

ANA GABRIELA SANVEZZO GARCIA  
RODRIGO ALVES DA COSTA

“PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO EM  
ESCALA DE UM SISTEMA DE CORREIO  
PNEUMÁTICO”

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de Engenheiro

São Paulo  
2007

ANA GABRIELA SANVEZZO GARCIA  
RODRIGO ALVES DA COSTA

nota final 88  
(oitenta e oito)  
bbo

“PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO EM  
ESCALA DE UM SISTEMA DE CORREIO  
PNEUMÁTICO”

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de Engenheiro

Área de Concentração:  
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas  
Mecânicos

Orientador:  
Prof. Dr. Emílio Carlos Nelli Silva

São Paulo  
2007

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor orientador Emílio Carlos Nelli Silva, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos amigos, pela ajuda e compreensão.

À Márcia Dambrosio, responsável pela assessoria de assuntos institucionais do Centro Empresarial de São Paulo, ao técnico Nivaldo da empresa Weir do Brasil, aos engenheiros Waldemar, Hernandes e Wilson da Aerocom – EVL, e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

## **RESUMO**

A elaboração do conceito do projeto surgiu a partir da necessidade de se associar atividades de cunho mecânico e eletrônico, colocando em prática o conhecimento adquirido em aula, através da construção de um protótipo em escala de um sistema de Correio Pneumático e controle do mesmo.

O entendimento básico do princípio de funcionamento do sistema se deu através de visitas a instituições que se utilizavam dessa ferramenta, assim como conversas com engenheiros especialistas da área. Foram desenvolvidas, assim, idéias para se obter um sistema equivalente que fosse de custo relativamente baixo e que utilizasse o mesmo princípio de funcionamento.

O estudo mostra a história do surgimento dessa ferramenta, bem como suas aplicações e viabilidade, além dos cálculos e considerações necessários para se desenvolver um projeto desse nível.

**Palavras-chave:** Correio pneumático. Transporte pneumático. Tubos pneumáticos. Cápsulas pneumáticas.

## ABSTRACT

The main idea for this project came from the necessity to combine activities from two major areas, Mechanics and Electronics, and give us a hand-on experience building our own prototype, applying all knowledge acquired during these graduation years.

We had an opportunity to visit some establishments that use this technology on a daily basis, and talk to Engineers that designs and build this Pneumatic Post System. This experience gave us ideas and solutions to design our own Pneumatic Post System, using the same theory on a scale model.

This paper tells some of the history of this technology, its applications and liabilities, and some calculations that must be considered for a proper design and construction of a system like this.

**Keywords:** Pneumatic post. Pneumatic mail. Pneumatic transportation. Capsule pipeline. Pneumatic tubes.

# Índice

<b>1. Introdução</b>	<hr/> 5
<b>2. Descrição de um Sistema Pneumático</b>	<hr/> 8
2.1. Ponto a Ponto	<hr/> 8
2.2. Multipontos Automático	<hr/> 9
2.3. Câmbio automático	<hr/> 10
2.4. Estação	<hr/> 11
2.5. Cápsulas	<hr/> 11
2.6. Tubulação	<hr/> 12
2.7 Compressor de ar	<hr/> 12
<b>3. Implementação</b>	<hr/> 12
3.1 Construção do Protótipo	<hr/> 12
3.2 Controle	<hr/> 15
3.3 Software de Controle	<hr/> 16
3.4 Transferência de dados	<hr/> 18
<b>4. Metodologia</b>	<hr/> 21
4.1 Visitas Técnicas	<hr/> 21
4.2 Memorial de Cálculos	<hr/> 23
<b>5. Referências Bibliográficas</b>	<hr/> 27

# Índice de Figuras

Fig. 1 – Escritório Central de Telegramas (1932).....	6
Fig. 2 – Selo italiano para transporte pneumático.....	6
Fig. 3 - Sistema pneumático ponto a ponto .....	9
Fig. 4 - Sistema pneumático multipontos.....	9
Fig. 5 – Câmbio automático.....	10
Fig. 6 – Câmbio automático.....	10
Fig. 7- Estação de envio e recebimento de cápsulas acompanhada de sistema de comando .....	11
Fig. 8 - Cápsula .....	11
Fig. 9 - Protótipo .....	13
Fig. 10 - Fotoresistor .....	14
Fig. 11 – Bobina com corrente e campo magnético gerado .....	14
Fig. 12– Solenóide de tração .....	15
Fig. 13 – Algorítmo de controle .....	16
Fig. 14 – Interface de controle .....	17
Fig. 15 – Identificação das estações.....	17
Fig. 16 – Aviso de erro .....	18
Fig. 17 – Conector fêmea localizado na parte traseira do computador .....	19
Fig. 18 – Conector macho do cabo paralelo .....	19
Fig. 19 – Esquema da pinagem do DB25 .....	20
Fig. 20 – Esquema de conexão com o CI .....	20
Fig. 21 – Circuito de saída.....	21
Fig. 22 – Estação central do sistema de correio pneumático do Cenesp .....	22
Fig. 23 – Sistema pneumático Cenesp .....	22
Fig. 24 – Teste da diferença de pressão gerada pelo aspirador .....	23
Fig. 25 – Esquema de teste de atrito entre a cápsula e a tubulação.....	24

## Índice de Anexos

Anexo I – Desenho de fabricação do protótipo.....	28
Anexo II – Desenho de fabricação da cápsula.....	29
Anexo III – Desenho de fabricação da conexão de canos com curvatura.....	30
Anexo IV – Linha de programação.....	31
Anexo V – Layout da placa de controle.....	36
Anexo VI – Fotos.....	37

## 1. Introdução

O trabalho de formatura tem como objetivo proporcionar aos alunos a aplicação dos conhecimentos adquiridos em aula. Assim, ficam esses responsáveis pela elaboração de um tema, desenvolvimento do projeto e apresentação do mesmo.

O interesse pelo assunto tratado, se deu partindo primeiramente da vontade de abordar tópicos referentes tanto às aulas de mecânica e construção, propriamente ditas, como às aulas da área elétrica e eletrônica, tornando o projeto peça enriquecedora de nossa formação como Engenheiros Mecatrônicos.

O Correio Pneumático, apesar de pouco conhecido, vem sendo largamente utilizado em grandes instituições que necessitam do transporte rápido de objetos, fazendo crescer uma área que se acreditava estagnada pela invenção da Internet.

A abrangência de conhecimentos necessários para o desenvolvimento desse projeto, o grande desenvolvimento intelectual proporcionado por ele e a importância econômica que ele representa atualmente foram peças chave na decisão do tema a ser explorado.

O objetivo do projeto é a familiarização com a utilização e funcionamento de um sistema de correio pneumático, assim como a elaboração, construção e controle em escala de um mecanismo, de forma que seja possível a simulação de um sistema real em ação.

Documentações históricas nos mostram que a pneumática já era utilizada em Alexandria no século I a.C., porém apenas no início de 1800 d.C. foram propostas as primeiras idéias para transporte de objetos movidos pela pneumática, levando até mesmo ao surgimento de idéias de transporte de pessoas através dessa técnica.

Em 1800 d.C. surgiu o primeiro modelo de transporte de documentos e cartas, inventado pelo engenheiro escocês, William Murdoch, e desenvolvido, mais tarde, pela *London Pneumatic Dispatch Company*. Foi em 1853 que J. Latimer Clark instalou um sistema de tubos pneumáticos conectando a Bolsa de Valores de Londres com a Companhia Elétrica de Telegramas para garantir a chegada de informações adiantadas, do que dependia a fortuna ou falência dos investidores. (Fig. 1).



**Fig. 1 – Escritório Central de Telegramas (1932)**

O sistema foi desenvolvido e passou a ser utilizado para o transporte de correspondência em grandes centros, garantindo velocidade e segurança ao serviço de correio.

O crescimento e popularidade desse mecanismo fizeram com que o governo italiano chegassem a colocar em circulação e a exigir a utilização de um selo específico para o transporte pneumático no período de 1913 a 1966, como pode ser visto na figura 2.



**Fig. 2 – Selo italiano para transporte pneumático**

O sistema de correio pneumático foi amplamente utilizado na segunda metade do século XIX nos maiores centros do mundo, como Paris, Londres, Berlim e Rio de Janeiro, mas acabou sendo substituído no século XX, com a invenção da Internet e fax. Ainda assim, existem hoje correios pneumáticos em funcionamento, como o de Praga, na República Tcheca, inaugurado em 1899, capaz de transportar documentos e pequenos objetos até uma distância de 60 km.

Atualmente, o serviço de correio pneumático é utilizado para transporte interno de instituições, proporcionando rapidez no transporte de objetos, aumentando as horas produtivas de trabalho dos funcionários, garantindo segurança em relação a

assaltos e danificação de objetos e melhorando a análise de certos produtos, aumentando sua qualidade.

Bancos, supermercados, postos de gasolina e pedágios, onde a entrada de capital é grande, são locais cuja aplicação do sistema é comum, aumentando a segurança, não somente do local, como também de seus funcionários, visto que o dinheiro é transportado dos caixas para um escritório interno, mantendo apenas o necessário para troco nas centrais de atendimento. Ainda hoje, grandes varejistas dos EUA, como *Home Depot* e *CostCo*, utilizam-se de tubos pneumáticos para transportar cheques e outros documentos dos caixas para os escritórios de contabilidade.

Outra aplicação típica se dá em hospitais e laboratórios clínicos, para transporte de medicamentos, prontuários, material cirúrgico e até mesmo coletas e bolsas de sangue, entre os laboratórios, centro de enfermagem, posto de coleta do material, salas cirúrgicas e centros de atendimento, trazendo agilidade, eficiência e reduzindo o número de funcionários do sistema.

Em grandes prédios e centros empresariais, a presença de um sistema de correio pneumático é útil na distribuição da correspondência interna. Diariamente são distribuídos contratos, revistas, jornais e envelopes nos mais diversos setores. A partir de uma recepção central, toda a correspondência pode ser distribuída com simplicidade onde for necessário, garantindo sigilo e rapidez na distribuição de informações.

O aeroporto internacional de Denver (EUA) possui um sistema de transporte pneumático de 10 polegadas (25 cm) para mover de peças das aeronaves a armazéns remotos.

No Brasil, esse sistema pode ser encontrado em várias filiais do supermercado Carrefour, no laboratório clínico Fleury, no Hospital Paulistano, nos Bancos Real, Bradesco, Itaú e Banespa, nos pedágios das rodovias Castelo Branco, Dom Pedro I e Raposo Tavares, nas indústrias Alcoa Alumínios S.A., Grupo Gerdau S.A., Pirelli Pneus S.A. e Shell do Brasil S.A, além de parques temáticos, como Beto Carreiro World e Hopi Hare.

