

## **ROBZY: UMA PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA**

### ***ROBZY: A Proposal for implementation of line follower robot***

Glédson Leite Leal<sup>1</sup>  
Milton Roberto Heinen<sup>2</sup>  
Bruno Silveira Neves<sup>3</sup>

**Resumo:** Veículos autônomos inteligentes surgem como uma das soluções para a diminuição de acidentes no trânsito e redução dos custos provenientes de acidentes. Este trabalho apresenta uma alternativa a veículos que utilizam sistemas de localização robustos, utilizando uma câmera para aquisição de dados de uma trilha a ser seguida, simulando a linha central de rodovias. Outro diferencial neste estudo é a aplicação da Lógica Difusa no controle do protótipo, proporcionando movimentos mais suaves, diminuindo erros de locomoção. Foram concebidos os algoritmos de inteligência artificial com Lógica Difusa para locomoção e um protótipo de veículo guiado automaticamente como forma de validação dos resultados. Pretende-se contribuir para o aperfeiçoamento dos meios de transporte, podendo a metodologia proposta se considerada como alternativa em diferentes fins de locomoção autônoma.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Lógica Difusa; Robótica.

**Abstract:** *Smart autonomous vehicles appear as one of the solutions for the reduction of traffic accidents and reduction of the costs of accidents. Unlike other studies, this work presents an alternative to vehicles that use robust location systems, using a camera to acquire data from a track to be followed, simulating the central line of highways. Another differential in this study is the application of Fuzzy Logic in the control of the prototype, providing smoother movements, reducing locomotion errors. The artificial intelligence algorithms with Fuzzy Logic for locomotion and an automated vehicle prototype were designed as a way of validating the results. It is intended to contribute to the improvement of means of transportation, and the proposed methodology can be considered as an alternative in different purposes of autonomous locomotion.*

**Keywords:** *Artificial intelligence; Fuzzy Logic; Robotics.*

---

<sup>1</sup>Engenheiro da Computação – Universidade Federal do Pampa.  
{leitelealgledson@gmail.com}

<sup>2</sup>Doutor em Ciência da Computação – Universidade Federal do Pampa.  
{miheinen@gmail.com}

<sup>3</sup>Doutor em Microeletrônica – Universidade Federal do Pampa.  
{bspampa@gmail.com}

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica móvel apresenta soluções em diferentes áreas, como por exemplo, domésticas, industriais, urbanas e militares, demonstrando a sua vasta aplicabilidade e interesses econômicos inerentes ao seu desenvolvimento e aplicação (WOLF et al., 2009). Na área urbana, o uso de robôs inteligentes surge como uma das soluções para a diminuição de acidentes de trânsito. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, aproximadamente 1,25 milhão de pessoas morrem anualmente ao redor do mundo em acidentes de trânsito (OMS, 2017), sendo que uma grande parcela destes acidentes foram ocasionados por falha humana. Em decorrência destes fatores, a utilização de Veículos Autônomos Inteligentes (JUNG et al., 2005) se torna uma alternativa viável, devido as suas características fundamentais de capacidade de locomoção de forma completamente autônoma (GABRIEL, 2014), promovendo maior qualidade de vida e evitando acidentes, uma vez que esses veículos são capazes de criar rotas através de análises do meio em que está inserido (JUNIOR, 2013).

Veículos com sistemas robustos de navegação utilizam tecnologias de posicionamento global, como o Global Navigation Satellite System (GNSS), composto pelo Global Position System (GPS) e Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), Galileo e mais recentemente o Beidou/Compass (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007), proporcionando um posicionamento mais acurado (BEZERRA et al., 2016). Entretanto, equívocos de posição inerentes às camadas que compõe a atmosfera (Troposfera e Ionosfera), causam erros de aproximadamente 2,3 metros no zênite (BEZERRA et al., 2016), o que equivale a uma reta traçada a partir da cabeça do observador até um ponto na esfera celeste (MOURA et al., 1999). Projetos de menor custo, por outro lado, empregam sensores ultrassônicos ou infravermelhos para guiar o veículo (KHAN; PARKER, 2014). Estes dispositivos sensoriais dependem de receptores ortogonais ao veículo, sendo utilizados para desvios de obstáculos (PATSKO, 2006) e, portanto, não são empregados para determinação de posicionamento do veículo.

