

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR2550 – Projeto de Conclusão do Curso II



Atuador por Expansão e Contração Súbita

Decio Romeu Kono Shiro
Fabio Yuzo Ueno

5432554
5450798

Prof. Dr. Oswaldo Horikawa

Data: 26/11/09

Índice

Índice	2
1. Introdução.....	3
2. Objetivos.....	6
3. Estimativa de Movimento.....	7
4. Características dos Sistemas Pneumáticos	13
5. Princípio de Operação	15
6. Válvula Solenóide	17
7. Pistão Pneumático	19
8. Dimensões	22
9. Modelo.....	26
10. Esquema do sistema de controle.....	27
11. Programa.....	29
12. Protótipo	32
13. Testes	33
14. Resultados.....	37
15. Conclusão	38
16. Bibliografia.....	39
17. Anexo	41

1. Introdução

O atuador por expansão e contração súbita é um mecanismo desenvolvido para movimentar um corpo através da rápida expansão ou contração de um corpo, através de um atuador. O estudo desse mecanismo já foi muito bem desenvolvido por Toshiro Higuchi da Universidade de Tokyo no começo dos anos 90 (Ref. [1]). Doravante, este mecanismo será chamado de atuador Higuchi. O atuador Higuchi possuía um atuador piezoelétrico. No entanto, neste projeto, utilizaremos um atuador pneumático.

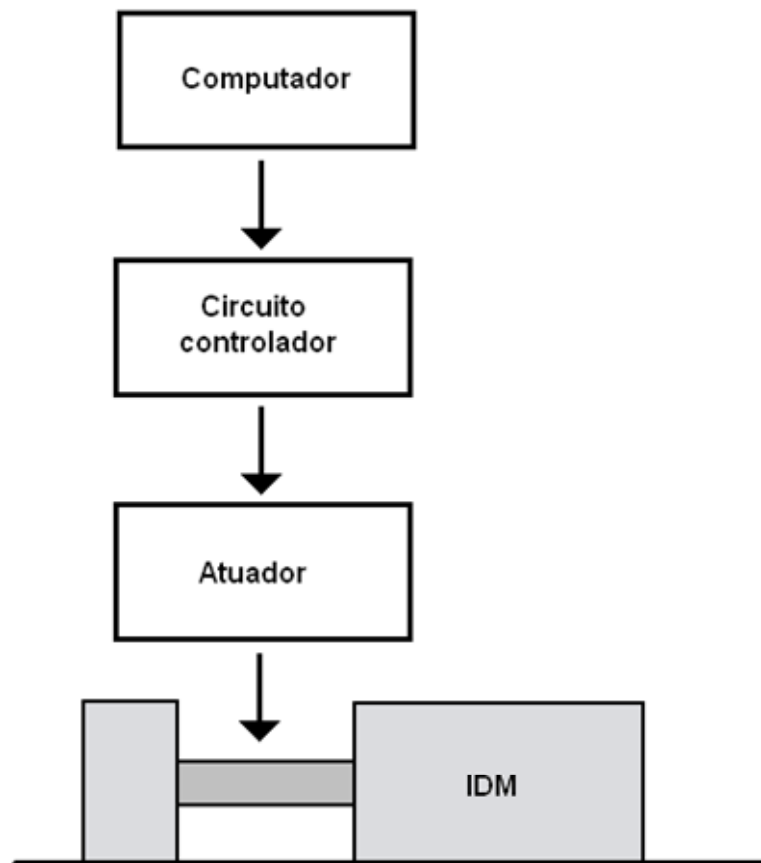


Figura 1: Configuração do sistema de posicionamento.

O atuador por expansão e contração piezoelétrico é muito utilizado na micro robótica devido a sua alta precisão de posicionamento (nanométrica) e estrutura

simples. Devido também ao seu fácil manuseio e implementação, é possível combinar vários dispositivos e aumentar o número de graus de liberdade.

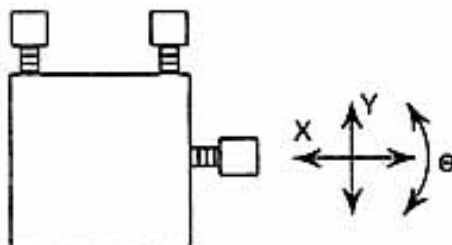


Figura 2: Mecanismo com 3 graus de liberdade.

O método de movimento por expansão e contração súbita que estamos querendo desenvolver neste projeto, recebe o nome técnico de Impact Drive Mechanism (IDM). Esse método utiliza o atrito estático e a força impulso dado pelo atuador para movimentar o mecanismo. O mecanismo é composto por um Corpo Principal, um atuador e um peso, além do controlador.

O princípio de movimento do mecanismo é muito simples. A rápida expansão do atuador faz com que uma força impulso gerada pelo atuador, supere a força atrito estático no corpo principal e o movimenta em direção contrária. Quando a contração é feita de forma lenta, a força inercial é menor que o atrito estático, portanto o corpo principal permanece imóvel, movimentando apenas o peso. O movimento pode ser feito em sentido contrário se a expansão for lenta e a contração for rápida. O método de expansão e contração será melhor explorada ao longo do relatório.

Existem outros estudos referentes a esse tipo de movimento, mas que estudam outras propriedades com o atrito e a lubrificação, que também tiveram a contribuição de Higuchi e outros pesquisadores como Katsushi Furutani e do Instituto de Tecnologia da Toyota no Japão, que foi publicado pela Elsevier Science Inc. em 1998.

Um outro tipo de mecanismo que também movimenta os corpos a partir do atrito estático é o motor ultra-sônico (Ref. [9]). Ele é composto por duas partes principais, um rotor e um estator piezoelétrico feito de material elástico. O rotor é colocado sobre o estator, que é excitado por osciladores que ficam posicionados

abaixo dele com uma defasagem de 90° . Isso faz com que gere no estator uma onda estacionária de formato elíptico. Controlando a tensão enviada, é possível movimentar a onda em uma frequência desejada. A pressão exercida pelo peso do rotor no estator faz com que exista um atrito estático entre os dois. A combinação do movimento da onda com o atrito dos dois objetos faz com que o rotor seja empurrado na direção oposta do movimento do estator. Assim com um dispositivo IDM, o motor ultra-sônico depende do movimento principalmente por causa do atrito estático.

Esse mecanismo foi inicialmente desenvolvido nos anos 70 pelos professores Toshiiku Sashida e Takashi Kenjo. Nos anos seguintes, o professor Yoshiru Tomikawa continuou a pesquisa e aperfeiçoou o dispositivo e desenvolveu motores ultra-sônicos para a micro-robótica. Atualmente eles são muito utilizados nas lentes das câmeras fotográficas, braços mecânicos e equipamentos que necessitam de motores com alto torque e baixa velocidade.

2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é projetar e implementar um mecanismo que se movimenta através da expansão e contração súbita de um atuador pneumático controlado. Diferentemente do atuador Higuchi, iremos utilizar um atuador pneumático, e não um piezoelétrico. Dessa forma, iremos construir um mecanismo com uma escala maior que as usuais, para que ele tenha movimentos maiores e mais robustos. Assim, pretendemos acoplá-lo a corpos maiores como cadeiras, para que possamos movimentá-las com 1 grau de liberdade, nos dois sentidos.

3. Estimativa de Movimento

O movimento do IDM é estimado assumindo as seguintes hipóteses:

- Não ocorre deformação plástica do atuador pneumático;
- O atrito e o coeficiente de atrito são sempre constantes;

A figura a seguir ilustra um modelo para a estimativa do movimento.

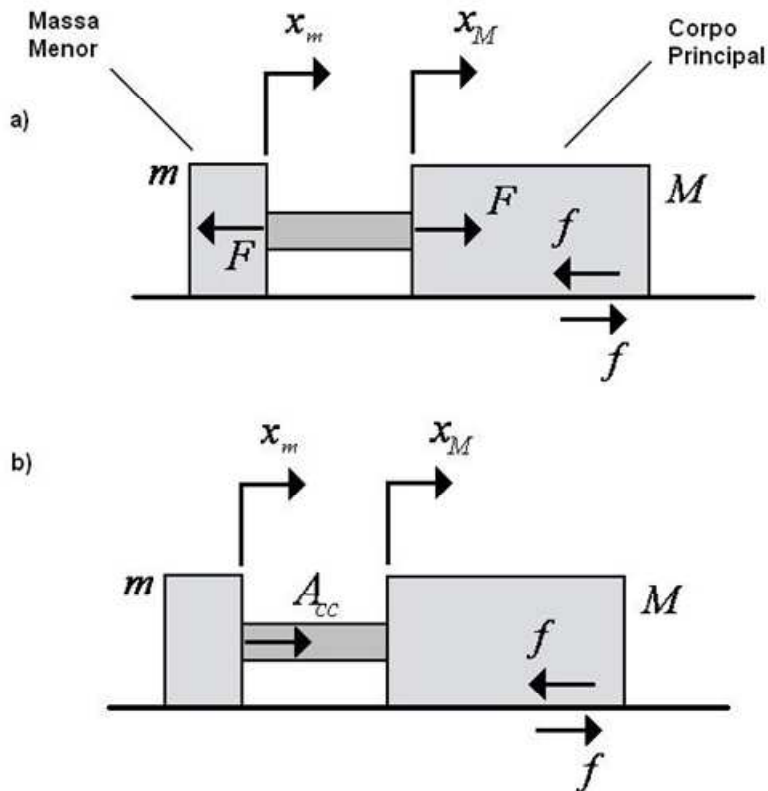


Figura 3 – (a) Expansão rápida; (b) contração lenta com aceleração constante

Iremos dividir a estimativa em 3 partes, sendo que a primeira irá estimar a rápida expansão (Fig. 3 a), a segunda a contração lenta (Fig. 3 b) e a terceira será a união das duas partes.

