

# CONTROLE DIFUSO PARA A INFLAÇÃO AUTOMÁTICA DE UMA FAIXA ELÁSTICA EM UM MÓDULO DE MEDIÇÃO NÃO INVASIVO DA PRESSÃO ARTERIAL

Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio.

Rio de Janeiro – Brasil

Asiel Aldana Ortiz\*,

asiel.aldana89@gmail.com

**Resumo:** Este trabalho apresenta um controlador fuzzy capaz de realizar a inflação automática de uma faixa elástica que permita alcançar os níveis de pressão de referência com o menor erro de convergência possível, além de garantir que os tempos de convergência estejam dentro da faixa permitida pelos padrões internacionais para dispositivos médicos comerciais que empregam método oscilométrico para medição não invasiva da pressão arterial. Além de a implementação do controlador fuzzy no microcontrolador ATmega2560, foi desenvolvido uma interface gráfica do usuário (GUI) para assegurar o controle e visualização do sinal de pressão obtida da leitura do canal de medição analógico do microcontrolador antes mencionado. A sinal analógica de pressão é medida pelo sensor de pressão MPX5050GP. O modelo fuzzy gera em sua saída um valor preciso proporcional à largura do pulso com o qual a micro-Pump de ar será excitada para obter o nível de pressão desejado na saída.

**Palavras chaves:** Controlador, Fuzzy, Oscilométrico.

**Abstract:** This work presents a diffuse controller able to carry out the automatic inflation of an elastic band that allows reaching the reference pressure levels with the lowest possible convergence error, as well as ensuring that the convergence times are in the range of those allowed by standards international for commercial medical devices that use oscillometric method for the non-invasive measurement of blood pressure, in addition to the implementation of the fuzzy controller in the Atmega2560 Microcontroller, a graphical user interface(GUI) was developed to guarantee the control and visualization of the pressure signal obtained from reading the analog measurement channel of the aforementioned microcontroller. The analog pressure signal is measured by the MPX5050GP pressure sensor. The fuzzy model generates at its output a precise value proportional to the width of the pulse with which the micro-pump of air will be excited in order to obtain the desired pressure level at the outlet

**Keywords:** Controller, Fuzzy, Oscillometric.

## I. INTRODUÇÃO

A medida da pressão arterial é um elemento essencial na medicina moderna, seja para estudos clínicos de certas doenças, para o controle da hipertensão, ou para a avaliação do estado dos pacientes dentro das unidades de terapia intensiva e salas cirúrgicas. Existem duas maneiras fundamentais de realizar a medida da pressão arterial [1]: A primeira é através de métodos

intermitentes, que fornecem pressões pontuais como a sistólica (PS), diastólica (PD) e média (PM), calculando-as em um período de tempo que cobre mais de um batimento cardíaco. Ex: Método Auscultador, Método Oscilométrico, Método de Palpação, Método Ultrassônico, etc. A segunda é através de métodos contínuos, aqueles que fornecem pressões pontuais batidas a batidas, ou a forma de onda contínua da pressão arterial, ou ambos, por exemplo: Métodos Invasivos, Método de Tonometria Arterial, Método de Velocidade de Onda de Pulso etc. A pressão arterial pode ser medida de forma invasiva (direta) e não invasiva (indireta), com métodos invasivos potencialmente mais precisos, mas a complexidade e a inconveniência de sua aplicação significam que os métodos não invasivos são, ao contrário, os mais difundidos. Dispositivos de medição não invasivos são mais seguros e fáceis de usar do que os invasivos e podem ser usados em situações em que a medição invasiva não é absolutamente necessária. O método automático não invasivo mais utilizado é o método oscilométrico, que baseia sua operação no monitoramento das variações ou oscilações do sinal de pressão em uma faixa inflável que é aplicada ao redor do braço, sendo capaz de determinar através da análise desse sinal os valores de pressão sistólica, diastólica e média dos pacientes. A faixa é inflada a um nível de pressão de referência e, uma vez atingido esse valor, ela esvazia gradualmente, as paredes da artéria começam a vibrar ou oscilar à medida que o sangue flui pela artéria parcialmente obstruída, e essas vibrações são capturadas no transdutor que monitora a pressão na banda. Quando a pressão na banda continua diminuindo, as oscilações aumentam até uma amplitude máxima e depois diminuem até que a banda esvaziar completamente e o fluxo sanguíneo volta ao normal.

