

# ROBÔ AUTÔNOMO COM CONTROLE DE VELOCIDADE UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Yuri G. Ribeiro<sup>1</sup>, Marcos O. Miquelin<sup>1</sup>, Gustavo H. B. Cardoso<sup>1</sup>, Carlos Roberto da S. Junior<sup>1</sup>

yuritos12@gmail.com, marcos.m.mozar@gmail.com, ghbcardoso@gmail.com, carlos.junior@ifg.edu.br

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia

Departamento de Áreas Acadêmicas IV

Bacharelado em Engenharia Elétrica

Categoria: ARTIGO SUPERIOR / MULTIMÍDIA

**Resumo:** Esse artigo apresenta a implementação do controle de velocidade de um robô móvel baseado em Lógica Fuzzy. O robô foi configurado com sensor tipo ultrassom e a partir deste, deverá “perceber” o ambiente no qual está inserido, desviando-se de possíveis obstáculos, dinâmicos e estáticos, que venha a encontrar, independente do ambiente que estiver navegando e, por intermédio do controle Fuzzy, deverá realizar o controle de velocidade. O robô foi projetado utilizando uma placa Arduino como microcontrolador, programado em C++ e tem como base na implementação da Lógica Fuzzy a biblioteca eFLL.

**Palavras Chaves:** Lógica Fuzzy; Robô Autônomo; Sensor Ultrassônico; Arduino; C++; eFLL.

**Abstract:** This paper presents the implementation of the speed control of a mobile robot based on Fuzzy Logic. The robot has been configured with an ultrasonic sensor and from this, it must “perceive” the environment in which it is inserted, avoiding possible dynamic and static obstacles that it finds, regardless of the environment that is navigating and, through of the Fuzzy control, perform the speed control. The robot was designed using an Arduino board as microcontroller and programmed in C++ and it has as bases on the implementation of the Fuzzy Logic the eFLL library.

**Keywords:** Fuzzy Logic, Autonomous Robot, Ultrasonic Sensor, Arduino, C++, eFLL.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da robótica surgiram diversos tipos de robôs com formas, funções e ambientes de atuação distintos.

Atualmente as aplicações em robótica são as mais variadas possíveis, os robôs móveis, além das aplicações industriais com plataformas para movimentação de carga, possuem grande atuação na área de petróleo, para inspeção de dutos e atividades relacionadas a lançamento de linhas. Outra aplicação da robótica móvel que vem se popularizando é no auxílio nas tarefas domésticas com robôs que são capazes de exercer atividades como limpeza de piscinas, chão e cortar grama de maneira autônoma. (LEITE, 2013).

Além do mais, a demanda está aumentando a cada dia que passa para novos eletrodomésticos capazes de tornar até mesmo os trabalhos mais entediados suportáveis, como passar roupa ou limpeza em geral. Em um mundo ideal, os aparelhos

domésticos do mundo atual podem ser substituídos por novos aparelhos com capacidade de realizar tarefas de maneira totalmente independente, onde conceitos como domótica e robôs domésticos entram. (MARURI et al., 2006)

Visto as diversas e interessantes aplicações dos robôs móveis este trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema de controle de velocidade usando lógica Fuzzy para robô móvel, a partir de dados de um sensor ultrassônico, este pode servir de base para várias aplicações com as crescentes demandas observadas anteriormente.

## 2 LÓGICA FUZZY

A lógica fuzzy foi introduzida nos meios científicos em 1965 por Lofti Asker Zadeh, com o objetivo de fornecer meios para modelar o modo aproximado de raciocínio, tentando imitar a habilidade humana de tomar decisões racionais em um ambiente de incerteza e imprecisão. Ela difere da característica binária da lógica clássica, na qual um valor pertence ou não a um conjunto: o valor passa a ter um grau de compatibilidade que varia de 0 a 1. Dessa maneira, uma variável pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy com diferentes graus de compatibilidade (ou graus de pertinência).

As chamadas variáveis linguísticas são variáveis cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. Um exemplo disso é a velocidade de rotação de um motor em um determinado processo, em que pode ser uma variável linguística assumindo valores como baixo, médio e alto. Tais valores descrevem conjuntos fuzzy representados por funções de pertinência, conforme a Figura 1.

