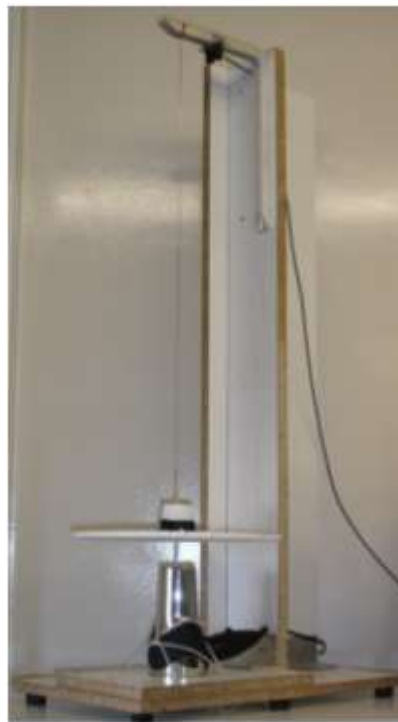


Sistemas de Accionamento e Movimentação

2004/2005

“Levitação de um disco por variação de velocidade de um Ventilador”



Intervenientes:

Ana Luísa Martins

ee04255@fe.up.pt

Fernando Manuel Gonçalves Santos ee01136@fe.up.pt

Índice

1 Introdução e objectivos	3
2 Composição do kit.....	4
3 Dificuldades encontradas.....	5
4 Modelação do sistema.....	6
4.1 Modelação do sensor.....	6
4.2 Modelação do ventilador	9
4.3 Modelação do sistema Ar-Disco.....	11
5 Técnicas de controlo.....	18
5.1 Controlo por Lógica Difusa	18
5.2 Controlo Clássico (PD).....	21
6 Diagrama de Blocos.....	22
7 Conclusão.....	24

1 Introdução e objectivos

Este trabalho faz parte de um projecto global que surgiu no âmbito da cadeira de “Sistemas Baseados em Lógica Difusa”, que tinha como objectivo o controlo de posição de um disco por levitação do mesmo. Por proposta nossa conseguimos englobar mais duas cadeiras neste projecto, a cadeira de “Sistemas Baseados em Microcontroladores” que está responsável pela estrutura de controlo e pela programação do microcontrolador por nós utilizado e a cadeira de “Sistemas de Accionamento e Movimentação” (em causa) que tem como papel a modelação do sistema inerente ao nosso trabalho.

Sendo o objectivo desta cadeira a modelação deste sistema subdividimos o sistema em três componentes a modelizar, sendo estas:

- Modelação do sensor, em que fazemos um estudo do comportamento do mesmo.
- Modelação do ventilador, onde analisamos a sua característica de funcionamento.
- Modelação do sistema Ar-Disco, onde apresentamos os fenómenos físicos envolvidos e suas influências no comportamento do mesmo sistema.

Por fim, foi-nos proposto a substituição do controlador baseado em Lógica Difusa feito em SBLD, por um controlador clássico.

2 Composição do kit

Para controlar a posição do disco utilizamos um ventilador universal e para variar a sua potência, recorreremos à variação do disparo de um triac. Para isto utilizamos uma placa, gentilmente cedida pelo docente da cadeira “Sistemas de Tempo Real”. Esta placa foi projectada para controlar a intensidade luminosa de uma lâmpada, que garante o sincronismo com a rede de alimentação com um circuito de detecção por zero e ainda o controlo do ângulo de disparo do triac. Para melhor compreensão do funcionamento desta placa aconselhamos a leitura do capítulo “**Lógica de Controlo do Disparo do Triac**” que se encontra no relatório de SBM fornecido em CD como anexo.

O controlo desta placa é feito pelo microcontrolador Atmega8, controlo este que também se encontra descrito no relatório referido anteriormente.

Por sugestão do docente da cadeira de SBLD, utilizamos o PC como controlador do sistema. Para isso utilizamos a ferramenta Matlab7.0, visto que nos conferia uma maior facilidade na conjugação entre o controlo em Lógica Difusa e o nosso sistema e também devido à nossa familiarização com a mesma ferramenta.

Em suma temos a nossa aplicação em Matlab a funcionar de certa forma como “Master” e o Atmega8 como “Slave”, sendo a comunicação feita. Estando este funcionamento detalhado no relatório de SBLD, também fornecido no CD em anexo.

Para melhor percepção desta interligação física entre dispositivos apresentamos a seguinte figura:



Fig.1- Composição do sistema

3 Dificuldades encontradas

Durante este semestre confrontamo-nos com diversos problemas, tanto a nível de concepção do kit, como a nível de electrónica.

A nível da concepção do kit procuramos uma solução que minimizasse os efeitos não desejados, entre eles:

- o atrito existente entre o disco e o fio de cobre que o conduz
- o mau posicionamento do sensor
- o mau alinhamento do secador com o fio

Sendo assim obtivemos a seguinte forma:

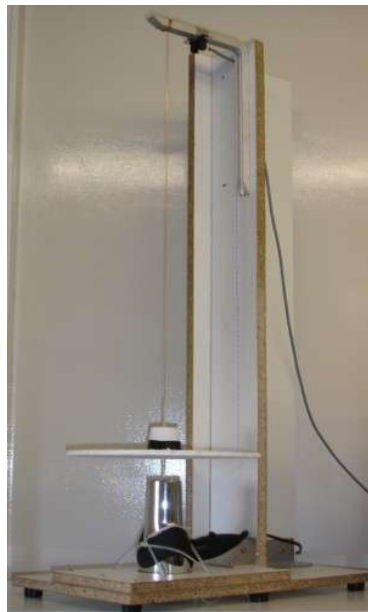


Fig.2 - kit utilizado

Note-se o alinhamento entre o fio e o ventilador, este foi possível devido à criação de uma “coluna de madeira” que suportou e “esticou” o fio.

Teve-se ainda o cuidado de colocar o fio o mais vertical possível de forma a eliminar qualquer diagonalização do movimento do disco.

Por fim resta referir que tivemos cuidados extra no direccionamento do sensor, pois o seu bom funcionamento dependia essencialmente do alinhamento que tem com o disco, sendo o ideal 90°.

Quanto à forma do objecto a levitar, de início tínhamos um cone. Porém verificámos a sua inadaptabilidade, pois o cone oscilava constantemente e mesmo com um controlo muito fino (mas manual) não conseguíamos equilibrá-lo numa posição. Após várias experiências reparámos que a melhor solução era sem sombra de dúvida um disco (rígido e leve). Este conferia muito mais estabilidade e já nos permitia o controlo (manual) numa posição desejada.

A nível de electrónica os principais problemas surgiram com a placa que dispara o triac, pois esta não estava nas melhores condições quando nos foi entregue. Procedemos assim à análise da placa e depois de muito “vasculhar” encontrámos um díodo queimado, que curiosamente mantinha o seu aspecto exterior intacto.

Outro problema com que nos deparamos foi a perda do controlo do disparo do triac, ou seja o triac acabava por disparar por si só. Isto deveu-se ao sobreaquecimento e consequente saturação do triac. A solução passou pela colocação de um simples dissipador no triac.

4 Modelação do sistema

4.1 Modelação do sensor

Para a obtenção da curva característica que modeliza o nosso sensor tivemos em conta que este funciona por infravermelhos e para obter uma boa leitura torna-se imperativo usar um material não reflector, de forma a não distorcer o próprio feixe de infravermelhos. Neste sentido foi utilizado a esferovite pois não deforma e também não reflecte.

Por consulta do *datasheet* do sensor, verificamos que a zona activa do mesmo limita-se a [0, 1.5] (m), o que não impede de forma alguma o nosso trabalho, pois temos uma superfície de controlo com cerca de 55 cm.