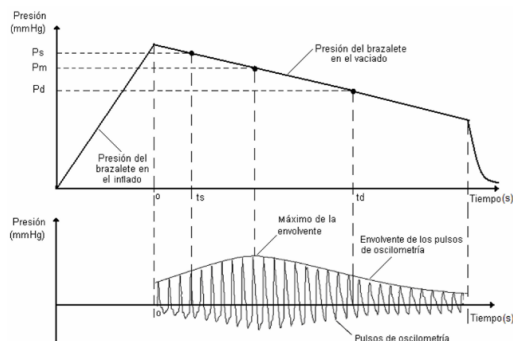


Figura No.1 Pressão de oscilação.

\*Estudante de mestrado em Engenharia Elétrica

No método oscilométrico as pressões são determinadas utilizando os critérios matemáticos para a curva de envelope formada al trazar determinada característica dos impulsos oscilatórios (chamado índice de pulso oscilométrica) contra a pressão base da banda, obtendo-se um sinal de oscilação com a menor quantidade de perturbações e nível de amplitude correcta é condicionada, entre outros fatores pela inflação ótima da banda elástica, nesta fase deve ser garantido que a banda elástica no membro do paciente deve obstruir a artéria sem causar picos de pressão que provocam danos físicos ou ultrapassar os limites de pressão de inflação estabelecidos (0-260 mmHg) pelo **American National Standard for Nonautomated Sphygmomanometers** [2] para dispositivos comerciais que implementam o referido método de medição. Bem como encher os tempos até o nível de referência (4-10 segundos)

Este trabalho apresenta um controlador difuso capaz de inflacionar de forma eficiente uma banda elástica que atenda aos padrões internacionais atuais.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de trabalho foi dividida em 4 etapas:

- Modelagem de controlador fuzzy [3].
- Implementação do modelo difuso no micro-controlador ATMEGA2560.
- Implementação da interface gráfica do usuário(GUI) para o controle e visualização do sinal de pressão obtida [4].
- Resultados obtidos.

O modelagem do controlador fuzzy, foi realizado utilizando a ferramenta de software FuzzyTech [5], cujo objetivo fundamental era fazer uma representação de todos os termos linguísticos associados ao projeto proposto, bem como realizar operações para modificar e ajustar os conjuntos e funções do modelo de os membros associados. De tal maneira que esse modelo poderia ser usado para executar testes de depurações e comparar passo a passo com o modelo físico proposto. A Figura No.2 mostra o sistema de modelagem fuzzy, incluindo a interface de entrada (veja a tabela 1), o bloco de regras e a interface de saída.

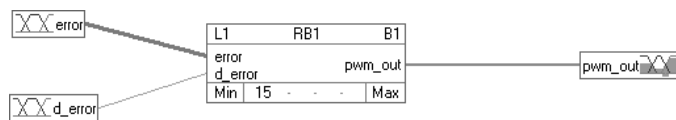


Figure 2: Structure of the Fuzzy Logic System

No	Nome da variável	Min	Max	Type
1	d_error	-1	1	Input
2	error	-300	300	Input
3	pwm_out	0	255	output

Tabela No.1 Variáveis de entrada e saída.

Funções do Membership:

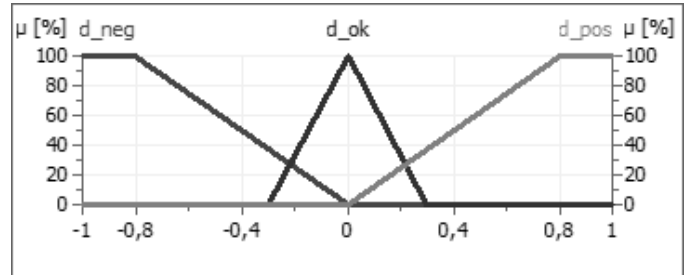


Figure 3: Funções do Membership “d\_error”

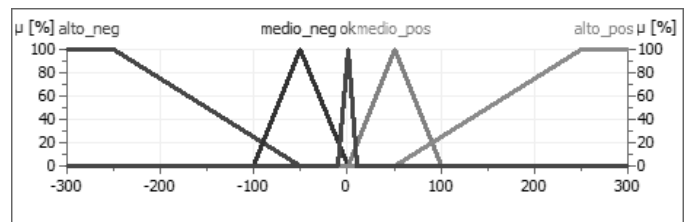


Figure 4: Funções do Membership “error”

