

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

THOMAS MASSARU OKUYAMA

**CONSTRUÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVEL
MEDIANTE O USO ALGORITMO *FUZZY MAPS COGNITIVE*.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

THOMAS MASSARU OKUYAMA

**CONSTRUÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVEL
MEDIANTE O USO ALGORITMO *FUZZY MAPS COGNITIVE*.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015

THOMAS MASSARU OKUYAMA

**CONSTRUÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA ROBÓTICA
MÓVEL MEDIANTE O USO ALGORITMO *FUZZY MAPS COGNITIVE*.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às **19:30h** do dia **18** de **Novembro** de **2015**, sala **i104** como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio
Professor (a) Orientador (a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Esp. Carlos Alberto Paschoalino
Professor (a) Convidado (a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Esp. Edmar Piacentini Junior
Professor (a) Convidado (a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus regente de todas as coisas, pela força e sabedoria necessária para conclusão do curso.

- Aos meus pais Orlando T. Okuyama e Leonice K. Okuyama pelos valiosos ensinamentos primordiais, pela educação, por apoiarem minhas decisões e pelos puxões de orelhas nas horas necessárias.

- Aos meus irmãos Daniel, Mariana e Adolfo, pelo companheirismo e incentivo nas horas de descontentamento.

- Aos meus tios Dirceu/Yuka, pela paciência, atenção e compreensão tanto nos momentos importunos quanto nos favoráveis.

- Aos tios Cláudio/Elza pela acolhida e apoio.

- Ao meu orientador Professor Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio pelos ensinamentos e orientações nos artigos, trabalho de conclusão e estágio.

- A minha banca composta pelos membros: Professor Esp. Carlos Alberto Paschoalino e Professor Esp. Edmar Piacentini Junior pela credibilidade na realização deste trabalho e pelas importantes dicas de elaboração, valorizando o trabalho.

- Ao professor Dr. Marcio Mendonça pela paciência, ensinamentos, confiança e orientação no PIBIC.

- A todos professores e voluntários do LABSIEE (Laboratório de segurança e eficiência energética) pelo apoio, companheirismo e ajuda nos momentos de dúvidas.

“Ser simples não é sinônimo de medíocre. É ser claro e objetivo”.

Marco Antônio Ferreira Finocchio.

RESUMO

OKUYAMA, Thomas Massaru. **CONSTRUÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVEL MEDIANTE O USO ALGORITMO FUZZY MAPS COGNITIVE. 2015.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

Este trabalho apresenta uma proposta de controle de navegação autônoma através da aplicação de Fuzzy Cognitive Maps em uma plataforma *open source* de baixo custo, Arduino. Fuzzy Cognitive Maps é uma técnica computacional inteligente que tem baixo custo computacional. Desse modo, é possível embarcar com poucos recursos de memória e processamento. Detalhes construtivos e do algoritmo implementado em uma plataforma robótica também são contemplados.

Palavras-chave: Microcontrolador Arduino, Mapas Cognitivos Fuzzy, Sistemas Embarcados, Lógica Fuzzy, Plataforma Robótica Móvel.

ABSTRACT

OKUYAMA, Thomas Massaru. **CONSTRUCTION AND AUTOMATION OF PLATFORM MOBILE ROBOTICS BY USE ALGORITHM MAPS COGNITIVE FUZZY**. 2015. Work Completion of course (Graduation in Technology in Industrial Automation) - Federal Technological University of Paraná . Cornélio Procópio, 2015.

This paper presents a proposal for autonomous navigation control by applying Fuzzy Cognitive Maps on an open source platform for low cost Arduino. Fuzzy Cognitive Maps is an intelligent computational technique that has low computational cost. Thus, it is possible to embark with little memory and processing resources. Construction details and the algorithm implemented on a robotic platform are also contemplated.

Keywords: Arduino Microcontroller, Fuzzy Cognitive Maps, Embedded Systems, Fuzzy Logic, Mobile Robotic Platform.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 RESENHA BIBLIOGRAFICA	15
1.3 OBJETIVO	16
1.4 ESCOPO DO TRABALHO	16
2 CONTRUÇÃO DA PLATAFORMA ROBÓTICA.....	17
2.1 KINEMÁTICA ASPECTOS DE CONSTRUÇÃO.....	17
2.1.1 RODAS.....	17
2.1.2 CONCEITO DE POSICIONAMENTO.....	20
2.1.3 MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO	21
3 MATERIAIS.....	22
3.1 ARDUINO	22
3.1.1 HARDWARE.....	23
3.1.2 <i>SOFTWARE</i>	25
3.2 PONTE H.....	26
3.3 SENSOR ULTRASSÔNICO	27
4 TEORIA FUZZY.....	29
4.1.1 FUZZIFICAÇÃO.....	29
4.1.2 PERTINÊNCIA.....	30
4.1.3 DEFUZZIFICAÇÃO.....	30
4.1.4 INFERÊNCIA	30
4.2 FUZZY MAPS COGNITIVE.....	31
5 DESENVOLVIMENTO.....	34
5.1 ALGORITMO FUZZY	34
5.2 MONTAGEM DA PLATAFORMA	39

6 TESTES/VALIDAÇÃO DO ALGORITMO	40
6.1 TESTES INICIAIS	40
6.1.1 VALOR DAS DISTÂNCIAS DOS SENSORES.....	40
6.1.2 VALORES DOS SENSORES COM O FCM.....	41
6.1.3 VELOCIDADE DAS RODAS EM RELAÇÃO ÀS DISTÂNCIAS	42
6.2 TESTE FUNCIONAL.....	43
7 CONCLUSÃO	44
8 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de plataformas.	17
Figura 2. Tipos de rodas: 1) convencional, 2) rodízio, 3) sueca 90° e 45°, 4) esférica.	18
Figura 3. Largura de pulso (<i>Pulse-Width</i>).	19
Figura 4. Referência de localização no plano.	20
Figura 5. Representação do movimento angular	21
Figura 6. Arduino Uno	23
Figura 7. Microcontrolador ATmega328.	24
Figura 8. Ambiente de desenvolvimento (IDE) arduino.	25
Figura 9. Esquema ligação CI L293.	26
Figura 10. Posicionamento sensor ultrassônico.	27
Figura 11. Objeto com interferência.	28
Figura 12. Comparação fuzzyXbooleana	29
Figura 13. Conjunto inferência matlab.	30
Figura 14. Modelo diagrama fcm	31
Figura 15. Modelo do mapa cognitivo da plataforma	34
Figura 16. Resultado simulação Matlab.	35
Figura 17. Representação plataforma sem obstáculo.	36
Figura 18. Representação plataforma obstáculo a esquerda.	37
Figura 19. Representação plataforma com obstáculo a direita.	38
Figura 20. Plataforma pronta	39
Figura 21. Comparativo entre distância	40
Figura 22. Demonstração teste de distancia e atuação do FCM.	41
Figura 23. Teste ação PWM na roda	42
Figura 24. Plataforma em teste.	43
Figura 25. Espaço utilizado pelo algoritmo.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Peso W	36
------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

FCM – Fuzzy Maps Cognitive
PWM – Pulse Width Modulation
PW - Pulse Width
KB - Kilobytes
MHz - Megahertz
USB Universal Serial Bus
V - volt
A – Ampére
ICSP – Controlador Programação Serial Interno
CI - Circuito Integrado
D – Distância
V - Velocidade
T - Tempo
m/ms - Metros/Milissegrundos
MS - Milissegrundos
ME - Motor Esquerdo
MD - Motor Direito
SD - sensor esquerdo
SF - Senso frontal
SE – Sensor esquerdo
SRE - Saída roda esquerda
SED – Saída roda direita

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade o uso de robôs está em ascensão. Tarefas em lugares de difícil acesso, com alto nível de periculosidade ou até mesmo impossíveis, como desarmar uma bomba ou expedições no fundo do mar, podem ser realizadas com facilidade através do uso de robôs (ROSÁRIO, 2010).