A atual utilização do sistema de correio pneumático é prova suficiente de que apesar de mais rápida, a Internet não é capaz de substituir o primeiro, primeiramente pelo motivo óbvio da capacidade de transporte de objetos e não somente dados,

mas também porque, em muitos casos, apenas uma cópia do documento não é o suficiente, é necessário que se tenha em mãos o documento original.

## **2. Descrição de um Sistema Pneumático**

O transporte pneumático caracteriza-se pela interligação de terminais (estações) através de tubos pressurizados por um compressor radial e utiliza-se de uma válvula para determinar a direção do fluxo por onde se deslocam objetos ou pessoas.

O correio pneumático limita-se unicamente ao transporte de cápsulas contendo objetos de pequeno porte entre terminais conectados por tubulações com diferença de pressão, o que determina o sentido da via.

Atualmente existem vários sistemas de correios pneumáticos, dos mais simples (ponto-a-ponto) ao mais complexos (múltiplos pontos automáticos), aplicados de acordo com a necessidade e complexidade do sistema a ser implementado.

### **2.1. Ponto a Ponto**

No sistema ponto a ponto o objetivo é levar um item de um ponto da instalação até outro, sendo este o sistema mais simples, vide figura 3. Objetos são colocados em uma cápsula, que é inserida em uma estação. O motor então impulsiona a cápsula até a outra estação a uma velocidade de até 10m/s. Este sistema é bastante utilizado em pedágios e bancos para transporte de objetos com maior segurança, por exemplo entre o caixa e o cofre.

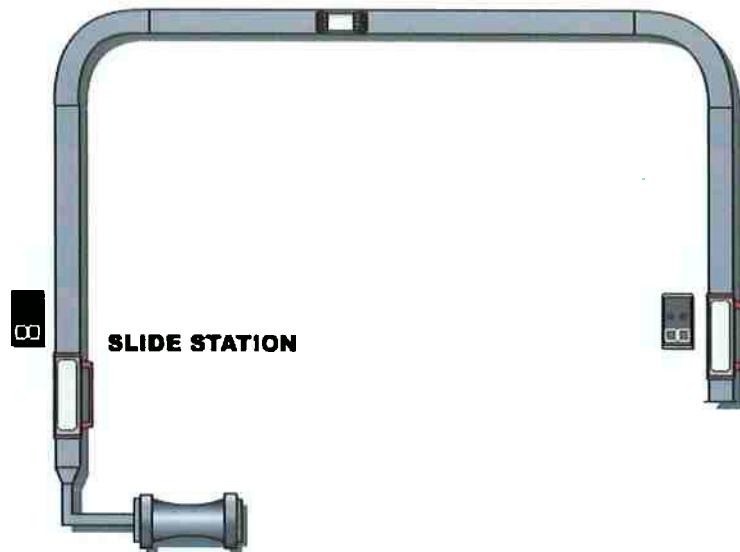


Fig. 3 - Sistema pneumático ponto a ponto

## 2.2. Multipontos Automático

Neste sistema temos o envio e recepção de mais de uma estação selecionada por um painel equipado em cada estação. O detalhe é que somente é permitido o trânsito de uma cápsula por vez, pois todas as estações são interligadas em um único ponto para que seja feita a seleção do caminho a ser seguido. Apesar do sistema estar limitado somente a uma cápsula, o usuário não precisa se preocupar com isso, pois um computador monitora as estações de envio e recebimento e o trânsito das cápsulas.

A figura 4 esquematiza o sistema.

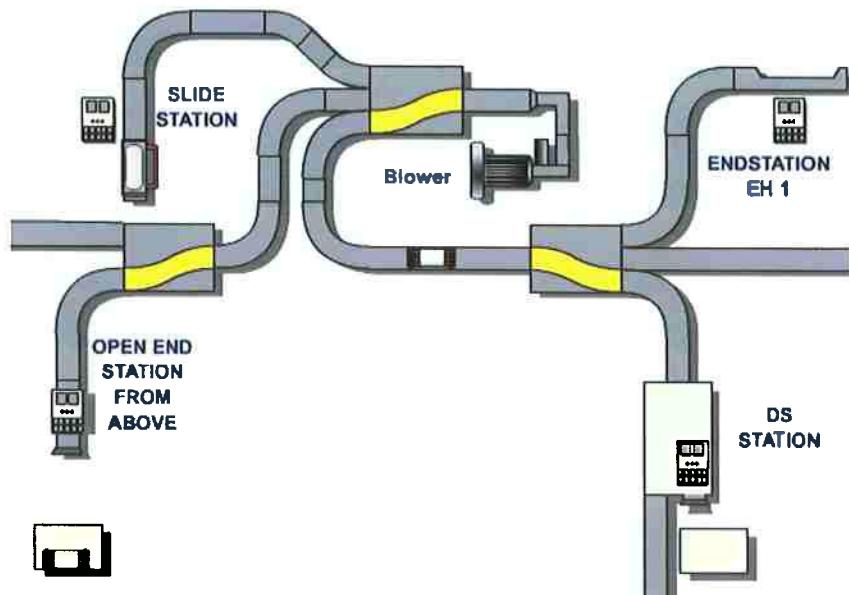


Fig. 4 - Sistema pneumático multipontos

### 2.3. Câmbio automático

O câmbio automático é o mecanismo utilizado em sistemas multipontos, através do qual é possível se definir qual a tubulação pela qual a cápsula percorrerá. A tubulação no interior do câmbio possui uma curva em forma de S, como mostrada na figura 5. Conforme essa tubulação é rotacionada por um motor, a cápsula pode ter acesso a 3 tubulações diferentes, o que determina o seu destino final, o que está evidenciado na figura 6.



Fig. 5 – Câmbio automático

#### Câmbio Automático

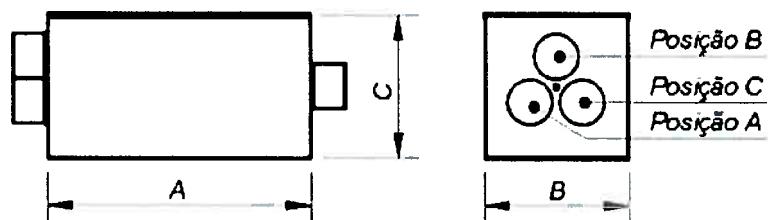


Fig. 6 – Câmbio automático

## 2.4. Estação

Estação são os lugares para envio e recebimento de cápsulas, vide figura 7. Nos sistemas multipontos ela deve ser acompanhada por um sistema de comando, através do qual o usuário possa determinar o destino final da cápsula. Sua utilização resume-se a colocar a cápsula no tubo interno, fechar a “tampa” e acionar o botão de envio. Esta é a solução mais barata.

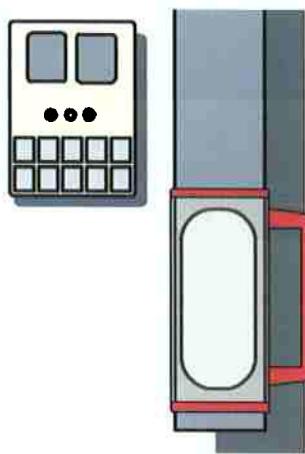


Fig. 7- Estação de envio e recebimento de cápsulas acompanhada de sistema de comando

## 2.5. Cápsulas

As cápsulas são utilizadas para transporte de materiais. Possui uma tampa articulável com abertura lateral e trava de segurança, que impede sua abertura dentro da tubulação. Fora isso, é fabricada em material de alta densidade, o que proporciona uma vida útil mais prolongada. Possui anel de vedação de borracha, revestido com velcro para diminuição do atrito, como pode ser observado na figura 8.

Algumas cápsulas ainda possuem rodas em sua superfície externa para diminuir o atrito com a tubulação, aumentando a velocidade e diminuindo a resistência para se fazer a movimentação da mesma.

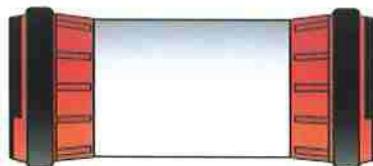


Fig. 8 - Cápsula

## **2.6. Tubulação**

Fabricado em PVC são altamente maleáveis e podem ser processados para que façam curvas de raio central de até 950mm. Isto é feito através de um forno e um molde, onde os tubos são colocados e depois “dobrados” para que se possa ter o efeito desejado. As junções são feitas com silicone e representam um grande problema na estrutura, uma vez que a rugosidade interna tem que ser controlada para a passagem da cápsula.

## **2.7 Compressor de ar**

O compressor de ar é um dos mais importantes componentes do correio pneumático, uma vez que é ele que dá ao sistema energia para a movimentação das cápsulas. Ela conta com duas saídas de pressão e duas de vácuo, que alternadas geram uma diferença de pressão dentro da tubulação.

Essa diferença de pressão, no entanto não é alta, uma vez que a massa transportada nas cápsulas é baixa. O importante no caso é atingir altas vazões para que o sistema seja rápido. Recomenda-se uma vazão de 250cfm (aprox. 118 L/s)

# **3. Implementação**

## **3.1 Construção do Protótipo**

Será construído um protótipo de um sistema multiponto, a partir de materiais baratos como tubos de PVC. Assim, foram selecionados canos com 1,5 polegadas de diâmetro, através dos quais percorrem cápsulas com 50 mm de altura e 35 mm de largura, como pode ser observado no anexo 1.

O sistema de câmbio para selecionar a via de tráfego da cápsula, será construído utilizando-se como base um cano com uma curvatura de 45º, que possui curvatura suficiente para realizar a mudança de direção de percurso, sem apresentar desempenhos reduzidos significativamente quanto à perda de carga.

Esse sistema de câmbio também contará com um solenóide de tração, utilizado para selecionar a via ativa e que será controlado através de portas paralelas do PC.

De forma a gerarmos um fluxo de ar capaz de movimentar a cápsula, utilizaremos três aspiradores de pó, acoplados respectivamente a cada uma das extremidades das ramificações, criando, assim, o sistema pneumático. O controle para acionamento dos motores dos aspiradores de pó serão feitos por relês ligados ao software de controle, e a detecção das cápsulas e do direcionamento do câmbio automático será feita através de sensores com foto-receptores.

O protótipo está representado na figura 9.