Em decorrência dos fatores acima mencionados, busca-se neste trabalho propor uma metodologia que possa ser usada em Veículos Autônomos Inteligentes, que emprega soluções tecnológicas open source (KOPONEN; HOTTI, 2005) de baixo custo, utilizando-se de uma câmera digital para aquisição dos dados necessários para locomoção do veículo. Este artigo

abordará a metodologia para a concepção, tanto do protótipo, como também a forma de controle, através de software, para seguir a trilha, percorrendo o traçado previamente proposto. Em seguida, são apresentados os resultados e discussões provenientes deste estudo e, após este passo, as conclusões finais.

A motivação deste trabalho relaciona-se aos aspectos humanos e ao desenvolvimento de tecnologias para redução da mortalidade no trânsito, visto que segundo a OMS (2017), o Brasil é o 5º país em número de acidentes de trânsito no mundo. Outro fator é a possibilidade de, com a utilização de veículos inteligentes, reduzir gastos, por parte do poder público, com vítimas de acidentes automobilísticos atendidas pelo sistema público, uma vez que o somatório de custos de internação por acidente de transporte terrestre é elevada, chegando ao valor aproximado de R\$ 230 milhões em 2013, conforme Andrade and Jorge (2017).

Em meio a este contexto, foi construído o protótipo de um veículo e seu software para a validação desta metodologia e dos algoritmos desenvolvidos no âmbito dela para:

1. Tratamento de imagens adquiridas por uma câmera, a qual foi acoplada a um microprocessador de placa única, realizando leituras em uma faixa contínua sobre uma pista.
2. Definição da direção que o veículo irá tomar, sem interferência externa, os quais se baseiam em técnicas de Inteligência Artificial (IA) (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Sendo assim, este artigo apresenta uma proposta para implementação de um robô seguidor de linha, composto de software, capaz de realizar leituras em uma faixa contínua sobre uma pista de rolagem, simulando a linha central de rodovias reais, sem intervenção de terceiros.

## **2 TRABALHOS CORRELATOS**

Dentre os diversos trabalhos existentes na literatura que se correlacionam a este, pode-se encontrar o de Nunes et al. (2012), que utilizaram o microcontrolador Arduino UNO, uma plataforma open-source, para o controle do conjunto de treze receptores e outros treze emissores de luz (fotodiodos). Estes dispositivos foram instalados em uma placa sensor, os autores informam que o custo foi o menor possível, girando em torno de R\$ 250,00.

O artigo de Gomes et al. (2015) apresenta a implementação de um robô seguidor de linha de cor branca ou preta em um fundo de cor oposta à linha. Os autores utilizaram sensores de luz infravermelha para detectar o sinal reflexivo a partir de um diodo emissor apropriado. O projeto foi confeccionado em torno do microcontrolador Arduino. Este trabalho atendeu os requisitos das competições promovidas pela Robocore, na categoria seguidor de linha Pro (TORRICO E FAVARIM 2017), com adaptações inerentes ao contexto deste estudo.

O que diferencia este estudo dos demais é a utilização de apenas um sensor, a câmera acoplada ao protótipo, como meio de captação do estado do ambiente onde o Veículo Guiado Automaticamente (VGA) se desloca, possibilitando leituras precisas. Com este sensor, é possível processar informações de qualquer cor, não apenas linhas pretas ou brancas. Outro fator é a utilização da Lógica Difusa, suavizando os movimentos do protótipo, tornando o algoritmo mais condensado, uma vez que é necessário poucos estados de controle do veículo. Este método, hora proposto, pode ser adaptado para emprego em situações reais, como em ambientes fabris, onde não é possível a interferência humana ou, até mesmo, futuramente servir como tecnologia para desenvolvimento de Veículos Autônomos Inteligentes, auxiliando motoristas em rodovias.

### 3 METODOLOGIA

Para construir o veículo autônomo, utilizando de algoritmos de Inteligência Artificial (IA), inicialmente foram pesquisados trabalhos paralelos, com o objetivo de determinar qual a melhor forma de prosseguimento da concepção do protótipo.

Como discriminado na seção de Introdução, foi utilizada uma câmera acoplada a um dispositivo microprocessado. A escolha da utilização deste dispositivo deu-se pela necessidade de processamento das imagens adquiridas pela câmera, algo incompatível com dispositivos denominados microcontrolados (SENA, 2005), por sua característica de hardware, composta por apenas 2KB de Random Access Memory (RAM), sem a presença de um processador.