Os Robôs Móveis Autônomos contem uma vasta diversidade de hardware embarcados, de acordo com o tipo e as finalidades para as quais são projetados (DUDEK e JENKIN, 2000). Podendo equipar se com sensores (visão, infravermelho, sonar, tato, toque, sistemas de navegação inercial, etc.) os quais permitem a projeção parcial ou até mesmo completa de um ambiente desconhecido (MURPHY, 2000). É apto a tomar decisões próprias, que lhe concede desenvolver uma tarefa sem intervenção humana (COPPIN, 2010).

A lógica *fuzzy*, comumente conhecida como lógica nebulosa, tem como propósito a modelagem do raciocínio humano de forma aproximada, a fim de desenvolver sistemas computacionais para o processo de tomada de decisão em ambientes incertos (ZADEH, 1965).

A lógica difusa é uma generalização da lógica convencional (Booleana) que foi expandida para acolher o conceito de verdade parcial – valores de verdade entre “completamente verdade” e “completamente falso”, tendo sido introduzida por (ZADEH, 1965) como um meio de modelar a incerteza e a imprecisão da linguagem natural.

Devido ao espaço reduzido de memória e as limitações existentes na lógica convencional (booleana) que trabalha somente com duas variáveis estado ligado (1) e desligado (0), opta-se por utilizar o algoritmo *fuzzy maps cognitive* (FCM) o qual nos permite trabalhar com conceitos e pesos para chegar a um resultado mais preciso.

1.1 JUSTIFICATIVA

Uso para fins didáticos, onde o aluno pode desenvolver na prática o aprendizado na sala de aula.

Os estudos sobre FCM, juntamente com o desenvolvimento de uma plataforma móvel acessível e utilização de sensores ultrassônicos, vem a ser de grande importância, uma vez que será desnecessária a reprogramação da mesma em cenários diferentes. Devido ao processamento rápido, o controle em tempo real é versátil, e os movimentos suaves e precisos, sem intervenção humana.

Estes fatores justificam o desenvolvimento deste trabalho, pode-se citar também a grande abrangência de trabalho, podendo ser implementado na grande área de segurança e exploração.

1.2 RESENHA BIBLIOGRAFICA

Alguns trabalhos a seguir são propostos com o desenvolvimento de plataforma robótica ou teoria e conceitos sobre o uso do FCM.

A tese de doutorado de (MENDONÇA, 2011), com o título “Uma contribuição ao desenvolvimento de sistemas inteligentes utilizando redes cognitivas dinâmicas”, apresenta teoria e conceitos sobre a utilização dos mapas cognitivos *fuzzy*.

Em sua monografia de graduação (BRAGA, 2014), intitulada “Estudo para fabricação de um protótipo de robô móvel com rodas para aspiração de pó doméstica”, apresenta estudo sobre Sistema de Locomoção de um protótipo móvel com rodas.

No artigo científico (MENDONÇA, ARRUDA, NEVES, 2011), com o tema “*Autonomous navigation system using event driven-fuzzy cognitive maps*”, apresentou o uso dos mapas cognitivos para navegação autônoma de plataformas robóticas móveis.

Já (GLYKAS, 2010), em seu livro “*FUZZY COGNITIVE MAPS*”, descreve teoria e vários exemplos utilizando FCM.

1.3 OBJETIVO

Esta monografia tem como objetivo apresentar conceitos da construção de uma plataforma robótica móvel e controle através da lógica *Fuzzy Maps Cognitive* (FCM).

Demonstrar de forma prática a eficiência da lógica na navegação autônoma de plataformas móveis, realizando movimentos suaves e precisos.

1.4 ESCOPO DO TRABALHO

Capítulo 1 apresenta a contextualização do problema em estudo.

Capítulo 2 aborda um estudo sobre a cinemática

Capítulo 3 faz uma apresentação dos materiais utilizados no trabalho.

Capítulo 4 apresenta conceitos sobre lógica *fuzzy* e *fuzzy maps cognitive*.

Capítulo 5 apresenta desenvolvimento lógico e prático do trabalho

Capítulo 6 testes e validação do algoritmo

Capítulo 7 resultados e conclusão geral da monografia.

2 CONTRUÇÃO DA PLATAFORMA ROBÓTICA

Este capítulo descreve a teoria cinemática sobre construção de plataforma robótica móvel.

2.1 KINEMÁTICA ASPECTOS DE CONSTRUÇÃO

Kinemática é o estudo básico sobre o comportamento do sistema mecânico dos robôs. Na robótica móvel precisa-se entender o propósito de criação para depois começar a desenvolver seu mecanismo de forma mais eficiente

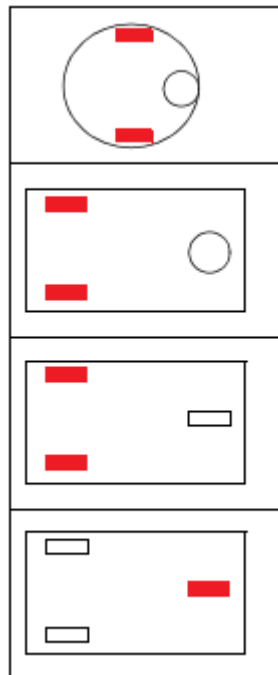


Figura 1. Tipos de plataformas.

2.1.1 RODAS

A roda é o meio de locomoção mais utilizado na robótica móvel e nos veículos em geral criado pela humanidade. Estabilidade não é um problema, pelo fato de estar permanentemente em contato com o solo, três rodas é o suficiente para garantir estabilidade, mas dependendo do projeto, é possível ser fabricado com duas rodas. Quando mais de três rodas são usadas é

necessária uma suspensão para manter o contato constante em terrenos irregulares. Na figura 2 são apresentados os tipos de rodas



Figura 2. Tipos de rodas: 1) convencional, 2) rodízio, 3) sueca 90° e 45°, 4) esférica.

A roda convencional é fixa geralmente utilizada somente para apoio, realiza movimento com muita resistência em seu eixo Z. Diferente da roda convencional, o rodízio possui um rolamento, capaz de efetuar rotação em sua base de apoio resultando na realização de manobras com pouco ou nenhuma resistência ao solo. As rodas suecas e esféricas possuem um desenho que ocasiona menos restrições à mudança de sentido. A roda sueca é similar a convencional, porém devido ao ângulo de seus rolos presentes em suas rodas, aplica pouco atrito na variação de sentido, já a roda esférica, como o próprio nome sugeriu, possui uma esfera omnidirecional, possibilitando deslizar em qualquer direção, similar o rodízio, mas não possui roda, apenas uma esfera.

2.1.1.1 MODULAÇÃO LARGURA DE PULSO (*PULSE WIDTH MODULATION- PWM*)

Para movimentar as rodas será utilizado modulação por largura de pulso, presente nos motores.

A técnica de PWM é empregada em diversas áreas da eletrônica, talvez a mais comum seja a utilização em fontes chaveadas, mas também pode ser utilizada para controle de velocidade de motor, controle de luminosidade, controle de servo motor e diversas outras aplicações. PWM significa "*Pulse Width Modulation*" ou Modulação de Largura de Pulso, ou seja, através da

largura do pulso de uma onda quadrada é possível o controle de potência ou velocidade (MECAWEB, 2015).

Imagine uma chave simples liga e desliga, quando ligada 100% da tensão e da potencia é aplicada a carga, já quando a chave esta aberta a tensão é nula e assim a potência é 0. Quando controla-se o tempo que a chave fica ligada e conseqüentemente o tempo dela desligada podemos controlar a potencia média entregue a carga, por exemplo: a chave fica ligada 50% ligada e 50% desligada, isso quer dizer que em média temos 50% do tempo com corrente e 50% sem. Portanto a potência média aplicada na carga é a própria tensão média, ou seja, 50%, portanto quanto maior o tempo que o pulso se manter em nível lógico alto, ou seja, ligado maior a potencia entregue a carga, quanto menor o tempo em nível lógico alto menor a entrega de potencia. A figura 3 apresenta um tipo de modulação de pulso que pode ser utilizada



Figura 3. Largura de pulso(*Pulse-Width*).