1.) Movimento de rápida expansão

Quando a força nos pistões for maior que a força de atrito, podemos utilizar o seguinte equacionamento:

$$\boxed{M\ddot{x} = F - f, m\ddot{x}_m = -F} \quad (1)$$

Onde M é a massa do corpo principal, m é a massa do peso e x o deslocamento das respectivas massas. Quando o tempo de deslocamento transversal (T_{trav}) é muito longo, o corpo principal tem um tempo t de movimento menor que esse valor ($t < T_{trav}$). O tempo crítico de movimento transversal do dispositivo é definido como T_{t0} . Resolvendo a equação 1 e utilizando a conservação do momento, podemos definir T_{t0} como:

$$\boxed{T_{T0} = \sqrt{\frac{m\Delta L}{f}}} \quad (2)$$

onde ΔL é a expansão do atuador pneumático.

Quando o tempo de deslocamento transversal é menor que o tempo crítico, o corpo principal continua se movimentando até o fim do T_{trav} . Como a velocidade relativa entre os corpos é igual a zero, a força impulso é gerada em direção contrária. Assim, o dispositivo se movimenta utilizando toda a energia cinética.

$$\boxed{\Delta x_{11} = \frac{m}{M+m} \Delta L - \frac{f}{M+m} T_{trav}^2} \quad (3)$$

O deslocamento total do dispositivo é dado por Δx_{11} . O segundo termo representa a influência da força de atrito.

Se o tempo de deslocamento transversal for maior que o tempo crítico, o dispositivo para de se movimentar em T_{t0} . Quando a expansão termina, o dispositivo é movimentado como consequência da força impulso. No entanto, durante a expansão ocorre o movimento em direção contrária, então o deslocamento Δx_{12} vale zero.

$$\boxed{\Delta x_{12} = 0} \quad (4)$$

Quando a força aplicada é menor que a força de atrito, o dispositivo não se movimenta.

O maior deslocamento pode ser obtido quando utilizamos $T_{trav} = 0$, pela seguinte equação:

$$\boxed{\Delta x_{1\max} = \frac{m}{M + m} \Delta L} \quad (5)$$

2.) Contração lenta

No caso da contração lenta podemos estimar o movimento quando a força de atrito é maior ou menor que a resultante.

Se o atrito for maior ou igual à resultante, podemos representar o movimento pela seguinte equação:

$$\boxed{M\ddot{x} = 0, m\ddot{x}_m = mA_{cc}} \quad (6)$$

Mesmo que o corpo principal fique parado, o peso se movimenta na contração. E no final do movimento, o dispositivo é acelerado pelo momento do corpo secundário como é mostrado na fig. 5 (a).

O deslocamento é estimado pela equação a seguir.

$$\boxed{\Delta x_{12} = \frac{m^2}{M + m} \frac{\Delta LA_{cc}}{f}} \quad (7)$$

A equação (8) representa o movimento quando o atrito for menor que a resultante.

$$\boxed{M\ddot{x}_M + m\ddot{x}_m = f, \ddot{x}_M - \ddot{x}_m = A_{cc}} \quad (8)$$

Nesse caso, o corpo principal escorrega durante a contração devido o balanço entre o atrito e a força inercial. No fim da contração, o dispositivo é acelerado em direção oposta por causa do momento do corpo peso. Δx_{22} é o deslocamento estimado para esse caso.

$$\Delta x_{22} = \frac{m2f - mA_{cc}}{M + m} \frac{\Delta L}{A_{cc}} \quad (9)$$

O movimento será máximo quando

$$\Delta x_{2\max} = \frac{m}{M + m} \Delta L \quad (10)$$

3.) Movimento total

O movimento total será a soma dos dois primeiros casos. Ou seja,

$$\Delta x_3 = \Delta x_1 + \Delta x_2 \quad (11)$$

O máximo deslocamento será a soma das equações (5) e (10). Assim, o máximo deslocamento total (expansão + contração) será,

$$\Delta x_{3\max} = \frac{2m}{M + m} \Delta L \quad (12)$$

4.) Aplicação no projeto

Para os seguintes valores:

- $M=0,9\text{kg}$;

- $m=0,3\text{kg}$;

- $\mu=0,6$; (Alumínio – Aço)

- $\Delta l=0,04\text{m}$; (Curso do pistão)

-Força de atrito:

$$F = \mu N = 5.4\text{N}$$

-Tempo de expansão:

$$T_{T0} = \sqrt{\frac{m\Delta L}{f}} = 4,7 \cdot 10^{-2} = 47\text{ms}$$

Supondo $T_{\text{trav}} = 0$ para a expansão rápida e utilizando a fórmula (5), tem-se:

$$\Delta x_{1\text{max}} = \frac{m}{M + m} \Delta L = 0,01\text{m}$$

Pela formula do deslocamento (a partir do repouso):

$$S = \frac{at^2}{2} \rightarrow a = \frac{2\Delta x_{1\text{max}}}{T_{T0}^2} = 9,05\text{m/s}^2$$

Substituindo na fórmula (1), tem-se:

$$F_{\text{max}} = Ma + f = 13,55\text{N}$$

4. Características dos Sistemas Pneumáticos

Analisando as características do ar comprimido comentadas anteriormente podemos entender as características dos sistemas pneumáticos.

Entre as vantagens da utilização do ar comprimido temos:

- Facilidade de obtenção;
- Não apresenta riscos de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento;
- Não contamina o ambiente (limpo e atóxico);
- Não necessita de linhas de retorno (escape para a atmosfera), ao contrário de sistemas elétricos e hidráulicos;
- Acionamentos podem ser sobrecarregados até a parada.

No entanto, o ar apresenta vapor d'água (umidade) como comentado. Esse vapor d'água pode se condensar ao longo da linha pneumática dependendo das condições de pressão e temperatura ao longo da linha. Se não houver um sistema para retirar a água, ela pode se acumular causando corrosão das tubulações. O ar apresenta também uma baixa viscosidade. A viscosidade mede a facilidade com que um fluido (gás ou líquido) escoa. Se um fluido tem baixa viscosidade implica que ele pode escoar por pequenos orifícios e portanto a chance de ocorrer vazamentos é muito grande. Assim, vazamentos de ar em linhas pneumáticas são muito comuns.

Outro ponto importante é a compressibilidade do ar. Se considerarmos um atuador pneumático que é essencialmente um pistão acionado pelo ar não conseguimos fazer esse pistão parar em posições intermediárias com precisão, pois o esforço na haste do pistão comprime o ar retirando o pistão da sua posição inicial de parada. Por isso, os atuadores pneumáticos possuem apenas duas posições limitadas por batentes mecânicos, uma vez que não é possível atingir

posições intermediárias com precisão. Esse problema já não ocorre com os atuadores hidráulicos, pois o óleo é incompressível. Aliás, algumas máquinas que exigem alta precisão de posicionamento usam atuadores hidráulicos. Nesse sentido os circuitos pneumáticos são análogos aos circuitos eletrônicos digitais e os circuitos hidráulicos são análogos aos circuitos eletrônicos analógicos. Outra dificuldade imposta pela compressibilidade do ar é o controle e estabilidade da velocidade dos atuadores. Os atuadores pneumáticos não apresentam velocidades uniformes ao longo de seu curso.

5. Princípio de Operação

Movimento para a esquerda:

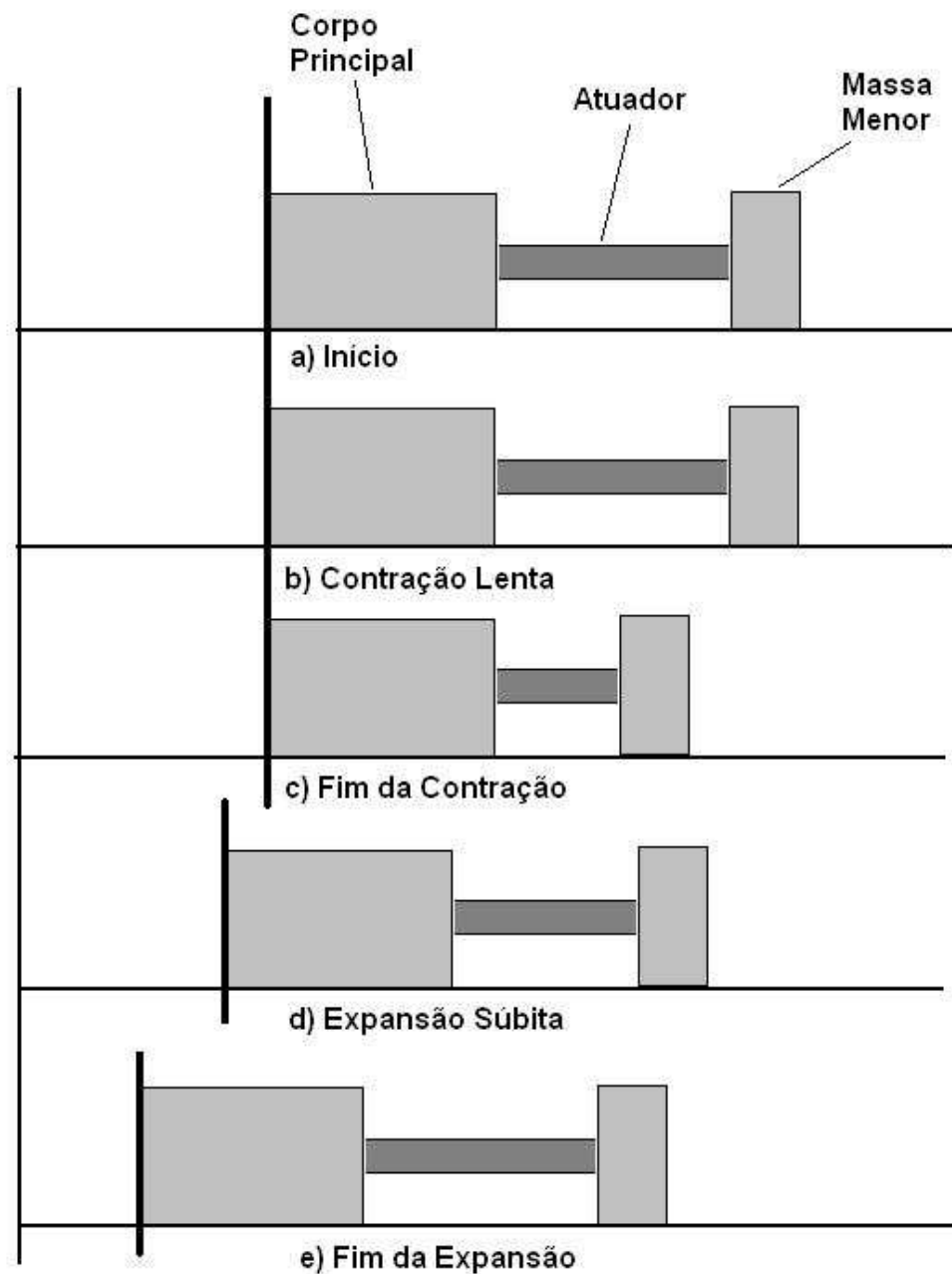


Figura 4: Princípio de movimento

O processo do movimento ocorre da seguinte forma:

- a) O ciclo começa com o atuador estendido
- b) O atuador contrai lentamente para que apenas o peso menor se mova.
- c) Fim da contração.
- d) Uma súbita expansão do atuador causa uma força inercial impulsiva que move o corpo principal.
- e) Fim da expansão e o ciclo recomeça.

Desse modo, com vários impulsos é possível criar um movimento contínuo do atuador.

6. Válvula Solenóide

Neste projeto será utilizada a válvula solenóide 030E1 da marca Koganei.

Esta válvula foi escolhida pois funciona com uma pressão de até 0.7 Mpa o que é suficiente para o nosso projeto. Como é uma válvula 3/2 vias, serão utilizadas duas válvulas para o controle do pistão. Elas se alternarão no funcionamento de acordo com o controle via computador.

A válvula é normalmente fechada, então a comunicação só é feita quando o solenóide é energizado.



Figura 5: Válvula Solenóide

Princípio de operação:

As figuras a seguir foram retiradas do catálogo da Koganei (referência [8]).

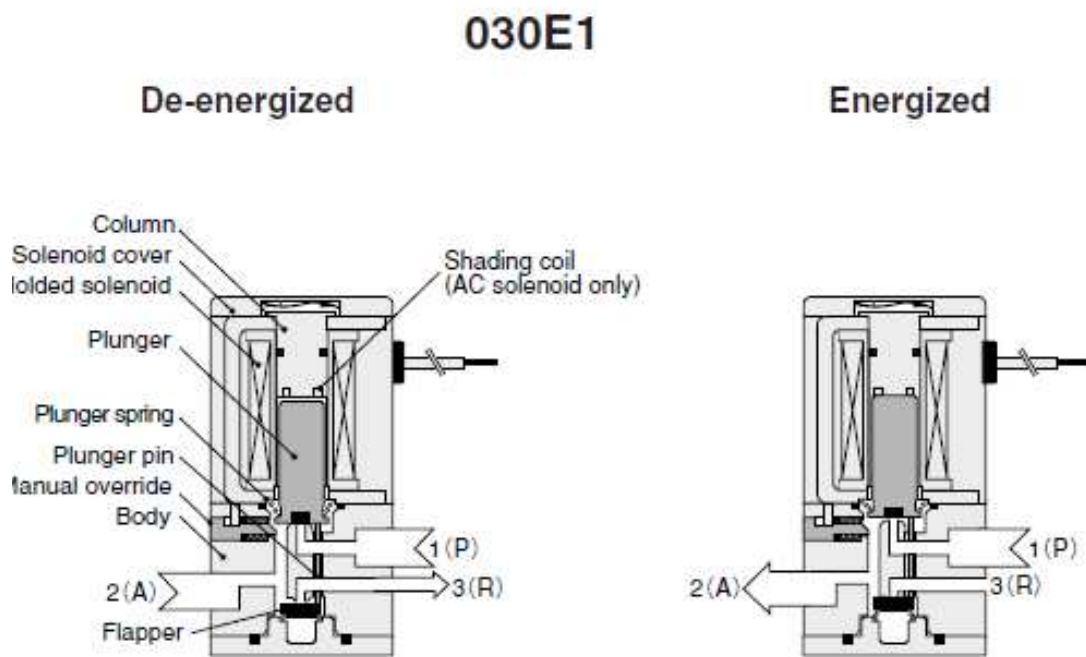


Figura 6: Construção Interna da Válvula (Ref. [8])

Normally closed (NC)

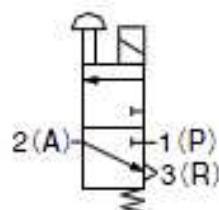


Figura 7: Símbolo da Válvula (Ref. [8])

7. Pistão Pneumático

Neste projeto será utilizado um Pen-Cylinder de dupla ação da marca Koganei.

Este pistão foi escolhido pois tem o tamanho ideal para o projeto, com um curso de 43 mm. A pressão de trabalho também está de acordo com as especificações do pistão.

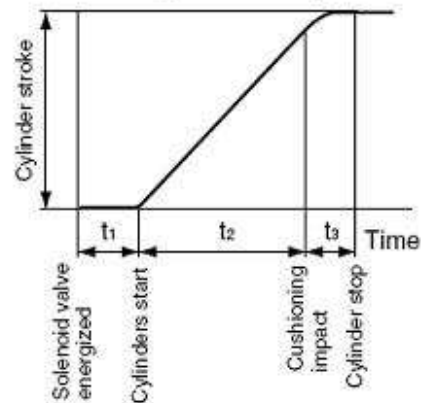


Figura 8: Foto do Pistão Pneumático

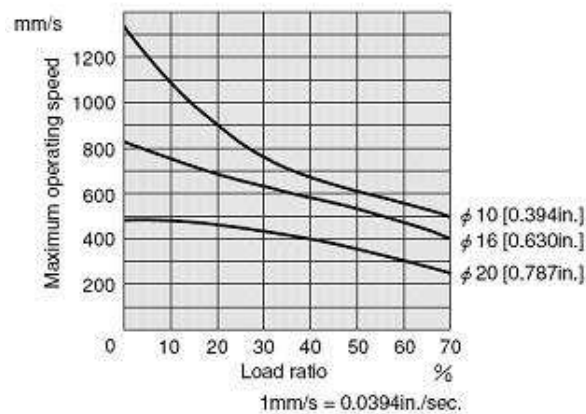
Características de operação:

As figuras a seguir foram retiradas do catálogo da Koganei (referência [7]).

How to obtain cylinder speed



Maximum operating speed



Delay time

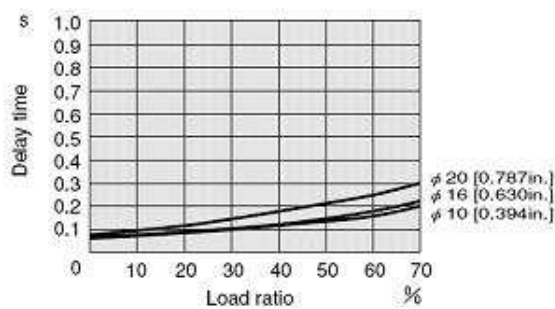
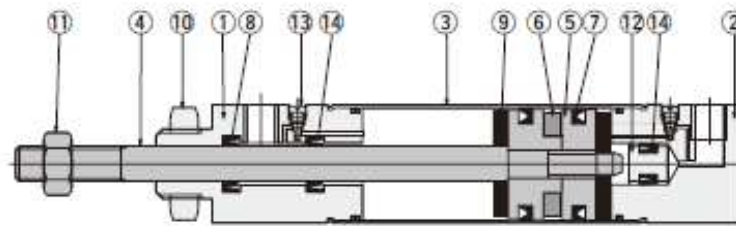


Figura 9: Especificações do Pistão (Ref. [7])

Construção interna:



No.	Parts	Materials
①	Rod cover	Aluminum alloy (nickel plated)
②	Head cover	
③	Cylinder tube	Stainless steel
④	Piston rod	
⑤	Piston	Aluminum alloy (nickel plated)
⑥	Magnet Note	Plastic magnet
⑦	Piston seal	Synthetic rubber (NBR)
⑧	Rod seal	
⑨	Bumper	
⑩	Mounting nut	Mild steel (nickel plated)
⑪	Rod end nut	
⑫	Housing	Brass (nickel plated)
⑬	Needle	Stainless steel
⑭	Check seal	Synthetic rubber (NBR)

Figura 10: Construção Interna do Pistão (Ref. [7])

8. Dimensões



Figura 11: Foto do Protótipo

Para o projeto do protótipo foi considerado o estudo do atuador Higuchi para achar uma proporção entre as massas:

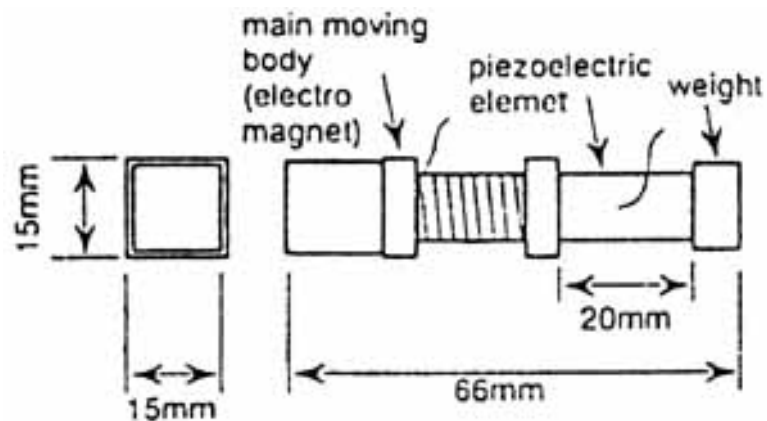


Figura 12: Esquema Higuchi (Ref. [1])

Deste modo, para testes iniciais serão usados cilindros de alumínio de 77mm de diâmetro, sendo um com 77mm e o outro com 30 mm de comprimento. Este

tamanho foi definido de acordo com a força que o pistão consegue exercer sobre as massas.

O alumínio foi escolhido por ser um material de fácil usinagem. A densidade do alumínio é de 2697kg/m³.

Os pesos das massas são de aproximadamente de 900g a massa maior e 350g a massa menor.

As guias laterais são de aço com 10mm de diâmetro e 250mm de comprimento. A utilização das guias limita o deslocamento em outras direções que não sejam o do pistão.

Para o dimensionamento das guias foi considerada principalmente a força de atrito entre a guia e o cilindro. Dependendo do atrito e do alinhamento entre as peças, poderia ocorrer um travamento no deslocamento.

As madeiras nas guias servem para limitar o curso do pistão. Foi escolhida a madeira pois é um bom amortecedor de impacto e pela facilidade de trabalhar com o material. Limitando o curso, o pistão pneumático não sofre as forças de impacto, o que não é desejável que ocorra pois as massas utilizadas são relativamente grandes.

No entanto, durante os testes, as madeiras foram substituídas por mangueiras de plástico de PVC para testar o impacto em um material diferente. Os resultados foram ainda mais satisfatórios, pois o material também demonstrou ser um bom amortecedor de impactos e as madeiras acabaram se desgastando com os teste e ficaram próximas de trincar.

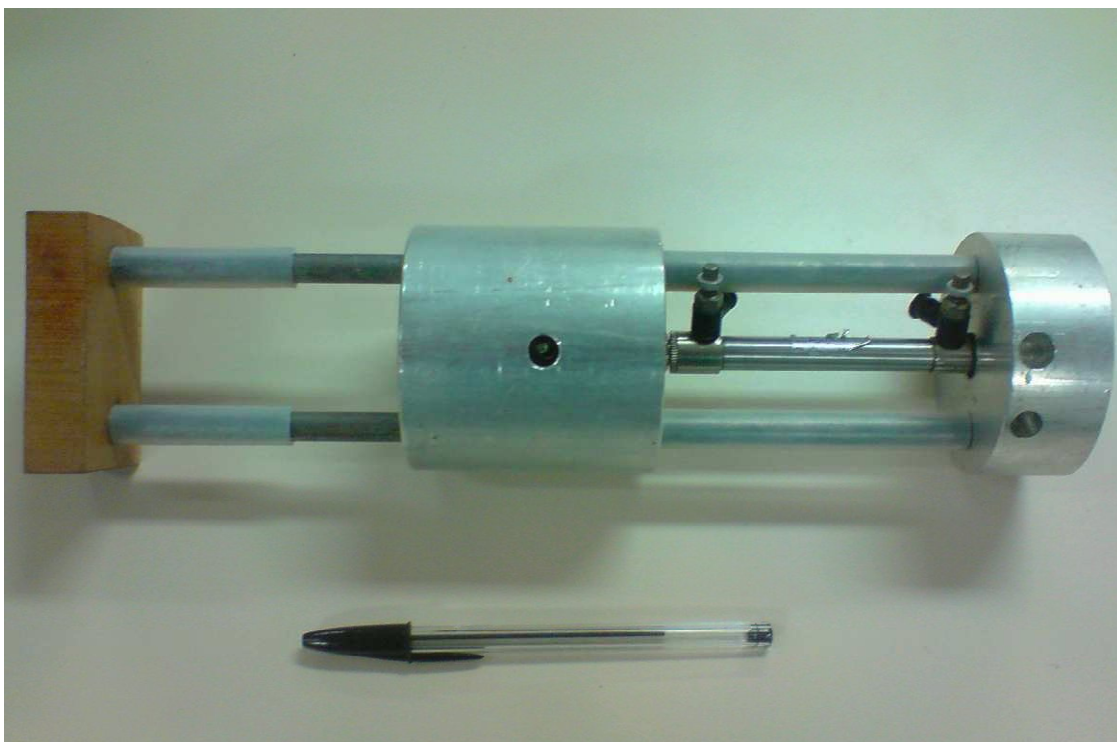


Figura 13 - Protótipo com a mangueira absorvedora de impacto

O compressor utilizado da marca Wayne pode fornecer até 1,4Mpa. Porém para os testes com o protótipo foi utilizado uma pressão de 0,7Mpa.



Figura 14: Compressor Wayne

9. Modelo

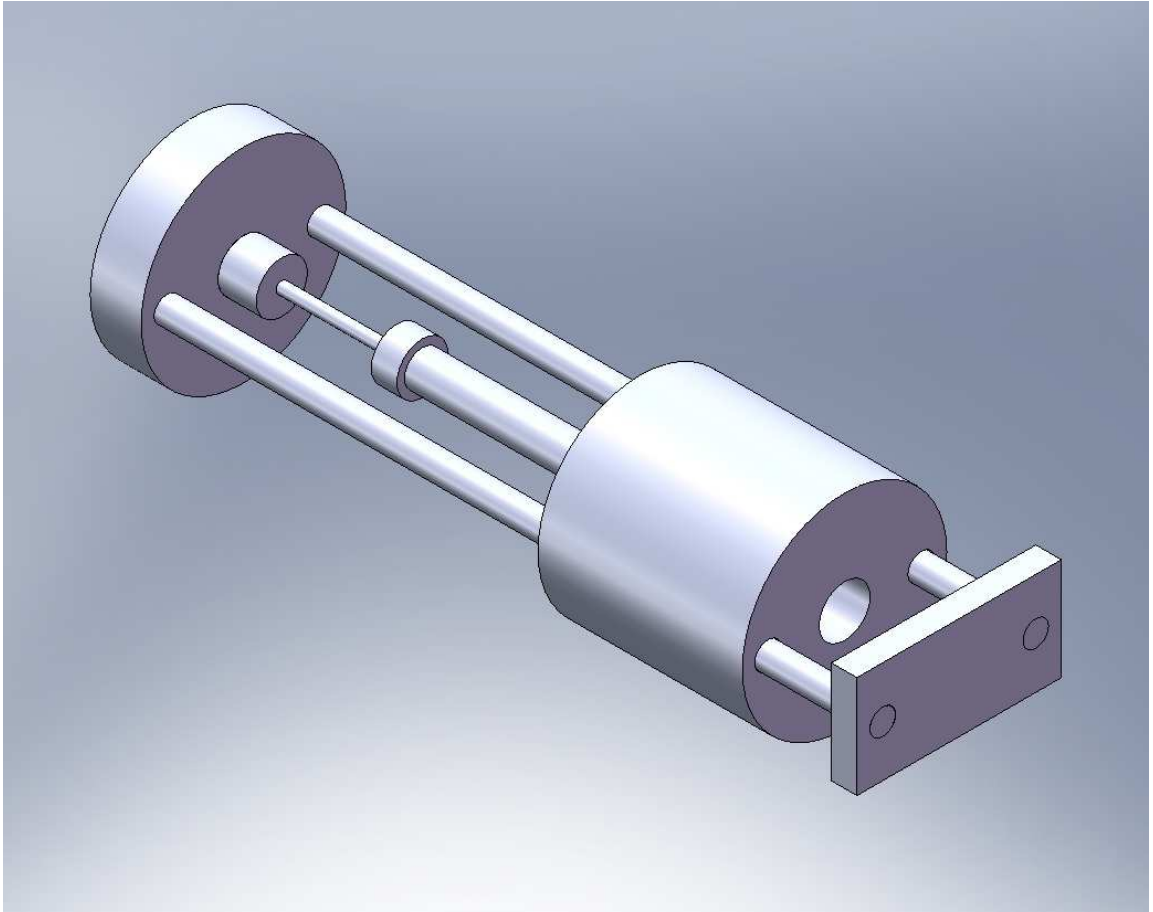


Figura 15: Modelo 3D

Modelo 3D das massas e do atuador pneumático feito no programa SolidWorks.