A nível de frequência de resposta a uma variação do sensor, verificamos que o tempo máximo é na ordem dos 47,9 ms (por consulta do *datasheet*) como se pode ver na figura seguinte:

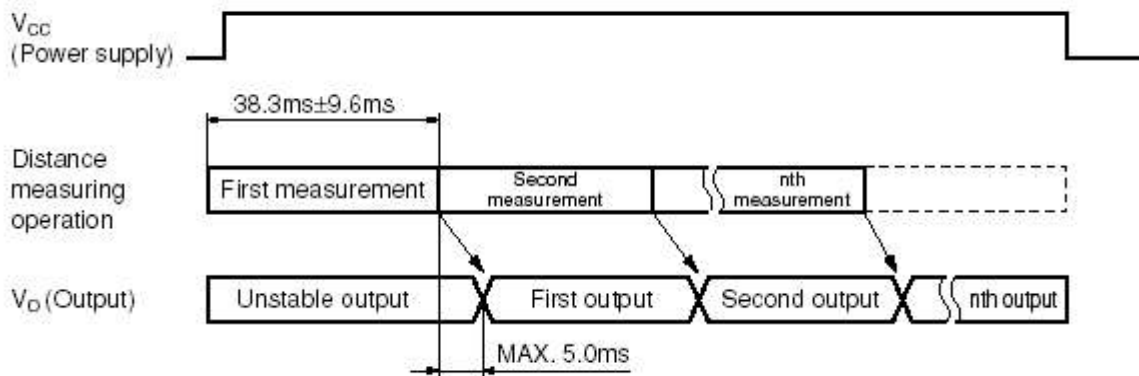


Fig.3 - Diagrama temporal de medição de leituras do sensor

Note-se que este valor não é de forma alguma impeditivo para o nosso trabalho pois, é bastante baixo para qualquer movimento que tenhamos no disco. Dito de outra forma, qualquer que seja o movimento do disco, esse movimento fica bem discretizado, pois a resposta do sensor é suficiente mesmo para os movimentos mais rápidos do disco.

Para obter a característica do sensor posicionamos o disco numa altura, e aumentamos a mesma de forma gradual, tirando assim para cada posição o valor da tensão à saída do sensor. Desta forma obtivemos a seguinte característica:

Característica do sensor

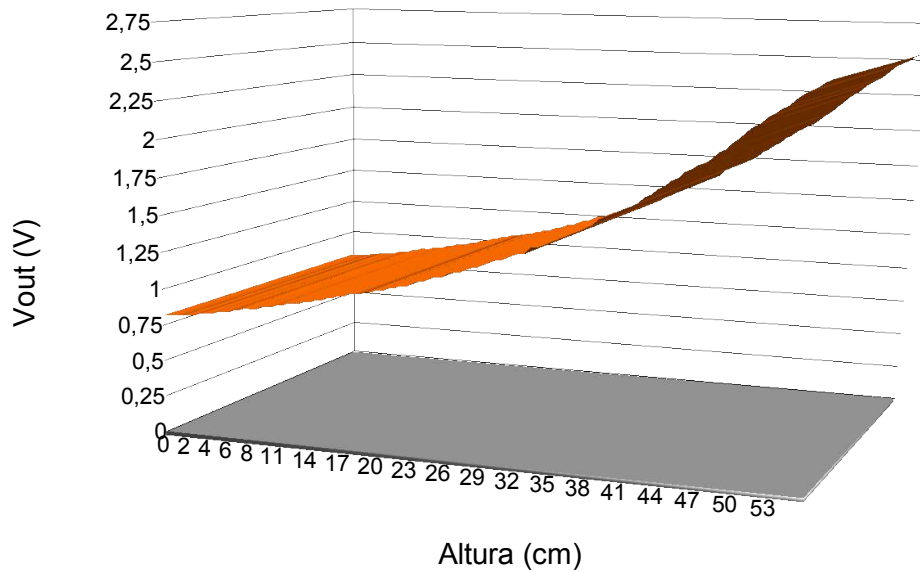


Fig.4 - Característica obtida do sensor, $V_{out}=f(\text{Altura})$

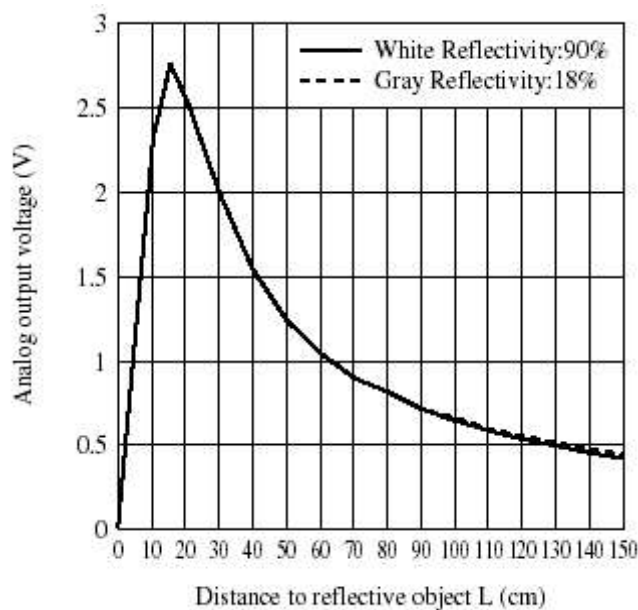


Fig.5 Característica indicada pelo *datasheet* do sensor

Esta curva está em conformidade com o esperado, pois segundo o *datasheet* o sensor comporta-se desta maneira. De notar que obtivemos uma característica “espelhada” da que está no *datasheet* porque efectuamos as nossas leituras a partir do secador (onde se encontra a origem do referencial utilizado) até a aproximadamente 20 cm do sensor, isto porque o sensor não é linear a partir de si até esta distância como se pode ver na figura acima.

Para podermos manusear esta curva, com o objectivo de obtermos uma única função aplicável a qualquer valor desejado, tivemos que aproximá-la através de uma “linha de tendência”. Para isso abordamos duas soluções (em Excel): uma função exponencial e uma função polinomial de 6º grau. Obtivemos uma maior fidelidade através da última, obtendo a seguinte equação:

$$V_{out} = -3 \times 10^{-10} \times Alt^6 + 3 \times 10^{-8} \times Alt^5 - 1 \times 10^{-6} \times Alt^4 + 3 \times 10^{-5} \times Alt^3 - 5 \times 10^{-6} \times Alt^2 + 0,0106 \times Alt + 0,8081$$

Como pretendíamos para um determinado valor de tensão desaiída do sensor obter a altura em que o disco se encontrava, invertemos a característica anterior, obtendo:

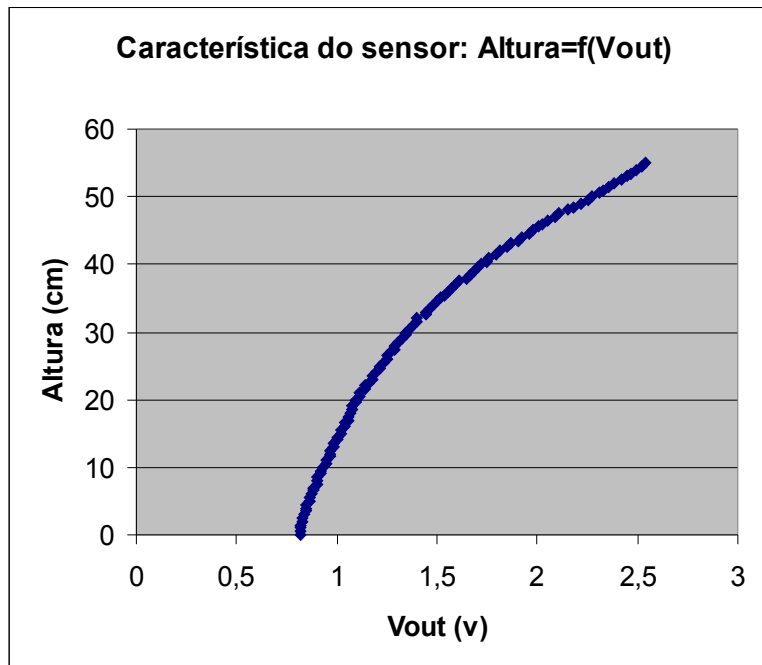


Fig.6 Característica do sensor, Altura=f(Vout)

Sendo a expressão (aproximada) utilizada:

$$Altura = -2,0084 \times V_{out}^6 + 25,587 \times V_{out}^5 - 135,3 \times V_{out}^4 + 376,96 \times V_{out}^3 - 606,01 \times V_{out}^2 + 564,87 \times V_{out} - 210,06$$

Note-se que as expressões anteriores são só uma amostra do resultado, pois o resultado tem bastantes casas decimais e tornava-se de certa forma ilegível. Aponta-se desde já a importância das casas decimais, pois se a expressão for arredondada os erros tornam-se mais evidentes e até incomportáveis. Desta forma utilizamos valores com cerca de 15 casas decimais para obtermos uma boa resolução.