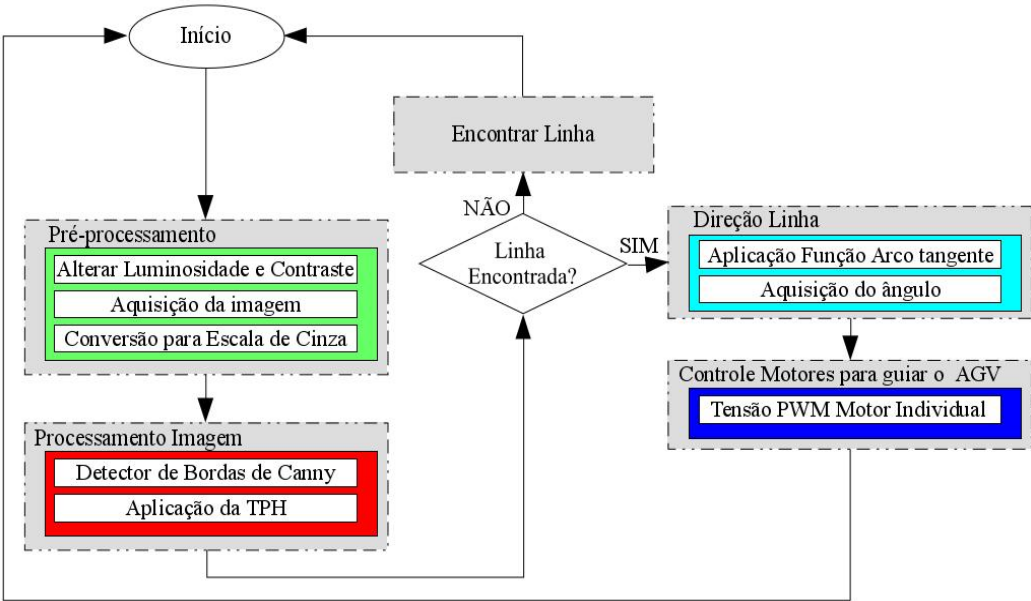
As imagens são processadas digitalmente, utilizando-se ferramentas contidas na biblioteca digital Open CV (GEORGE et al., 2016). Inicialmente a imagem é convertida para tons de cinza. Após este passo é aplicada na imagem, a Transformada de Hough (HOUGH,

1962), que serve para reconhecer digitalmente formas geométricas conhecidas, como uma linha ou um artefato usado para guiar o protótipo. Com esta técnica, é possível determinar, dentro do espaço digital parametrizado (x,y), qual o ângulo da trilha a ser seguida.

O ângulo extraído pela Transformada é utilizado pelo protótipo para delimitar a direção a ser tomada. De posse deste resultado, um microprocessado Raspberry Pi (UPTON E HALFACREE, 2014) foi empregado para realizar todo o processamento das imagens, bem como para controlar os dois motores de corrente contínua, através de algoritmos de Lógica Difusa (SUGENO E YASUKAWA, 1993), proporcionando um movimento mais suave em sua trajetória.

Para a comunicação entre o Raspberry Pi e os motores, foi utilizado um circuito eletrônico de potência do tipo *chopper* de classe E, devido as diferenças de tensão entre as duas interfaces. A ligação foi realizada através das interfaces de entrada e saída de uso geral General Purpose Input/Output (GPIO) do microprocessador. A Figura 1 demonstra a sequência de passos para o controle de forma autônoma do protótipo. Esta metodologia está subdividida em quatro etapas sequenciais, sendo:

Figura 1: Metodologia de desenvolvimento do protótipo de Veículo Autônomo Inteligente



Fonte: Autor, 2017

**Etapa 1:** realiza o pré-processamento, crucial para que as demais fases realizem suas atividades, promovendo um bom desempenho do sistema e inclui as atividades de controle de luminosidade e contraste, aquisição de imagens e conversão para a escala de cinza.

**Etapa 2:** após a primeira fase, é realizado o processamento de imagens, com a finalidade de extrair dados necessários para controle do protótipo. Nesta etapa são detectadas as bordas da trilha, realizada a inscrição das bordas na imagem e aplicada à função de Hough.

**Etapa 3:** o próximo passo é a descoberta do ângulo, formado entre a trilha a ser seguida e a linha vertical da câmera, através de relações trigonométricas, como a razão tangente, que é o valor do quociente entre a medida do cateto oposto e a medida do cateto adjacente a esse ângulo.