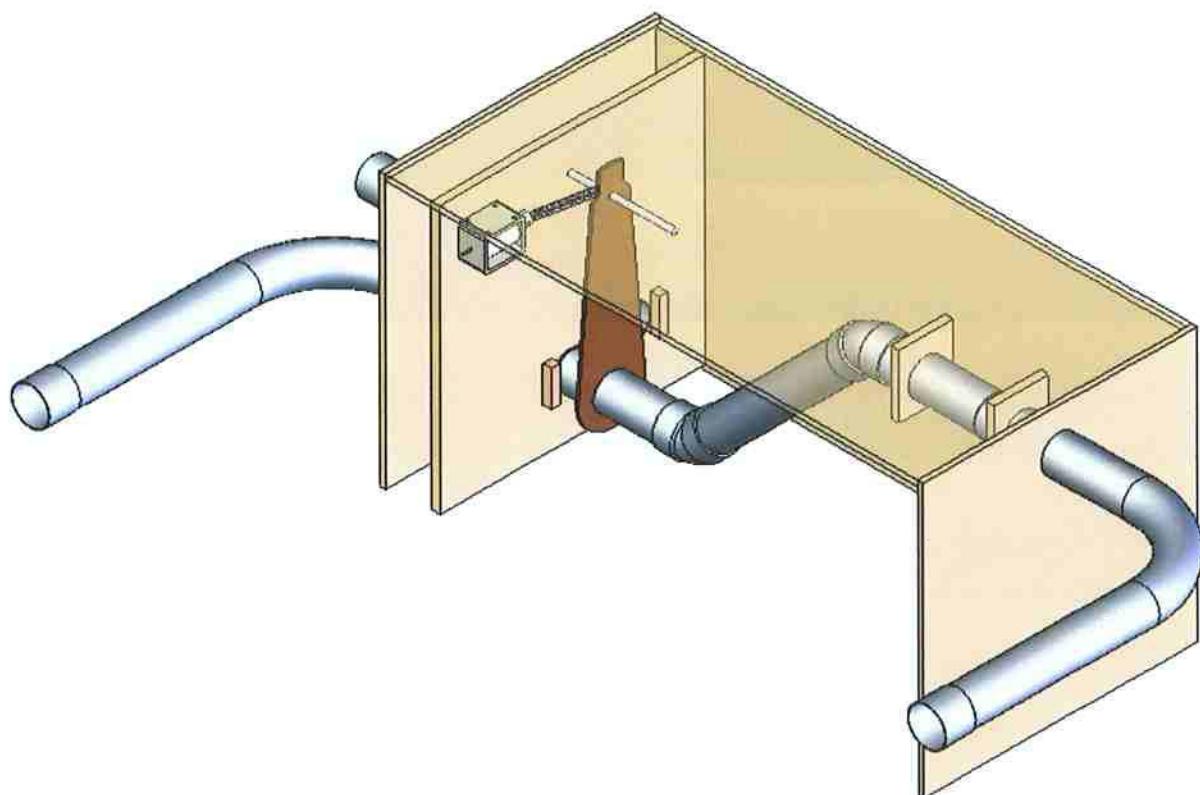


Fig. 9 - Protótipo

### 3.1.1 Componentes

- Fotoresistores

O fotoresistor, também chamado de célula fotocondutora, fotocélula, ou LDR (light dependent resistor) é um dispositivo semicondutor de dois terminais, cuja resistência varia linearmente com a intensidade de luz

incidente. No escuro os fotoresistores têm resistência elevada. Quando são expostos à luz, a resistência diminui por ordens de magnitude. Sua desvantagem como sensor está na lentidão de resposta, que chega a décimos de segundo - uma fotocélula pode não perceber o "pisca-pisca" de 60 Hz de uma lâmpada fluorescente, porém apresenta alta sensibilidade e baixo custo.

Um fotoresistor está representado na figura 10.



Fig. 10 - Fotoresistor

- Solenóide de Tração

São componentes eletromecânicos que convertem sinal elétrico em força mecânica linear.

Obtém-se um solenóide quando um fio é enrolado sob a forma de uma bobina, como resultado tem-se um conjunto de espiras justapostas. Ao passarmos uma corrente por essas espiras, geramos um campo magnético, capaz de atrair uma estrutura de metal, responsável pela força mecânica, como pode ser observado no esquema abaixo.

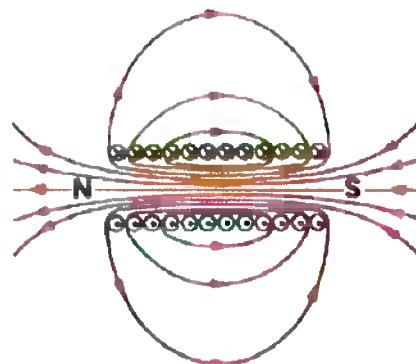
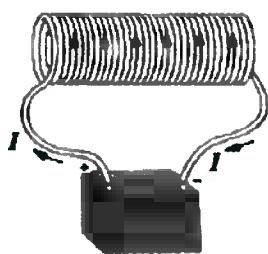
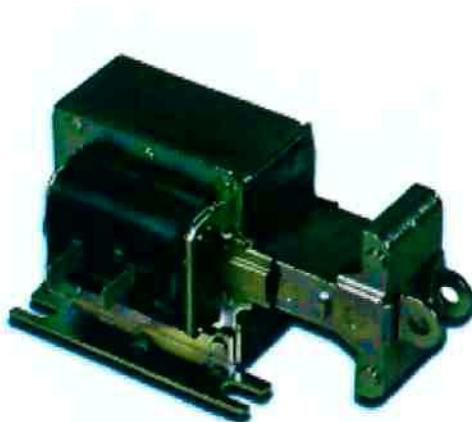


Fig. 11 – Bobina com corrente e campo magnético gerado

A figura abaixo representa um solenóide de tração.



**Fig. 12– Solenóide de tração**

- Componentes eletrônicos

Os componentes utilizados na construção do circuito de controle são componentes eletrônicos básicos e que podem ser encontrados facilmente em qualquer loja especializada. Estes são listados abaixo:

- LEDs
- Resistores
- Diodos
- Capacitores
- Circuitos Integrados
- Transistores
- Relês

### **3.2 Controle**

Nosso mecanismo apresenta a necessidade de controle de três entradas (sensores fotoreceptores localizados nas extremidades de cada tubulação para a identificação de presença da cápsula) e cinco saídas (três correspondentes aos motores do aspirador de pó e uma correspondente ao solenóide que guiará o câmbio).

Dessa forma, o controle do modelo será feito através da porta paralela de um PC para a transmissão de sinais ao protótipo. A porta paralela possui 8+4 pinos de

saída que podem ser utilizadas, e somente 5 de entrada, o que é suficiente para a nossa necessidade.

Será necessária a construção de uma placa de controle para fazermos as conexões dos circuitos e computador.

### 3.3 Software de Controle

Todo o software foi desenvolvido através do MatLab, que apresenta facilidade na linha de programação, além de apresentar recursos para a criação de uma interface com o usuário.

A lógica do software a ser implementado pode ser representada pelo diagrama a seguir:

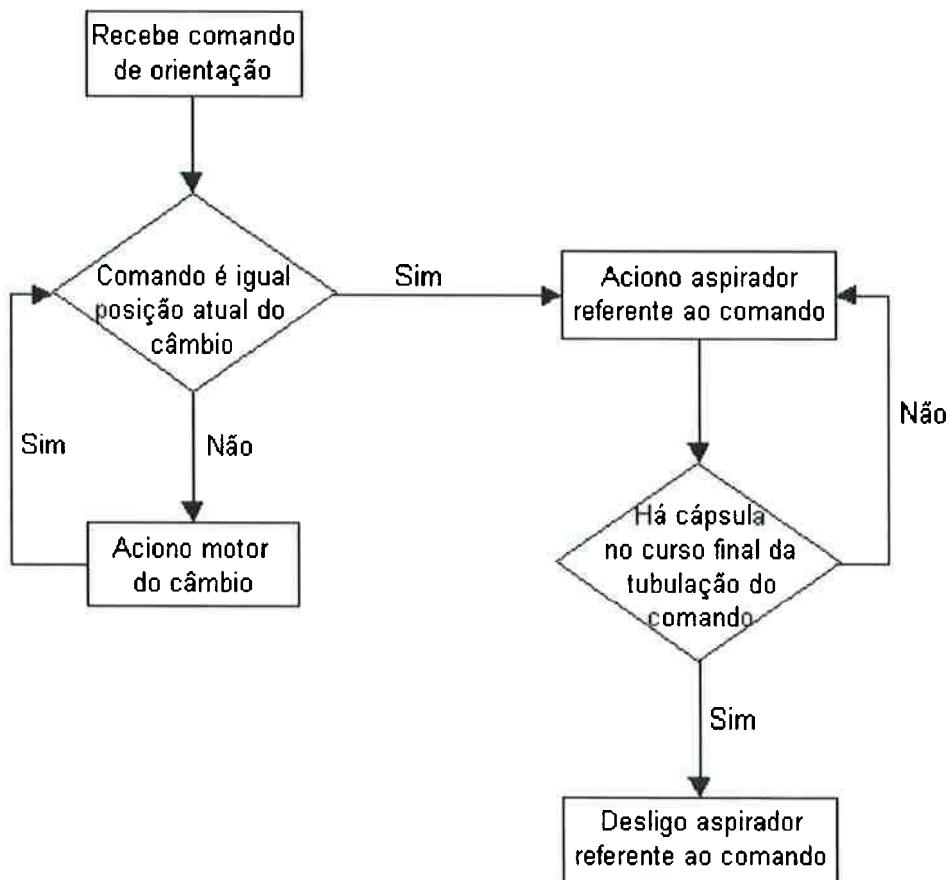


Fig. 13 – Algoritmo de controle

A interface com o usuário compõe-se basicamente pela tela de comando, onde devem ser imputados os dados de partida e chegada desejada da cápsula, conforme mostra a figura 14.



Fig. 14 – Interface de controle

Sendo as estações 1, 2 e 3 evidenciadas a seguir.