Calculo do *duty cycle* (ciclo de variação) é apresentado pela equação 1:

$$periodo = largura\ do\ pulso + tempo\ desligado$$

$$periodo = 40\mu s + 10\mu s = 50\mu s$$

$$duty\ cycle = 100 * \left(\frac{largura\ do\ pulso}{periodo} \right) \quad (1)$$

$$duty\ cycle = 100 * \left(\frac{40}{50} \right) = 80\%$$

2.1.2 CONCEITO DE POSICIONAMENTO

A representação da plataforma apresentada a seguir, esta em um plano rígido (chassi) com rodas, operando em um plano horizontal, graus de liberdades (rodas, juntas e etc) estão desconsiderados. Sendo duas coordenadas para orientação global X_1 e Y_1 . Y_r e X_r são coordenadas referentes ao ponto P da plataforma. A diferença angular entre P e a coordenada global é representada por θ , pode considerar também como ângulo de orientação do robô. A figura 4 apresenta a referência no plano.

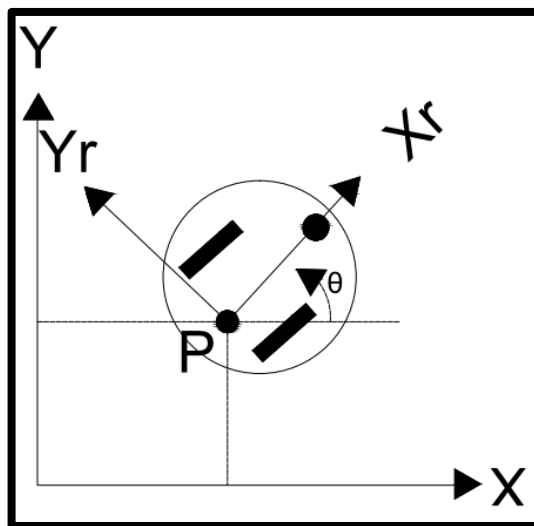


Figura 4.Referência de localização no plano.

Assim pode-se denotar a posição do robô em um vetor da seguinte forma.

$$\xi_1 = \begin{matrix} x_r \\ y_r \\ \theta \end{matrix} \quad (2)$$

Onde: x_r e y_r representa as referências locais e θ a diferença angular entre a referência global e local.

2.1.3 MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO

Para descrever a movimentação do robô será necessário transformar o movimento angular de referencia local para as movimentações no referencial inercial do robô esta transformação é uma função da posição atual do robô e pode ser alcançada utilizando a matriz ortogonal de translação, conforme mostra a figura 5.

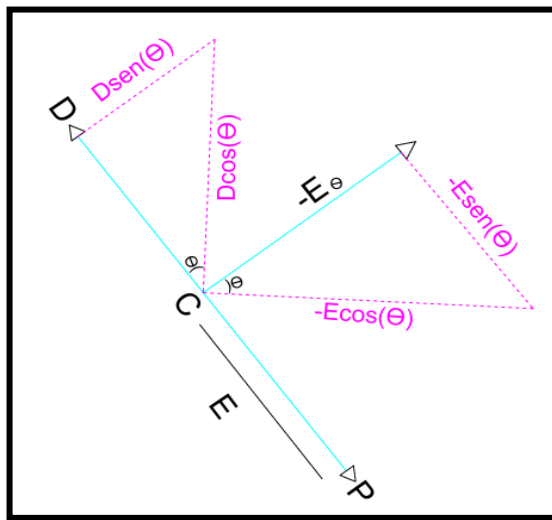


Figura 5. Representação do movimento angular

De acordo com o movimento é possível transladar e efetuar rotação uma vez que para obter rotação, basta movimentar somente um lado.

A seguir tem-se o sistema representando a velocidade angular

$$\begin{aligned} X_c &= \cos(\theta) - E_{sen}(\theta) \\ Y_c &= \sin(\theta) + E_{cos}(\theta) \\ \theta &= \omega \end{aligned} \quad (3)$$

3 MATERIAIS

Este capítulo apresenta os materiais para construção da plataforma.

3.1 ARDUINO

Para (ARDUINOCC, 2014). A placa Arduino é uma plataforma de prototipagem de código aberto baseado em *software* (ambiente de programação) e *hardware* (equipamento) descomplicados. É uma placa simples, porém muito funcional atendendo os requisitos para o projeto. As portas são multifuncionais, atua na leitura de dados de sensores ou pode comandar a velocidade de um motor por exemplo. Possui ampla biblioteca e muitos exemplos e devido ao código aberto não é necessário pagamento de direitos autorais.

Foi escolhido devido ao baixo custo, por ser fácil, rápido, prático, eficiente e descomplicado para programar. É responsável por toda parte de processamento e controle da plataforma robótica. A seguir uma breve explicação dividida em duas partes: *hardware* e *software*.

3.1.1 HARDWARE

O arduino uno é uma placa de prototipagem fundamentado no microcontrolador Atmega328p, são apresentadas na figura 6 e 7.



Figura 6. Arduino Uno

Dispõe de 28 pinos separados da seguinte forma:

- 14 conexões digitais de entrada ou saída (dos quais 6 pinos para controle PWM)
- 6 conexões analógicas
- 2 conexões Terras
- 4 conexões para tensões
- 1 *switch Reset*
- 1 Porta reservada

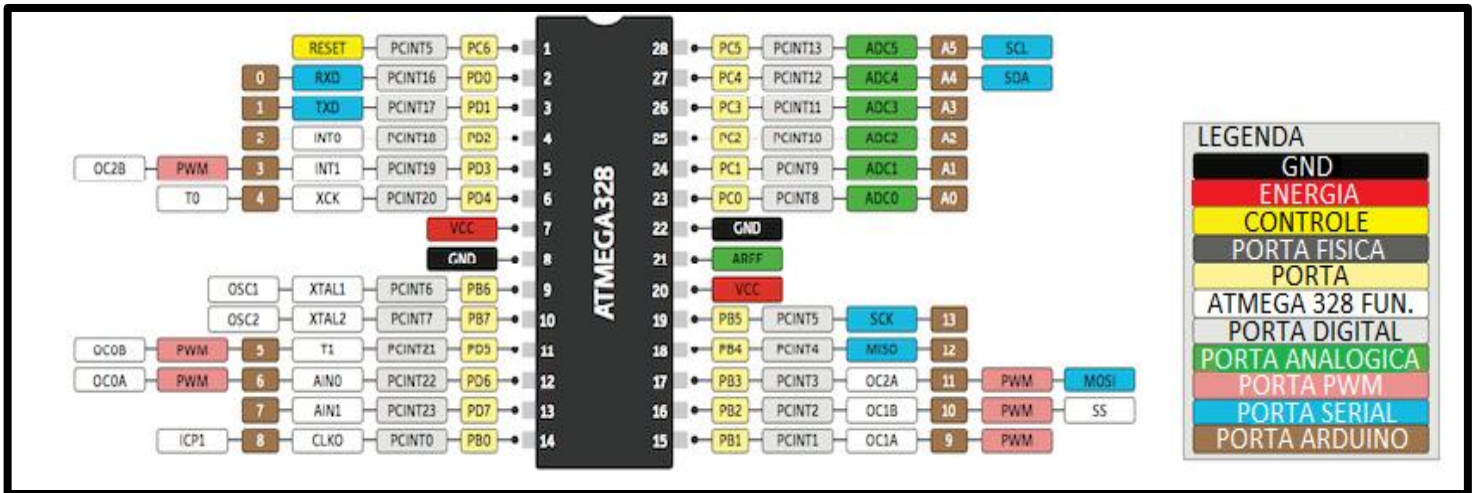


Figura 7. Microcontrolador ATmega328

O microcontrolador ATmega328PU visto na figura 7, possui 32kb de memória *flash* que é utilizada pelo algoritmo depois de compilado, possui capacidade de processar até 8MHz através de um oscilador interno, porém para expandir essa capacidade, utiliza nas placas arduino um cristal externo de quartzo 16 MHz dedicado para processar cálculos, informações de entrada e outros. Uma conexão USB, entrada de energia, bloco de transferência serial ICSP e um botão de reset é o suficiente. Para funcionar basta conectar ao computador através da porta USB ou usar uma fonte CC/bateria, a tensão máxima de alimentação é 20V/1A, mas recomenda-se de 5V a 12V com corrente de 1A.