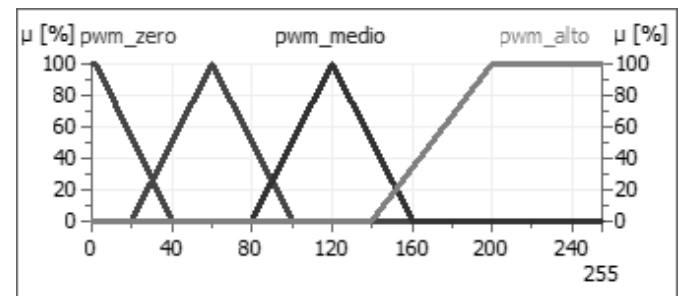


Figure 5: Funções do Membership “pwm\_out”

O bloco de regras implementado contém a estratégia de controle de um sistema fuzzy para cada um destes foi tomado o seguinte critério para antecedente e consequente conjunto:

- Implicação MIN
- Agregação MAX

1.  $d\_error.d\_ok \ \& \ error.ok \Rightarrow pwm\_out.pwm\_zero.$
2.  $d\_error.d\_pos \ \& \ error.ok \Rightarrow pwm\_out.pwm.$
3.  $d\_error.d\_neg \ \& \ error.ok \Rightarrow pwm\_out.pwm\_bajo.$
4.  $d\_error.d\_ok \ \& \ error.medio\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_medio.$
5.  $d\_error.d\_pos \ \& \ error.medio\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_medio.$
6.  $d\_error.d\_neg \ \& \ error.medio\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_medio$
7.  $d\_error.d\_ok \ \& \ error.alto\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_alto$
8.  $d\_error.d\_pos \ \& \ error.alto\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_alto$
9.  $d\_error.d\_neg \ \& \ error.alto\_pos \Rightarrow pwm\_out.pwm\_alto$

10.  $d\_error.d\_ok \ \& \ error.medio\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm\_zero$
11.  $d\_error.d\_pos \ \& \ error.medio\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm\_zero$
12.  $d\_error.d\_neg \ \& \ error.medio\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm\_zero$
13.  $d\_error.d\_ok \ \& \ error.alto\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm\_zero$
14.  $d\_error.d\_pos \ \& \ error.alto\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm$
15.  $d\_error.d\_neg \ \& \ error.alto\_neg \Rightarrow \ pwm\_out.pwm\_zero$

O método de defuzzificação utilizado no modelo obtido para o FuzzyTech foi o Fast CoA. Este foi escolhido porque é precisamente o que foi usado no modelo projetado para o microcontrolador Atmega2560.

Fazendo uso do eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library) escrito em C++ para trabalhar com sistemas fuzzy, procedemos a fazer a implementação deste modelo em um hardware físico contendo o micro-controlado Atmega2560. A continuação mostra-se a implementação das diferentes funções de Membership para cada um dos termos anteriormente representados:

```
// FuzzyInput <d_error>
FuzzySet *d_neg = new FuzzySet(-1, -1, -0.8, 0);
FuzzySet *d_ok = new FuzzySet(-0.3, 0, 0, 0.3);
FuzzySet *d_pos = new FuzzySet(0, 0.8, 1, 1);
```

Figure 6: Funções de Membership “d\_error” (Figura No.3)

```
// FuzzyInput <error>
FuzzySet *ok = new FuzzySet(-10, 0, 0, 10);
FuzzySet *alto_neg = new FuzzySet(-300, -300, -250, -50);
FuzzySet *medio_neg = new FuzzySet(-100, -50, -50, 0);
FuzzySet *medio_pos = new FuzzySet(0, 50, 50, 100);
FuzzySet *alto_pos = new FuzzySet(50, 250, 300, 300);
```

Figure 7: Funções de Membership “error” (Figura No.4)

```
// FuzzyOutput <pwm_out>
FuzzySet *pwm_zero = new FuzzySet(0, 0, 0, 40);
FuzzySet *pwm_bajo = new FuzzySet(20, 60, 60, 100);
FuzzySet *pwm_medio = new FuzzySet(80, 120, 120, 160);
FuzzySet *pwm_alto = new FuzzySet(140, 200, 255, 255);
```