Curiosidade:

Agora mais para o final deste semestre notamos que o sensor comportava-se de maneira diferente para alturas baixas (dava valores errados para alturas na ordem dos 0 cm). Depois de pensarmos algum tempo, concluímos que as temperaturas altas que se fizeram sentir nessa altura, devem ter sido as responsáveis por este efeito.

4.2 Modelação do ventilador

Para a modelação do ventilador, usamos a ideia de “caixa preta”, ou seja, para uma determinada entrada obtemos uma determinada saída.

Assim, definimos como saída a velocidade que o ar toma ao sair pela boca do ventilador. Para a entrada foi mais complicado encontrar uma variável pois existem várias formas de controlar a velocidade.

Como o nosso ventilador é constituído por um motor universal e cujo circuito deve ser do tipo:

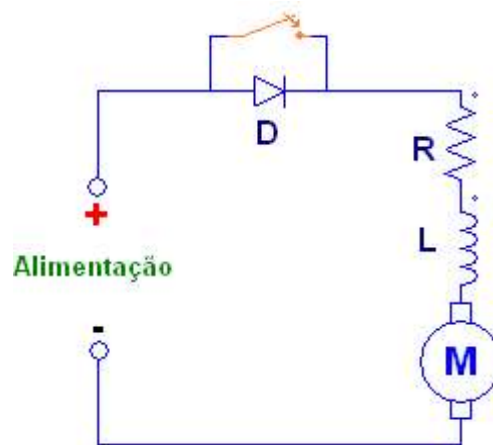


Fig.7- Circuito possível do motor

Neste circuito temos duas velocidades possíveis para o ventilador, sendo a primeira (mais lenta) com o interruptor desligado, pois só temos corrente na alternância positiva. A segunda velocidade (mais rápida) obtém-se com o interruptor ligado, havendo corrente nas duas alternâncias (positiva e negativa), que é o que se verifica com o nosso secador. Supomos que seja este o circuito interno do secador, não temos a certeza porque este foi um objecto de recurso a um ventilador AC que queimou e de modo a não arranjar mais percalços optámos por não abrir o secador.

Tínhamos assim duas maneiras de controlar a velocidade, por PWM ou disparo de um triac. Como tínhamos ao nosso dispor a placa de disparo do triac, optámos por o controlo ser por disparo do triac, obtendo assim a nossa variável de entrada.

Posto isto procedemos ao traçado da característica do ventilador, sendo a entrada do ventilador o “ângulo de disparo” e a saída a velocidade que o ar apresenta à saída do mesmo. Assim:

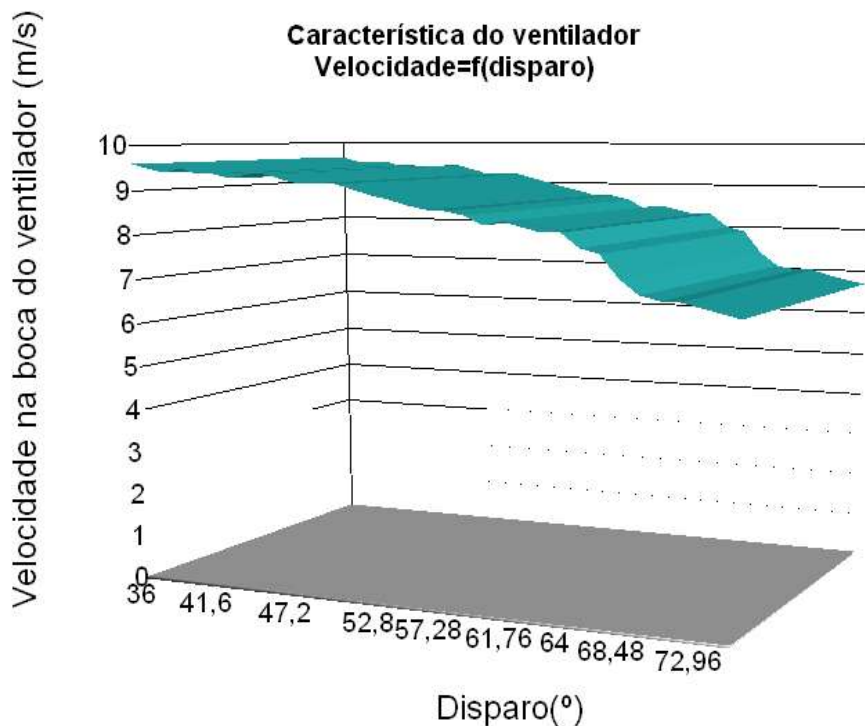


Fig. 8 Característica do ventilador

Vimos assim que quanto maior o ângulo de disparo menor é a velocidade do ventilador, como seria de esperar, pois quanto maior o ângulo de disparo menor é a corrente eficaz que passa no ventilador.

4.3 Modelação do sistema Ar-Disco

Neste capítulo vamos modelar o movimento do disco face a uma variação da velocidade do fluxo de ar. Para isso vamos apresentar alguns conceitos que não são muito habituais num curso de Engenharia Electrotécnica, por isso mesmo vamos apresentar algumas definições para a compreensão dos mesmos.

Desde já podemos partir de uma noção elementar do nosso trabalho, que é o sistema de forças que se aplica ao nosso caso:

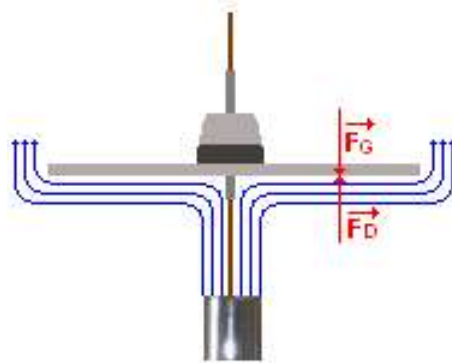


Fig.9 – Forças aplicadas no disco

Pela 2ª Lei de Newton: *“A aceleração adquirida por um corpo é directamente proporcional à intensidade da resultante das forças que actuam sobre o corpo, tem direcção e sentido dessa força resultante e é inversamente proporcional à sua massa”*

Assim: $\vec{F}_G = m \times g = (m_{disco} + m_{carga} + m_{copo}) \times g$

Pela 1ª Lei de Newton: *“Qualquer corpo permanece no estado de repouso ou de movimento rectilíneo uniforme se a resultante das forças que actuam sobre esse corpo for nula”*

Desta forma: $\vec{F}_D + \vec{F}_G = \vec{0}$

Podemos ainda definir F_d (força de arrastamento) como:

$$\vec{F}_D = A \times P_D \times C_D ;$$

sendo: $A = \pi \times r^2$ (Área do disco),

$$P_D = \rho_{ar} \times v^2 = \Delta_P \text{ (pressão dinâmica),}$$

ρ_{ar} : densidade do ar

C_D : o coeficiente de arrastamento

Obtém-se:

$$\vec{F}_D = A \times \rho_{ar} \times v^2 * C_D$$

Portanto para haver movimento, uma das componentes tem que ser maior do que a outra.