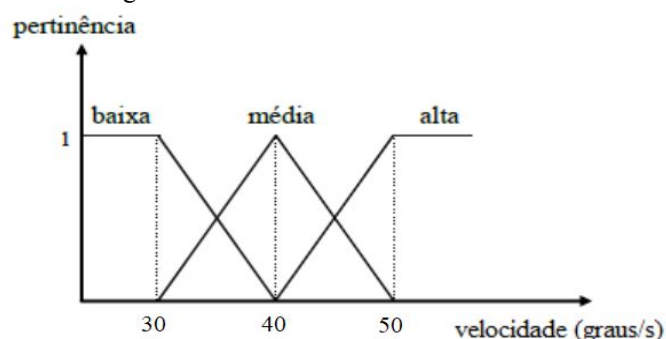


Figura 1 – Funções de Pertinência

Sua principal função é fornecer uma maneira sistemática de aproximação de fenômenos complexos ou mal definidos. As funções de pertinência descrevem a distribuição dos valores pertencentes a um dado conjunto fuzzy, podendo ter diferentes formas dependendo do conceito e das características do problema que se deseja retratar. As formas mais comumente utilizadas para a área de controle são triangulares, trapezoidais e gaussianas.

O tratamento de problemas por meio dessas variáveis nos permite modelar de maneira mais simples problemas complexos de serem modelados por meio das técnicas matemáticas convencionais. Em aplicações que buscam se assemelhar a tomada de decisão de operadores humanos, a Lógica Fuzzy se prova muito útil, tomando decisões, muitas vezes decisões complexas baseadas em informações de caráter impreciso e vago, uma vez que consegue tratar os modos imprecisos do raciocínio.

O controle de sistemas e processos é apenas uma das diversas aplicações da Lógica Fuzzy, que ocorrem por meio de um sistema de inferência fuzzy. Este sistema está descrito na Figura 2.

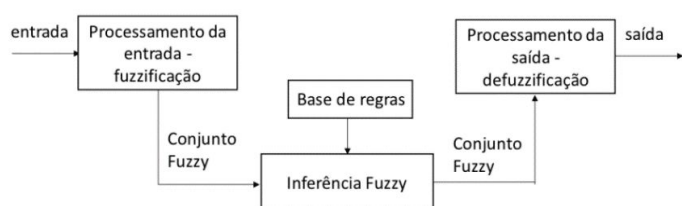


Figura 2 – Sistema de Inferência Fuzzy

Para aplicações de controle, as variáveis de entrada normalmente são fornecidas a partir da leitura de sensores. Para que essas variáveis possam ser tratadas no Sistema Fuzzy, elas devem passar por um processo conhecido como fuzzificação. Este processo consiste em transformar uma variável precisa em uma variável fuzzy. Faz-se isso verificando o grau de pertinência do valor de entrada aos conjuntos fuzzy que representam as variáveis de entrada. Estes conjuntos são modelados por suas respectivas funções de pertinência.

A etapa da inferência fuzzy, também chamada lógica de tomada de decisão, é onde são avaliados os termos primários das variáveis de entrada aplicando as regras de produção e atribuindo respostas ao processamento. O procedimento de inferência é responsável por processar os dados fuzzy de entrada juntamente com as regras, de modo a inferir as contribuições na saída fuzzy do sistema de inferência.

O valor da saída apresenta o intervalo de acordo com o método escolhido, portanto é necessário avaliar qual método representa melhor a natureza do problema que está sendo avaliado.

### 3 O TRABALHO PROPOSTO

Primeiramente desenvolveu-se o layout do robô, havia dificuldade de instalação do Arduino e outros componentes diretamente no chassi de alumínio, por ser metálico o chassi acabava dando curto e mau-contato nos componentes. A partir desse problema confeccionou-se as placas de acrílico para dar sustentação e isolamento.

A implementação do sensor apresentou certa dificuldade dado que a versão do mesmo se encontra defasada comparada as aplicações atuais, sensores mais novos estão sendo aplicados. Porém, mesmo com esta dificuldade conseguiu-se

encontrar a biblioteca específica do mesmo. Para a detecção de distâncias em três posições o sensor ultrassônico foi fixado em um servo motor que realiza rotações para aquisição destas distâncias.

Após a implementação completa do sensor partiu-se para a aplicação da lógica fuzzy no controle de velocidade dos motores. Havia a ideia de implementação da lógica fuzzy para todo o sistema do robô, mas isto se mostrou inexecutável dentro do prazo determinado.

Como primeiro passo na determinação da lógica fuzzy, definiu-se os valores relativos a distância e a velocidade que seriam utilizados nas funções de pertinência. Determinou-se, portanto, valores de distância distribuídos em: seguro, média e perigosa. E os valores de velocidade em: rápido, normal, devagar, como mostram os gráficos da Figura 3 que apresenta a função de pertinência da distância e Figura 4 que apresenta a função de pertinência da velocidade.