Figure 8: Funções de Membership “pwm\_out” (Figura No.5)

O algoritmo implementado no processador define as seguintes variáveis de entrada:

- $error\_val \Rightarrow$  Erro Atual
- $d\_error\_t \Rightarrow$  Erro anterior
- $pres\_ref \Rightarrow$  Pressão de referência
- $pres \Rightarrow$  Pressão Atual

onde

- $error\_val = pres\_ref - pres$
- $dE/dt = error\_val - d\_error\_t$
- $d\_error\_val \Rightarrow dE/dt \ (-1:1)$

então as entradas do sistema são criadas:

- $fuzzy \rightarrow setInput(1, error\_val);$
- $fuzzy \rightarrow setInput(2, d\_error\_val);$

A Figura No.9 representa o esquema do controlador proposto [6]:

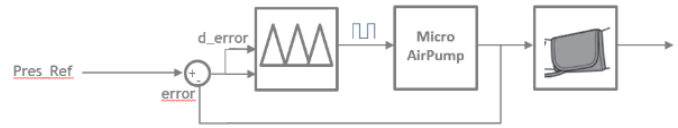


Figure 9: Esquema do controlador proposto.

Uma vez implementado no microcontrolador, foi realizado o condicionamento de todos os componentes eletrônicos associados ao sistema de controle de pressão implementado. Para isso, foi necessário utilizar componentes eletrônicos (sensores, atuadores, etc.) para realizar os primeiros testes práticos no sistema. A Figura 10 mostra o diagrama elétrico do modelo físico desenvolvido.

## SIMULACIÓN “PWM”:

Para testar a etapa de defuzzificação juntamente com a modulação por largura de pulso "PWM", foi realizada uma simulação do processo de união utilizando o simulador eletrônico Proteus Professional. A partir dos testes foi possível verificar por cálculo que a razão percentual do ciclo útil em PWM correspondeu ao parâmetro de defusificação.

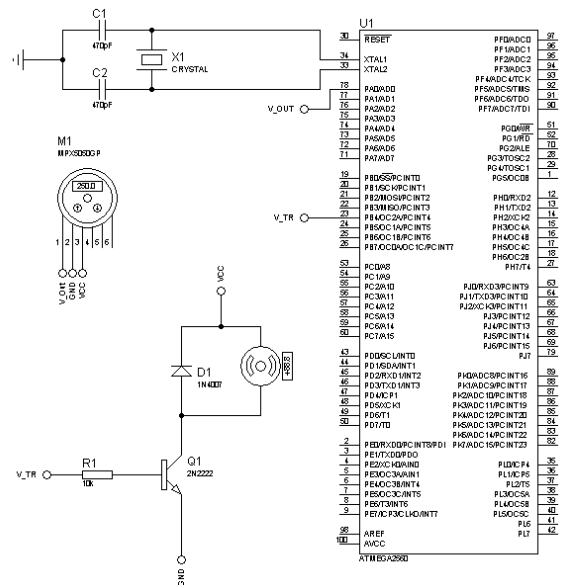


Figura No.10 Mostra o diagrama elétrico do modelo físico.

Como pode ser visto na Figura 10, foi utilizado o sensor de pressão MPX5050GP [7], que oferece uma resposta linear na faixa de interesse para o problema a ser modelado (0-300 mmHg), como pode ser visto nos dados técnico (Veja a Figura 11) a função de transferência do sensor tem uma resposta linear na faixa de (0-50 kPa) ~ (0-375mmHg).

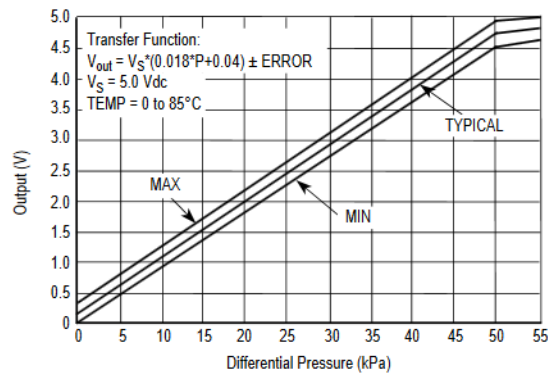


Figura No.11 Saída contra pressão diferencial MPX5050GP.