Logo numa situação dinâmica temos:

$$\vec{F}_D + \vec{F}_G = m \times \frac{dv_{disco}}{dt}$$

Substituindo \vec{F}_G por $m \times g$ e \vec{F}_D por $A \times \rho_{ar} \times v^2 * C_D$, obtemos a função característica que rege o nosso sistema:

$$(-m \times g) + (A \times \rho_{ar} \times v^2 * C_D) = m \times \frac{dv_{disco}}{dt}$$

Para a próxima secção é necessária a apresentação do valor de algumas constantes daí apresentarmos algumas que foram medidas e outras que se tomaram como certas.

$$F_g = 20 \text{ (g)} * 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} = 196 \text{ N}$$

$$\rho_{ar} = 1,29 \text{ kgf/m}^3$$

$$Area = *0.145^2 = 0066 \text{ (m}^2\text{)}$$

Para mantermos o disco em equilíbrio, como já tínhamos visto, temos que obedecer à equação:

$$\vec{F}_D + \vec{F}_G = \vec{0} \quad \text{que resulta em:} \quad m \times g = A \times \rho_{ar} \times v^2 * C_D$$

Note-se que a variação de altura que nós temos são 55 cm, logo podemos desprezar a variação da aceleração da gravidade e consequentemente a variação do peso.

Sendo assim, podemos afirmar com toda a certeza que em qualquer altura que o disco esteja equilibrado, a velocidade imediatamente abaixo da sua posição é constante. A próxima figura explica melhor este aspecto.

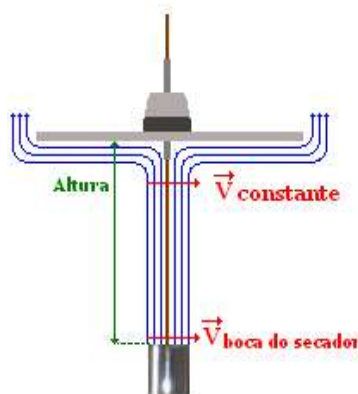


Fig.10

Sendo assim, e tendo todas as constantes definidas podemos calcular esta velocidade:

$$v^2 = \frac{m \times g}{(C_D \times \rho_{ar} \times A)} = \frac{196}{(1.1 \times 1.29 \times 0.066)} = 165 \Rightarrow v = 12 \text{ (m/s)}$$

Deve-se ainda referir que esta velocidade depende de vários factores:

- Velocidade do ar à saída do secador
- Distância do disco ao secador
- Interferências do ar circundante (não temos um sistema isolado)

Para caracterizarmos com rigor este sistema temos que ter em conta todos os detalhes, por isso mesmo agora vamos analisar a dispersão do ar à saída do ventilador. Esta nossa dúvida aparece na medida em que, se a saída do secador não for o mais cilíndrica possível o ar dispersa-se. As próximas imagens mostram respectivamente o modelo ideal e o modelo com a saída do ventilador cónica:



Fig. 11 - Modelo ideal e modelo com a saída do ventilador cônica

Para verificarmos se tínhamos um caso com dispersão realizamos uma experiência medindo a velocidade do vento em varias posições no kit para diferentes disparos (velocidade à saída do secador = constante) . Desta forma obtemos o seguinte gráfico:

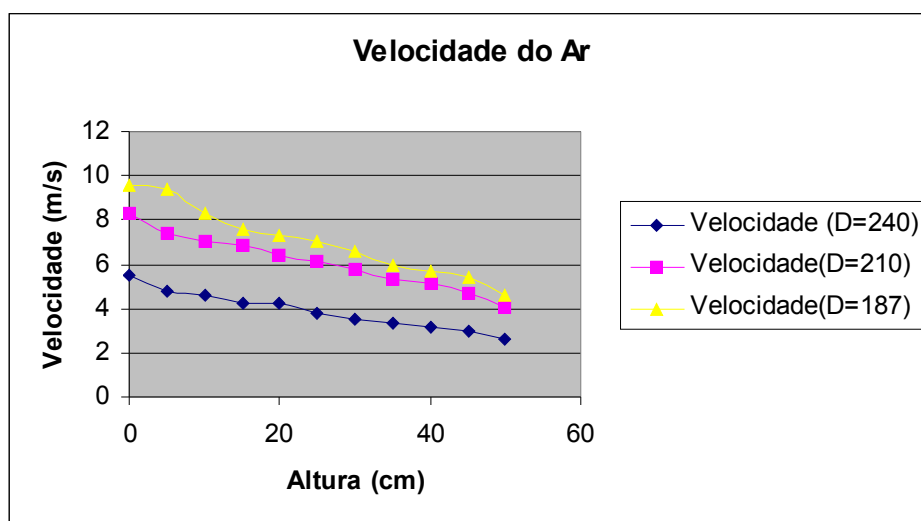


Fig.12 – Característica da velocidade do ar em função da altura

Deste gráfico podemos concluir que à medida que nos afastamos do ventilador a

velocidade do ar diminui. Isto deve-se ao facto de existir uma dispersão de ar.

Se confrontarmos as velocidades máximas e mínimas de cada curva, verificamos uma diferença notável, o que nos indica uma dispersão razoável. O que nos remete para um modelo com saída cónica.

Note-se que a irregularidade do fluido não nos é permite caracterizar com exactidão a dispersão. É-nos somente possível classificar a mesma.

Poder-se-ia colocar a pergunta “Se o secador fosse perfeitamente cilíndrico, este comportamento (dispersão do ar) não se verificava?”, porém a resposta é clara:

Observava-se o mesmo comportamento porém nunca com tanta evidência. Neste caso isto deve-se a forças de atrito presentes no ar que não foi ventilado, que se opõe de certa forma ao movimento do ar ventilado. A próxima figura esclarece este paragrafo:

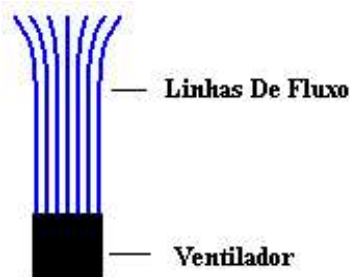


Fig.13 – “Secador cilíndrico” com ligeira dispersão do ar

Note-se ainda que este fenómeno também se verifica no caso real, porém não é tão evidente como o da dispersão do ar.

Perto do disco deparamo-nos com outro fenómeno particularmente interessante, o da abertura das linhas de fluxo do ar. Este “fugir” deve-se ao facto que quando um fluido encontra um obstáculo no seu caminho tende a escapar-se pelos lados. A próxima imagem demonstra este efeito. Note-se que estamos interagir com um fluido não-viscoso, o que torna os efeitos meramente inerciais. Isto é particularmente interessante no nosso caso pois no caso de se tratar de um fluido viscoso, depois de este se desviar do disco tenderia a voltar á trajectória inicial. Porém depois do desvio, mantém a trajectória que adquiriu. A próxima figura mostra estes dois casos:

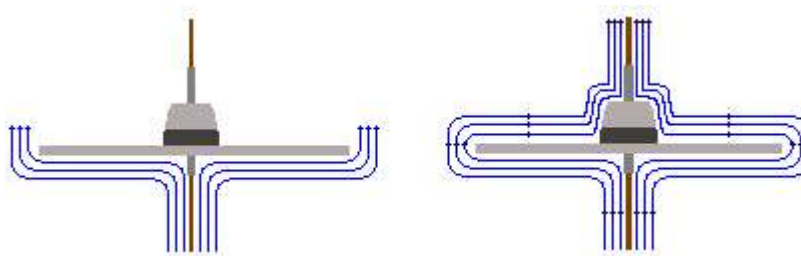


Fig.14 - Trajectória do ar em presença de um fluido não viscoso e viscoso respectivamente

