



ANÁLISE DO MOVIMENTO DE UM MOTOR MONOCILÍNDRICO

Suelen Cristina dos Santos – su_mec@hotmail.com

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Avenida Brasil Centro, 56
15385-000 – Ilha Solteira - SP

Lucas Bottino Vizzotto Stéfani – lucasbottino@yahoo.com.br

Robson Jorge das Neves Gomes – robsonjg@bol.com.br

Márcio Antônio Bazani – bazani@dem.feis.unesp.br

Resumo: *O protótipo de um motor monocilíndrico de combustão interna buscando a visualização do funcionamento dos mecanismos sincronizados de came, biela e manivela. Através das equações que regem o movimento determinaram-se os cursos máximos e mínimos para construção das partes do mecanismo, determinados os cursos as dimensões das peças foram escolhidas para melhor visualização do movimento, a partir disso iniciou-se a primeira etapa desenhando o mecanismo no software SolidWorks 2006. A segunda etapa consistiu na escolha do material de cada parte, na seqüência o mecanismo foi confeccionado e finalmente foi realizado o teste para verificar o funcionamento e sincronismo do protótipo.*

Palavras-chave: *Biela-Manivela, Came, Motor, Projeto Mecânico.*

1. INTRODUÇÃO

Neste caso, se abordará o motor com, somente, um cilindro, este tipo de motor não é comum, apenas alguns tipos de motores possuem um cilindro como exemplo, pode-se citar: motoneta, motocicleta e motor de popa.

O corpo do motor é um bloco de ferro fundido com um "buraco" de forma cilíndrica, no seu interior. Esse "buraco" recebe o nome de Cilindro.

Dentro do cilindro desloca-se o pistão, cujo movimento é de translação (subir e descer); sustentando o pistão tem-se uma haste denominada biela.

Na outra extremidade, a biela se prende a um eixo que tem a forma de uma manivela, a denominação correta para esta peça é árvore de manivelas, vulgarmente conhecida por virabrequim, o qual é obrigado a girar, quando o pistão executa o movimento de subir e descer.

O pistão passa por dois pontos extremos durante o seu curso: o ponto mais alto e o ponto mais baixo. Nesses pontos, há inversão de movimento e, por isso, são dois pontos onde a sua velocidade é nula. Costuma-se chamar a esses dois pontos de Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior – PMI, portanto o curso do pistão corresponde a distância entre os pontos morto inferior e superior.

Na parte superior do cilindro existem dois orifícios, que são abertos ou fechados por duas válvulas. Uma é a válvula de admissão; outra, a válvula de escape. Ainda aí, na parte superior, perto das duas válvulas existe uma pequena peça, denominada vela, cuja função é fazer saltar, no momento adequado, uma faísca, que vai incendiar o combustível, esta peça não será apresentada neste mecanismo.

O movimento das válvulas é determinado pela rotação das cames, as quais são mecanismos que desempenham um papel importante na maquinaria moderna, inclusive em motores de combustão interna.

Os motores à explosão operam em um ciclo de dois tempos ou de quatro tempos. Um ciclo, ou modo de funcionamento do motor significa os passos que devem ser repetidos para combustão da mistura ar - combustível nos cilindros. Os tempos são os movimentos de vaivém dos êmbolos. Um motor de quatro tempos tem um ciclo composto dos tempos de admissão ou de aspiração; compressão; combustão ou explosão; e expulsão ou escapamentos dos gases.

Em um motor com ciclo de dois tempos, o ciclo se opera combinando os tempos de admissão e compressão ao da explosão ao fim do tempo de explosão. Ainda que os motores de dois tenham baixa eficiência, são mais simples de construir e de menor custo do que os quatro tempos. São empregados onde abaixo custo é importante, como por exemplo em um cortador de grama. Um motor de dois tempos se desenvolve mais potência em relação ao peso e dimensão do que o motor de quatro tempos. Cada cilindro, em um motor de dois tempos, produz uma explosão a cada volta do virabrequim. Mas em um motor de quatro tempos, um cilindro produz uma explosão, uma volta sim, outra não do virabrequim.