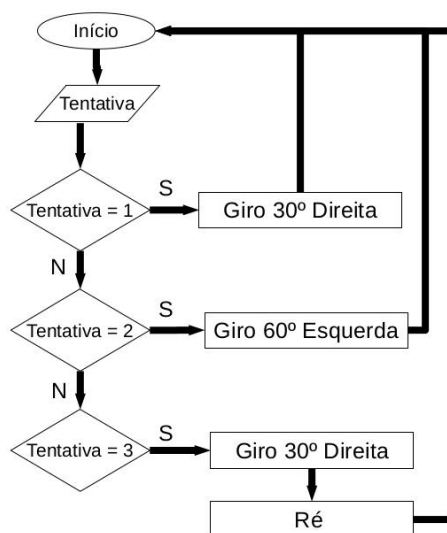
**Etapa 4:** com a descoberta do ângulo, empregado para dar a direção do protótipo, é realizado o controle individual dos motores. Através da interface GPIO do Raspberry Pi, os pulsos elétricos são transmitidos para a Ponte H, controladora dos motores. A velocidade individual de cada motor é configurada através dos pinos Pulse Width Modulation (PWM).

Inicialmente, foi empregado três estados: frente, direita e esquerda. Por exemplo, quando o veículo está posicionado à direita da trilha, o motor da esquerda permanece inerte, enquanto o motor da direita, através da comunicação PWM, move-se, colocando o protótipo em direção à trilha.

Após a aferição dos três estados anteriores, são inseridos 12 estados, cada um com diferença de 15°, variando de 0° à 180°. Dentre estes estados, está presente o estado de parada, proporcionando a possibilidade de intervenção a qualquer momento, por parte do operador, no movimento do veículo.

O robô poderá sair do traçado e caso este fato ocorra, é necessário retornar ao circuito. Neste caso, o protótipo realizará os movimentos descritos na sequência de passos demonstrado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2: Heurística de Correção de Movimento



Fonte: Autor, 2017

Em um primeiro momento, optou-se por conceber o protótipo utilizando duas plataformas distintas, conforme encontrado nos referenciais teóricos, o Raspberry Pi e o Arduino (MARGOLIS, 2011). O Arduino seria o hardware responsável pelo controle individual dos motores. Entretanto, devido ao tempo de comunicação entre as duas plataformas ser em torno de 14 segundos, desde a descoberta do ângulo até movimento do protótipo, decidiu-se utilizar somente o Raspberry Pi no projeto, o que tornou possível que os movimentos do protótipo ocorressem de forma quase instantânea depois da descoberta do ângulo.

A Figura 3a mostra um exemplo de imagem adquirida, demonstrando a linha sem a percepção da trilha a ser seguida. Já a Figura 3b, demonstra o resultado da aplicação da Transformada de Hough (TH), que encontra as bordas da linha central da pista utilizada nas simulações. Após a descoberta da linha, o software calcula o ângulo da mesma para o controle do protótipo.

Figura 3a: Foto sem a TH.



Fonte: Próprio Autor, 2017.

Figura 3b: Foto com a TH.



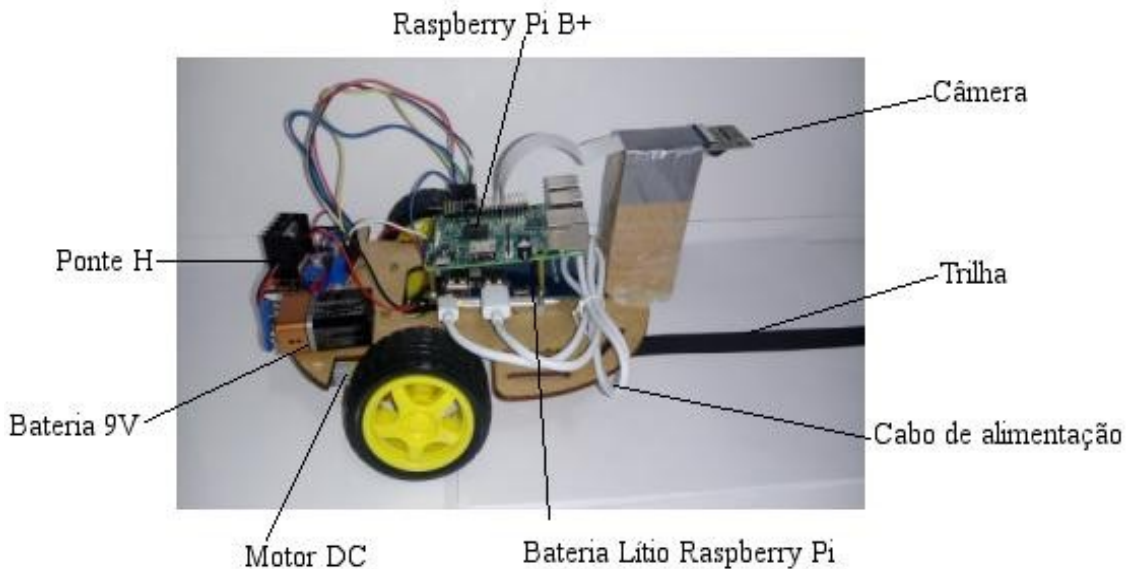
Fonte: Próprio Autor, 2017.