10. Esquema do sistema de controle

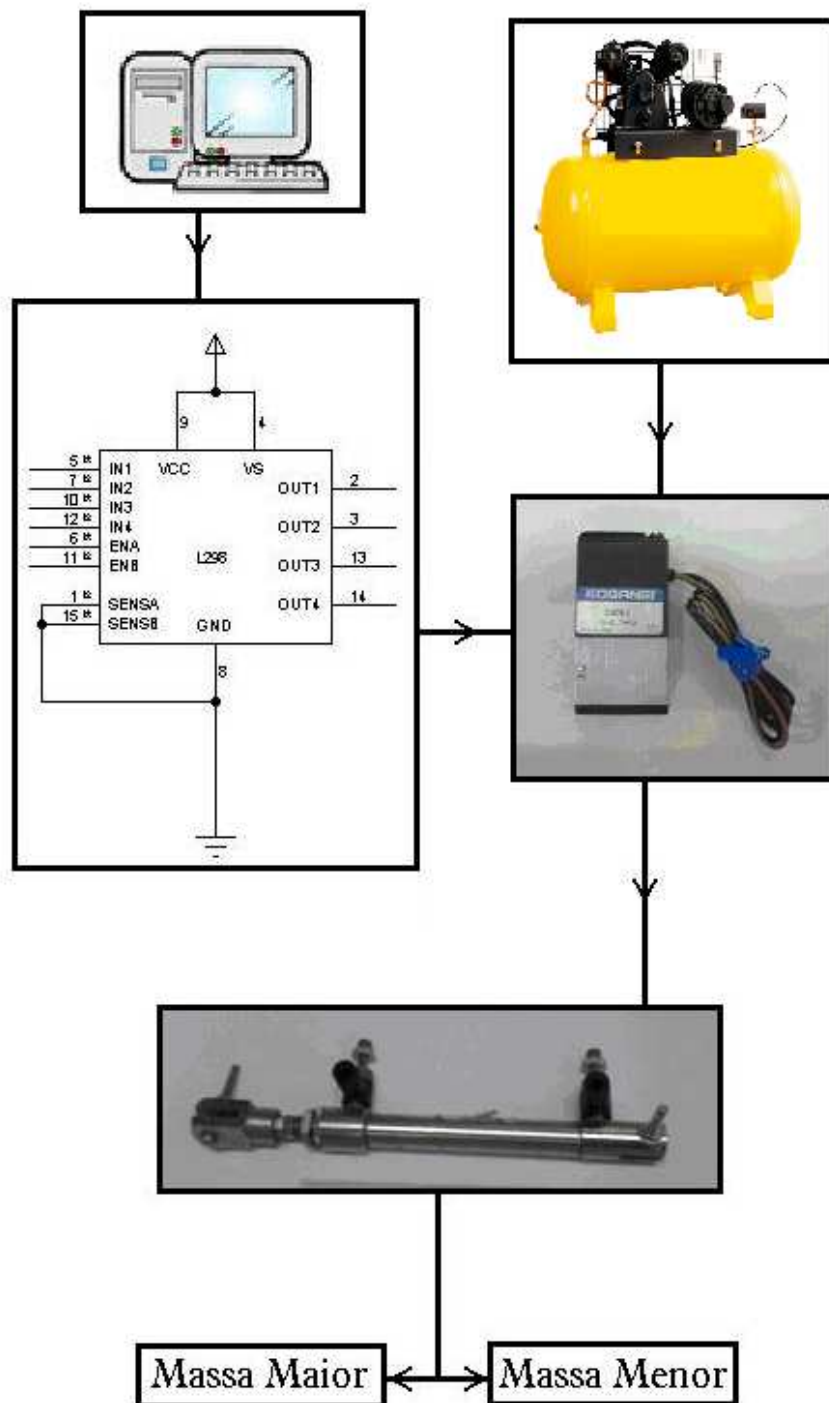


Figura 16: Sistema de controle

Um programa em linguagem C do computador gerará um sinal via porta paralela para o circuito controlador. De acordo com o programa, será acionado o bit 0 ou o bit 1 da porta paralela nas entradas IN1 e IN2, respectivamente, do circuito. A partir desse sinal, o circuito irá controlar as saídas OUT1 e OUT2 através dos transistores da ponte H do CI L298. Acoplando as saídas às válvulas solenóides, o acionamento irá se alternar, mantendo sempre uma aberta e a outra fechada, movimentando assim o pistão. O sinal do computador irá também controlar a velocidade do pistão para que tenha uma expansão súbita e uma contração lenta ou uma contração súbita e uma expansão lenta.