3.1.2 SOFTWARE.

O *software* é um ambiente integrado de desenvolvimento (IDE), utiliza interface gráfica JAVA, desenvolvido em linguagem c/c++. É responsável pela escrita do algoritmo em linguagem c/c++ e compilamento. Possui uma vasta biblioteca e também exemplos de projetos primários. A figura 8 apresenta o ambiente de desenvolvimento.

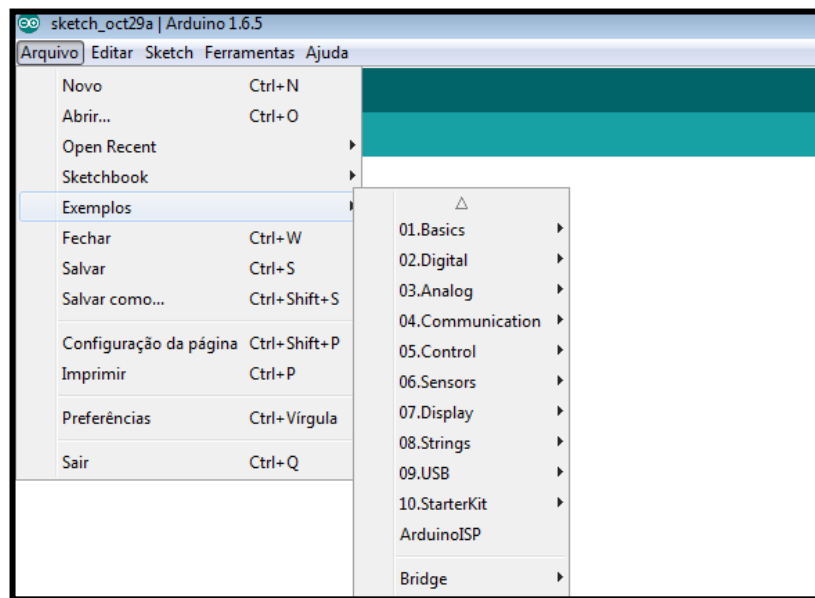


Figura 8. Ambiente de desenvolvimento (IDE) arduino.

3.2 PONTE H

O CI utilizado para controle das rodas foi o L293 semelhante ao chaveamento com transistores. É um circuito de controle duplo, capaz de controlar dois motores através da modulação de sinal para frente ou para trás. e regular a velocidade conforme a largura de pulso (*Pulse Width Modulation*) definida no algoritmo. Opera de 4.5V a 36V numa corrente de 2 amperes por canal. A figura 9 apresenta um modelo de CI ponte h

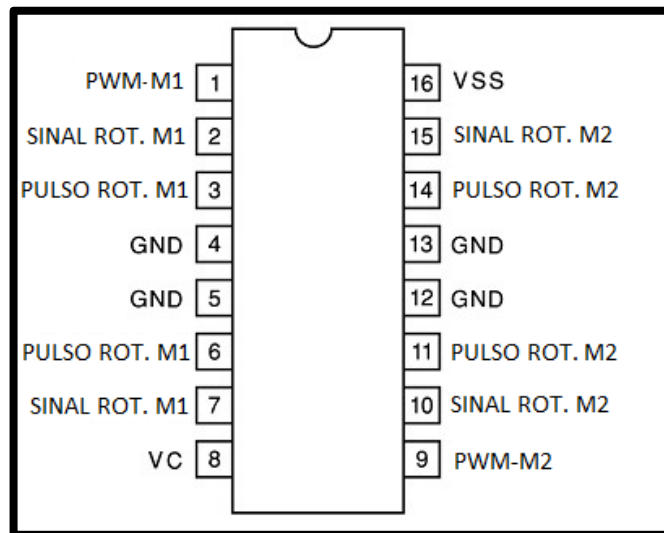


Figura 9. Esquema ligação CI L293

3.3 SENSOR ULTRASSÔNICO

O princípio básico de operação é similar ao do sonar utilizado pelo morcego para capturar suas presas durante um voo, esses sensores se caracterizam por operar por um tipo de radiação não sujeita a interferência eletromagnética e totalmente limpa, o que pode ser muito importante para determinados tipos de aplicações onde envolvam magnetismo (SABERELETRÔNICA, 2013).

Na prática um sensor ultrassônico é formado por um emissor e um receptor, tanto fixados num mesmo conjunto como separados, dependendo do posicionamento relativo desejado. A figura 10 apresenta o posicionamento correto para funcionamento dos sensores.

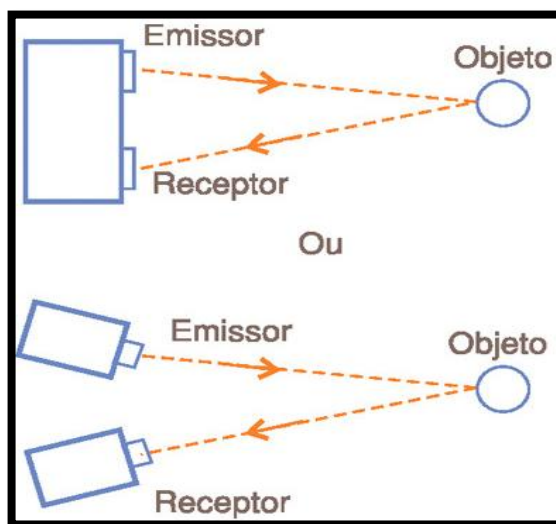


Figura 10. Posicionamento sensor ultrassônico

Um dos grandes problemas desse tipo de sensor, dependendo da natureza do material a ser detectado, o ultrassom pode tanto penetrar como passar por reflexões múltiplas. Essas reflexões podem falsear as indicações por um efeito de interferência destrutiva. Na figura 11 podemos notar um caso de interferência nos sensores.

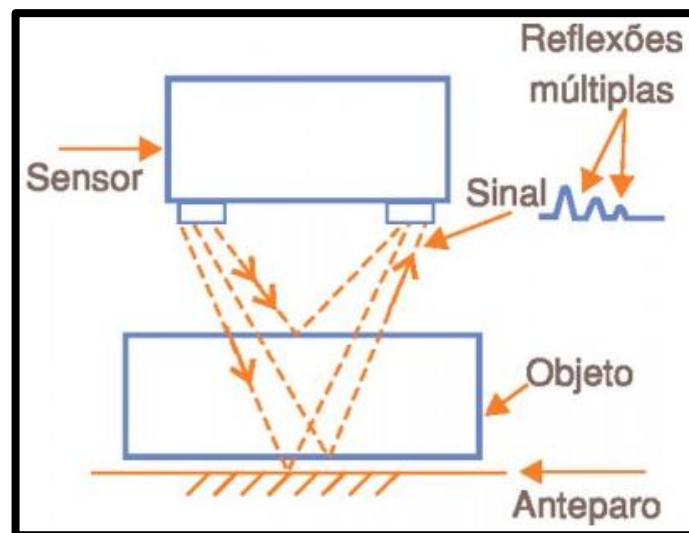


Figura 11. Sensor com interferência.

Para medir a distância é utilizado a equação 4:

$$D = v * t \quad (4)$$

Onde:

- d= distancia percorrida
- v= velocidade da onda percorrida
- t= tempo de percurso

Um importante ponto é que a propagação de v do som é de aproximadamente 0,3 m/ms, podemos deduzir assim que para percorrer 3m é necessário 10ms.

4 TEORIA FUZZY

4.1 FUZZY

Para Lotfi A. Zadeh (ZADEH, 1965) a lógica *fuzzy*, comumente conhecida como lógica nebulosa, tem propósito a modelagem do raciocínio humano de forma aproximada, através de variáveis linguísticas (frio, quente, “muito” frio, “pouco” frio, “pouco” quente, “meio” frio entre outros) a fim de desenvolver sistemas computacionais para o processo de tomada de decisão em situações incertas. A figura 12 faz uma comparação entre os dois tipos de lógica.