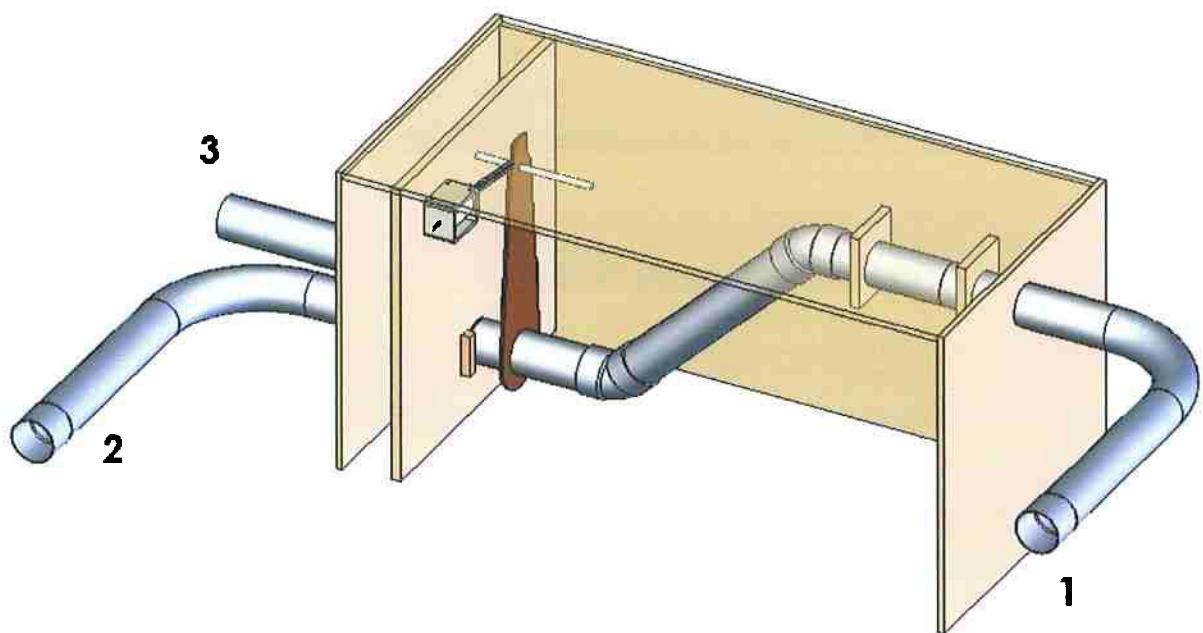


Fig. 15 – Identificação das estações

Como pode ser visto na figura anterior, as estações 2 e 3 não se comunicam, assim, caso o usuário faça um comando conectando-as, a cápsula irá primeiro para a estação 1, para depois seguir em direção à estação desejada.

Caso o usuário defina a entrada e saída em uma mesma estação, uma tela de erro aparecerá, obrigando-o a fazer outro comando. Essa tela é demonstrada na figura 16.

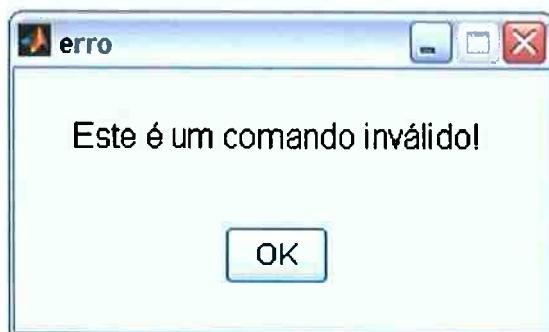


Fig. 16 – Aviso de erro

### 3.4 Transferência de dados

A porta paralela é uma interface de comunicação entre o computador e um periférico. Através dela, poderemos desenvolver o sistema de controle do protótipo.

Para programarmos o envio e recebimento de sinais, é importante que saibamos o endereço de memória referente à porta paralela. A tabela abaixo enuncia essa relação.

Nome da Porta	Endereço de Memória	Endereço da Porta		Descrição
LPT1	0000:0408	378 h	888 decimal	Endereço base
LPT2	0000:040A	278 h	632 decimal	Endereço base

A conexão entre o computador e a placa de controle se dá através de um cabo paralelo conectado ao DB25, localizado na parte de trás do computador. Neste conector, os sinais são identificados como sendo 0 se a tensão está entre 0 e 0,4V, e 1 se a tensão varia de 3,1 a 5V.

As figuras abaixo identificam os pinos dessa conexão.

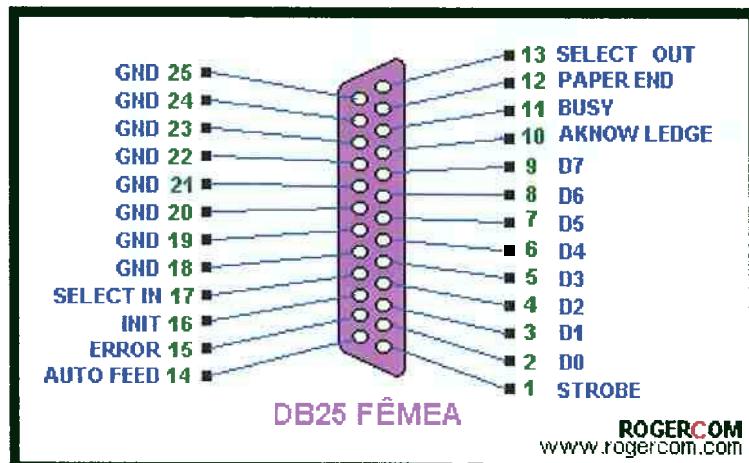


Fig. 17 – Conector fêmea localizado na parte traseira do computador

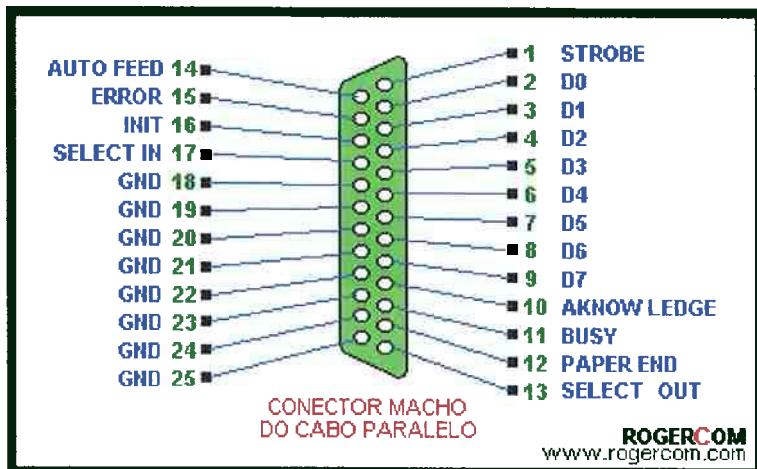


Fig. 18 – Conector macho do cabo paralelo

Dessa forma, a pinagem é descrita no esquema a seguir.

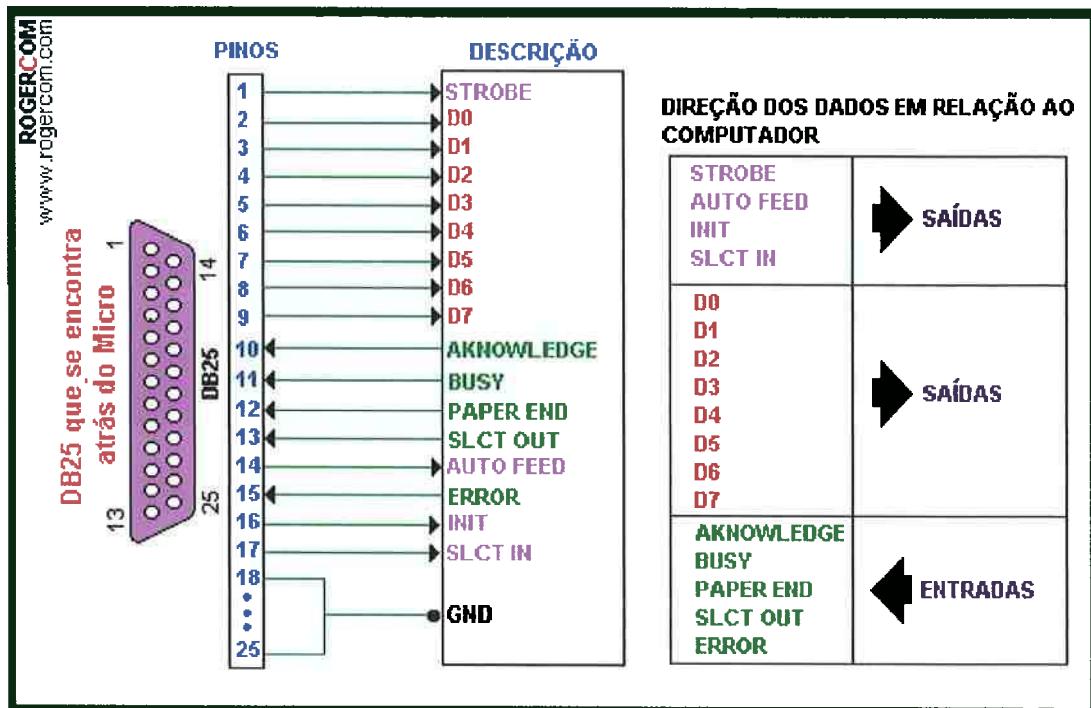


Fig. 19 – Esquema da pinagem do DB25

Assim, fazemos a conexão a seguir para que o computador receba os sinais do protótipo.

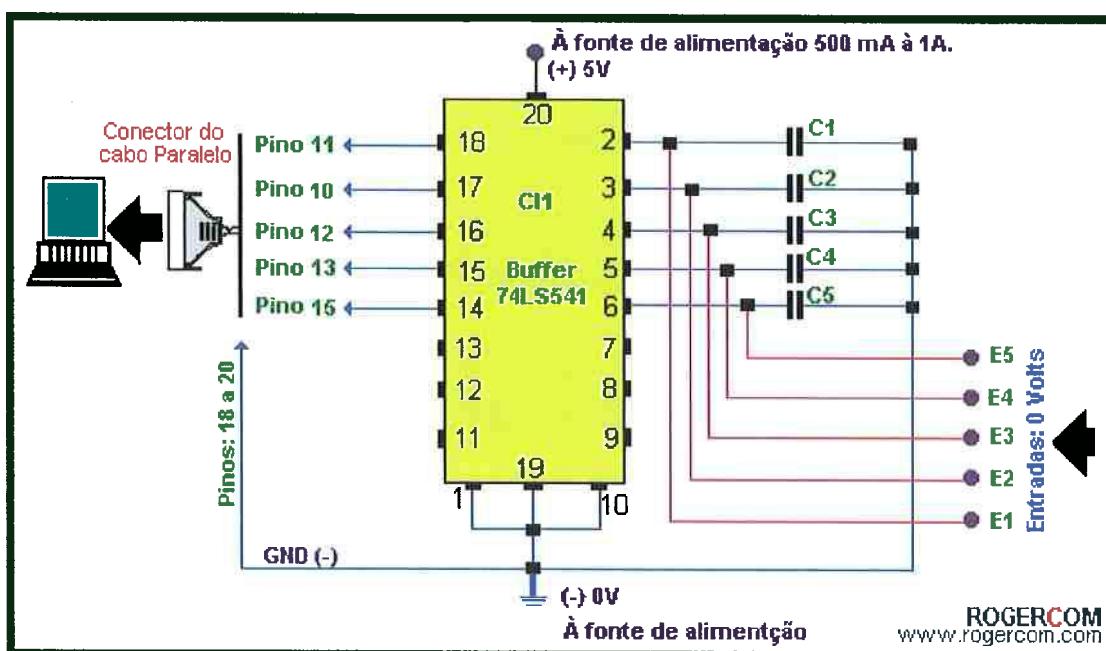


Fig. 20 – Esquema de conexão com o CI

No circuito acima, o chip 74LS541 é usado para proteger a Porta Paralela de altas correntes. Ele é alimentado com 5v, diferente da outra parte do circuito que

controla o relé, que precisa de 12v para ser acionado. Os contatos do relé devem suportar 220v/10A, para que possamos acionar aparelhos de potência.