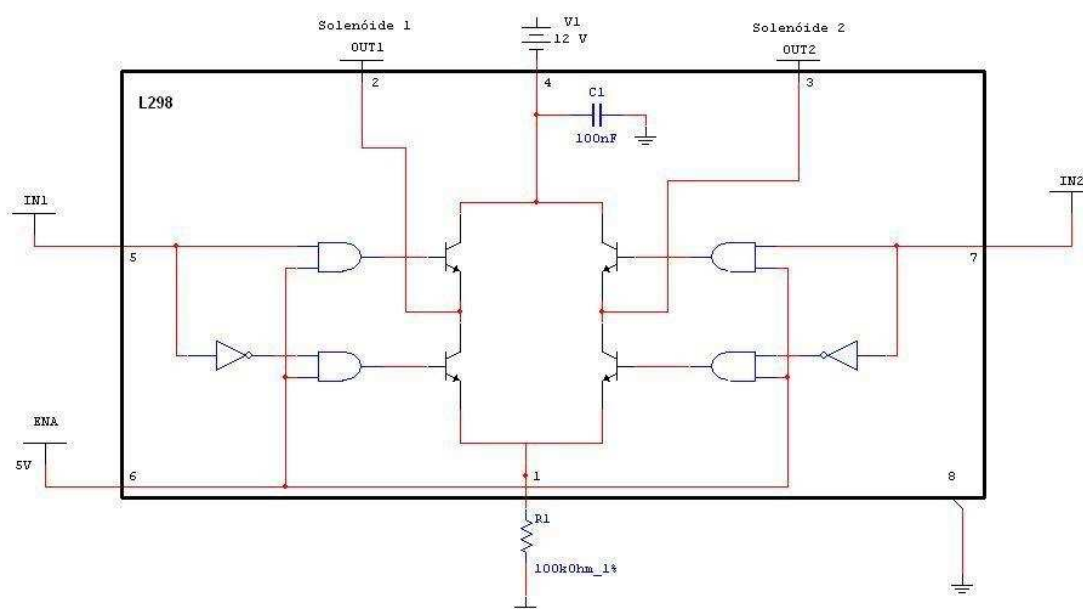


Figura 17: CI - L298

11. Programa

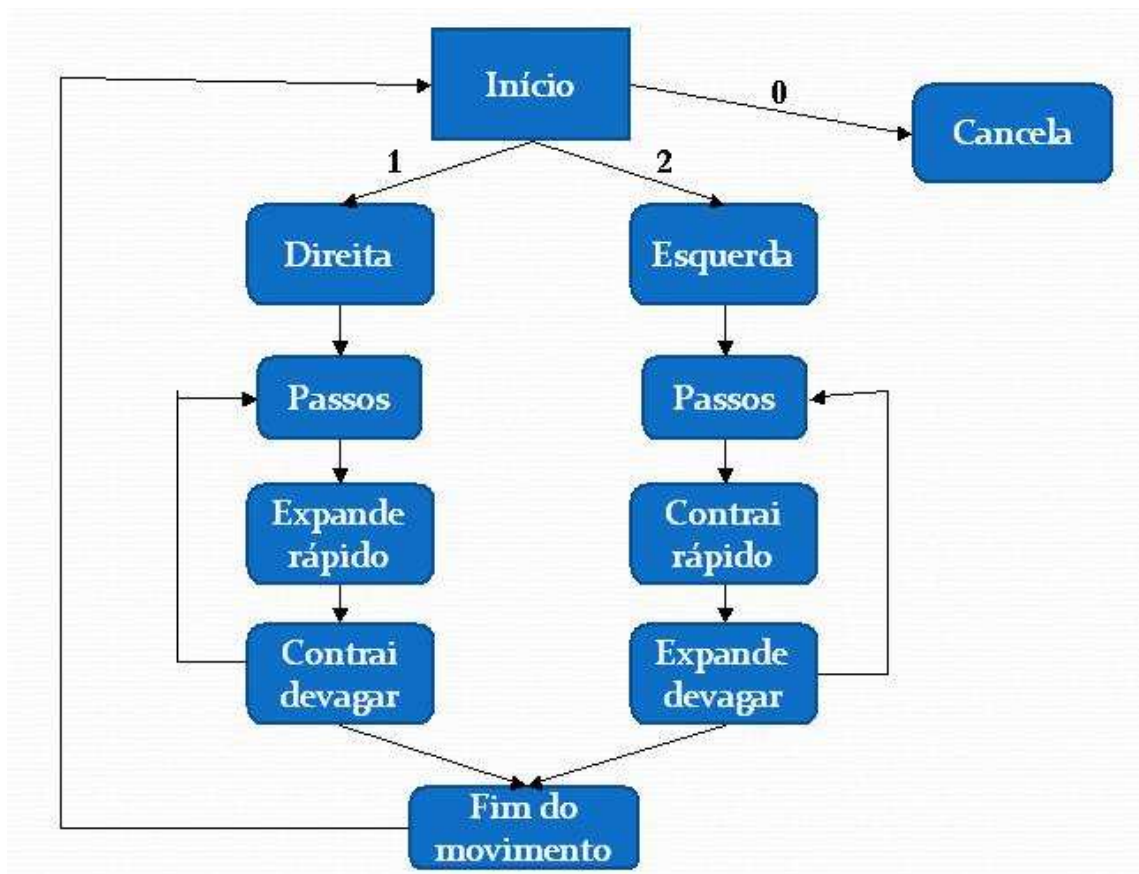


Figura 18: Diagrama de blocos do programa

O programa desenvolvido em C que está em anexo no capítulo 15, tem basicamente a função de controlar a direção e número de passos desejados pelo usuário. Pelo controlador, é possível definir o tempo entre cada pulso de corrente que é enviado ao circuito, sendo ele na expansão ou contração. Para controlar o tempo, utilizamos a função delay. A seguir iremos analisar o programa.

O primeiro loop em que x é diferente de zero, defini se o usuário quer movimentar o dispositivo para a direita ($x=1$), para esquerda ($x=2$) ou se ele deseja sair do programa ($x=0$).

Caso seja escolhido um sentido, o usuário escolhe também o número de passos (n) de movimento do sistema. Se for para a direita com n passos, o programa irá enviar ao circuito um sinal para que o solenóide 1 acione e assim ocorra uma rápida contração. Esse sinal é emitido por D ms. Em seguida, o programa entra em um loop e repete por t vezes a emissão de um sinal para abrir e fechar o solenóide 2 em intervalos de tempo (d) para que haja uma expansão do pistão. Como o valor de d é muito pequeno, aproximadamente 20 vezes menor que D , o pistão vai expandindo devagar, até que ele tenha se expandido por completo e não tenha comprometido o movimento do sistema. Ao final deste loop, o programa repete por mais n passos o movimento descrito.

No sentido contrário, o mesmo ocorre, invertendo apenas a expansão com a contração e seus respectivos solenóides no movimento para a direita.

Os parâmetros D , d e t foram definidos experimentalmente, devido às diferentes condições de atrito entre o solo e o atuador e a diferença de atuação dos solenóides (um dos solenóides responde mais rapidamente que o outro).

No caso deste programa e pelas condições de teste no laboratório, os valores encontrados foram de aproximadamente: $D = 700$, $d = 35$ e $t(\text{direita}) = 20$ e $t(\text{esquerda}) = 12$.

Além disso, o sentidos de atuação (expansão ou contração súbita) foram definidos pela equipe por conveniência no movimento.

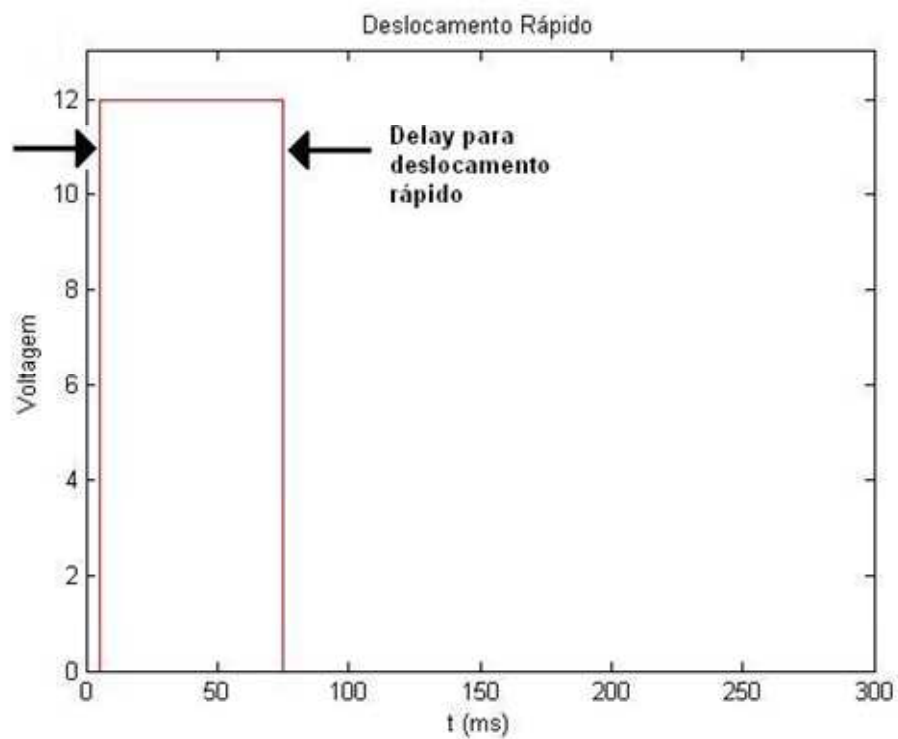


Figura 19: Pulso no deslocamento rápido

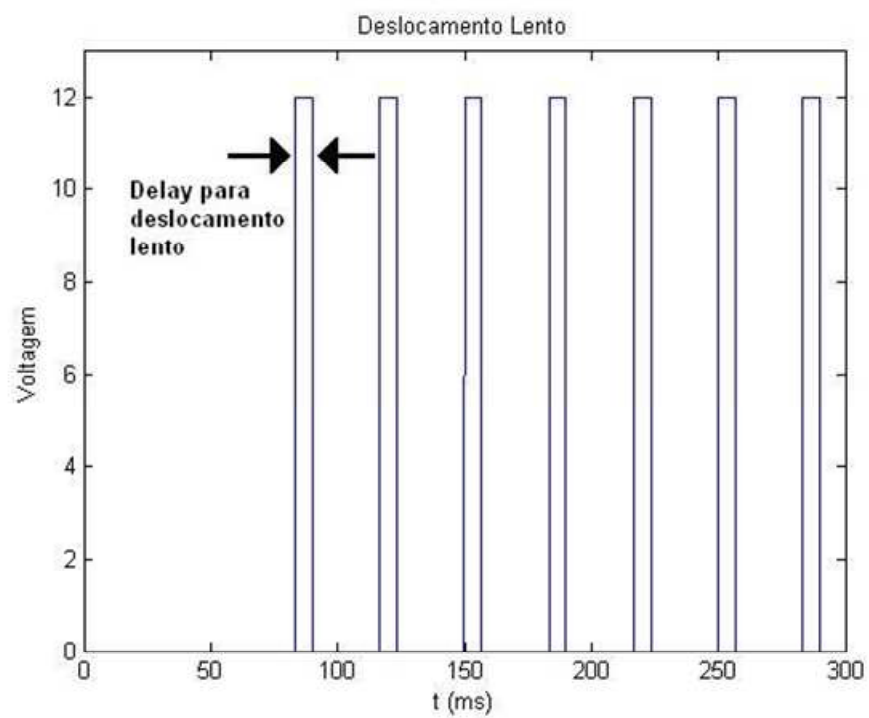


Figura 20: Pulsos no deslocamento lento

12. Protótipo

O protótipo, quando ligado as partes como no esquema do sistema de controle na figura 19, está apresentado a seguir.



Figura 21: Protótipo do esquema de controle

Na figura é apresentado o dispositivo, ligado aos solenóides por uma mangueira mais fina, que é ligado à mangueira de alimentação que vem do compressor e ao circuito elétrico. O circuito é alimentado por uma fonte que fornece tensões de 5V e 12V. O sinal que vem do computador pela porta paralela também está ligado ao circuito para emitir os sinais que irão acionar os solenóides.

Foram feitos vários testes com o protótipo, variando a superfície na qual ele desliza para testar diferentes coeficientes de atrito e variando também, o tempo de delay entre os pulsos na movimentação lenta.

Para a medição do movimento, foi colada uma régua junto à superfície na qual o mecanismo foi colocado. Assim, marcando um ponto na peça principal, conseguiu-se medir o deslocamento do dispositivo.

13. Testes

Testes feitos variando o tempo de delay entre um pulso e outro na contração lenta em 10 passos (8 testes).