A Figura 4 demonstra a estrutura física do protótipo, sem a utilização do Arduino. O dispositivo encontrado abaixo da plataforma Raspberry Pi é a bateria de Lítio de 3,7V 3800mAh, responsável pelo fornecimento de energia para o veículo. Os motores são alimentados de forma autônoma, com uma bateria de 9V. A Tabela 1 demonstra os materiais necessários para a confecção da estrutura final do VGA.

O protótipo será testado em duas óticas distintas, sendo a primeira delas a Lógica Booleana (BOOLE, 1854) que apresenta valores de decisão 0 ou 1, verdadeiro ou falso, gerando conjuntos nebulosos específicos, denominados usualmente de “crisp” onde sua pertinência é do tipo sim, ou não, tudo ou nada (SANDRI, et al., 1999). A segunda é a Lógica Difusa (ZADEH, 1965), onde é possível assumir valores intermediários de uma posição, podendo existir um número infinito de valores no intervalo [0,1] (BOYER; MERZBACH, 2011).



Figura 4: Estrutura do protótipo concebido. Percebe-se a trilha a ser seguida.



Fonte: Próprio Autor, 2017.

Tabela 1: Materiais utilizados na confecção do projeto

Item	Quantidade
Motor DC 200RPM 6V com caixa de redução	2
Roda 68mm de diâmetro	2
Plataforma em MDF de 3mm	1
Roda Esfera Metal Omnidirecional	1
Bateria 9V recarregável	1
Raspberry Pi 3 Modelo B	1
Módulo Câmera Raspberry Pi 5mp	1
Bateria Lítio Raspberry Pi3	1
Driver Ponte H ou Motor de Passo - L298N	1

Fonte: Próprio Autor, 2017.

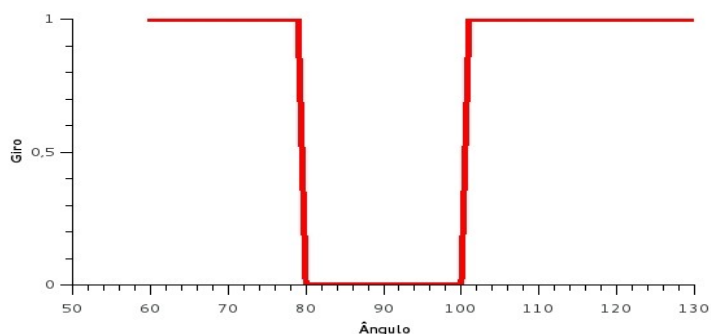
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados coletados, os motores foram calibrados para que, conforme os ângulos adquiridos movam-se em direção à trilha. Se o ângulo estiver posicionado no primeiro quadrante, levando-se em consideração um plano (x,y) no qual x corresponde à direção frontal ou reversa e y à direção lateral, deve-se aumentar a velocidade do motor encontrado à direita do protótipo, para que o carro vire à esquerda. Se o ângulo encontra-se no segundo quadrante, o movimento será o oposto do descrito à cima. Esta calibragem, em um primeiro momento, foi definida com o método de tentativa e erro, sem a utilização de algoritmos de Inteligência Artificial.

Entretanto, observou-se que o veículo não se posicionava exatamente em cima da trilha, sendo necessários novos movimentos para corrigir o curso. Na tentativa de correção, foram empregados mais 12 estados (agora em um total de 24), com intervalos de  $7,5^\circ$ . Mesmo com a inserção dos novos estados, os movimentos permaneceram incorretos. Este é um problema fundamental dos conjuntos *crisp* (rígidos) que limita a utilização da teoria clássica dos conjuntos em várias aplicações práticas, como neste estudo.

O gráfico da Figura 5 demonstra o comportamento do movimento do veículo, no uso da Lógica Booleana. Percebe-se nos valores anteriores a  $80^\circ$  e posteriores a  $100^\circ$ , que correspondem ao valor 1 de giro, ocorre um movimento brusco (giro), na tentativa da correção da trajetória. O intervalo compreendido entre os ângulos  $80^\circ$  e  $100^\circ$ , que corresponde ao valor 0 de giro, o protótipo permanece movendo-se à frente.