O princípio pelo qual o motor se movimenta é apresentado abaixo:

1) A válvula de admissão "abre" e o cilindro aspira a mistura ar + combustível através do movimento de descida do pistão;

2) Fecha-se a válvula de admissão e o pistão volta a subir para comprimir a mistura. Neste instante salta uma faísca pela vela;

3) A mistura ao inflamar-se, se transforma em gases de alta pressão empurrando o pistão para baixo;

4) O pistão desce junto com a biela que movimenta o virabrequim e este volta a subir, abrindo a válvula de escape e expelindo os gases recomeçando assim o novo ciclo. [3]

-Alta e Baixa Compressão

Quando um êmbolo se move de baixo para cima em um cilindro, comprime a mistura de ar e gasolina na câmara de combustão. Um número conhecido como razão de compressão, indica proporção da mistura comprimida. Um motor de alta compressão pode ter uma razão de compressão de dez para um, tal motor comprime a mistura a 1/10 do seu volume original. Um motor de baixa compressão tem uma razão de oito para um.

Os motores de alta compressão queimam a gasolina com mais eficiência que os de baixa compressão. Entretanto, os motores de alta compressão necessitam de gasolina com alto índice de octanagem. A maioria das gasolinas de alto índice de octanagem contém aditivos de chumbo, que danificam os aparelhos denominados conversores catalíticos, colocados no sistema de exaustão a fim de remover poluentes. No início da década de 1970, por esta e outras razões, os fabricantes reduziram as razões de compressão - e as necessidades de octanagem - dos motores de veículos.

-Arranjo dos Cilindros

Os motores também são classificados pelo número e disposição dos cilindros. Os tipos mais comuns são motores em linha (no qual os cilindros estão dispostos em uma só fila), em V (em que os cilindros se dispõem em dois grupos iguais e formam um V), radial e horizontal oposto. Os motores radiais, nos quais os cilindros estão radialmente em torno do eixo de rotação, possuem números ímpares de cilindros, três, cinco, sete ou nove. A maioria dos motores tem números pares de cilindros, quatro, seis, oito ou doze. [2]

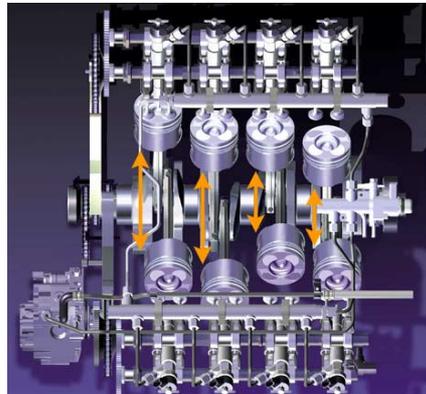


Figura 1- Motor de combustão interna evidenciando o curso

2. OBJETIVOS

Construir um modelo de motor monocilíndrico com seus respectivos acionamentos de válvulas, demonstrando o real funcionamento.

Apresentação Esquemática do Mecanismo:

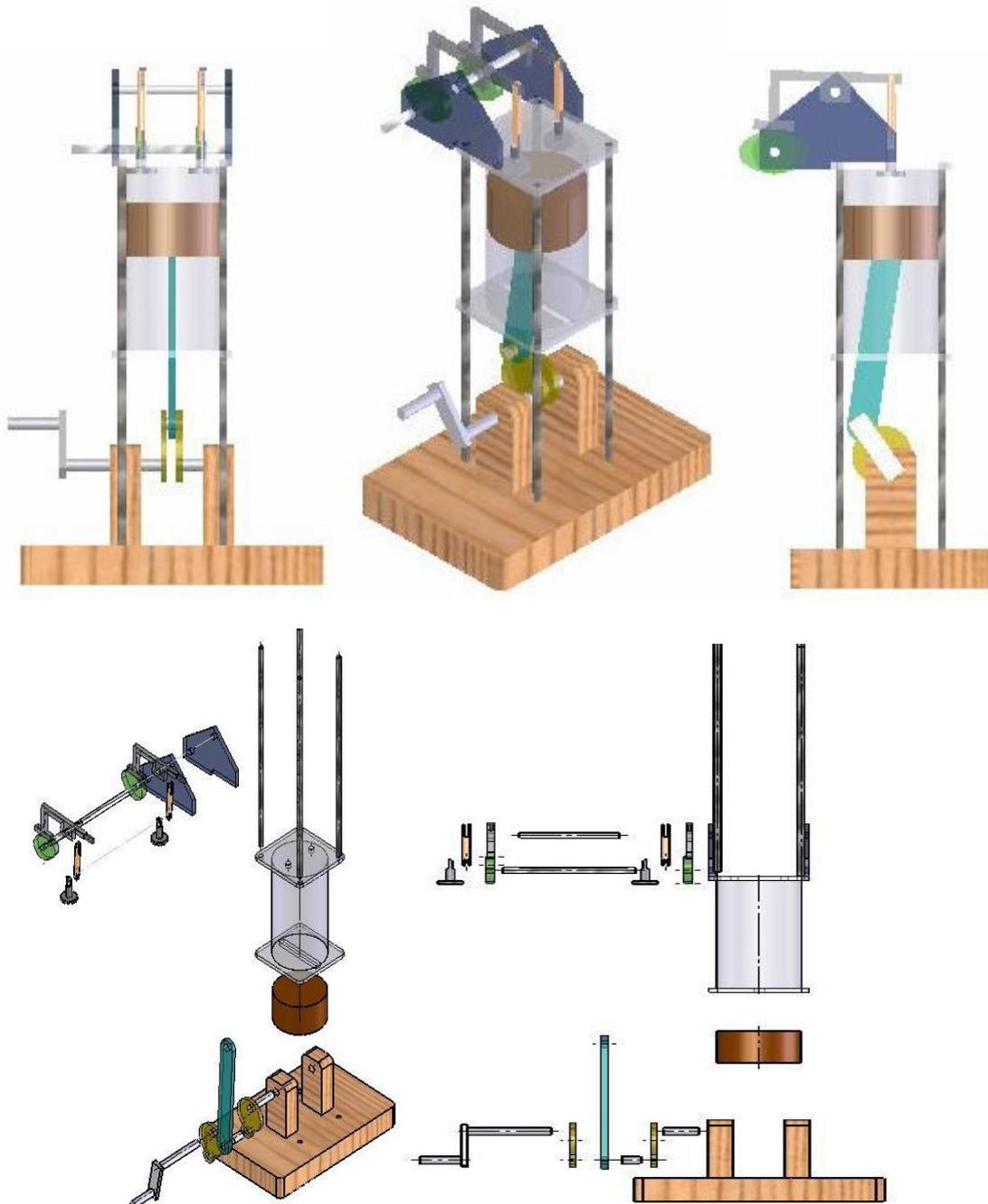


Figura 2- Modelo esquemático do projeto

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 Materiais Utilizados

- Chapa de acrílico de 8 mm
- Chapa de Policloreto de vinila (PVC) de 5 mm
- Garrafa de Fanta de 2L
- Haste de alumínio de 1/2"
- Haste de alumínio de 3/8"
- Cano de PVC de 100 mm
- Madeira
- Resistência de chuveiro
- 2 Barras roscadas

Conjunto de transmissão (corrente, coroa e pinhão)
Pregos
Porcas 5/16"
Arruelas
Parafusos de rosca soberba
Cola adesiva (superbonder)