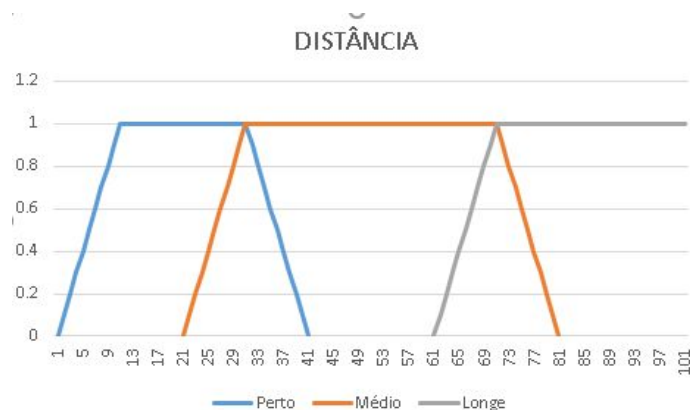


Figura 3 – Função de Pertinência da distância

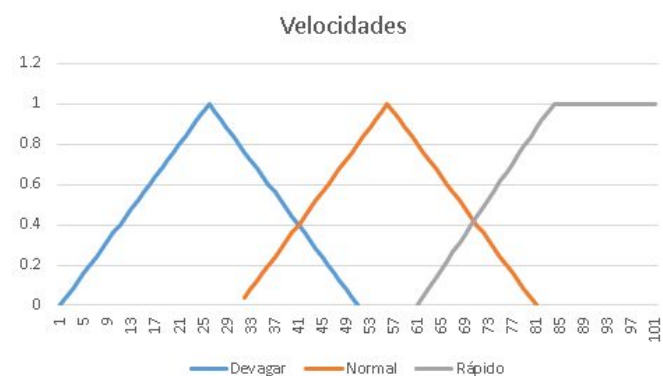


Figura 4 – Função de Pertinência da velocidade

Após determinar tais parâmetros, a biblioteca necessitava também das regras de mudança de velocidade, as quais iriam determinar o controle da velocidade de acordo com a distância atual e a velocidade anterior, sendo esse o principal objetivo do trabalho. Portanto, se uma velocidade anterior estava rápida, e a entrada de distância reconhece um objeto próximo, temos como mudança uma nova velocidade do carrinho, sendo esta dentro da margem de velocidade lenta.

Outro fator importante foi a tomada de decisão para que o carrinho, quando parasse em um objeto muito próximo, tivesse condições de mudar a direção e continuar andando. Para isso, utilizou-se o motor de passos que permitia que o sensor ultrassom pudesse obter informações angulares. Portanto, assim que o robô chega em uma distância limite (a qual determinou-se como sendo de 15 cm), o motor de passos gira e

permite que o ultrassom colete informações das distâncias relativas aos dois lados, e envia portanto para o arduino qual a distância do sensor do lado direito e do lado esquerdo, e então é tomada a decisão de qual lado seguir de acordo com a maior distância.

Para realizar o movimento de rotação, é aplicado uma velocidade  $x$  em um dos motores e  $-x$  em outro -de acordo com o lado que o carrinho irá virar; por um tempo suficiente para que ele rotacione e inicie um novo percurso de acordo com a nova distância obtida e consequentemente o novo controle da velocidade fuzzy.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar as ações do robô, é preciso que primeiro ele perceba o ambiente no qual está inserido. Essa percepção é estabelecida por meio de sensores, em geral embarcados, cuja natureza irá depender do tipo de ação e ambiente que se deseja trabalhar.

Na robótica móvel, é comum o uso de sensores para detecção de objetos a fim de evitar a colisão do robô e para o reconhecimento de padrões. Para este caso utilizou-se um Sensor Ultrassom. Neste sensor uma onda sonora de alta frequência é emitida e a partir do tempo que ela demora a ecoar é determinada a distância ao obstáculo. É um sensor de baixo custo e possui uma rápida resposta, precisando de apenas alguns milissegundos para realizar uma medição. Ele possui um raio de atuação na qual a onda sonora alcança, mas não é tão preciso para determinar a posição de um objeto, apenas a distância estimada, que é o que nos interessa.