Figura 5: Gráfico da Função Característica Crisp.



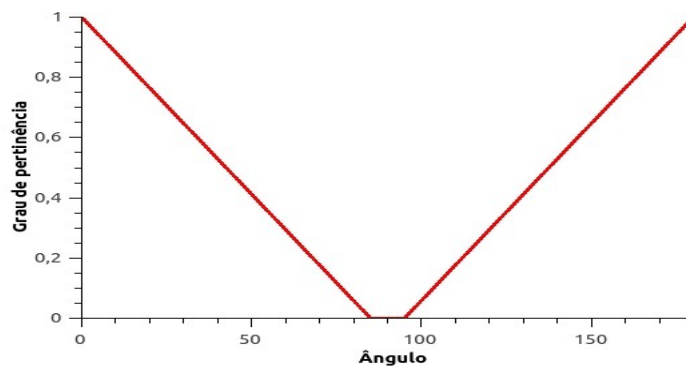
Fonte: Próprio Autor, 2017.

Baseando-se na melhor alternativa para controlar um veículo, conforme proposto por Jones, Kaufmann e Zimmermann (2001), o segundo passo foi o emprego da Lógica Difusa. A função de pertinência dos Conjuntos Fuzzy utilizada foi a Função Trapezoidal (1) (SUGENO E YASUKAWA, 1993), para o emprego da primeira parte da aplicação da Lógica Difusa, a Fuzzificação. Este primeiro módulo, tem como principal função converter os valores reais de entrada, em um grau de pertinência a conjuntos fuzzy.

$$x(z) = \begin{cases} 1 - (a - z) / c & a - c \leq z < a \\ 1 & a \leq z < b \\ 1 - (z - b) / d & b \leq z \leq b + d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

A equação para modelar o controle do protótipo deve apresentar três estados bem definidos: virar à esquerda, girar à direita e permanecer em frente. A função trapezoidal enquadra-se perfeitamente nestas características. Para cada ângulo no intervalo [0, 180], será gerado um valor difuso contido no intervalo [0, 1], concebendo o gráfico da função característica trapezoidal, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Gráfico gerado pela função trapezoidal.



Fonte: Próprio Autor, 2017.

O próximo passo nesta metodologia é a máquina de inferência Fuzzy. Esta máquina processa os valores de pertinência oriundos de fuzzificação, em um conjunto de regras. Esta base de regras é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Máquina de Inferência Fuzzy

Valor Booleano	Intervalo de Pertinência	Regra
0	$80^\circ \leq \text{ângulo} \leq 100$	Frente
1	$0^\circ \leq \text{ângulo} < 80$	Girar sentido anti-horário
1	$80 < \text{ângulo} \leq 180$	Girar sentido horário

Fonte: Próprio Autor, 2017.

O próximo e último passo é chamado de Defuzzificação. Este processo mapeia os valores do conjunto difuso, oriundo do módulo de inferência, em um valor real, que será a

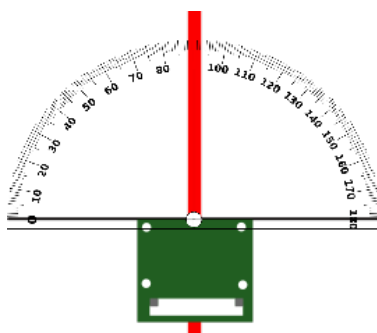
velocidade para cada motor. Quando os ângulos estão contidos no intervalo  $[85, 95]$ , é atribuído o mesmo valor PWM para ambos os motores, fazendo com que o protótipo ande para frente.

Os motores são controlados individualmente pela interface PWM, e suas velocidades podem ser definidas no intervalo de  $[0, 100]$ . Com isso, cada valor recebido da fase de fuzzificação é relacionado com o valor máximo permitido pelo PWM. Com o emprego da Lógica Difusa, para cada ângulo adquirido, será atribuído um valor de giro, tornando os movimentos mais precisos, uma vez que não serão necessárias mais correções de curso em direção à trilha.

#### 4.1 VALIDAÇÃO DESTA PROPOSTA

Para analisar o sistema e demonstrar a capacidade de locomoção foram utilizadas diferentes pistas e trilhas com cores distintas e para cada configuração de pista foram realizados 15 testes. A Figura 7 demonstra o referencial a ser seguido nos testes e o dispositivo retangular na figura representa a câmera que está apontada para a trilha. A linha que percorre o eixo y representa a trilha a ser seguida e a linha perpendicular à câmera representa o eixo das abscissas. Todos os testes foram realizados com uma iluminação de 47 lux (lx), pois foi o fluxo luminoso encontrado no local de experimentos.

