1 \cos \alpha - r_2 \cos \theta_2)] / r_3 \quad (30)$$

$$\phi_i = \phi_1 + (\psi_i - \psi_1) \quad (31)$$

Os resultados da síntese são 4 alternativas de solução visto que as Equações (18) e (19) oferecem dois valores de “ λ ” cada e será necessário determinar qual dos dois deve ser a solução que seja adaptável à trajetória desejada.

A verificação do mecanismo obtido após os resultados da síntese, para se determinar a solução mais adequada, tomar a decisão da qual opção a escolher e validá-la poderá ser feita ao se utilizar as Equações (32) e (33).

O objetivo de se determinar as coordenadas “ x_c ” e “ y_c ” que serão obtidas com o mecanismo é o de fazer a comparação entre a trajetória desejada, que é utilizada como entrada para o problema da síntese, e a trajetória que o mecanismo poderá descrever. Desta forma podem-se determinar os erros previstos no uso do sistema mecânico articulado.

$$x_{c_i} = r_1 \cos \alpha + r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \psi \quad (32)$$

$$y_{c_i} = r_1 \sin \alpha + r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \psi \quad (33)$$

Um aspecto importante para a validação do mecanismo resultante, aquele que deverá ser escolhido como solução da síntese, é fazer uma análise de Grashof para identificar qual será o funcionamento previsto, o que poderá validar e permitir obter as posições estabelecidas da barra de entrada.

A “equação de Grashof” geralmente é expressa pela Equação (34). A Equação (34) descreve que se a soma dos comprimentos da barra menor “ S ” e da barra maior “ L ” for menor ou igual à soma dos comprimentos das outras duas barras “ P ” e “ Q ”, pode-se obter um mecanismo que permite girar 360° relativos em torno do seu ponto de rotação.

$$S + L \leq P + Q \quad (34)$$

Se o resultado da Equação (34), for verdadeiro podem-se obter três alternativas de mecanismo, sendo:

- a) se a menor barra for a barra fixa (r_1), ter-se-á um mecanismo de manivelas duplas, ou seja, as barras de entrada (r_2) e de saída (r_4) poderão girar 360° em torno do seu ponto de rotação;
- b) se a menor barra for a barra adjacente à barra fixa (r_2 ou r_4), então o mecanismo poderá girar esta menor barra e a outra adjacente somente poderá oscilar;
- c) se a menor barra for a barra oposta à barra fixa (r_3), então, as duas barras adjacentes (r_2 ou r_4) somente poderão oscilar em torno dos seus pontos de rotação (UICKER *et al.*, 2010).

3. RESULTADOS

São apresentados dois exemplos de aplicação do método descrito demonstrando os resultados da rotina utilizada para elaborar a síntese de mecanismo para obter trajetória desejada. O exemplo 1 foi publicado por Soni (1974). A Tabela 1 apresenta os pontos das coordenadas “ x_c ”, “ y_c ”, unidades com as unidades dimensionais em “mm” e em polegadas

mantendo-se as informações da publicação original de Soni (1974), em função das posições respectivas da barra de entrada conforme o ângulo de posição θ_2 , para o exemplo 1.

As coordenadas “xc” e “yc” fornecidas na Tabela 1 são consideradas em função da origem do sistema de coordenadas que por conveniência geralmente é escolhido o ponto O_2 , centro de rotação da manivela (barra 2).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos após a realização da síntese de trajetória e também com as unidades em “mm” e em pés (ft), com os dados originais de Soni (1974).

Tabela 1- Dados para a síntese de trajetória do exemplo 1 (Soni, 1974).

Posição	xc [mm, (in)]	yc [mm, (in)]	θ_2 [°]
1	30,988 (1,22)	92,964 (3,66)	161
2	51,816 (2,04)	113,030 (4,45)	131
3	82,296 (3,24)	124,460 (4,90)	101
4	116,078 (4,57)	121,920 (4,80)	71
5	142,748 (5,62)	103,124 (4,06)	41
6	155,448 (6,12)	81,280 (3,20)	11
7	147,320 (5,80)	59,944 (2,36)	341
8	116,332 (4,58)	46,990 (1,85)	311
9	78,740 (3,10)	37,084 (1,46)	281
10	49,022 (1,93)	37,592 (1,48)	251
11	30,480 (1,20)	49,022 (1,93)	221
12	22,860 (0,90)	68,580 (2,70)	191

Tabela 2- Resultados da Síntese do exemplo 1 (Soni, 1974).