A micro-bomba usada é capaz de suportar 600 mmHg e tem uma saída de 3L / mim. Por isso, é o ideal para a implementação do modelo tratado.

Para desenvolver o sistema, foi necessário implementar uma interface gráfica de usuário capaz de controlar o início e a parada do hardware, assim como garantir o fluxo de dados entre o sistema eletrônico e o aplicativo. Para poder visualizar o sinal de pressão gerada, para isso a aplicação faz uma conexão em nível baixo para fazer uma leitura a cada 200 milissegundos dos dados de entrada pela porta serial e desta forma através do protocolo de comunicação RS232 faça o consumo do registro de dados seriais de entrada, assim como enviar os dados de parada e início para o microcontrolador Atmega2560.

### III. PROVAS FEITAS

Uma vez implementado o controlador fuzzy no processador, foram realizados vários testes com o depurador FuzzyTech e o console serial IDE Arduino, onde o modelo implementado foi apresentado com entradas relacionadas a cada um dos conjuntos e as respostas foram comparadas com as obtidas pelo defuzzificador Fast CoA do modelo gerado no FuzzyTech, as respostas obtidas foram praticamente as mesmas. Como pode-se ver na figura, a diferença entre o modelo físico e o gerado no FuzzyTech é de apenas 0,01.

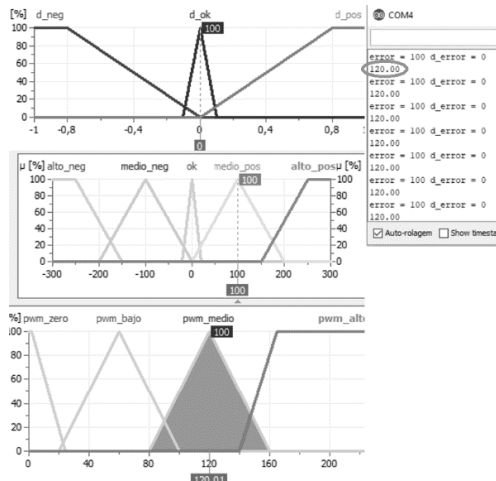


Figura No.12 Comparação das saídas do FuzzyTech e o modelo obtido.

### SINTONIZAÇÃO DO MODELO [8]:

Uma vez que o modelo foi lançado, as respostas iniciais foram totalmente instáveis, como mostra a Figura No.13.

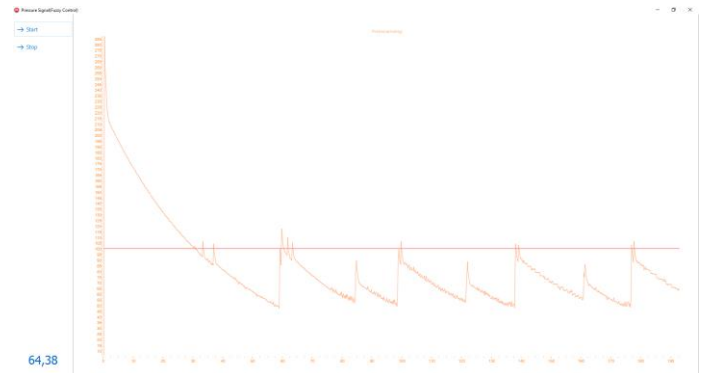


Figura No.13 Erro de sintonização 1.

Para fazer os ajustes de sintonização foi necessário modificar alguns parâmetros das funções de pertinência, como a largura das funções de pertinência, modificando também o tipo de função de pertinência (triangular e trapezoidal). Depois de alguns testes, a resposta do sistema foi um pouco mais clara, embora com algumas inconsistências ainda.

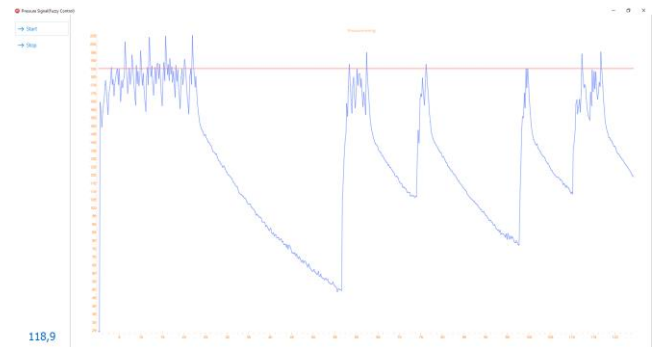


Figura No.14 Error de sintonização 2.