Para enviar dados para dentro do computador através do circuito acima, utilizaram-se as entradas E1 a E5, com tensão elétrica negativa (0V) da fonte de alimentação em uso.

De modo a enviar um bit com valor (1), basta ligar a respectiva entrada ao negativo.

Para enviar um bit com valor (0), desligamos a respectiva entrada do negativo.

Tendo a pinagem correspondente ao conector utilizado, basta construirmos o circuito que auxiliará no envio e recebimento de dados, conforme mostra o esquema da figura 21.

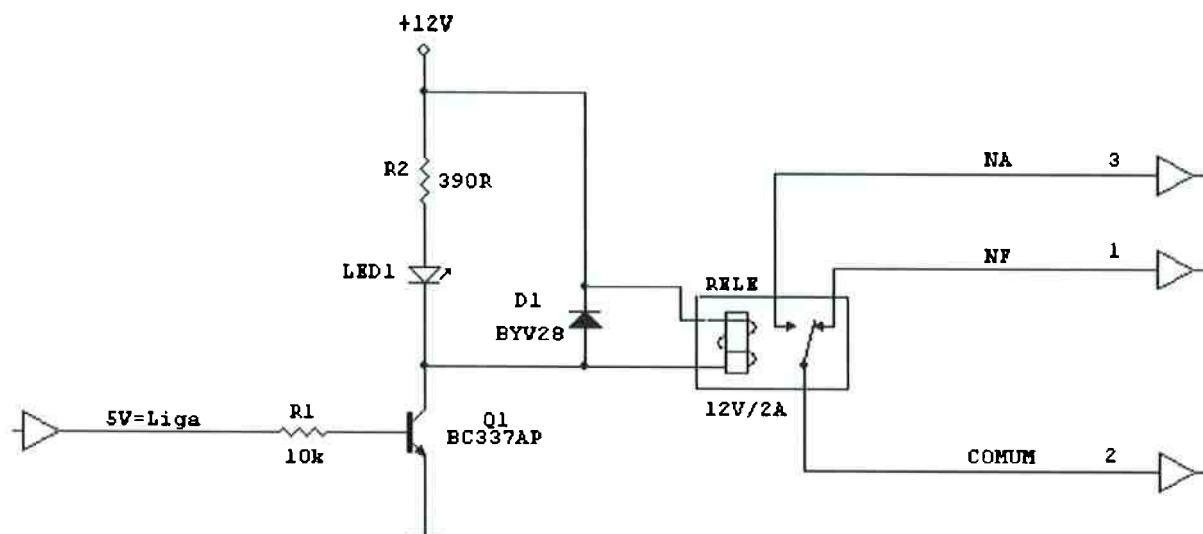


Fig. 21 – Circuito de saída

O circuito acima estará conectado aos aspiradores de pó e ao solenóide

#### 4. Metodología

#### 4.1 Visitas Técnicas

De modo a aprofundarmos nosso estudo e observarmos o funcionamento de um sistema de correio pneumático, assim como seus componentes, especificações e projeto, é de extrema importância que seja feita uma visita a um empreendimento que possua tal sistema atuando.

Dessa forma entramos em contato com o Centro Empresarial de São Paulo (CENESP), que possui o maior sistema de correio pneumático do Brasil, e tivemos a oportunidade de conhecer o mecanismo em funcionamento.

O sistema de transporte pneumático do Cenesp é bastante antigo, e apesar de grande, todo o sistema é manual. O sistema é do tipo ponto a ponto, o que faz com que seja necessária a existência de uma estação central, como mostrado na figura 22.



Fig. 22 – Estação central do sistema de correio pneumático do Cenesp

As cápsulas são direcionadas das subestações para a estação central com a identificação de destino. Dessa forma, o funcionário reenvia a cápsula para o destino final, apenas colocando-a na tubulação correta.

São seis prédios, com oito andares cada, resultando em 48 subestações. Cada tubulação se dirige a um prédio, e a escolha do andar é determinada por um componente mecânico acoplado a cada uma das diferentes tubulações, conforme ilustra a figura 23.

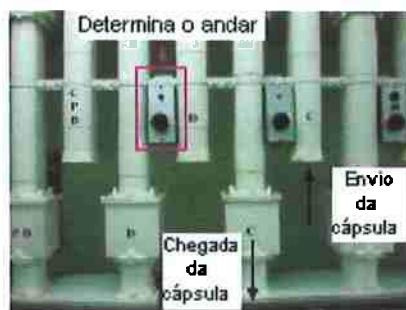


Fig. 23 – Sistema pneumático Cenesp

Além disso, tomamos conhecimento de workshops voltados para hospitais e supermercados, nos quais empresas, como a MBS e a Aerocom, divulgam a

importância e vantagem da implementação de um sistema de correio pneumático para tais departamentos.

Assim, pudemos ter contato com a ferramenta, o que nos deu um maior apoio e segurança no desenvolvimento do projeto.

## 4.2 Memorial de Cálculos

De forma a verificarmos a viabilidade do protótipo descrito até então, é importante que algumas análises sejam feitas. Para isso, foram necessários alguns experimentos para obtermos os parâmetros de funcionamento dos equipamentos. A seguir descrevemos alguns dos experimentos realizados.

- Diferença de pressão imposta pelo aspirador de pó

Através de um manômetro de coluna d'água foi possível termos uma idéia da diferença de pressão gerada pelo aspirador de pó, conforme esquema da figura abaixo:

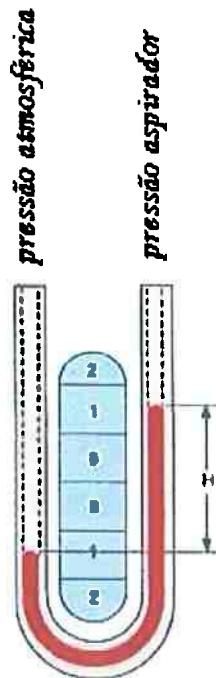


Fig. 24 – Teste da diferença de pressão gerada pelo aspirador

Onde a diferença de pressão pode ser calculada por:

$$\Delta p = \rho A g H ;$$

sendo

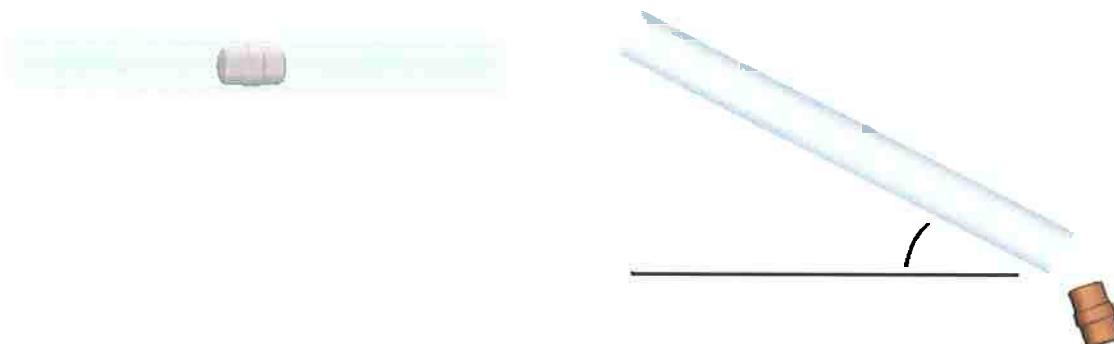
$\rho$  densidade da água;

A área de corte da tubulação;

g aceleração gravitacional.

- Atrito entre a tubulação e a cápsula ( $\mu$ ) $\theta$

O atrito entre a tubulação e a cápsula foi medido através da tangente do ângulo máximo que o atrito suportava o peso da cápsula, conforme esquema abaixo:



**Fig. 25 – Esquema de teste de atrito entre a cápsula e a tubulação**

Assim, temos que:

$$\mu = \operatorname{tg}(\theta)$$

A seguir descrevemos os cálculos básicos para utilização de um aspirador de pó como compressor de ar.

Dados técnicos do aspirador de pó:

Potência = 1200~1400 W

Diferença de pressão imposta > 0,1 atm. ( dado experimental)

Vazão = ~ 4m<sup>3</sup>/h (estimativa)

Estimativa do protótipo:

Trajeto = ~ 2 m

Comprimento linear = ~1,0m

Atrito ( $\mu$ ) entre tubulação de PVC e Cápsula = ~ $\operatorname{tg}(17^\circ) = 0,31$  ( dado experimental)

## Perdas de carga (PC): (Tubulação de PVC 1 1/4")

Dados técnicos da Schneider

Tipo de desvio	Quantidade	Comprimento equivalente
Curva em 90°	2	2 x 0,7
Curva em 45°	2	2 x 0,5
União	6	6 x 0,1

O que nos dá um total de 3 m de comprimento equivalente.

Temos, então, que:

$$PC = (L + l_e) \times f_c = (1,0 + 3) \cdot 0,07 = 0,28 \text{ m}$$

$$PC = 0,3 \text{ m}$$

Onde:

PC é a perda de carga;

L é o comprimento linear da tubulação;

le é o comprimento equivalente;

fc é o fator de carga

$$V_{\text{escoamento médio}} = \frac{Q}{A} = \frac{4}{\left(\frac{\pi \cdot 0,04^2}{4}\right)} = 0,88 \text{ m/s}$$

Onde:

Q é a vazão do aspirador;

A é a área da seção da tubulação

## Pressão para vencer o atrito entre a cápsula e a tubulação

$$F_{\text{at}} = \mu \cdot N;$$

$$p = F/A$$

Onde:

F<sub>at</sub> = força de atrito entre a cápsula e a tubulação;

N é a força normal entre a cápsula e a tubulação;

p é a pressão.

Portanto:

$$p_{\text{suc}} = p_{\text{atm}} - \frac{\mu \cdot m \cdot g}{A} = 0,998 \text{ atm}$$

$$p_{\text{atm}} - p_{\text{suc}} = 0,002$$

Onde:

m é a massa da cápsula.

Como a diferença de pressão necessária para que a cápsula se desloque horizontalmente é inferior a 0,1 atm (diferença de pressão mínima gerada pelo

aspirador), podemos concluir que a potência do aspirador é o suficiente para se realizar essa tarefa.

Resta ainda a verificação para movimentos verticais.