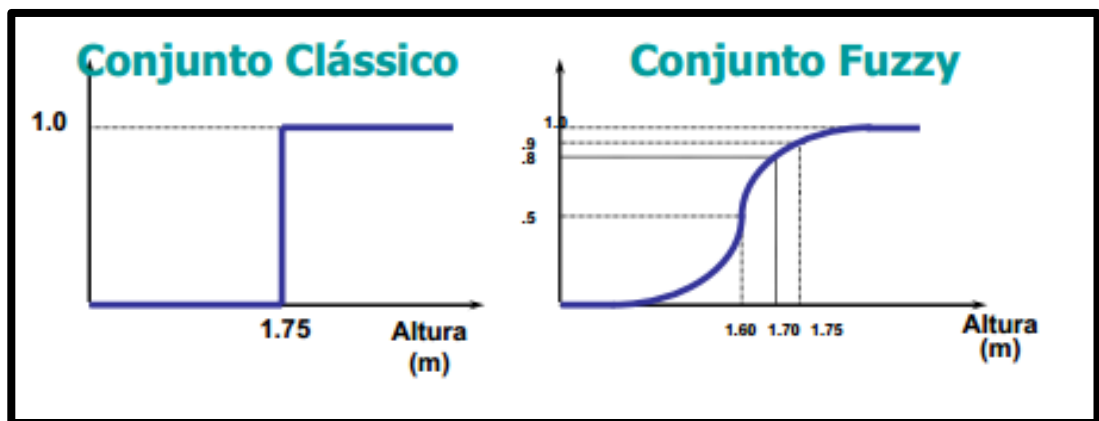


Figura 12. Comparação fuzzyXbooleana

A seguir são apresentados os conceitos básicos sobre o fundamento da lógica fuzzy.

4.1.1 FUZZIFICAÇÃO

É a transformação de um número impreciso em sua variável linguística, de acordo com os parâmetros definidos pelo especialista, em uma escala global entre pertinência máximo e mínimo.

4.1.2 PERTINÊNCIA

A função de pertinência associa a cada elemento x pertencente a X um número real $\mu_A(X)$ no intervalo $[0,1]$, isto é, o quanto é possível para o elemento x pertencer ao conjunto A

4.1.3 DEFUZZIFICAÇÃO

É o inverso de fuzzificação, a variável linguística é transformada em um valor, correspondente a resolução da imprecisão inicial, após passar pelo processo de inferência.

4.1.4 INFERÊNCIA

É o processo de definição do conjunto de regras para escolha a atuação de acordo com a variável linguística de entrada (fuzzificação) resultando na saída (defuzzificação) com aproximação entre imprecisão e possível solução, um exemplo é: “se” “Sensor Direito” estiver “muito perto”, “diminuir velocidade” Roda Esquerda. A figura 13 apresenta o conjunto de inferência.

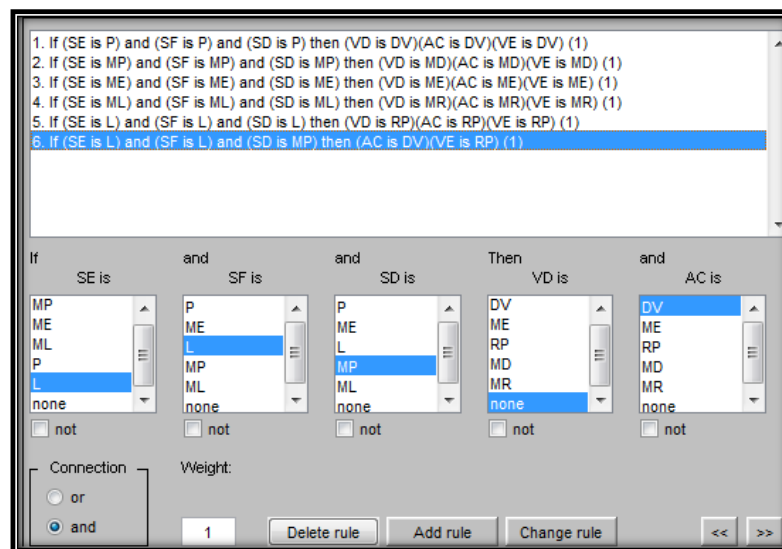


Figura 13. Conjunto inferência matlab.

4.2 FUZZY MAPS COGNITIVE

Os mapas cognitivos matemáticos estão relacionados em vias de formulários de seqüências, e os caminhos transmitem efeitos indiretos, a operação de combinação de efeitos diretos das relações que estão na seqüência em efeitos indiretos de um caminho é a multiplicação, quando dois ou mais caminhos começam com o mesmo ponto, terminam com o mesmo ponto, seus efeitos podem ser adicionados a um efeito total do primeiro ponto para o segundo (AXELROD, 1976).

Os FCM são diagramas em que os “nós” são variáveis lingüísticas, retratados por conceitos *Fuzzy*, e cada “nó” é interligado com outros através de “arcos” (KOSKO, 1986). Cada um destes “arcos” é interligado a um peso numérico, espelhando uma variável *Fuzzy* pertinente com o nível de motivação entre os conceitos. Cada conceito representa uma característica do sistema, em geral: eventos, ações, metas, valores e tendências do sistema modelado.

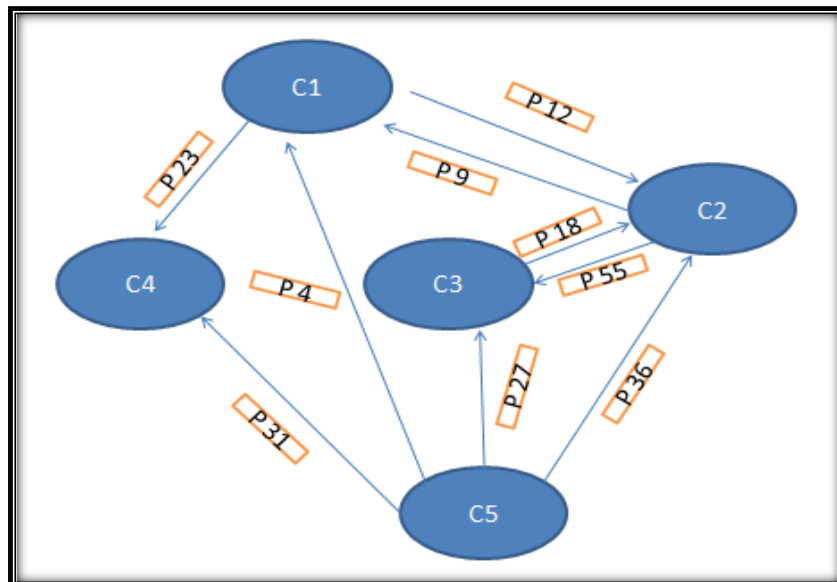


Figura 14. Modelo diagrama FCM

Cada um destes “arcos” é interligado a um peso numérico, espelhando uma variável *Fuzzy* pertinente com o nível de motivação entre os conceitos. Cada conceito representa uma característica do sistema, em geral: eventos, ações, metas, valores e tendências do sistema modelado. Além disso, cada

conceito é caracterizado por um número que representa seu valor e é o resultado da normalização, em um intervalo $[-1,1]$, do real valor da variável do sistema para qual este conceito foi modelado. Este intervalo representa a incerteza na relação causal que leva de um nó a outro (MENDONÇA, 2011).

Temos três relações possíveis entre conceitos:

- Expressão de causa positiva $W_{ij} > 0$.
- Negativa quando, $W_{ij} < 0$.
- E neutra $W_{ij} = 0$.

O valor de W_{ij} indica a influencia que o conceito C_i exerce sobre C_j , de acordo com a direção da interligação (peso).