Movimento para Esquerda, 10 passos	
Delay (ms)	Deslocamento (mm)
10	99
15	121
20	135
22	146
25	140
30	126
35	114
40	104

Tabela 1: 10 passos para esquerda

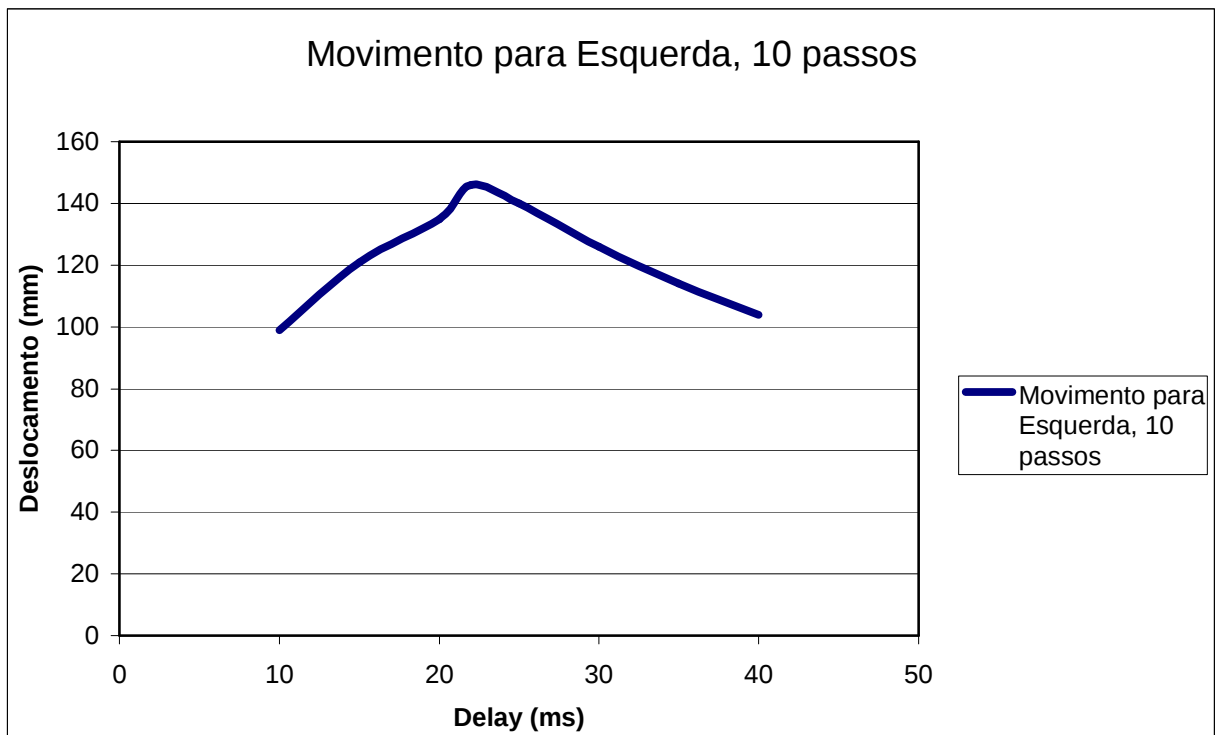


Gráfico 1: 10 passos para esquerda

Testes feitos variando o tempo de delay entre um pulso e outro na expansão lenta em 10 passos (8 testes).

Movimento para Direita, 10 passos	
Delay (ms)	Deslocamento (mm)
10	53
15	77
20	117
25	121
30	146
35	154
40	150
50	143

Tabela 2: 10 passos para direita

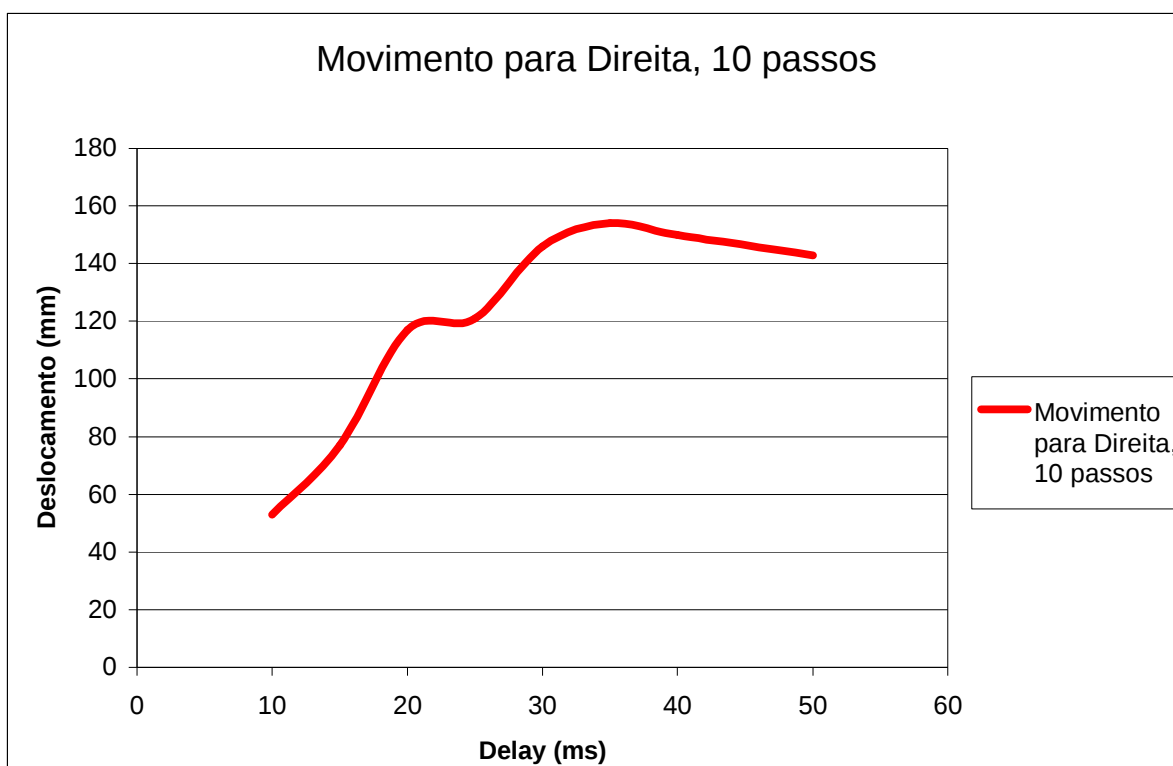


Gráfico 2: 10 passos para direita

Testes feitos variando o número de passos com delay de 22ms na contração lenta (10 testes).

Movimento para Esquerda Delay 22ms	
Nº de passos	Deslocamento (mm)
1	18
2	34
3	47
4	60
5	70
6	79
7	95
8	105
9	118
10	134

Tabela 3: Delay 22ms para esquerda

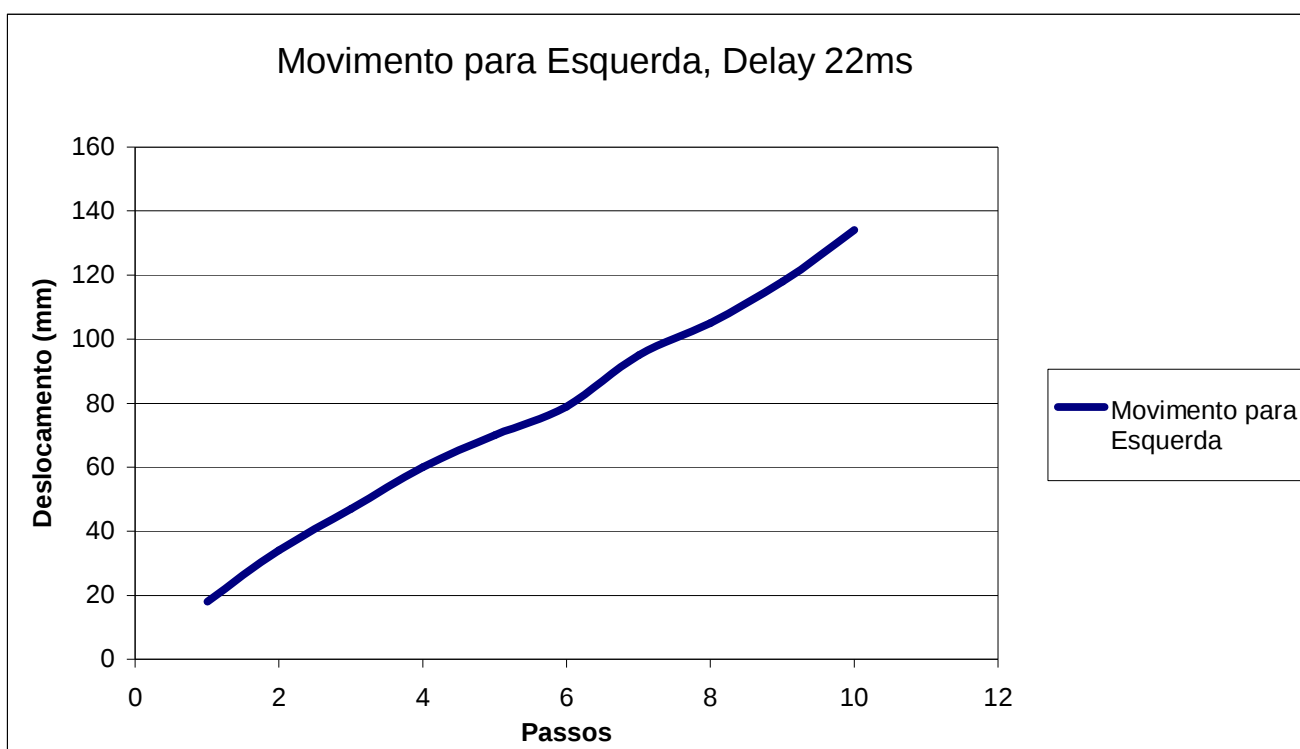


Gráfico 3: Delay 22ms para esquerda

Testes feitos variando o número de passos com delay de 35ms na expansão lenta (10 testes).