### **Considerando-se movimentos verticais:**

Se a tubulação for de tal forma que a cápsula se desloque verticalmente, temos:

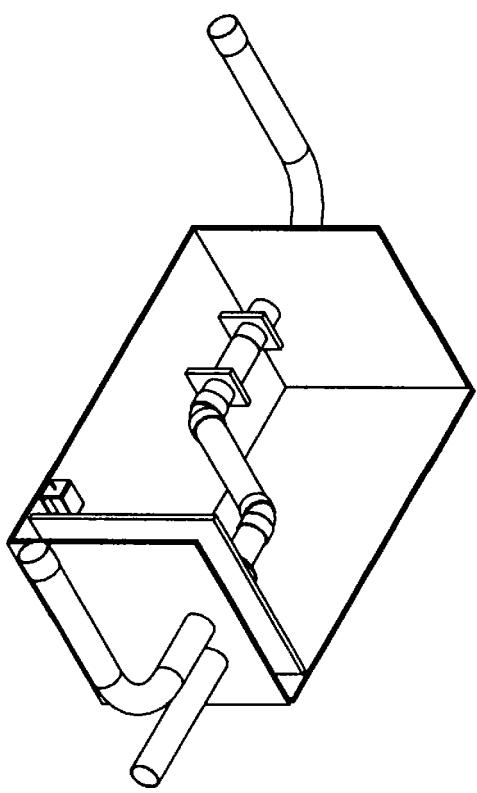
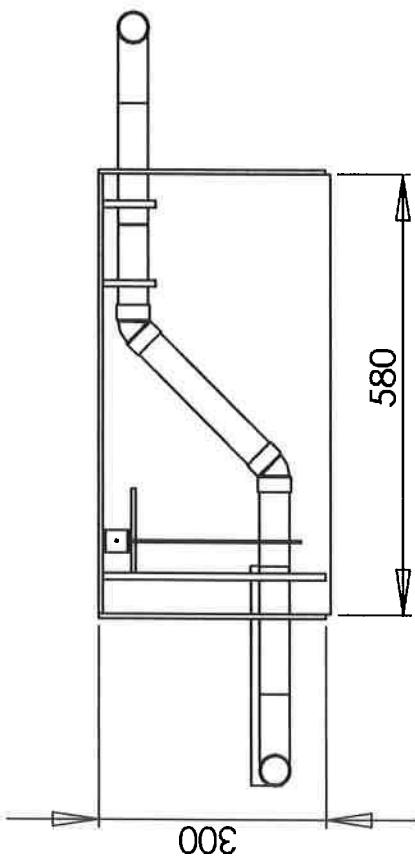
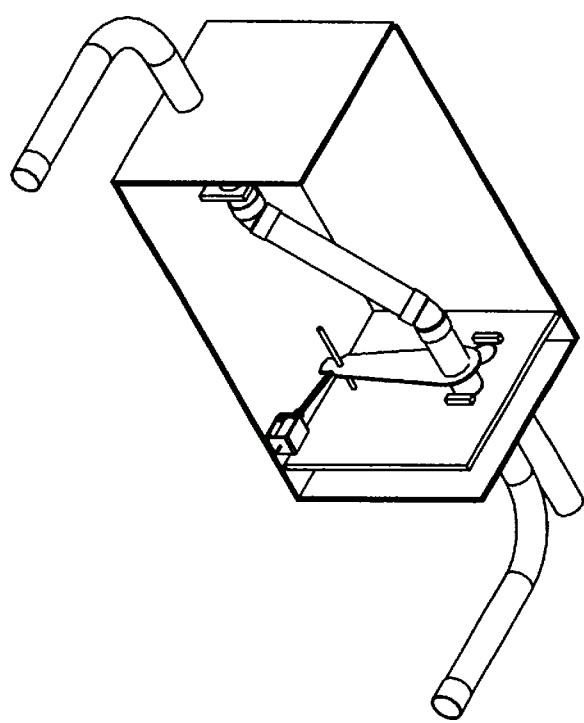
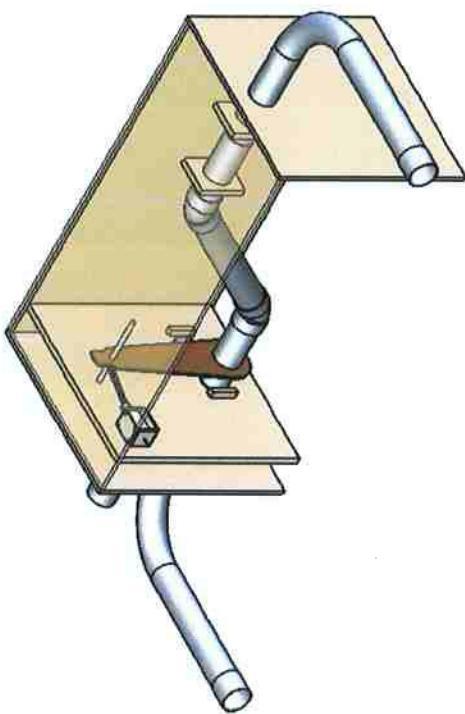
$$P_{suc} = P_{atm} - \frac{m \cdot g}{A} = 0,993 \text{ atm}$$

$$P_{atm} - P_{suc} = 0,007$$

Ainda nesse caso a diferença de pressão necessária para que a cápsula se desloque verticalmente é inferior a 0,1 atm, o que nos leva à conclusão de que a potência do aspirador é o suficiente para obtermos um resultado satisfatório.

## 5. Referências Bibliográficas

- Esposito, A. – **Fluid Power With Applications**. 3<sup>rd</sup> edition; Prentice-Hall, 1993.
- Festo Didatic-Brasil – **Introdução á Pneumática**. Edição nº 3, 1998.
- Hiscox, G.D. - **Compressed air: its production, uses, and applications**. New York, Henley, 1901.
- **MBS Equipamentos LTDA**, <http://www.mbs.ind.br>
- **Pneumatic @ Answers.com**, <http://www.answers.com/topic/pneumatic-tube>
- **Zip Pneumatics, Inc.**, <http://www.zip-pneumatics.com>
- <http://www.rogercom.com/pparalela/introducao.htm>
- [http://www.epanorama.net/circuits/parallel\\_output.html](http://www.epanorama.net/circuits/parallel_output.html)



TF - Correio Pneumático

## Câmbio

# TF - Correio Pneumático

३

2

1

SHEET 1 OF 1

SCALE 1:10

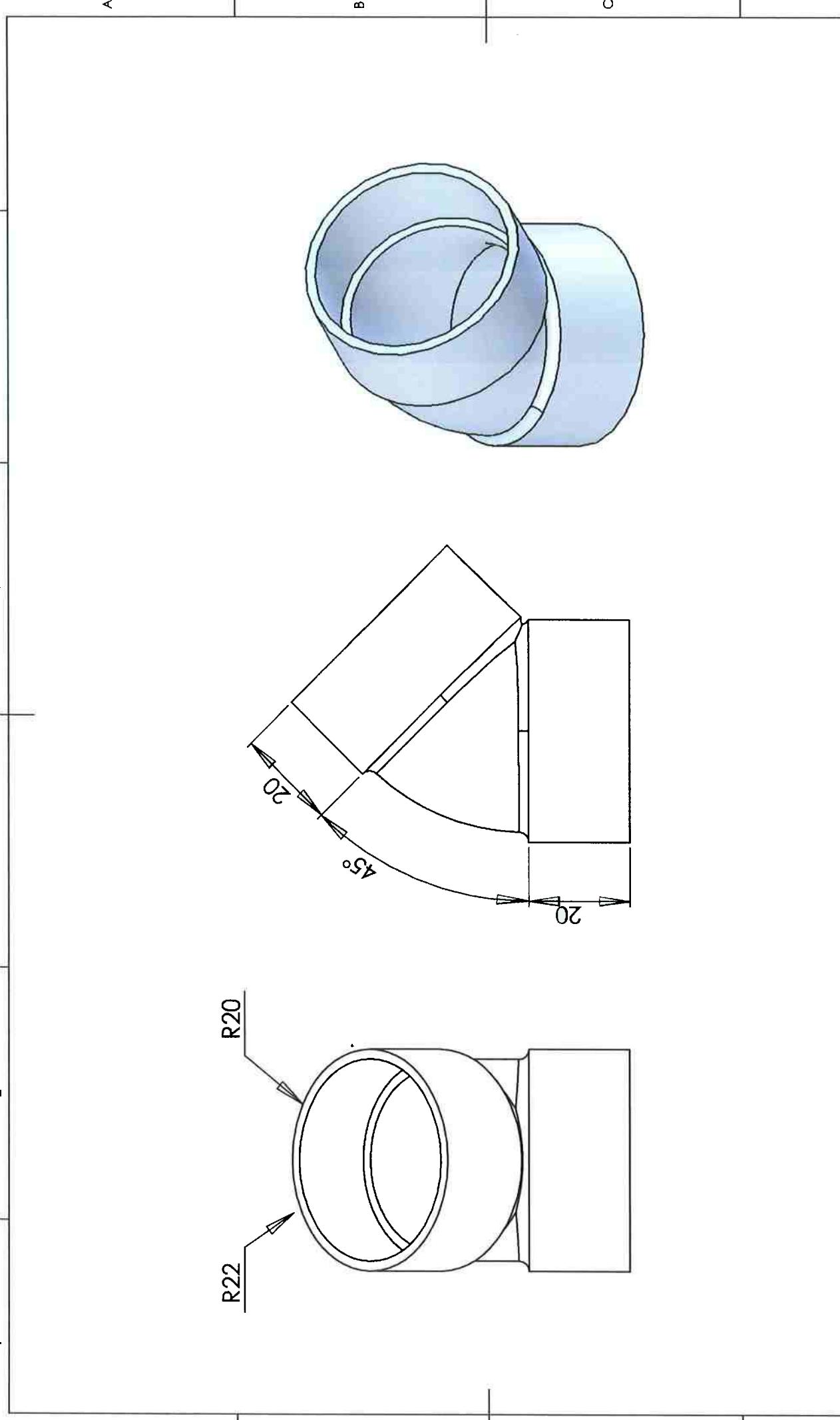
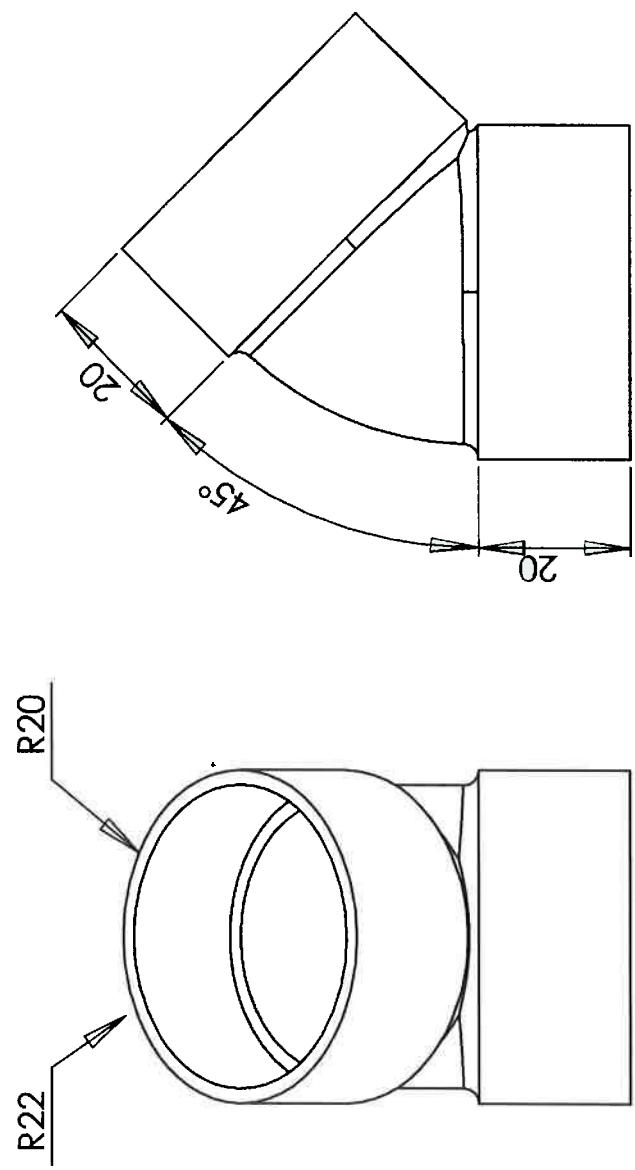
**WEIGHT:**