3.2 Confeção do mecanismo

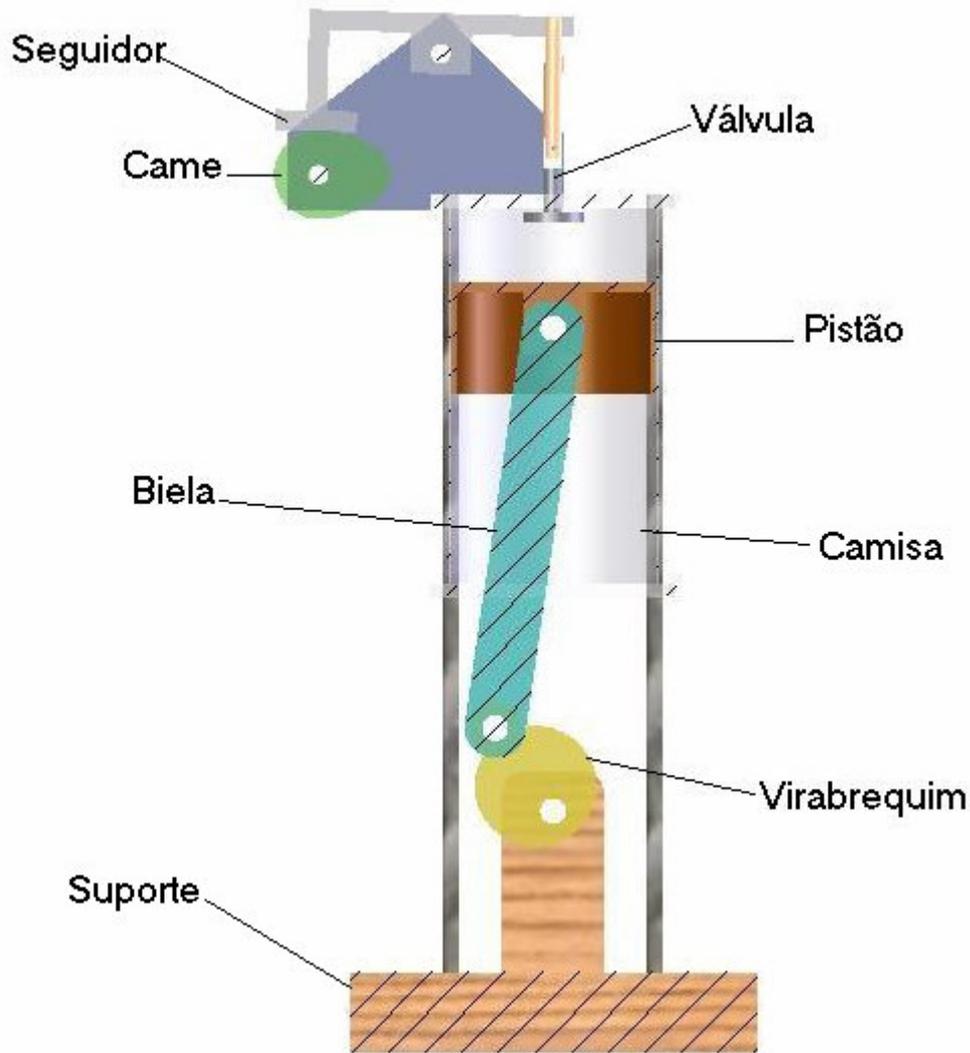


Figura 3 - Esquema do motor monocilíndrico

O mecanismo foi todo projetado no programa SolidWorks S.P. 0.0, findado o projeto, foi utilizado o recurso de simulação do movimento onde se sincronizou o funcionamento da cames, acionamento da válvula com o movimento do pistão, simulando o movimento de um motor real.

Os materiais utilizados foram escolhidos visando a padronização e melhor visualização do movimento das partes que compõe os mecanismos, sendo suas fixações feitas por meio de parafusos de rosca soberba.

- Válvulas:

As válvulas foram construídas com haste de alumínio de 3/8" e 40 mm de comprimento, um disco retirado de uma chapa de PVC com a utilização de uma serra copo, a união se deu pela utilização de cola.

-Came:

O projeto da geometria da came é determinado por uma função complexa, tornando-a de difícil construção, foi feita uma aproximação para quatro segmentos de círculo gerando a forma característica de uma came. Colocou-se no ponto de máximo deslocamento um ângulo maior, no qual a válvula permanecerá totalmente aberta durante esse intervalo.

Definido o projeto da came, foi impresso um desenho com as cotas e levado ao laboratório de usinagem CNC onde através de uma programa foi a mesma foi usinada.

- Pistão:

O diâmetro do pistão foi determinado pela camisa, que possuía dimensões fixas. A superfície radial do cilindro foi uma parte de tubo de PVC, acrescentando uma tampa de secção circular retirada da placa de PVC, a qual se tornou a parte superior do pistão e depois colada ao corpo cilíndrico com cola específica. Na parte interna do pistão montou-se um suporte em PVC, onde se fixa a biela.

- Biela:

Em um pedaço de acrílico desenhou-se o formato da biela que posteriormente foi cortado na serra de fita. No processo de desenho foram marcados os furos e depois da peça recortada foram feitos na furadeira de bancada.

- Árvore de manivelas ou Virabrequim:

O processo de fabricação é idêntico ao da biela. A opção da geometria da biela e manivela foram os mais simples, buscando a simplificação do processo de fabricação.

- Camisa:

A sua confecção foi feita através do recorte das partes não lineares de uma garrafa PET. O comprimento foi adaptado ao curso do pistão, levando em conta também a abertura das válvulas para que não haja colisão delas com o pistão.

- Parte superior e inferior da camisa:

As tampas da camisa ou cilindro foram feitas de acrílico com dimensões de 120 x 120 mm, sendo que para a parte inferior foi feito um rasgo na fresa para viabilizar o movimento da biela, e na superior foi acrescida um suporte para o eixo da came e furada para o recebimento das válvulas. Junto a válvula foram colocadas as molas de acionamento, que mantém a válvula fechada durante todo o tempo.