Parâmetros	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
r_1 [mm, (ft)]	647,7 (2,125)	647,7 (2,125)	2278,68 (7,476)	2278,68 (7,476)
r_2 [mm, (ft)]	769,62 (2,525)	769,62 (2,525)	591,92 (1,942)	591,92 (1,942)
r_3 [mm, (ft)]	801,32 (2,629)	801,32 (2,629)	1002,49 (3,289)	1002,49 (3,289)
r_4 [mm, (ft)]	-184375 (-604,907)	2402,13 (7,881)	20308,20 (66,628)	-3261,66 (-10,701)
r_5 [mm, (ft)]	453908 (1489,200)	1111,61 (3,647)	4271,77 (14,015)	1685,24 (5,294)
r_6 [mm, (ft)]	-629850 (-2066,439)	1449,93 (4,757)	17187,98 (56,391)	-3465,58 (-11,370)
λ_1 e λ_2	5,364	5,364	14,520	14,520
$\lambda_{1,1}$, $\lambda_{1,2}$, $\lambda_{2,1}$, e $\lambda_{2,2}$	$1,250 \times 10^6$	3,815	3757,0	12,17
α [°]	56	56	56	56
β [°]	-6	-6	-6	-6
ϕ [°]	166	166	166	166

A Figura 3 ilustra o mecanismo traçado com suas respectivas barras e na fase 1 para o ponto (xC_I, yC_I) na primeira posição, sendo $x_c=30,988$ mm (1,22 in) e $y_c=92,964$ mm (3,66 in) em que o ângulo de posição da barra de entrada é $\theta_2=161^\circ$.

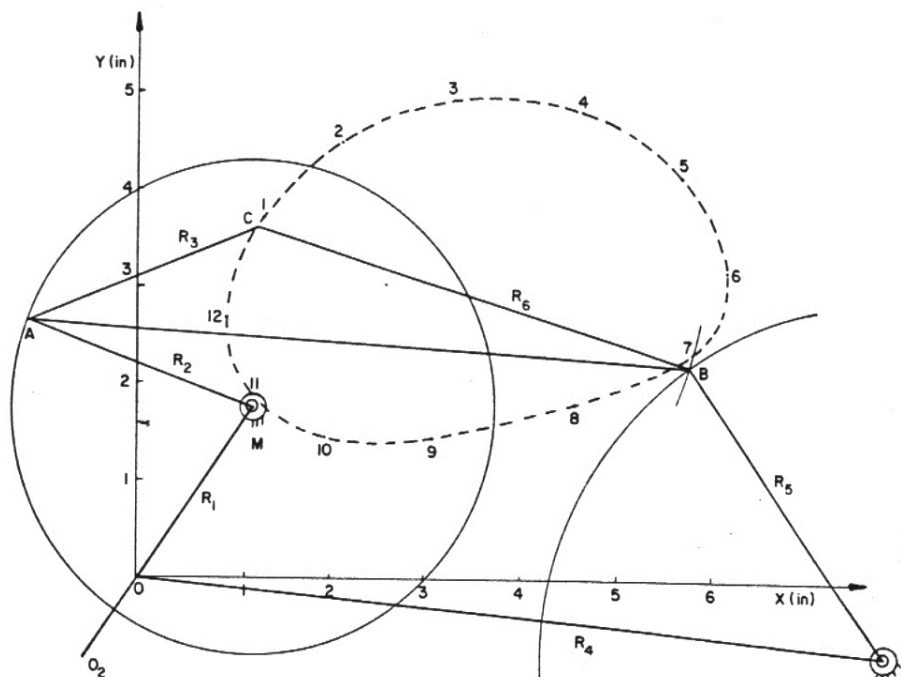
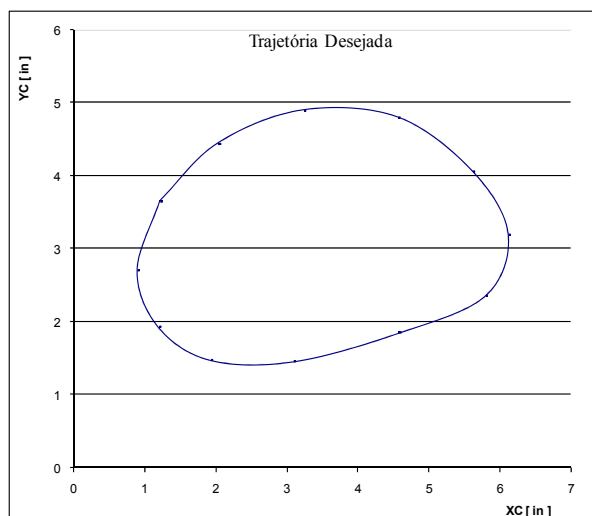