2



**TF - Correio Pneumático**

NAME	Cotovelo 45°	
MATERIAL:	PVC	DWG NO.
WEIGHT:	3	SCALE:1:1
	2	SHEET 1 OF 1
	3	
	1	



## Anexo IV

### Linha de Programação

```
function varargout = novo(varargin)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03

global dio_out dio_in
dio_out=digitalio('parallel','LPT1');
addline(dio_out,0:7,0,'out');

% NOVO M-file for novo.fig
% NOVO, by itself, creates a new NOVO or raises the existing
% singleton*.
%
% H = NOVO returns the handle to a new NOVO or the handle to
% the existing singleton*.
%
% NOVO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in NOVO.M with the given input arguments.
%
% NOVO('Property','Value',...) creates a new NOVO or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before novo_OpeningFunction gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to novo_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help novo

% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Jan-2007 16:20:57

% Begin initialization code - DO NOT EDIT

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',     mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @novo_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @novo_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn', [], ...
```

```

'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before novo is made visible.
function novo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to novo (see VARARGIN)

% Choose default command line output for novo
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes novo wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = novo_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
ent01=1;
ent02=0;
ent03=0;
sai01=1;
sai02=0;
sai03=0;
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

% --- Executes on button press in ativar.
function ativar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03 dio_out dio_in

if (ent01==1 && sai01==1) || (ent02==1 && sai02==1) || (ent03==1 && sai03==1) ||
(ent02==1 && sai03==1) || (ent03==1 && sai02==1) || (ent01==0 && ent02==0 &&
ent03==0) || (sai01==0 && sai02==0 && sai03==0)
    erro
    putvalue(dio_out,0);
end
if (ent01==1 && sai02==1)
    putvalue(dio_out,2); %liga aspirador 2
    cron=0;
    while cron<10e8
        cron=cron+1;
    end
    putvalue(dio_out,0);
end
if (ent01==1 && sai03==1)
    putvalue(dio_out,8) %liga solenoide
    temp=0;
    while temp<10e7;
        temp=temp+1;
    end
    putvalue(dio_out,12); %liga aspirador 3 e mantém solenóide ligado
    cron=0;
    while cron<15e7
        cron=cron+1;
    end
    putvalue(dio_out,0);
end
if (ent02==1 && sai01==1)
    putvalue(dio_out,1); %liga aspirador 1
    cron=0;
    while cron<15e7
        cron=cron+1;
    end
    putvalue(dio_out,0);
end
if (ent03==1 && sai01==1)
    putvalue(dio_out,8) %liga solenoide
    temp=0;
    while temp<10e7
        temp=temp+1;
    end

```

```
putvalue(dio_out,9) %liga aspirador 1 e mantém o solenóide ligado
cron=0;
while cron<15e7
    cron=cron+1;
end
putvalue(dio_out,0);
end
```

```
% hObject handle to ativar (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in e01.
function e01_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
ent01=get(hObject,'Value');
ent02=0;
ent03=0;
% hObject handle to e01 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of e01
```

```
% --- Executes on button press in e02.
function e02_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
ent02=get(hObject,'Value');
ent01=0;
ent03=0;
% hObject handle to e02 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of e02
```

```
% --- Executes on button press in e03.
function e03_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
ent03=get(hObject,'Value');
ent02=0;
ent01=0;
% hObject handle to e03 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of e03
```

```
% --- Executes on button press in s01.
```

```
function s01_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
sai01=get(hObject,'Value');
sai02=0;
sai03=0;
% hObject handle to s01 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of s01
```

```
% --- Executes on button press in s02.
```

```
function s02_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
sai02=get(hObject,'Value');
sai01=0;
sai03=0;
% hObject handle to s02 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of s02
```

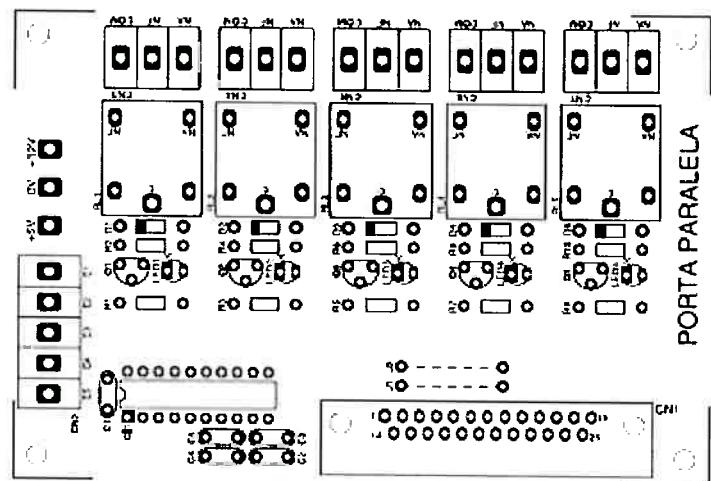
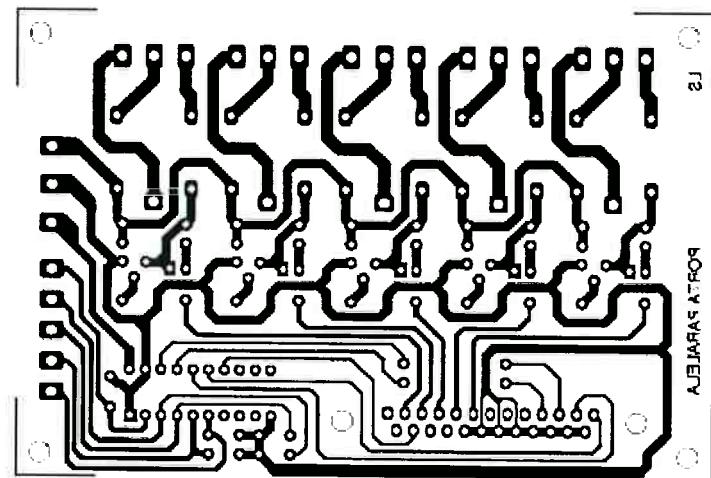
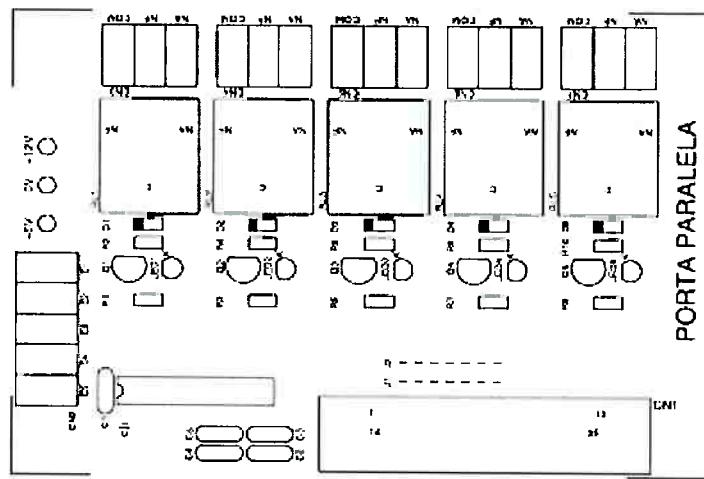
```
% --- Executes on button press in s03.
```

```
function s03_Callback(hObject, eventdata, handles)
global ent01 ent02 ent03 sai01 sai02 sai03
sai03=get(hObject,'Value');
sai02=0;
sai01=0;
% hObject handle to s03 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of s03
```