Movimento para Direita Delay 35ms	
Nº de passos	Deslocamento (mm)
1	22
2	43
3	61
4	73
5	93
6	108
7	122
8	136
9	147
10	160

Tabela 4: Delay 35ms para direita

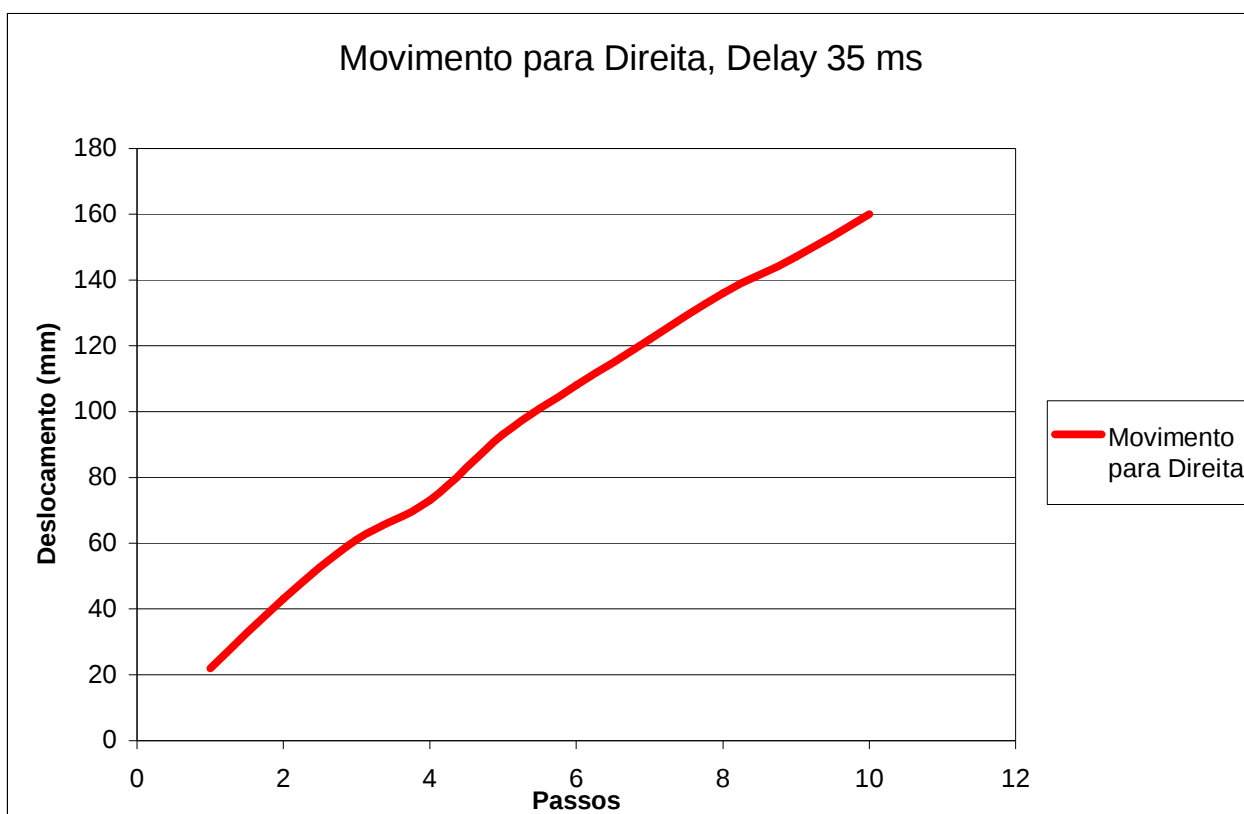


Gráfico 4: Delay 35ms para direita

14. Resultados

Para obter o valor do delay entre os pulsos de voltagem no movimento lento que imprime o maior deslocamento do dispositivo, foram feitos testes variando o tempo de delay em 5 ms a cada teste. O resultado pode ser verificado na tabela 1 para movimento para esquerda e na tabela 2 para a direita. Para valores abaixo de 15 ms, os solenóides não respondem corretamente, assim a movimentação fica comprometida.

Verificando os gráficos feitos a partir das tabelas, observa-se que o valor ótimo para o delay são 22 ms para movimentação para esquerda e 35 ms para a direita.

A partir desses valores, foram feitos testes variando o número de passos de 1 a 10. Desse modo, encontrou-se valores de 13,82 mm/passo na movimentação para a esquerda e 17,45 mm/passo para a direita.

A diferença nos valores deve-se aos solenóides que não se comportam de forma totalmente semelhante. Outro fator que influi no movimento é a diferença na força de impacto na contração e na expansão rápida. Como o movimento para a direita é realizado através da rápida expansão e contração lenta, seu deslocamento é maior do que para a esquerda.

15. Conclusão

Os testes com o programa implementado e com o protótipo foram realizados com sucesso, sendo possível acionar os solenóides na frequência desejada e movimentar as massas como era de se esperar.

A partir dos testes realizados, foram conseguidas constantes de tempo que melhor se aplicam ao dispositivo para movimentar o protótipo com maior eficiência. Apesar das diferenças entre os solenóides, o movimento nas duas direções não é comprometido.

Foi testado o mecanismo acoplado a um carrinho com resultados satisfatórios, o que é um início para a movimentação de objetos ainda maiores. No entanto, o atrito neste caso, não é o ideal para esse tipo de experimento. Mas esse teste já é o início para a movimentação de outros tipos de objetos e a partir dele é possível aumentar as massas dos corpos e movimentar objetos maiores, como era a intenção no início do projeto.

Como continuação do projeto, podemos aprofundar o estudo nas proporções das massas (corpo principal e massa menor). Com isso, é necessário estabelecer novos valores de delay de cada solenóide para deixar o movimento otimizado.

A partir desse estudo, podemos aumentar as massas a ponto de substituir o corpo principal por uma cadeira e movimentá-la pela sala.

16. Bibliografia

[1] T.Higuchi, Y.Yamagata, K.Furutani, and K.Kudoh "Precise positioning mechanism utilizing rapid deformations of piezoelectric elements", Proc. of IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp.47-51 (1990)

[2] Advanced Mechatronic Lab. Disponível em < http://www.aml.t.u-tokyo.ac.jp/research/pidm/pidm_e.html> Acesso 04 de Abril de 2009.

[3] Effect of Lubrification on Impact Drive Mechanism. Precision Engineering 22: 78-96, 1998. Elsevier Science Inc.

[4] Apostila de Pneumática. PMR2480 – Sistemas fluido mecânicos. Prof. Dr. Emílio Carlos Nelli Silva.

[5] Rogercom – Acessando a porta paralela nas versões do windows NT/2000 E XP. < <http://www.rogercom.com/pparalela/ExemploImpOut32.htm>>. Acesso em 10 de Junho de 2009.

[6] Katsushi Furutani, Naotake Mohri and Toshiro Higuchi. "DESIGN NOTE - A built-in displacement sensor for an impact drive mechanism" - Meas. Sci. technol. 10 (1999).

[7] Koganei, Actuators General Catalog – Pen Cylinder.
<<http://ww1.koganei.co.jp/en/shop/goods/series.aspx?category=A060010000>>
Acesso em 10 de Junho de 2009.

[8] Koganei, Valves General Catalog – Solenoids Valves 030 Series.
<<http://ww1.koganei.co.jp/en/shop/goods/series.aspx?category=B010060000>>
Acesso em 10 de Junho de 2009.

[9] Califórnia Institute of Technology - Jet Propulsion Laboratory
<<http://ndaaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/spie-usm97.htm>>
Acesso em 01 de Dezembro de 2009.

[10] Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova Lisboa
<<http://www-seme.dee.fct.unl.pt/Piezo/Funcion.htm>>
Acesso em 01 de Dezembro de 2009.

17. Anexo

Código de controle da porta paralela:

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h> //Biblioteca necessária para acessar a porta paralela
#define baseport 0x378 /* define o endereço da porta lp1*/

int main(){

    int i;
    int cont;
    int recebe;
    int x,p,t1,t2;

    x=3;
    t1=20;
    t2=12;
    outport(baseport,0x00); // Desliga tudo

    //Movimento
    while(x!=0){

        printf("Digite a direcao (1-Direita;2-Esquerda;0-Cancela):\n");
        scanf("%d",&x);

        if(x==1 || x==2){
            printf("Numero de passos:\n");
            scanf("%d",&p);
        }

        // Movimenta para direita
        if(x==1){
            printf("Movimento para a direita\n");
            for(cont=1;cont<=p;cont++){
                outport(baseport,0x01); // Contraí rápido
                delay(300);
                outport(baseport,0x00);
                for(i=0;i<=t1;i++){
                    outport(baseport,0x02); // Expande devagar
                    delay(10);
```

```

    outport(baseport,0x00);
    delay(22);
}
outport(baseport,0x00);
delay(300);
}
}
//Movimento para esquerda
if(x==2){
    printf("Movimento para a esquerda\n");
    for(cont=1;cont<=p;cont++){
        outport(baseport,0x02); //Expanda rapido
        delay(300);
        outport(baseport,0x00);
        for(i=0;i<=t2;i++){
            outport(baseport,0x01);//Contraí devagar
            delay(10);
            outport(baseport,0x00);
            delay(35);
        }
        outport(baseport,0x00);
        delay(300);
    }
}
}
printf("Terminar?\n ");
scanf(" ");

return 0;
}

```