Torna-se agora imperativo estabelecer uma relação entre a velocidade do ar à saída do ventilador e outro ponto acima do mesmo. Desta forma para vários valores de disparo tiramos a respectiva característica, aproximando ainda por uma regressão linear obtendo o seguinte gráfico:

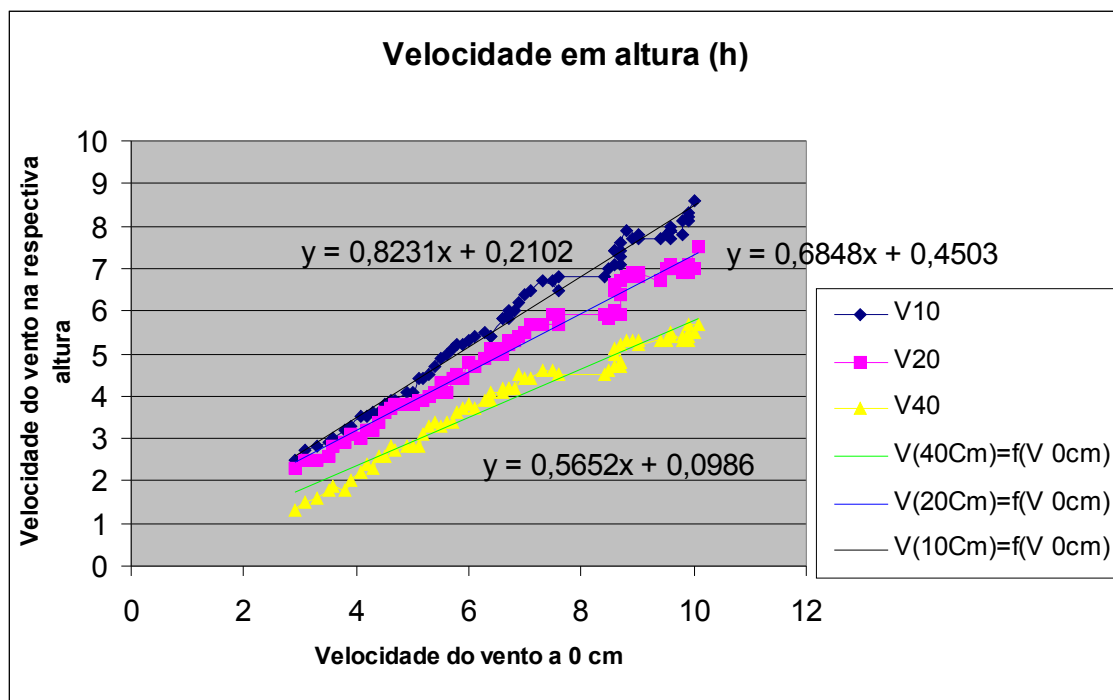


Fig.15 – Velocidade em função da altura

Neste gráfico verificamos como evolui a velocidade em três alturas pré-definidas, durante uma variação da velocidade à saída do secador. Nota-se de facto que as três curvas mesmo tendo inclinações diferentes, sofrem as mesmas variações para a mesma velocidade a 0 cm (na boca do secador).

É importante revelar que este teste foi feito com a ausência do disco, pois se o disco estivesse em movimento no momento em que medíssemos ele cair-nos-ia em cima das mãos, pois trata-se de um sistema altamente instável e a introdução de mais um obstáculo (Anemómetro – aparelho utilizado para medir a velocidade do ar), produz mais uma distorção acima deste, impossibilitando a levitação do disco.

Note-se que isto é extremamente prejudicial à nossa característica, inviabilizando de certa forma toda a informação proveniente do gráfico anterior. Isto porque, como se mostrou anteriormente o ar desvia-se do obstáculo que encontra no seu caminho, e ao introduzirmos um objecto que provoca uma alteração (não desprezável), induz que esta característica pode ser considerada de certa forma “fictícia”.

Fictícia porque nos dá de certa forma, a ideia de como o ar flui sem encontrar o obstáculo (disco). Porém ao colocarmos o disco no sistema esta característica fica totalmente alterada.

Para finalizar a caracterização bastava obter uma curva que estabelecesse uma relação entre uma velocidade (a boca do ventilador) e a altura atingida pelo disco. Porém esta característica foi muito difícil de retirar pois não conseguíamos estabilizar o disco. Isto devia-se a possíveis variações da alimentação da rede, e “correntes” de ar. Desta forma para obter uma característica fidedigna tentamos controlar (manualmente) o disco numa posição e registar o disparo que lhe estávamos a introduzir.

Sendo assim obtivemos a seguinte característica:

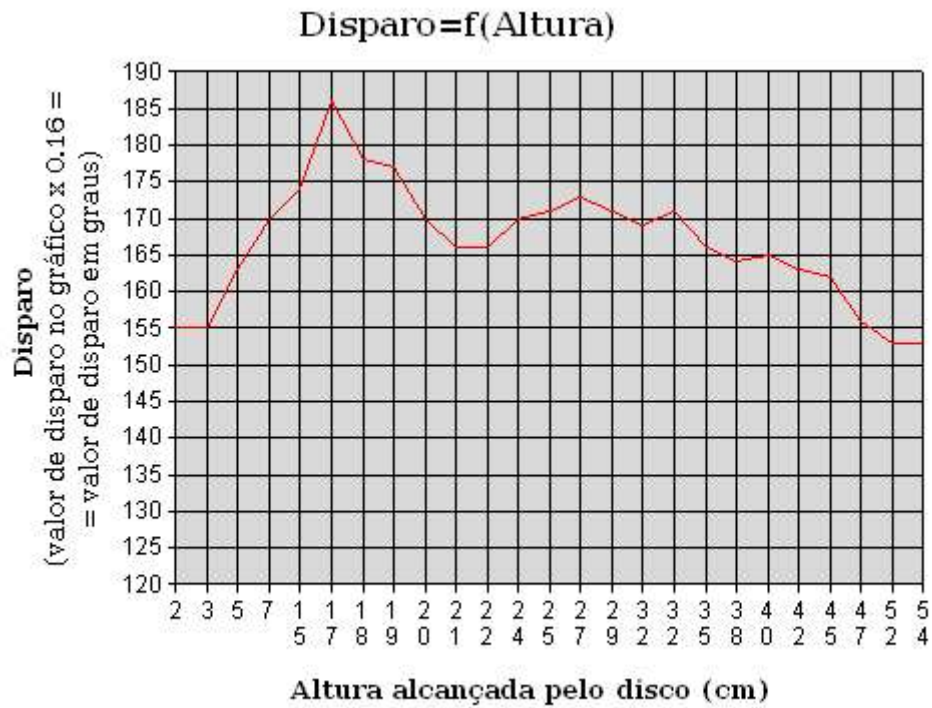


Fig.16 – Característica do disparo em função da posição alcançada pelo disco

Deste gráfico reparámos que a curva obtida não é monotonamente decrescente como seria esperado. Sendo assim fomos procurar saber a razão destas variações.

Numa primeira parte do gráfico nota-se que para controlar o disco a uma altura entre os 0 e os 7 cm necessitamos de diminuir o disparo ou seja de aumentar a potência relativamente a posições mais altas. Ao fim de alguma pesquisa descobrimos que o ventilador usado (secador) é algo deste género:

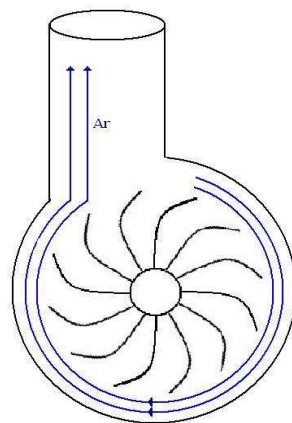


Fig.17 – Modo como o ar flui no secador sem obstáculo perto da “boca”

Quando o disco esta a uma distância baixa, cria uma grande imposição à saída do ar. Como o ar flui como a corrente num circuito eléctrico (“sempre pelo caminho com menor

impedância”), o ar começa a andar em vazio. Ou seja o ar não chega a sair do secador, anda sempre á volta do tambor como mostra a próxima figura.