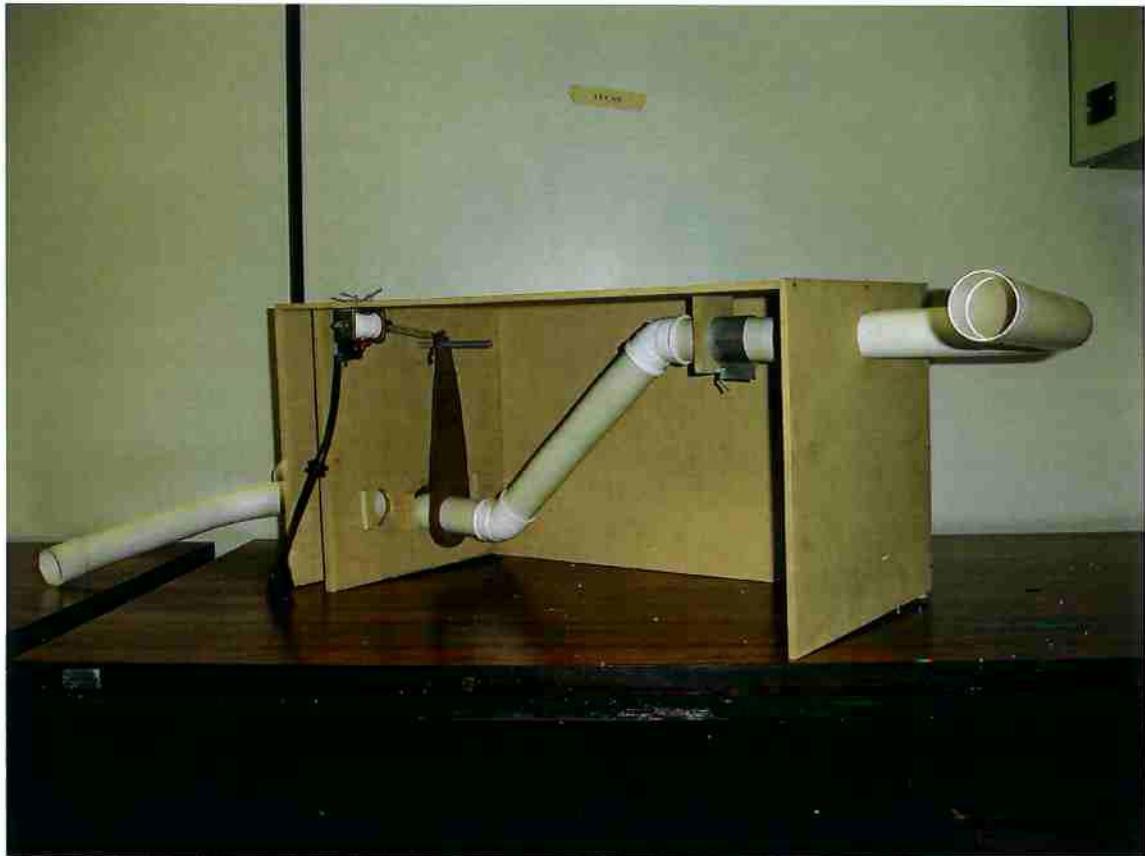
## Anexo V

### Layout da placa de controle

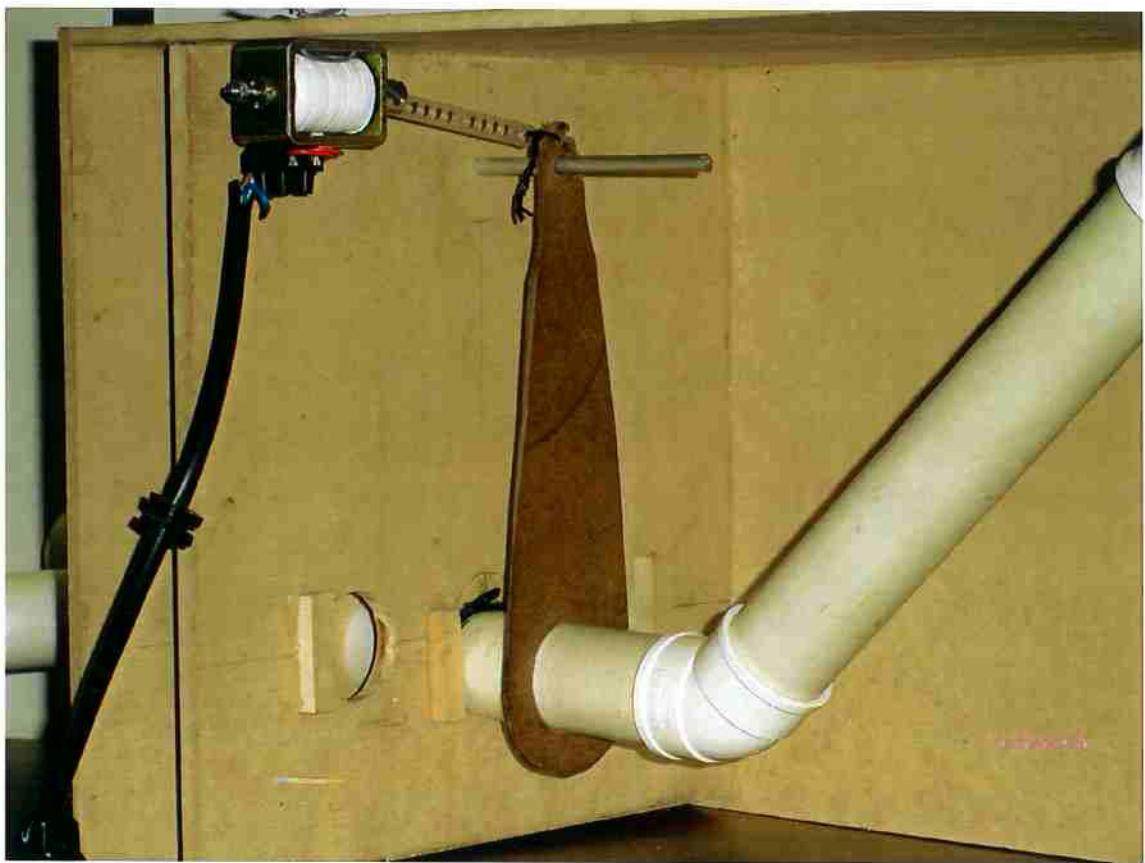


## Anexo VI

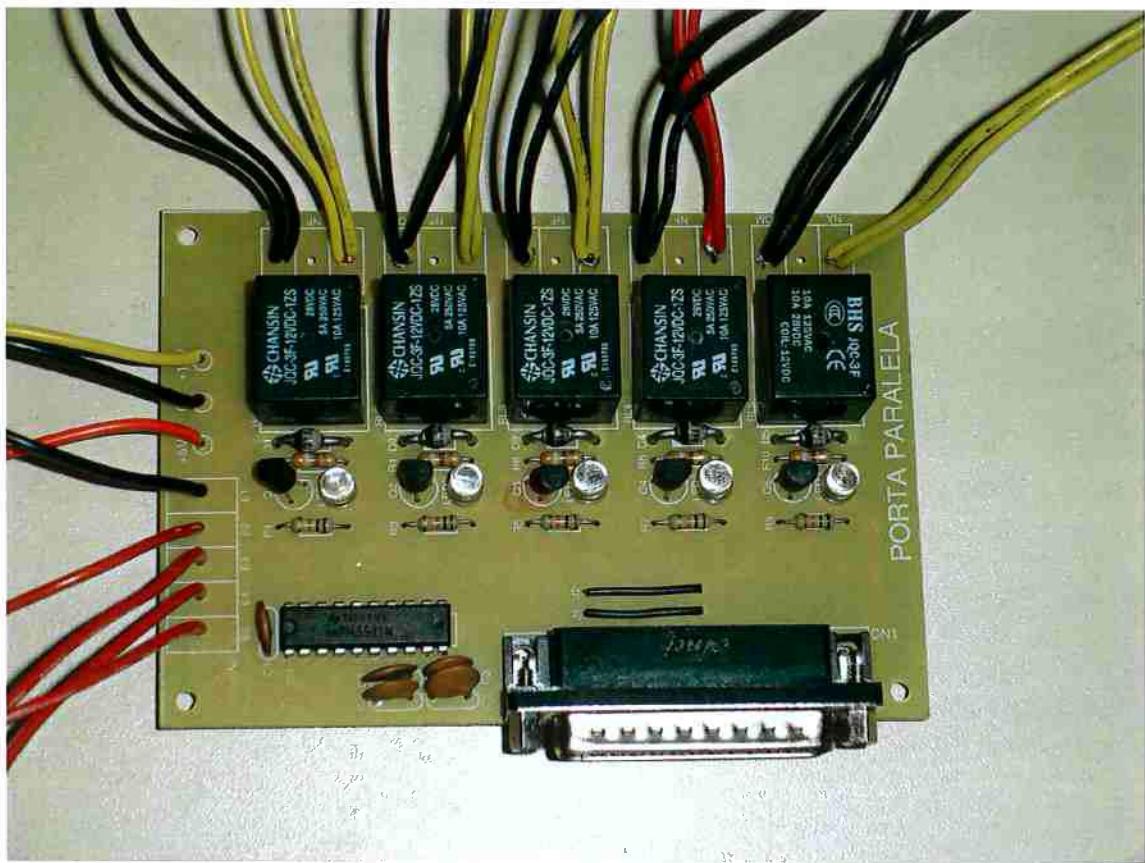
### Fotos



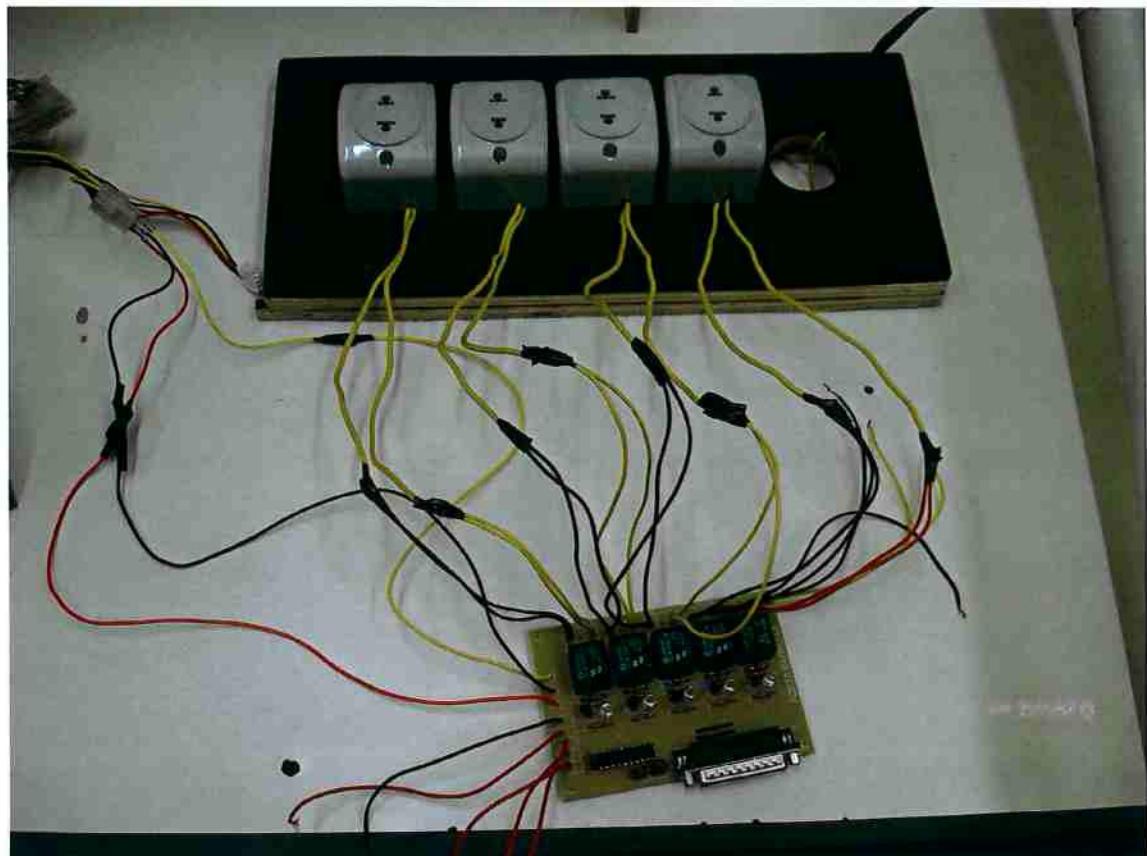
**Câmbio automático**



**Mecanismo de mudança de via**



**Placa de controle**



**Conexão Placa de Controle com tomadas**



**Extremidade das tubulações – Destaque para os sensores**