Figura 7: Gráfico gerado pela função trapezoidal.



Fonte: Próprio Autor, 2017.

Para a validação desta proposta, foram aplicadas pistas adaptadas conforme a mais antiga competição de robôs, a *RoboCup*. Esta competição prevê as seguintes regras e a

totalidade das regras podem ser encontradas no Manual de Regras da Final Nacional da Modalidade Prática (BURLAMAQUI, et al., 2017):

- O piso deverá ser de cor clara (branco ou próximo de branco);
- A linha deve ser de cor preta, com 1-2cm de largura;
- A pista pode conter curvas de arcos variados e curvas com ângulos agudos ou obtusos;
- Os robôs devem ser controlados de forma autônoma.

O primeiro teste foi empregado uma pista sem curvas, com uma pista de cor azul-escuro com comprimento de 132 cm e linha de cor amarela de 1 cm de espessura. A Tabela 3 apresenta o paralelo entre os dois métodos, o da Lógica Booleana e da Lógica Difusa e o valor de correção de percurso representa todas as chamadas do algoritmo representado na heurística da Figura 2. O símbolo  $\sigma$  representa o Desvio Padrão da quantidade de movimentos do tempo de cada experimento.

Tabela 3: Resultados do teste na Pista sem Curvas

Método	Correção de Percurso	$\sigma$	Tempo (s)	$\sigma$
Lógica Booleana	4,8	1,93	31,75	6,49
Lógica Difusa	1,7	0,67	25,56	2,06

Fonte: Próprio Autor, 2017.

Neste primeiro teste o protótipo percorreu todo o trajeto sendo guiado pelos dois métodos, entretanto, já neste primeiro teste, percebe-se que com a lógica difusa, o veículo precisa realizar menos movimentos para correção de percurso, resultando em um menor tempo médio de percurso, comprovando que o protótipo pode reconhecer diferentes colorações, tanto da trilha, como também da pista.

Outro experimento empregado foi uma pista oval fechada, com curvas de 15cm de raio e trilha de cor azul com 1 milímetro de espessura. Neste teste, em cerca de 80% das simulações realizadas nesta pista, o veículo percorreu o trajeto corretamente com a lógica difusa. Este percentual decaiu consideravelmente com o emprego da lógica tradicional, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do teste realizados na Pista Oval

Método	Correção de Percurso	$\sigma$	Tempo (s)	$\sigma$
Lógica Booleana	21,2	4,44	61,86	5,56
Lógica Difusa	0,60	0,84	37,95	5,15

Fonte: Próprio Autor, 2017.

O próximo experimento foi concebido com uma pista de cor branca de comprimento 134 cm e trilha preta de espessura de 1,8 cm. Este circuito é composto por sete curvas, com ângulos agudos ou obtusos variados. Como resultado, em torno de 60% dos testes nesta pista o veículo percorreu o trajeto com a Lógica Booleana sem erros, e com a lógica difusa a taxa de acertos cresce consideravelmente, chegando aos 90%, diminuindo consideravelmente o tempo de percurso, como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do teste realizado na Pista sem Curvas

Método	Correção de Percurso	$\sigma$	Tempo (s)	$\sigma$
Lógica Booleana	14,3	1,25	41,86	2,90
Lógica Difusa	1,6	1,26	25,55	2,06

Fonte: Próprio Autor, 2017.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos realizados mostraram que o sistema proposto com a Lógica Difusa consegue guiar corretamente o protótipo sobre uma trilha a ser seguida, com 84,76% de acertos do trajeto em comparação com a Lógica Booleana. Quanto melhor for a qualidade das imagens a serem processadas, melhores serão os resultados alcançados. A luminosidade do ambiente deve ser uniforme para que o protótipo não apresente erros inerentes a este fator. O emprego da Lógica Difusa resultou em uma implementação de código mais simplificado e menor em comparação com a Lógica Booleana, uma vez que foram necessários apenas definir três estados para guiar o protótipo.