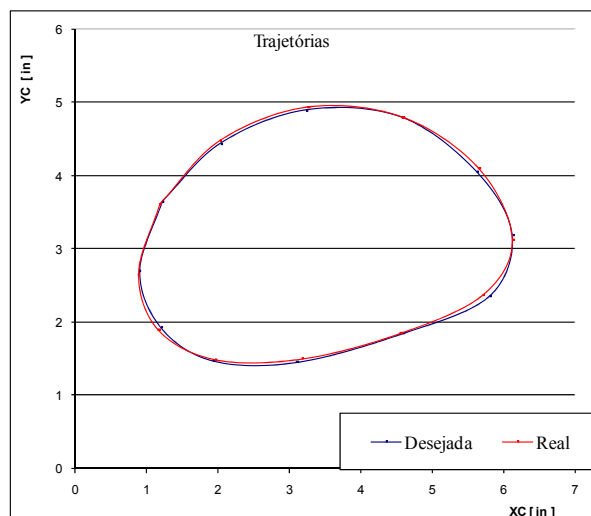
Figura 3 – Representação do mecanismo solução na fase 1 (SONI, 1974).

A Figura 4 ilustra as trajetórias desejadas e a obtida (real) do exemplo 1, em que foi escolhida a solução 2, por ser mais apropriada e atender as especificações iniciais da trajetória desejada, de acordo com Soni (1974).

Observa-se graficamente pela Figura 4b que há apenas pequenos erros entre a trajetória conseguida na síntese a desejada.



3a)



3b)

Figura 4 – Trajetórias do Exemplo 1: 3a) Desejada; 3b) Desejada x Obtida.

O exemplo 2 foi criado para a comparação com os dados diferentes das publicações sendo que para os dois casos foram escolhidos os valores de $\phi_1 = 166^\circ$, $\alpha = 56^\circ$ e $\beta = -6^\circ$.

Tabela 3- Dados para a síntese de trajetória do exemplo 2.

Posição	xc [mm]	yc [mm]	θ_2 [°]
1	122	350	161
2	204	480	131
3	340	470	101
4	440	440	71
5	562	440	41
6	612	350	11
7	580	260	341
8	400	190	311
9	380	160	281
10	230	160	251
11	150	200	221
12	120	270	191

A Aplicando-se a metodologia de síntese proposta por Soni (1974) para o exemplo 2 obtém-se os resultados apresentados na Tabela 4.

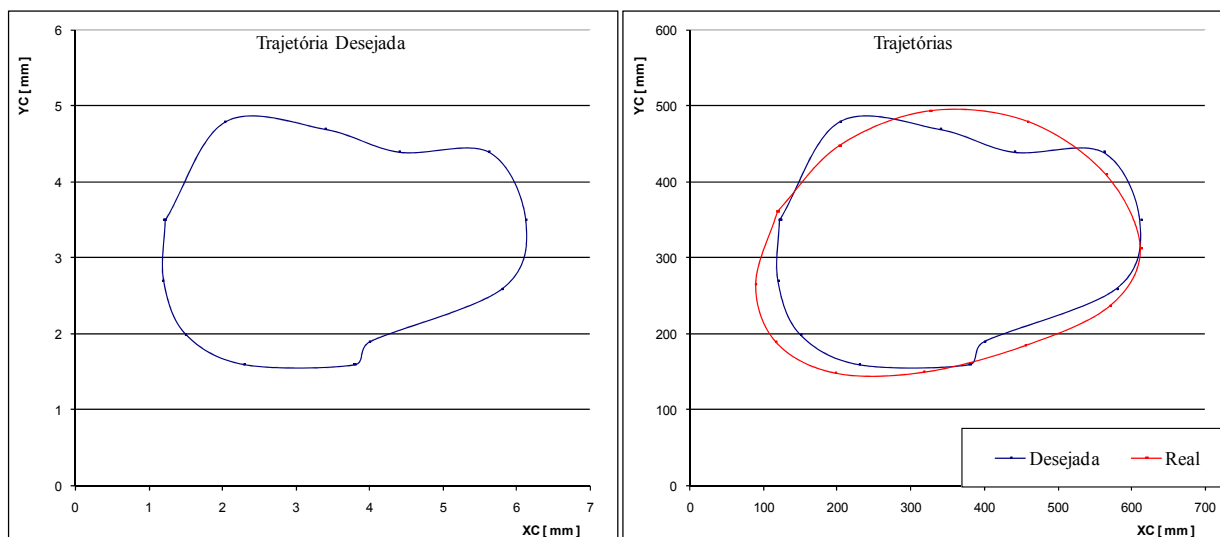
Tabela 4- Resultados da Síntese do exemplo 2.