- Base de Fixação:

A base de fixação foi feita de madeira mais especificamente de ripas de um estrado, utilizado no transporte ou proteção de peças ou materiais. Foram unidas quatro dessas ripas alinhadas lado a lado com dimensões de 65 mm de largura e 280 mm de comprimento totalizando uma base de 260 x 280 mm. Da base sobe o apoio do eixo do virabrequim, que tem a função de carcaça do motor junto as hastes feitas de barras roscadas de 500 mm de comprimento e 5/16" de diâmetro.

- Mancais:

Foi feito uma carcaça de madeira, onde foram colocados dois rolamentos de esfera, possibilitando uma melhor movimentação da manivela.

- Balancim:

Através de um desenho impresso em escala foi feita a modelagem sobre a chapa de acrílico. Efetuou-se o posterior recorte e acabamento da peça.

- Eixos:

O eixo do comando de válvula foi confeccionado com uma barra de alumínio de 3/8” de diâmetro. De forma idêntica fabricou-se o eixo sobre o qual o balancim se movimenta, o eixo árvore do motor foi confeccionado com uma barra de 1/2”.

- Transmissão:

Partido da distância entre o eixo árvore e o de comando de válvulas optou-se pela transmissão por um elemento flexível: coroa, pinhão e corrente.

4. RESULTADOS

Tabela 1: Dimensão de cada peça do mecanismo

Parte do motor	Diâmetro(mm)	Comprimento(mm)	Largura (mm)
Biela	---	200	50
Came	---	15	---
Pistão	100	40	---
Válvula	40	50	---
Virabrequim	---	50	---

Para realização dos cálculos considerou-se a rotação de 3000 rpm do motor, tomando-se como base a operação de um veículo automotivo em uma viagem.

Determinação do movimento do pistão

- Cálculos de deslocamento do pistão em função do ângulo da manivela

Equação do deslocamento

$$X = R * (1 - \cos \theta) + \frac{R^2}{2 * L} * \text{sen}^2 \theta \quad (1)$$

Onde -R corresponde ao comprimento da manivela

- L corresponde ao comprimento da biela

- θ corresponde ao ângulo da manivela

- X corresponde a posição do pistão.

Tabela 2- Dados obtidos do deslocamento do pistão em função do ângulo da manivela

Ângulo (°)	Ângulo(rad)	Deslocamento X (m)
0	0	0
180	3,141592654	0,1
360	6,283185307	7,50E-34
540	9,424777961	0,1
720	12,56637061	3,00E-33

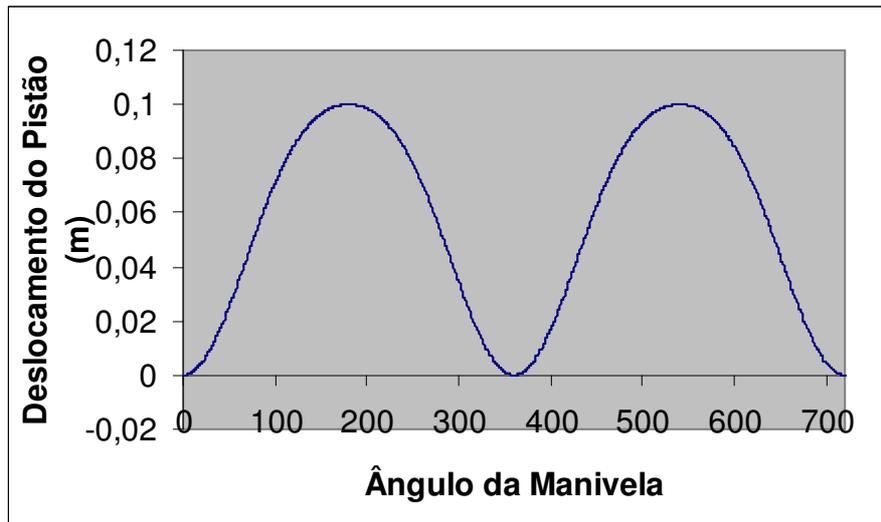


Figura 4 - Gráfico de deslocamento do pistão x ângulo da manivela

- Cálculo da velocidade do pistão (V) com relação ao ângulo da manivela
Equação da velocidade

$$V = R * \omega * \left[\text{sen} \theta + \frac{R}{2 * L} * \text{sen} 2\theta \right] \quad (2)$$

Onde -R corresponde ao comprimento da manivela

- L corresponde ao comprimento da biela
- θ corresponde ao ângulo da manivela
- ω corresponde a velocidade angular da manivela