Para (KOSKO, 1986) as principais etapas para o desenvolvimento do algoritmo FCM são:

1. Identificar os conceitos, definir suas interligações, determinar as relações entre conceitos que pode ser positiva, negativa ou nula sem efeito.
2. Coletar dados iniciais de acordo com opinião dos especialistas ou analisar o sistema de equação, quando conhecer o modelo matemático
3. Apresentar os dados referentes as opiniões em um sistema *fuzzy* tendo como saídas os valores dos pesos do FCM
4. Tratar informações, quando necessário ajustar de acordo com as respostas de saída desejadas
5. Validar o FCM com ajustes nas condições de entrada operação do sistema e saída.

A equação a seguir esta simplificado para não tirar o foco do trabalho e representa o calculo para o valor dos conceitos a cada passo do FCM proposto(GLYKAS, 2010). A equação 5 representa o cálculo do vetor conceitos

$$A^t = f(A^{t-1} W^{novo}) \quad (5)$$

Onde:

- A^t = é o novo vetor
- A^{t-1} = vetor A antigo
- W^{novo} = matriz com pesos

Sendo simplificada pela função sigmoide 6:

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (6)$$

Função sigmoide 7 para números negativos::

$$S(x) = \tanh(x) \quad (7)$$

Oque simplifica o embarque em microcontroladores.

5 DESENVOLVIMENTO

Foi estabelecidos três sensores de entrada, Sensor Esquerdo (SE), Sensor Frontal (SF) e Sensor Direito (SD). E para saída dois motores Motor Esquerdo (ME) e Motor Direito (MD).

Para navegação da plataforma foi definido aceleração constante nos motores e de acordo com as distancias dos obstáculos detectados pelos sensores, efetuar manobras evasivas conforme seguintes regras de inferência:

- Enquanto SE-SF- SD estiver longe seguir a frente
- Se SE estiver perto, “virar a direita” diminuir velocidade MD.
- Se SD estiver perto, “viras a esquerda” diminuir velocidade ME.
- Se SE e SF estiver perto, aumentar velocidade de ME e diminuir MD.
- Se SD e SF estiver perto, aumentar velocidade de MD e diminuir ME.

5.1 ALGORITMO FUZZY

Inicialmente foram definidos os conceitos(C) e pesos(W), levando em conta os valores positivos e negativos, obtendo o seguinte mapa sem ajuste dos pesos W. Fornecido pela figura 15

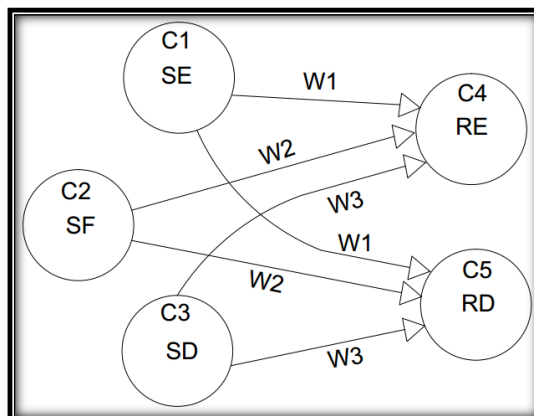


Figura 15. Modelo do mapa cognitivo da plataforma

Após cálculos utilizando matlab para estabilizar o valor dos conceitos(C) e peso(W), chegamos nos seguintes resultados, conforme pode ser visto na figura16.

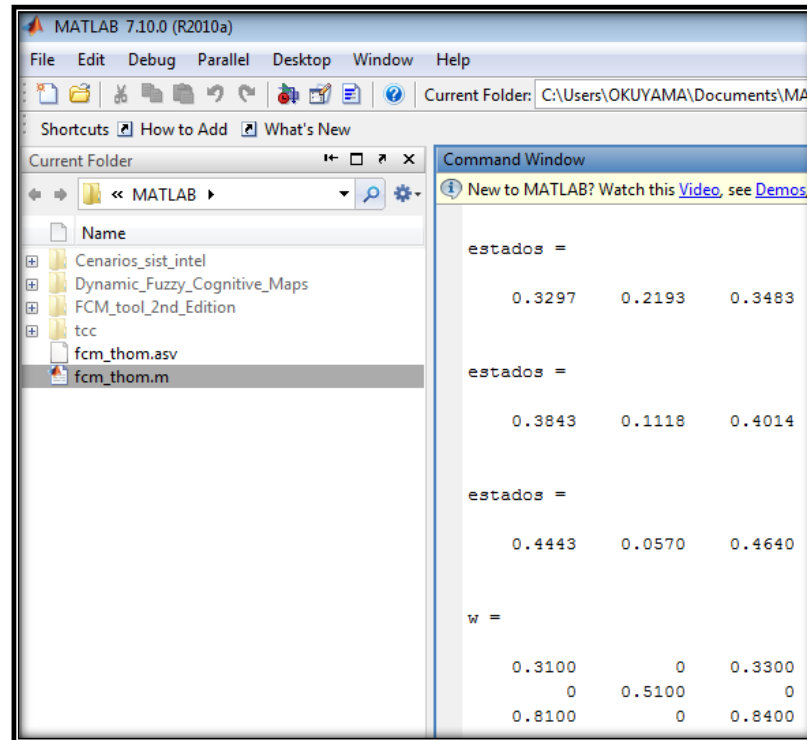


Figura 16. Resultado simulação Matlab

Representada pela fórmula sigmoide 8 utilizada:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-dx}} \quad (8)$$

Onde d representa a distância do sensor

Os valores de w serão representados conforme tabela 1 abaixo

Tabela 1. Peso W

w11	0.31
w13	0.81
w23	0.51
w31	0.33
w32	0.84

Abaixo as principais definições do controle utilizando a função sigmoide FCM:

Adotado SRD para saída rodas direita e SRE saída para roda esquerda

Frente:

O movimento frente é indicado a seguir pela função sigmoide 9.

$$SF(x) = \frac{1}{1 + e^{-SFx*w23}} \quad (9)$$

SRD=S(x)

SER=S(x)

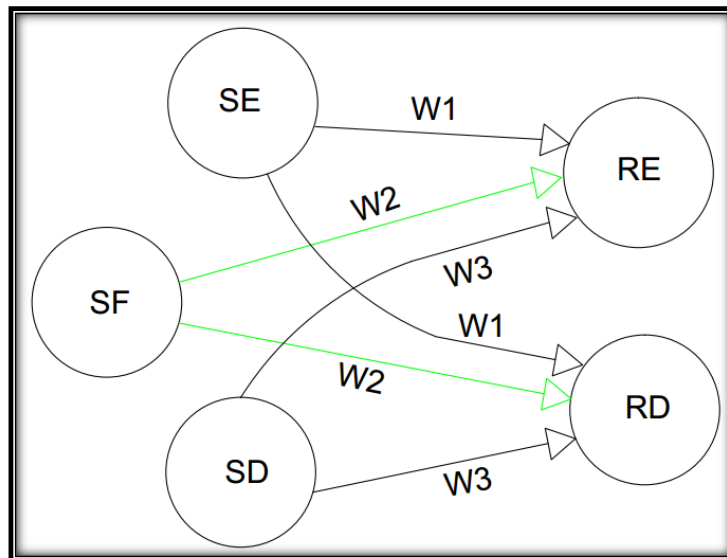


Figura 17. Representação plataforma sem obstáculo

Virar esquerda:

O movimento virar a esquerda é indicado a seguir pela função sigmoide 10.

$$SD(x) = \frac{1}{1 + e^{-Sx*w11}} \quad (10)$$

SRD=s(x)

SRE=s(x)-SD(x)