O Arduino foi o microcontrolador utilizado no projeto pela sua facilidade de programação, versatilidade e também pelo seu baixo custo. A movimentação tanto na parte de movimento do robô em si, quanto no movimento do sonar ficou por conta de servos motores da marca Parallax.

Foram confeccionadas placas de acrílico para a sustentação do Arduino e do sonar, além de sustentação as placas proporcionam isolamento dos componentes em relação ao chassi de alumínio. O robô é apresentado na Figura 4.

Na parte de alimentação foi utilizada uma bateria de carregamento externo, comumente utilizada para carregamento de aparelhos celulares, mais conhecida como *powerbank*.

A biblioteca utilizada para implementação da lógica Fuzzy foi a eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library), esta biblioteca foi desenvolvida pelo Robotic Research Group (RRG) na Universidade Estadual do Piauí (UESPI-Teresina) a biblioteca é uma opção versátil, leve e eficiente de trabalhar com a Lógica Fuzzy em sistemas embarcados (EFLL, 2018).

Por fim, temos a seguinte lista de materiais utilizados no projeto:

- 1 Arduino Uno
- 2 Servos Motores Contínuos (Parallax)
- 1 Servo Motor de Passo (Parallax)
- 1 Sensor Ultrassônico
- 1 Chassi de Alumínio
- 1 Bateria
- 2 Placas de Acrílico
- Jumpers, solda e cola quente

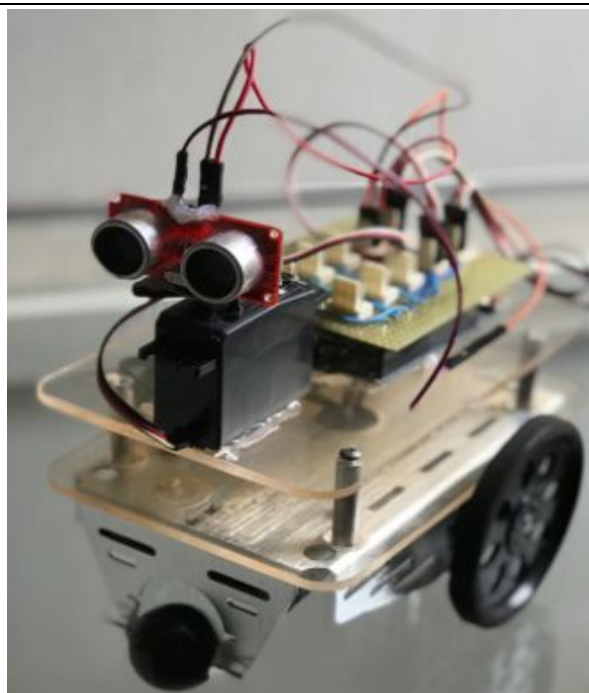


Figura 4 – Imagem do Robô Montado

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O carrinho obteve o comportamento desejado, variando a velocidade de acordo com a distância e para utilizando a lógica fuzzy. É possível ver o desempenho do projeto neste link:

<https://youtu.be/oRjEIVqer4o>

Foi realizada uma coleta de dados mostrando a velocidade para aquela distância, conforme apresentado na Figura 5, e fica evidente a variação de acordo com a lógica fuzzy, onde por mais que o comportamento no gráfico da velocidade pela distância é semelhante, ele não é linear.

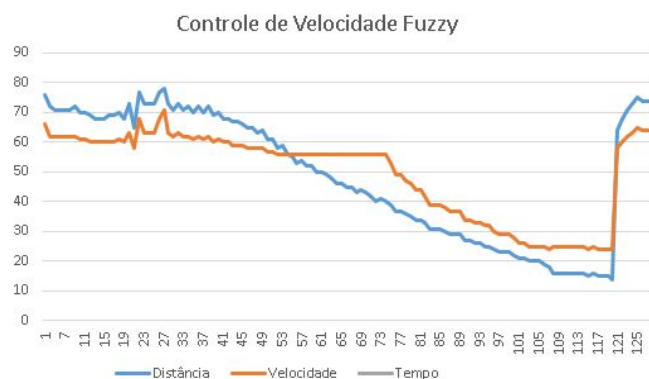


Figura 5 – Gráfico da Saida de Velocidade

Neste gráfico é possível observar os instantes onde a distância é longa e a velocidade está, de acordo com a fuzzy, rápida. Todavia, percebe-se nos entre os pontos de mudança (37 ao 75), que a por mais que a velocidade fosse caindo de forma acentuada, pela lógica a velocidade não acompanhou a curva, seguindo as regras e os valores fuzzyficados obtidos.