A partir da Figura No.14 pôde ser visto que em momentos em que o "erro" era "medium\_pos" e o "d\_error" se tornava negativo, o sistema digitava "pwm\_zero" e havia uma queda de pressão, devido a isso que a saída foi corrigida para "pwm\_medio" desta forma, a resposta de saída foi como mostrado na Figura No.15

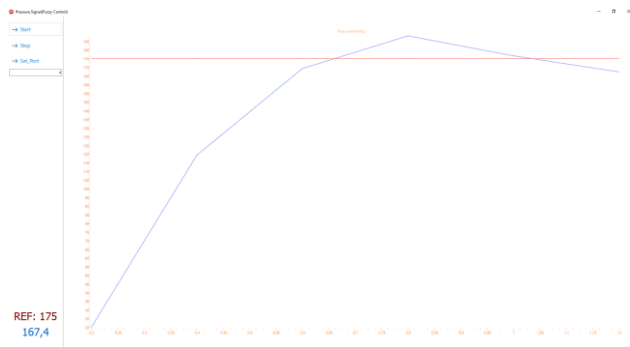


Figura No.15 Erro de sintonização 3.(melhorado)

A Figura No.16 Mostra uma imagem do modelo físico obtido:

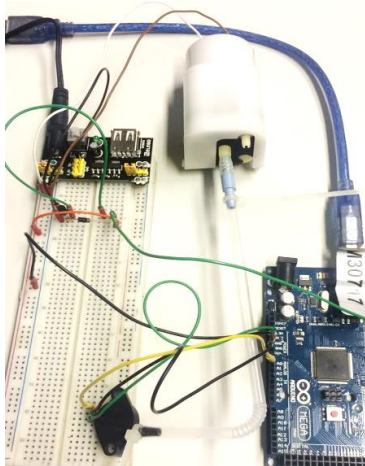


Figura No.16 Modelo físico.

#### IV. DISCUSSION

Como pode ser visto na Figura nº 15, o sistema consegue uma resposta mais precisa ao real, embora apesar dos ajustes realizados tenha sido possível verificar algumas oscilações próximas à medição de referência, as características de perda de pressão do sistema pneumático utilizado contribuíram para gerar essas instabilidades, muito difícil de controlar, por isso propõe-se a utilização de uma válvula unidirecional na saída do microAirPump e uma válvula de saída regulada entre a posição do sensor e a saída da AirPump, além do uso de mangueiras de silicone para obter menores perdas de pressão.

#### V. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível desenvolver um protótipo físico para o controle da inflação de uma pulseira elástica, utilizando técnicas de controle fuzzy.

- Embora a precisão não tenha sido a ideal para a aplicação médica proposta, foi possível verificar a eficácia de modelos fuzzy na solução de problemas semelhantes.

#### VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. o. C. Monitoring, "Automatic Oscillometric NIBP Versus Manual Auscultatory Blood Pressure in the PACU," vol. Vol 10, nº No 2, March 1994.
- [2] B. S. A. C. B. R. A. S. B. M. H. M. L. C. a. S. G. S. L. Michael Prisant, "American National Standard for Nonautomated Sphygmomanometers Summary Report," nº 2, 1995.
- [3] P. Albertos, "Fuzzy Controllers - AI Techniques in Control," Pergamon Press. , 1992.
- [4] R. Gudwin, H. J. M.A. Silva e I.M.C.Ribeiro, "SDAF- Uma Ferramenta para Desenvolvimento e Teste de Sistemas utilizando Lógica Nebulosa - Simpósio sobre Integração Computador," 1991.
- [5] Microchip Technology Inc, "FuzzyTECH -MP Handbook," 1995 .
- [6] W. Pedrycz, " Fuzzy Control and Fuzzy Systems. - John Wiley and Sons Inc, NY," 1989.
- [7] F. Semiconductor, "Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated," 2010.
- [8] R. R. G. R. T. Fernando A. C. Gomide, "CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TEORIA DE CONJUNTOS FUZZY, LÓGICA FUZZY E APLICAÇÕES".