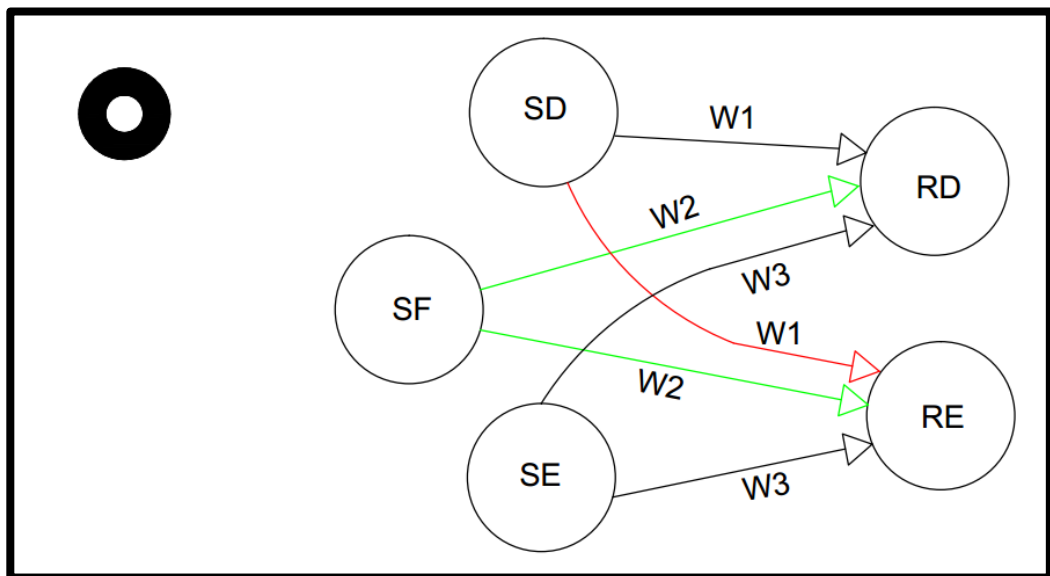


Figura 18. Representação plataforma obstáculo a direita

Virar direita:

O movimento virar a direita é indicado a seguir pela função sigmoide 11.

$$SE(x) = \frac{1}{1+e^{-SEx*w31}} \quad (11)$$

SRD=S(x)-SE(x)

SRE=S(x)

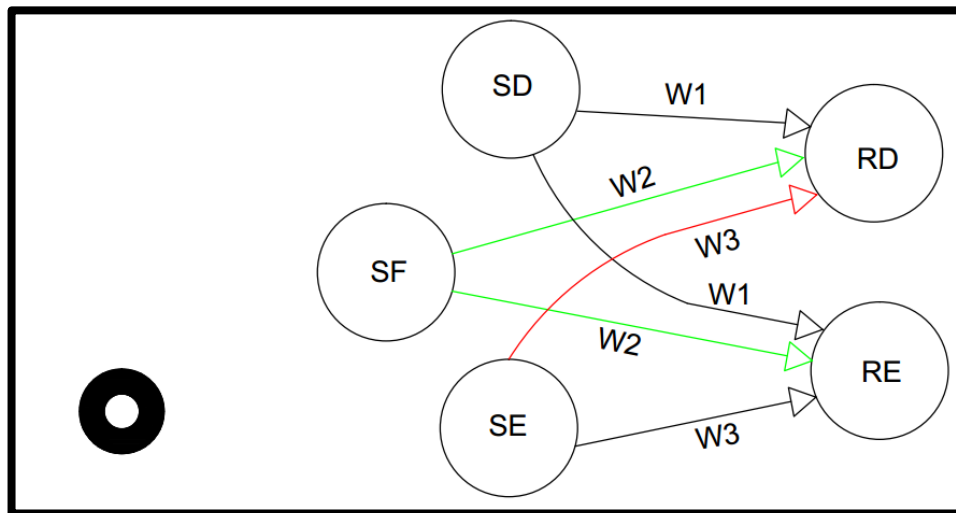


Figura 19. Representação plataforma com obstáculo a esquerda

5.2 MONTAGEM DA PLATAFORMA

A plataforma foi confeccionada em acrílico, com duas rodas traseiras com motores independentes e um rodízio. Na figura 20 observa-se a plataforma pronta.

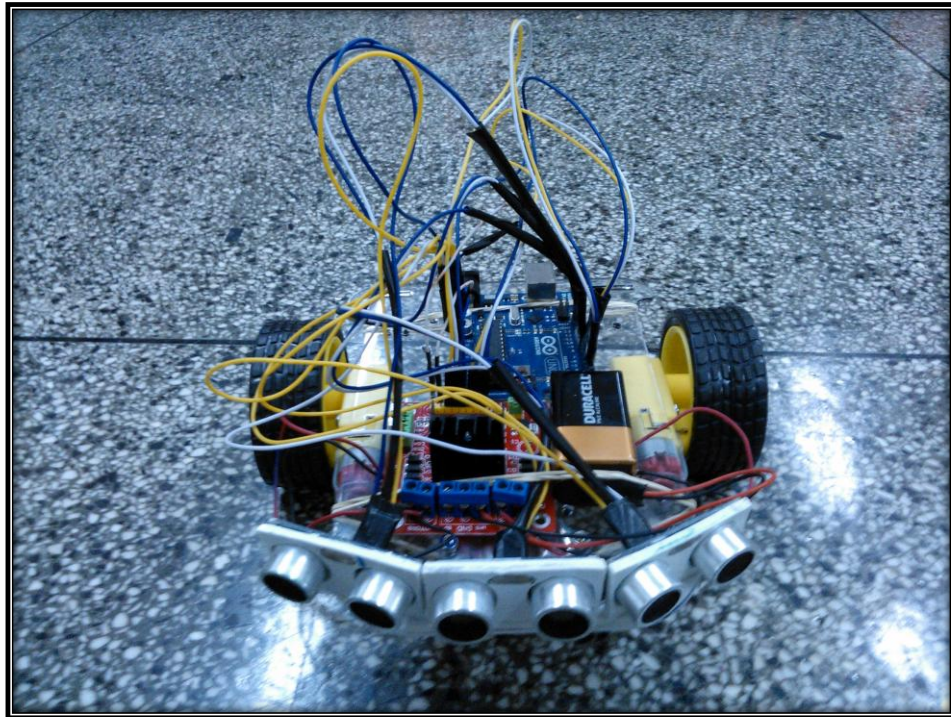


Figura 20. Plataforma pronta

6 TESTES/VALIDAÇÃO DO ALGORITMO

Apresentar os testes iniciais e funcionais da plataforma idealizada (projetada).

6.1 TESTES INICIAIS

Foram efetuados testes de distâncias reais dos sensores, conversão da distância em valor FCM e teste de distâncias movimentando a roda com PWM.

6.1.1 VALOR DAS DISTÂNCIAS DOS SENSORES

Após montagem dos sensores, foram efetuadas medições com os mesmos para aferir a distancia real dos sensores em relação a objetos. Utilizando régua para comprovar as distancia demonstrado na figura 21.