Como resultado deste estudo, pretende-se contribuir para o aperfeiçoamento dos meios de transporte, podendo a metodologia proposta ser considerada como alternativa para condução autônoma em veículos de diferentes fins, como robôs em ambientes fabris, onde não é possível empregar o ser humano como forma de controle ou até mesmo em carros de passeio, proporcionando uma maior segurança para motoristas e passageiros. Para estudos futuros, propõe-se as seguintes melhorias:

- Controlar a espessura da trilha a ser seguida. Os experimentos demonstram que o veículo é capaz de seguir qualquer configuração de trilha, podendo resultar em erros de percurso;
- Controlar a cor da trilha. Em situações reais, as rodovias são sinalizadas com cores pré definidas e o protótipo deveria reconhecer esta diferenciação;
- Pesquisar ou desenvolver métodos mais eficientes que a Transformada Probabilística de Hough para identificar segmentos de reta, diminuindo o tempo médio de processamento para cada quadro do sistema;
- Empregar uma câmera com ajuste automático de foco. O protótipo move-se quadro a quadro pela falta do controle de foco.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. S. C. d. A.; JORGE, M. H. P. d. M. **Internações hospitalares por lesões decorrentes de acidente de transporte terrestre no Brasil, 2013: permanência e gastos.** Epidemiologia e Serviços de Saúde, SciELO Public Health, v. 26, n. 1, p. 31–38, 2017.
- BEZERRA, J. S. et al. Ambiguidades No Sistema GNSS. In: **Simpósio de Ciências Aplicadas da FAEF, Agronomia**, 12, 2016, Garça-SP. Anais do XIX Simpósio de Ciências Aplicadas. Garça: Editora FAEF, 2016.
- BOOLE, G. **An investigation of the laws of thought: on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities.** [S.l.]: Dover Publications, 1854.
- BOYER, C. B.; MERZBACH, U. C. **A history of mathematics.** [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.
- BURLAMAQUI, A. M. F. et al. Regras e instruções - Prova Nacional Modalidade Prática - 2017. In: OBR. Olimpíada Brasileira de Robótica. [S.l.], 2017.
- GABRIEL, Thiago Alberto Ramos. **Desenvolvimento de baixo custo de um veículo terrestre não tripulado.** 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- GOMES, O. S. M. et al. **Robô seguidor de linha para competições.** ForScience, v. 2, n. 2, p. 07–11, 2015.
- GEORGE, A. M. et al. **Open cv pattern based smart bank security system with theft & identification using android.** In: IEEE. Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), 2016 2nd International Conference on. [S.l.], 2016. p. 254–257.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.** [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007.
- HOUGH, P. V. **Method and means for recognizing complex patterns.** [S.l.], 1962.
- JONES, A.; KAUFMANN, A.; ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy sets theory and applications.** [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2001.
- JUNG, C. R. et al. **Computação embarcada: Projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes.** Anais do CSBC, v. 5, p. 1358–1406, 2005.

- JUNIOR, E. S. da F. **Sistema de controle, navegação e roteirização**. Anais do 1º Encontro do Fundo Setorial de Pesquisa em Transportes Terrestres e Hidroviários, p. 25, 2013.
- KHAN, M. O.; PARKER, G. **Learning live autonomous navigation: A model car with hardware arduino neurons**. 2014.
- KOPONEN, T.; HOTTI, V. **Open source software maintenance process framework**. In: ACM. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. [S.l.], 2005. v. 30, n. 4, p. 1–5.
- LOPES, W. A.; TORRICO, C. R. C.; FAVARIM, F. **Projeto de robô autônomo seguidor de linha utilizando mapeamento de pista e controle híbrido**. Anais do Computer on the Beach, p. 608–610, 2017.
- MARGOLIS, Michael. **Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects**. " O'Reilly Media, Inc.", 2011.
- MOURA, M. et al. **Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na amazônia**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 7, n. 2, p. 163–168, 1999.
- NUNES, L. et al. **Projeto e desenvolvimento de um robô autônomo seguidor de trilha**. XV Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2012
- PATSKO, L. F. **Aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, 2006.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. [S.l.]: Elsevier, 2004.
- SANDRI, Sandra; CORREA, Cláudio. *Lógica nebulosa*. **Instituto Tecnológico da Aeronáutica–ITA, V Escola de Redes Neurais, pp. C073-c090, São José dos Campos**, 1999.
- SENA, A. S. **Microcontroladores PIC**. 2005.
- SUGENO, M.; YASUKAWA, T. **A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling**. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, v. 1, n. 1, p. 7–31, 1993.
- UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi user guide**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. **Global status report on road safety: time for action**. Online-Dokument. 2017.
- WOLF, D. F. et al. **Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real**. In: Mini-Curso: Jornada de Atualização em Informática (JAI), Congresso da SBC. [S.l.: s.n.], 2009. p. 13.
- ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. *Information and control*, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.