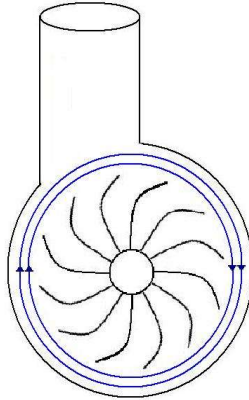


Fig.18 – Modo como o ar flui no secador com a obstrução provocada pelo disco, quando perto da “boca”

À medida que o disco sobe este efeito vai-se perdendo, note-se que no nosso caso este efeito desaparece por volta dos 17 cm.

Repare-se agora numa segunda fase não esperada que se inicia aos 17 cm e termina nos 24 cm. Da mesma forma tivemos que procurar a resposta para esta efeito, e descobrimos que esta zona é designada por “zona de estabilização”. Esta zona é caracterizada pela formação de uns “vórtices” ao lado das linhas do fluxo do ar. Estes vórtices são nada mais nada menos que circuitos fechados de correntes de ar que se formam devido à dispersão do ar e devido também ao disco se encontrar nesta gama de alturas reforçando assim esta dispersão. Para demonstrar este efeito apresentamos uma figura para se perceber bem este efeito. Note-se também a fotografia tirada ao nosso trabalho mostrando também este efeito. É ainda possível ver um vídeo (distribuído em anexo em CD) que mostra a formação destes vórtices.



Fig.19 – Formação dos vórtices obtidos

Esta efeito tem um máximo aos 21/22 cm e a partir desse momento diminui até aos 27 cm.

Note-se que a partir deste momento a curva é monotonamente decrescente como era esperado.

Não é demais salientar que o aparelho de medida nunca nos indicou uma grande resolução nas medidas assim como se notou alguma variação para uma mesma medida. Porém na nossa opinião obtivemos resultados satisfatórios.

Sendo assim terminamos com a modelização do sistema Ar-Disco.

5 Técnicas de controlo

Neste capítulo vamos apresentar duas técnicas abordadas. A primeira técnica de controlo foi feita com base um controlador “Fuzzy”, no âmbito da cadeira de SBLD. A segunda foi proposta pelo professor Rui Araújo, e foi feita no âmbito da cadeira de SAM e de certa forma complementou o trabalho de SBM.

5.1 Controlo por Lógica Difusa

Aqui vamos apresentar levemente a técnica que usamos para implementar este controlador.

Note-se que este controlo é realizado no PC em Matlab porém as ordens são executadas pelo microcontrolador utilizado (atmega8). Para perceber melhor como estes dispositivos estão interligados propomos desde já a leitura complementar do relatório de SBLD (fornecido como anexo em CD). Mais especificamente os capítulo **5. Interligação Matlab – Atmega.**

Este tipo de controlo é um controlo baseado em regras, e também no conceito de difuso. Este conceito baseia-se no facto de por exemplo: uma característica de um objecto não ser igual para todas as pessoas, podemos dizer que é difuso. Pois por exemplo o que é amarelo para uma pessoa pode não ser para outra pessoa, ou até o que bom para uma pessoa pode não ser para outra, ou ser bom até certa medida. Assim, a lógica difusa baseia-se no grau de veracidade de uma dada questão que varia de $[0\ 1]$, sendo '0' totalmente falso e '1' totalmente verdadeiro e os valores intermédios são valores parcialmente falsos/verdadeiros.

Desta forma temos que definir as entradas do sistema. Como o objectivo do nosso trabalho baseia-se no controle de um disco numa determinada posição, isto obriga-nos logo desde início a ter como entrada a diferença da posição do disco à altura desejada (Erro).

Era também necessário controlar a velocidade com que o disco se movimentava, pois se o disco adquirisse uma velocidade muito alta ir nos-ia ser muito difícil contrariar esse movimento. Sendo assim a derivada do erro (Derro) seria outra entrada do sistema.

A saída do nosso sistema como foi referido no capítulo 2 é o tempo de disparo do triac. Mais uma vez recomendamos a leitura complementar do relatório de SBM respectivamente o capítulo **Lógica de Controlo do Disparo do Triac**, para compreender certos aspectos que não irão ser referidos aqui.

Passando à “fuzzyficação” do sistema:

A nossa entrada Erro varia entre 0 e 55 cm, e para obter o melhor controlo possível criamos as “funções pertença” seguintes:

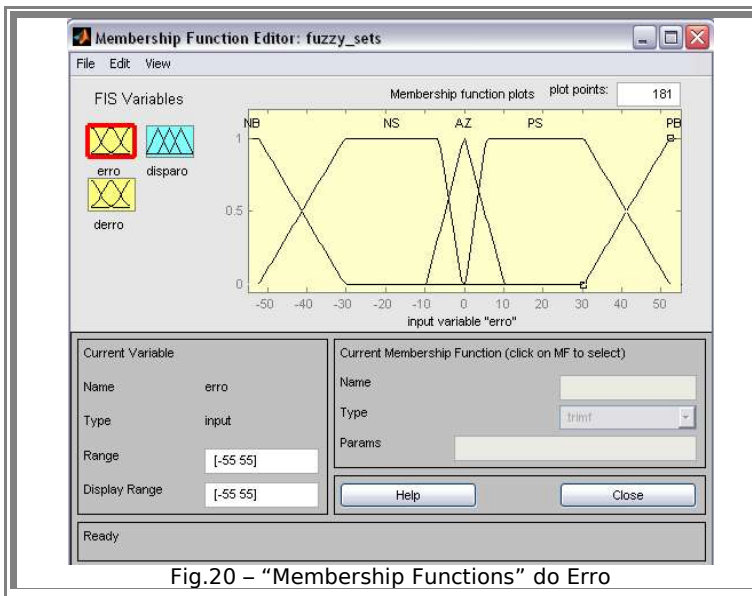


Fig.20 – “Membership Functions” do Erro

Funções pertença:

- NB- Negative Big (Negativo Alta)
- NS- Negative Small (Negativo Baixo)
- AZ- Almost zero (Quase zero)
- PS- Positive small (Positivo Baixo)
- PB- Positive Big (Positivo Alto)

Quanto à nossa segunda variável de entrada que varia entre [-28 28] (cm/s) obtivemos as seguintes funções pertença:

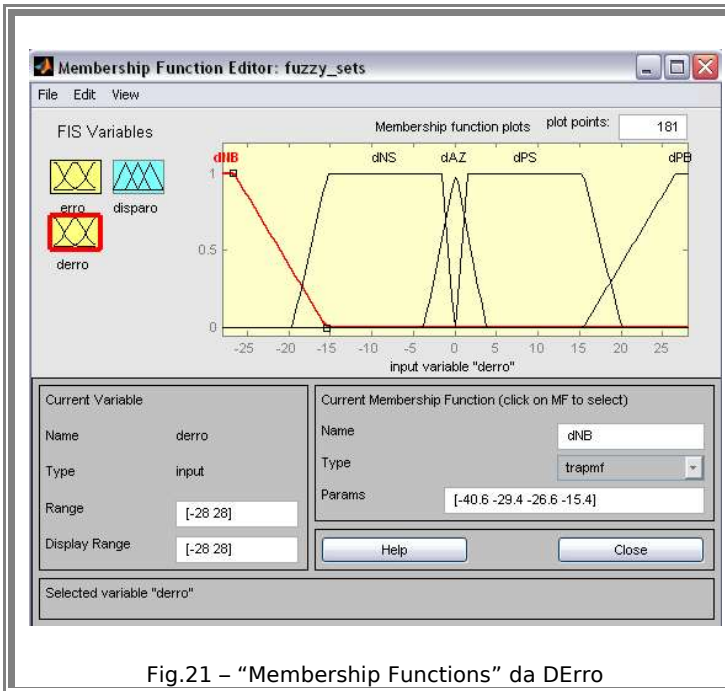


Fig.21 – “Membership Functions” da DErro

Funções pertença:

- dNB- Derivative Negative Big (Derivada Negativa Alta)
- dNS- Derivative Negative Small (Derivada Negativa Baixa)
- dAZ- Derivative Almost Zero (Derivada Quase Zero)
- dPS- Derivative Positive Zero (Derivada Positiva Baixa)
- dPB- Derivative Positive Big (Derivada Positiva Alta)

Quanto à nossa saída (disparo), varia entre [-3 3] e as funções pertença que a integram são desta forma:

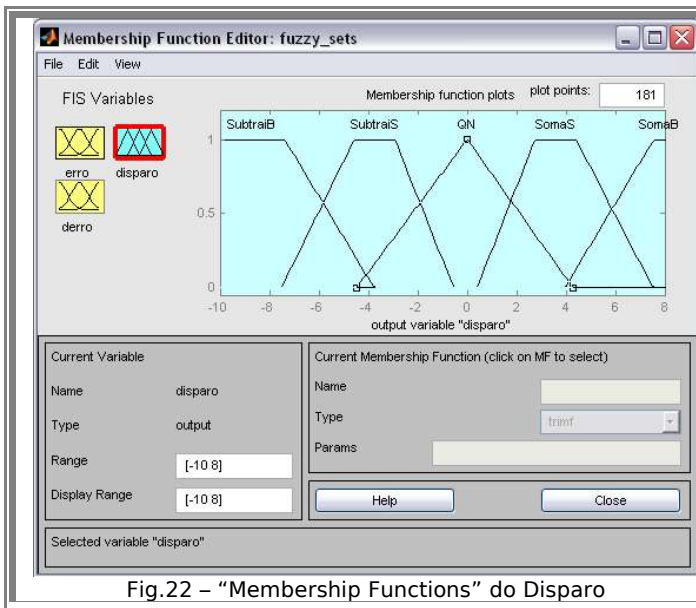


Fig.22 – “Membership Functions” do Disparo

Funções pertença:

SubtraiB – Subtracção Grande

SubtraiS–Subtracção Pequena

QN – Quase nada

SomaS – Soma pequena

SomaB – Soma grande

Como foi dito anteriormente este tipo de controlo é baseado em regras, estas regras são do tipo:

“If ERRO is x and DERP is y then DISPARO is k”

Depois de vermos o funcionamento do nosso sistema e também depois de algumas tentativas chegamos às seguintes regras:

ERRO						
		NB	NS	AZ	PS	PB
D E R R O	dNB	SubtraiS	SubtraiS	SubtraiS	SubtraiS	SubtraiB
	dNS	QN	QN	SubtraiS	SubtraiS	SubtraiS
	dAZ	SomaS	SomaS	QN	SubtraiS	QN
	dPS	SomaS	SomaS	SomaS	QN	QN
	dPB	SomaB	SomaS	SomaS	SomaS	SomaS

Fig. 23 – Quadro resumo das regras implementadas

Depois de todas as regras formadas desfuzzificamos o sistema usando o método do centróide. Assim podemos criar a seguinte superfície de controlo, que nos dá uma certa ideia como este é feito:

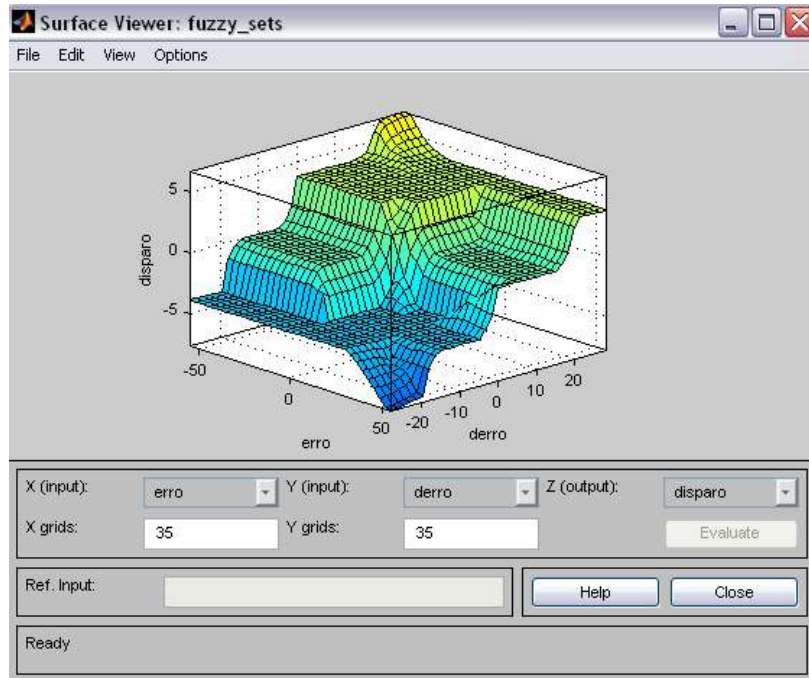


Fig.24 – Superfície de controlo obtida

5.2 Controlo Clássico (PD)

Neste capítulo vamos abordar o controlo clássico, em alternativa ao controlo por Lógica Difusa. Da mesma forma como o controlo anterior nós tínhamos a necessidade de controlar a posição e a velocidade do disco, isto obriga-nos a ter um controlador PD (Proporcional Derivativo).

Numa primeira tentativa, experimentamos fazer o controlo em Matlab, utilizando assim algumas funções já criadas para o controlo por Lógica Difusa, porém não conseguimos visto que este programa demora muito tempo na comunicação via RS-232. A segunda tentativa, já com sucesso, ocorreu em implementar o controlador no Atmega8, evitando assim a comunicação com o PC.

Este controlador parte do mesmo princípio do anterior, ou seja precisamos de duas entradas: uma entrada de posição (Erro) e uma entrada derivativa (Derro).

A saída é mais uma vez o tempo do disparo do triac.

Note-se que muita informação que deveria aqui se apresentar está contida nos outros relatórios, neste caso a forma como são calculadas as variáveis “Erro” e “Derro” encontra-se bem explicado no capítulo **Técnicas de Controlo** no relatório de SBM.

Dito isto, podemos dizer que a saída se relaciona desta forma com as entradas:

$$disparo = K_p \times erro + K_d \times derro$$

Note-se que nesta fórmula as constantes K_p e K_d correspondem respectivamente constante proporcional e derivativa.

Os valores destas constantes foram inicialmente postos ao acaso, porém com alguma sensibilidade. Por essa altura verificamos que não conseguíamos controlar pois tínhamos movimentos bruscos. Com o sentido de diminuir estes grandes movimentos fomos ajustando os valores de K_p e K_d até obtermos o controlador final.

$$disparo = (erro0 \times (-0.03) - 2.5 \times derro) + disparo$$

Sendo:

Erro0 = Alt-Altura; Alt = altura pretendida e Altura=posição actual

Derro=Erro0 – Erro1; Erro0 = erro actual; Erro1 = erro anterior

Devido à falta de tempo não pudemos fazer uma análise temporal deste controlador, porém medimos o tempo de estabilização e obtivemos um valor na ordem dos 15 segundos. Note-se que obtivemos um valor muito inferior ao controlador por Lógica Difusa (capítulo **6 - Evolução temporal** presente no relatório de SBLD).