Tabela 3: Dados obtidos da velocidade do pistão em função do ângulo da manivela

Ângulo (°)	Ângulo (rad)	Velocidade (m/s)
0	0	0
78	1,36135682	2,69E+00
180	3,14159265	1,50E-16
300	5,23598776	-2,70E+00
720	12,5663706	-1,83E-15

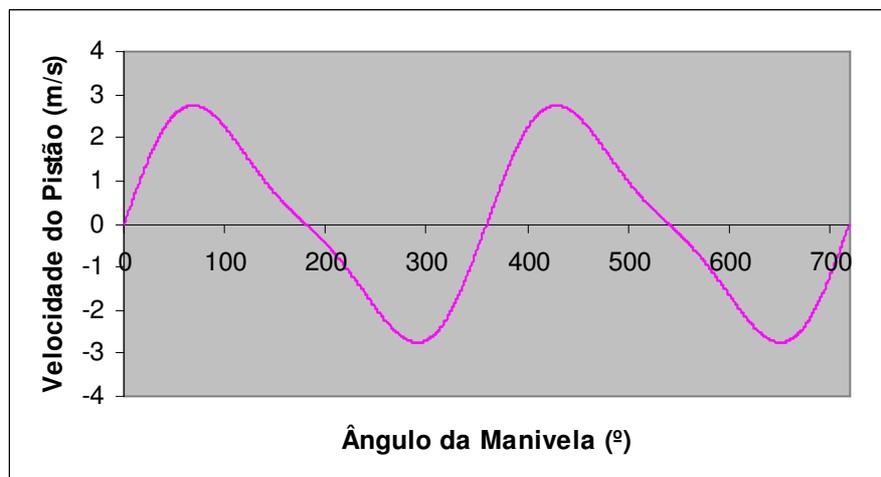


Figura 5 – Gráfico de velocidade do pistão x ângulo da manivela

- Cálculo da aceleração (A) do pistão em função do ângulo da manivela

Equação da aceleração do pistão

$$A = R * \omega^2 * \left[\cos \theta + \frac{R}{L} * \cos 2\theta \right] \quad (3)$$

Onde:-R corresponde ao comprimento da manivela

- L corresponde ao comprimento da biela

- θ corresponde ao ângulo da manivela

- ω corresponde a velocidade angular da manivela

Tabela 4 - Aceleração do pistão em função do ângulo da manivela

Ângulo (°)	Ângulo (rad)	Aceleração (m/s ²)
0	0	187,5
90	1,57079633	0
180	3,14159265	-187,5
270	4,71238898	0
360	6,28318531	187,5
450	7,85398163	0
540	9,42477796	-187,5
630	10,9955743	0
720	12,5663706	187,5

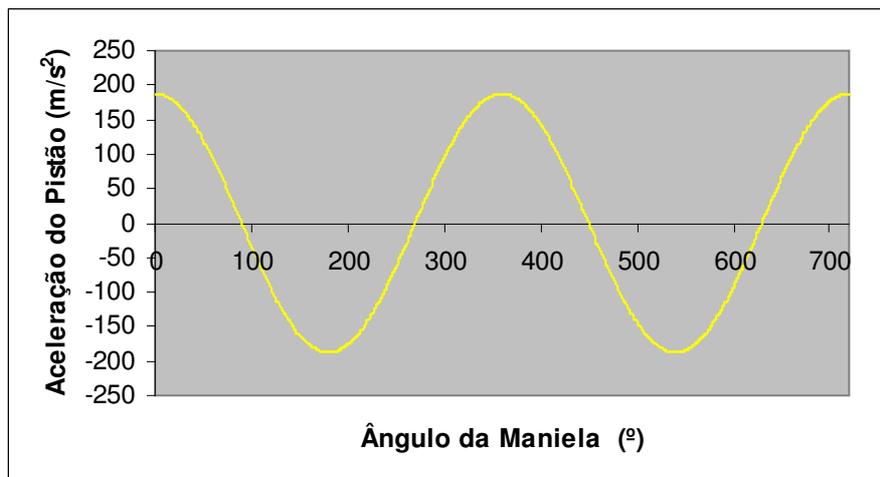


Figura 6 – Gráfico de aceleração do pistão x ângulo da manivela

Determinação do movimento do seguidor

Para determinação do movimento do seguidor utilizou-se o sistema de Kloomok e Muffley [1] de curvas ciclóides, neste caso C5 e C6.

Cálculo do deslocamento do seguidor em função do ângulo da came

Para o intervalo (0° a 90°) tem-se $S = 0$.