Parâmetros	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
r_1 [mm]	38,1	38,1	765,9	765,9
r_2 [mm]	229,3	229,3	190,3	190,3
r_3 [mm]	434,1	434,1	336,2	336,2
r_4 [mm]	3368,6	1236	1563,8	1345,3
r_5 [mm]	424,5	261,1	194,8	191,7
r_6 [mm]	2864,5	953,7	1289,2	1109,6
λ_1 e λ_1	0,873	87,3	1457,8	1457,8
$\lambda_{1,1}$, $\lambda_{1,2}$, $\lambda_{2,1}$, e $\lambda_{2,2}$	964,95	117,88	201,69	14928
α [°]	56	56	56	56
β [°]	-6	-6	-6	-6
ϕ [°]	166	166	166	166

A Figura 5 apresenta as trajetórias desejada e obtida do exemplo 2 para a solução 2 da Tabela 4 que se tornou mais adequada e atende as necessidades. A Figura 5a) ilustra a trajetória desejada do Exemplo 2 e a Figura 5b) ilustra o comparativo entre as trajetórias desejada e obtida com o mecanismo sintetizado.

As curvas dos pontos “C” da Figura 5b), trajetórias desejada e obtida, permitem observar as diferenças entre as respectivas trajetórias.

Neste exemplo, pode-se observar que há erros maiores do que no caso do exemplo 1, cabendo a decisão da adoção da solução pelo responsável pelo projeto do mecanismo de 4 barras em estudo. Pode-se otimizar o mecanismo, ajustando-se alguns pontos desejados que eventualmente possam ser modificados



5a)

5b)

Figura 5 – Trajetórias do Exemplo 2: 5a) Desejada; 5b) Desejada x Obtida

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que o método atende as necessidades de síntese dos mecanismos e observando as Figura 3 e Figura 4 pode-se verificar que as trajetórias obtidas e as desejadas são próximas e apresentam um nível de continuidade muito bom, evitando possíveis vibrações no funcionamento.

Outro ponto importante é a utilização do MS Excel que permite a visualização imediata dos resultados. Além disto, permite facilidade e rapidez ao se fazer a síntese por meio desta metodologia, fazer possíveis ajustes nos parâmetros iniciais, a escolha da solução adequada dentre as soluções possíveis que são apresentadas e, também, permite a comprovação eficaz do projeto executada rapidamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agradecimentos

Os autores agradecem o CETEC – Centro de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos e à UNESP - Universidade Estadual Paulista que proporcionaram condições para a realização deste trabalho, o que objetivou o aperfeiçoamento da Engenharia no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Flores, P.; Claro, J.C.P.; Cinemática de Mecanismos. Coimbra, Portugal: Edições Almedina S. A., 2007.
- Mabie, H. H., Reinholtz, C. F., Mechanisms and Dynamics of Machinery, Ed. John Wiley & Sons, 1987.
- Norton, R. L., Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, Ed. McGraw-Hill Co, 1999.
- Pivetta, C. S., Rezende, O. P., Grechi, R., Campos, M. L., Brandão, J. G. T., Abordagem Geométrica e Computacional na Análise de Velocidade e Aceleração de Mecanismos de 4 Barras, XXXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, N.614. 10p., Recife 2009.
- Soni, A. H.; Mechanism Synthesis and Analysis; McGraw-Hill, 1974.
- Uicker Jr, J. J.; Pennock, G. R.; Shigley, J. E., 2010; Theory of Machines and Mechanisms, d. Oxiford University Press, 4ª ed., 2010.

FOUR BARS MECHANISMS SYNTESIS FOR COUPLER CURVES

Abstract: *The 4 bars linkage coupler curve points are defined from bars dimensions and the kind of the mechanism. When we want the coupler curve the one point, for the no well knowledge procedures of the solution will be more difficult. In order to simplify the subject for the engineering students and turn easily this contents capered with the traditional methods, in this job is showed an analytical and iterative design procedure using the Freudenstein Equation, the least square method and the MS Excel to obtain the mechanism which covers the defined curve by the number of positions desired of the interesting point. The examples of the synthesis and the curves desired are showed on this paper, which are approximately. The methods used allowed us to obtain adequate solution and the fast visualization which help the Engineering Education.*

Key-words: *four bars linkages synthesis, coupler curves four bars, tracing point synthesis.*