No entanto este último foi implementado no PC, logo sofre da lentidão verificada na comunicação via RS-232 (utilizando o Matlab). Teria sido bastante interessante implementar este controlador no Atmega8 para podermos comparar os dois controladores, mas a falta de tempo foi a nossa maior inimiga neste semestre.

6 Diagrama de Blocos

Agora vamos apresentar um diagrama de blocos para ilustrar o nosso sistema.

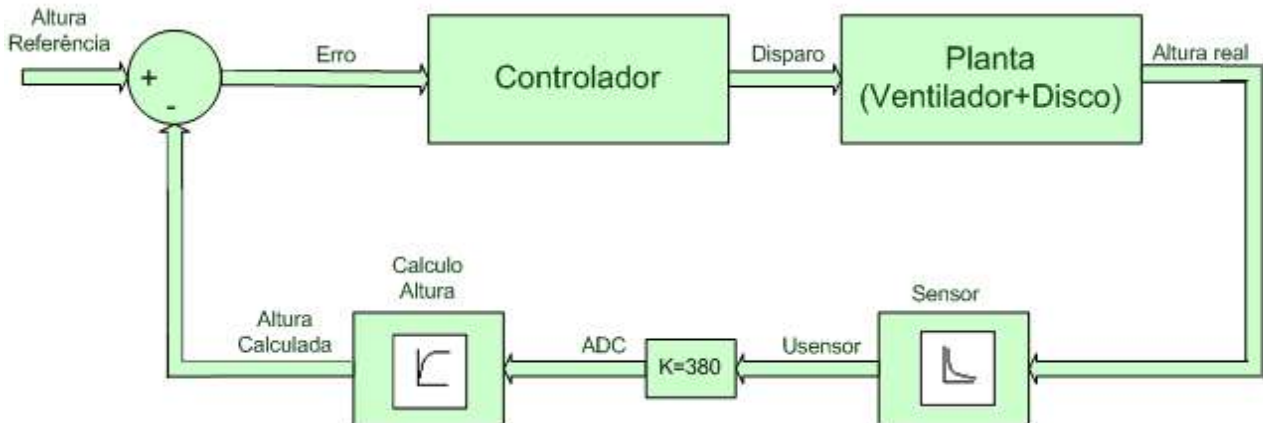


Fig.25 – Diagrama de blocos do sistema

Note-se que este diagrama é igual tanto para o controlo por Lógica Difusa, como para controlo por um PD, no entanto alguns blocos não se encontram nos mesmos dispositivos.

Desta forma:

- Para o **controlo por Lógica difusa** os blocos “Controlador” e “Calculo Altura” estão implementados no Matlab, enquanto o bloco “K=380” se encontra no Atmega8 e corresponde ao ganho dado pelo conversor Analógico/Digital do Atmega8.

É importante salientar que o Bloco “Calculo Altura” tem por objectivo anular o efeito da exponencial do sensor e o ganho do ADC do micro.

- Para o **controlador clássico** todos os Blocos que no controlador anterior se encontravam no PC, agora encontram-se implementados no Atmega8. Note-se que a fórmula apresentada no bloco “Calculo Altura” tem um grau inferior pois seria drástico para o processamento do Atmega8 introduzir uma fórmula polinomial de sexto grau. Por isso mesmo decidimos diminuir o grau para 3, porém mesmo assim temos uma solução bastante aproximada.

Durante a modelação do sistema Ar-Disco, verificamos que o nosso sistema era bastante não linear. E para Alturas inferiores a 25/27 cm, era de certa forma impossível controlar da forma como tínhamos planeado. Porém depois de algum tempo a divagar sobre este assunto, pensámos que mesmo com estas contrariedades o controlo nesta zona “não-controlável” é possível, no entanto torna-se imperativo a criação de um novo controlador. Este controlador iria incidir única e exclusivamente nesta zona enquanto que o controlador já criado, seja este clássico ou por lógica difusa, iria incidir na zona que já era controlável anteriormente.

Esta solução é perfeitamente possível, porém teríamos que ter um mecanismo de decisão. Este mecanismo iria alternar entre um e o outro controlador. Está claro que o objecto de decisão seria a altura em que estaria o disco.

Sendo assim o diagrama de blocos ir se-ia alterar profundamente, ficando com o seguinte aspecto:

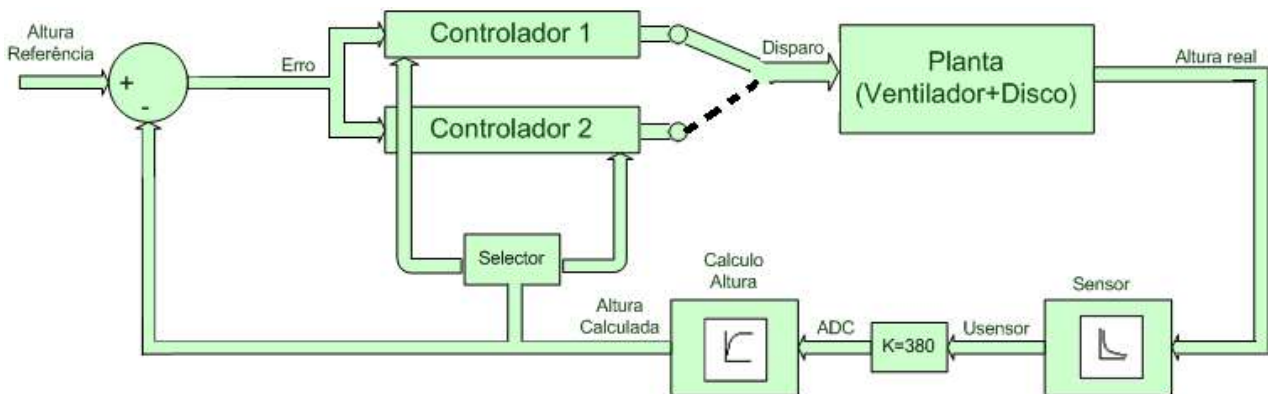


Fig.26 – Diagrama de blocos do sistema considerando dois controladores

Note-se que algumas partes deste diagrama mantêm-se inalteradas, sendo como é óbvio a planta, mas também os Blocos "Sensor", "k=380", e "Calculo Altura".

Porém mais uma vez não pudemos experimentar esta solução, visto que não tivemos tempo para tal. Mas ao menos fica aqui a intenção, admitindo que esta solução seria sem sombra de dúvida a ideal.

7 Conclusão

O trabalho nesta cadeira foi particularmente interessante pois sem ele nunca nos teríamos apercebido de certos aspectos físicos inerentes ao nosso Sistema. Por exemplo nunca teríamos sabido que temos uma zona extremamente não linear e que o controlador para esta zona teria que ser obrigatoriamente diferente do controlador projectado para a zona onde temos um comportamento esperado.

Como tivemos vários incidentes com o nosso trabalho, desde a montagem do kit até à escolha da melhor forma para o objecto a controlar, levou-nos de certa forma a remeter o tempo dedicado a esta cadeira para o final do semestre. Se tivéssemos abordado em primeiro lugar esta cadeira, tanto para esta como para a cadeira de Lógica Difusa teríamos abordado de forma diferente e mais conscientemente o projecto de controladores, teríamos partido para a solução ideal apresentada neste relatório (fig. 26).

Foi particularmente interessante o estudo que tivemos de efectuar para a modelação do sistema pois abordamos assuntos que normalmente não abordamos no curso de "*Engenharia Electrotécnica e de Computadores*" e que nos permite uma maior visão de como as coisas se interligam e funcionam e também perceber os porquês.

Por fim resta-nos salientar que foi extremamente interessante interligar três cadeiras diferentes, podendo da mesma forma ligar todas estas matérias distintas e de certa forma até comparar algumas matérias comuns, sendo neste caso o controlador do sistema.

Tivemos assim uma percepção global optimizada do funcionamento do sistema.