O ângulo de 134,7 corresponde ao momento que o seguidor atinge seu curso máximo.

Para o intervalo (90° a 134,7°) tem-se o movimento regido pelas equações da ciclóide C-5:

$$S = L * \left(\frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \text{sen} 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (4)$$

Para o intervalo (134,7° a 225,4°) tem-se $S = 15$ mm, caracterizando repouso do seguidor.

Para o intervalo (225,4° a 270°) tem-se o deslocamento regido pelas equações da ciclóide C-6.

Nesta situação ocorre o retorno do seguidor para sua posição original $S=0$.

$$S = L * \left(1 - \frac{\theta}{\beta} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (5)$$

Para o intervalo (270° a 360°) tem -se $S=0$, caracterizando o repouso do seguidor neste intervalo.

Onde: - L corresponde ao deslocamento total do seguidor

- θ corresponde a diferença de ângulos entre o início do período e onde ele se situa.

- β corresponde ao intervalo angular

- Cálculo da velocidade do seguidor (V) em função do ângulo da came

Para o intervalo (0° a 90°) tem-se $V=0$.

Para o intervalo (90° a 134.7°) tem-se o movimento regido pelas equações da cicloide C-5:

$$V = \frac{L}{\beta} * \left(1 - \cos 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (6)$$

Para o intervalo (134.7° a 225.4°) tem-se $V=0$

Para o intervalo (225° a 270°) tem -se o deslocamento regido pelas equações da cicloide C-6.

$$V = -\frac{L}{\beta} * \left(1 - \cos 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (7)$$

Para o intervalo (270° a 360°) tem -se $V=0$.

Onde: - L corresponde ao deslocamento total do seguidor

- θ corresponde a diferença de ângulos entre o início do período e onde ele se situa.

- β corresponde ao intervalo angular

Tabela 5 - Dados de velocidade do seguidor em função do ângulo da came

Ângulo (°)	Velocidade (m/s)
0	0
90	0
112	0,038
247	-0,038
360	0

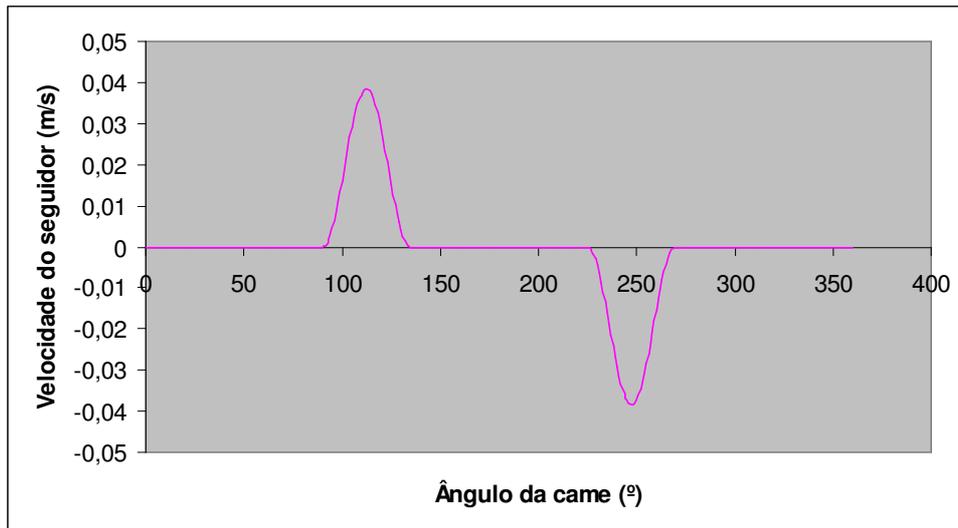


Figura 7- Gráfico de velocidade do seguidor x ângulo da came

- Cálculo da aceleração do seguidor (A) em função do ângulo da came

Para o intervalo (0° a 90°) tem-se $A=0$.

Para o intervalo (90° a 134,7°) tem-se o movimento regido pelas equações da cicloide C-5:

$$A = \frac{2\pi L}{\beta^2} * \left(\text{sen} 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (8)$$

Para o intervalo (134,7° a 225,4°) tem-se $A=0$

Para o intervalo (225° a 270°) tem-se o deslocamento regido pelas equações da cicloide C-6.

$$A = -\frac{2\pi L}{\beta^2} * \left(\text{sen} 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (9)$$

Para o intervalo (270° a 360°) tem-se $A=0$.