Outro fator interessante de ser analisado neste gráfico é a tomada de decisão, onde perto do tempo 117 o carrinho encontrou um obstáculo com distância menor ou igual a 15 cm e decidiu mudar de direção. No instante seguinte, com a nova direção do carrinho obtida, é possível notar os novos valores,



tanto de distância de quanto de velocidade, o que acompanha totalmente o raciocínio do projeto.

Para mostrar essa tomada de decisão, tem-se os valores das distâncias coletadas nesse momento, mostrados na tabela a seguir.

**Tabela 1 – Tabela de entradas e saída**

<b>Distância (cm)</b>	<b>Velocidade (%)</b>	<b>Dist. Eq. (cm)</b>	<b>Dist. Dir. (cm)</b>
25	32	0	0
19	25	0	0
18	24	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
16	25	0	0
15	24	0	0
16	25	0	0
15	24	0	0
15	24	0	0
15	24	0	0
14	24	53	82
64	58	53	82
68	60	53	82

Pode-se observar, portanto, que quando o valor chegou em 15 cm de distância a velocidade já estava bem baixa e ocorre a tomada de decisão, medindo agora as distâncias nos lados esquerdo e direito. Assim que é obtido o valor da nova distância, tem-se a tomada de decisão e a nova velocidade, agora em 58% da velocidade máxima.

## 6 CONCLUSÕES

Esse projeto nos permitiu aplicar o conteúdo ensinado durante a ministração das aulas de Sistemas inteligentes. No nosso caso, em si, um projeto extremamente atual, tendo em vista que o mercado vem oferecendo carros autônomos para transporte com maior frequência, onde pode-se citar os carros da companhia Tesla. Portanto, aplicar na prática o processo de controle de velocidade através de sensores e da lógica fuzzy nos possibilita enxergar com maior clareza o funcionamento desses carros, onde uma lógica booleana comum iria falhar na qualidade da frenagem.

Outro ponto importante de destacar é o uso da robótica e das técnicas de programação deste projeto, onde para adquiriu-se o resultado desejado foi necessário muito conteúdo já abordado durante todo curso de engenharia elétrica, seja para montagem do hardware como também do software.

Como resultado, conseguiu-se alcançar o objetivo inicial, onde mesmo com algumas pequenas falhas o carrinho conseguiu desenvolver o seu papel principal, e também, por fora, ensinar os membros do grupo um pouco mais sobre robótica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROBERTO, C. Sistemas Inteligentes. 2018. Disponível em: <<https://github.com/profcarlos/Sistemas-Inteligentes>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- ZADEH, L. A. The Birth and Evolution of Fuzzy Logic. 1990. 8 p. Japan Society for Fuzzy Theory and Systems. Computer Science Division - Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, JAPAN, 1990. vol 2 no. 1.
- MARURI, L. et al. DESIGN OF A PROTOTYPE ROBOT VACUUM CLEANER: From virtual prototyping to real development. 2006. 8 p. [S.l.], 2006.
- CHEN, C.-H et al. Fuzzy Logic Controller Design for Intelligent Robots. 2017. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2017/8984713/>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- RABÊLO, R. A. L. et al. Uma Abordagem Baseada em Sistemas de Inferência Fuzzy Takagi-Sugeno Aplicada ao Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Geração. In: SBA CONTROLE & AUTOMAÇÃO, 1., 2011, Campinas. Revista da Sociedade Brasileira de Automática... Campinas: [s.n.], 2011. v. 22. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-17592011000100005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592011000100005)>. Acesso em: 29 nov. 2018.
- ALVES, AJ. EFLL (Embedded Fuzzy Logic Library). 2016. Disponível em: <<https://github.com/zerokol/efll>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- EFLL - Uma Biblioteca Fuzzy para Arduino e Sistemas Embarcados. Disponível em: <<https://blog.zerokol.com/2012/09/arduino-fuzzy-uma-biblioteca-fuzzy-para.html>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- LEITE, D. S. CONTROLE AUTÔNOMO DE ROBÔ MÓVEL BASEADO EM LÓGICA FUZZY. 2013. 79 p. (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - PUC - RIO, Rio de Janeiro, 2013.
- NEWPING Library. 2017. Disponível em: <<https://playground.arduino.cc/Code/NewPing>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

THE SOFTWARE Servo Library. Disponível em:  
<<http://playground.arduino.cc/ComponentLib/servo>>.  
Acesso em: 30 nov. 2018.