Onde: - L corresponde ao deslocamento total do seguidor

- θ corresponde a diferença de ângulos entre o início do período e onde ele se situa.

- β corresponde ao intervalo angular

Tabela 6 - Aceleração do seguidor em função do ângulo da came

Ângulo (°)	Aceleração (m/s ²)
0	0
90	0
101	0,12
112	0
124	-0,12
134,7	0
225,4	0
237	-0,12
247	0
258	0,12
270	0
360	0

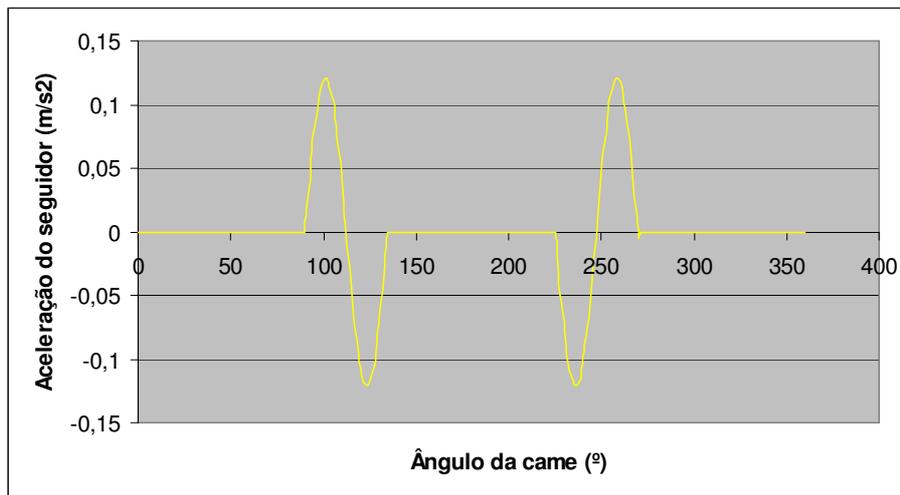


Figura 8 – Gráfico de aceleração do seguidor x ângulo da came

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A confecção de mecanismos reais como motores de combustão interna é complexa levando-se em conta a necessidade de sincronismo entre as partes mecânicas moveis. Este sincronismo entre a rotação da came e do motor é fundamental para o máxima eficiência do motor.

A regulagem de abertura se dá com base no ângulo que o virabrequim faz com a base do pistão. Adiantando este ângulo pode se mudar a quantidade de combustível admitida, sendo fundamental o conhecimento dos ângulos de trabalho da came e as posições de total abertura e fechamento das válvulas. Este período é definido pelo intervalo da came (β). A utilização de uma velocidade hipotética de rotação do motor foi somente para ilustrar os movimentos e as variações angulares de um motor e comprovar matematicamente o que pode ser observado.

A forma de transmissão do movimento do pistão para a came deve ser verificada fazendo a relação de 2 voltas do motor para 1 da came. Essa transmissão nos carros atuais é feita pela correia dentada. Para a confecção da came esbarrou-se na dificuldade de se executar o processo, necessitando de maquinas de controle numérico computacional. Posteriormente a dificuldade de fazer o acionamento da válvula pelas forças fora de centro que aparecem no seguidor ocasionando o travamento da válvula, justificando o acionamento indireto utilizado, o que evita desalinhamentos do sistema.

Os materiais escolhidos levaram em conta a resistência necessária e o efeito didático do projeto, que tem como objetivo a visualização do sistema de funcionamento combinado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

[1] Mecanismos- Hamilton H. Mabie e Fred W. Ocvirk- 2º ed.- RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

[2] www.tudosobre.com.br

[3] www.xl.pt/autopedia/motores/potencia_motor.shtml

ANALYSIS OF THE MOVEMENT OF A MONO CYLINDER ENGINE

Abstract: *The prototype of a mono cylinder engine of internal combustion looking for the visualization of the operation of the synchronized mechanisms of cam, connecting rod and crank. Through the equations that govern the movement they were determined the maximum and minimum courses for construction of the parts of the mechanism, certain the courses the dimensions of the pieces were chosen for better visualization of the movement, starting from that the first stage began drawing the mechanism in the software SolidWorks 2006. The second stage consisted of the choice of the material of each part, in the sequence the mechanism was made and finally the test was accomplished to verify the operation and synchronize of the prototype.*

Key-words: *Connecting rod-crank, Cam, Motor, Project*