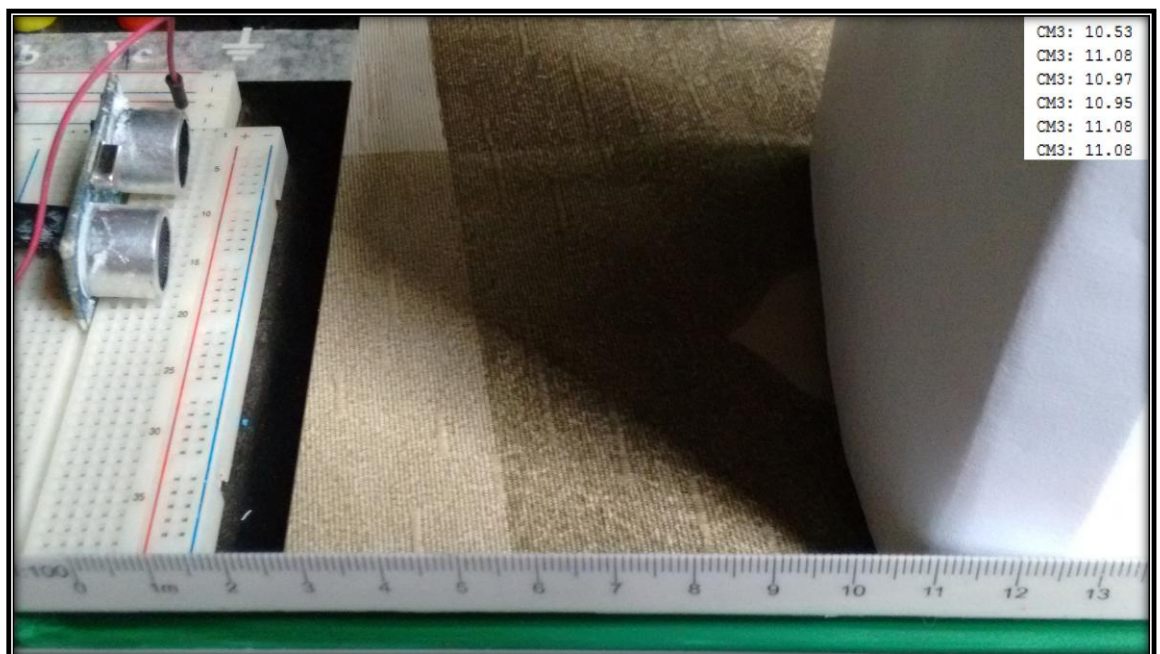


Figura 21. Comparativo entre distância

6.1.2 VALORES DOS SENSORES COM O FCM

Após teste de conferência, foi efetuado o teste de conversão da distancia (conceito) em relação a um peso(w) do algoritmo FCM, como é demonstrado na figura 22.



Figura 22. Demonstração teste de distancia e atuação do FCM.

6.1.3 VELOCIDADE DAS RODAS EM RELAÇÃO ÀS DISTÂNCIAS

Para finalizar os testes preliminares foi utilizado um sensor para medir a distancia, transformar a distancia em um conceito ponderando-o com um peso FCM e o resultado utilizado em um motor.

Após testes, verificamos na figura 23 que o motor diminuía velocidade de acordo com a aproximação de um objeto.

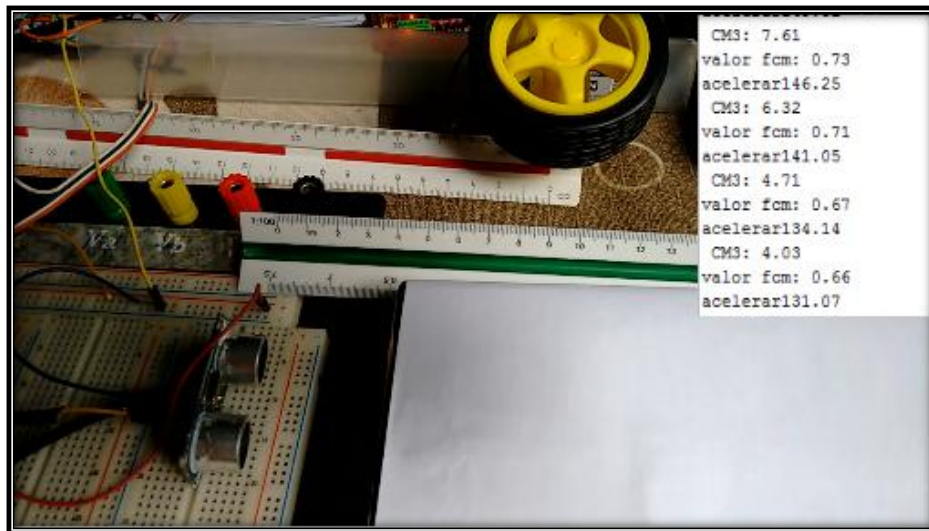


Figura 23. Teste ação PWM na roda

6.2 TESTE FUNCIONAL

È proposto um cenário com obstáculos para validação do teste final.



Figura 24. Plataforma em teste

Como demonstra a figura 24, pode-se notar a plataforma concluindo o seu trajeto que está representado pelo caminho na cor preta.

7 CONCLUSÃO

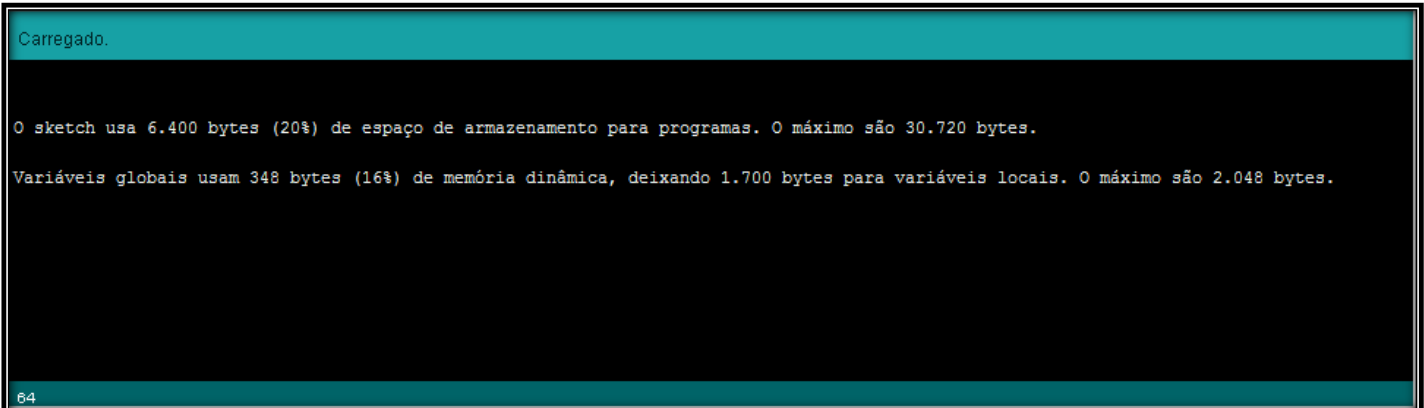
Esta monografia demonstrou de forma prática o desenvolvimento da parte de controle e automação mediante uso do FCM na navegação autônoma de plataformas móveis permitindo efetuar movimentos suaves e precisos. E também conceitos básicos para construção de plataformas.

A plataforma mostrou-ser muito eficiente, completando todos os cenários de forma autônoma, sem intervenção humana e concretizou os objetivos propostos.

O algoritmo contendo as funções básicas para correto funcionamento da plataforma como, por exemplo: ler os sensores e empregar as velocidades necessárias para navegação foram validados após calibração para igualar a velocidade nos motores, devido a dificuldade de produzir motores com características semelhantes.

Na parte pratica da montagem, foi necessário fazer ajuste nos ângulos de fixação para correto funcionamento nas leituras dos sensores ultrassônicos e regulagem do Ponto de equilíbrio das rodas para evitar possível desnível e queda.

Após ajustes, foi possível montar a plataforma com custos em torno de R\$ 100,00 demonstrando toda sua eficiência e versatilidade em um sistema micro controlado básico, com baixa capacidade de memoria e processamento. Utilizando um algoritmo FCM, compacto, como pode ser visto na figura 25.



```
Carregado.  
  
O sketch usa 6.400 bytes (20%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 30.720 bytes.  
Variáveis globais usam 348 bytes (16%) de memória dinâmica, deixando 1.700 bytes para variáveis locais. O máximo são 2.048 bytes.  
  
64
```

Figura 25. Espaço utilizado pelo algoritmo

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

Arduino, Disponível em: www.arduino.cc/, Acesso em 10 OUT. 2015.

AXELROD, R. **Structure of decision: the cognitive maps of political elites**. New Jersey: Princeton University Press, 1976.

COPPIN, B. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2010.

DUDEK, G.; JENKIN, M. (2000). **“Computational Principles of Mobile Robotics”**. Cambridge, London, UK: The MIT Press, 280 p.

FIGUEIREDO, M. **Navegação autônoma de robôs**. Novo Hamburgo: VII Escola de Informática da SBC - Regional Sul, 1999. p. 74 - 106.

GLYKAS, Michael. **Fuzzy Cognitive Maps Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications**. Greece Springer: 2010.

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. *International Journal Man-Machine Studies*, v. 24, n. 1, p.65-75, 1986.

MENDONÇA, M. **“Uma contribuição ao desenvolvimento de sistemas inteligentes utilizando redes cognitivas dinâmicas”** (Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2011), p.46.

MURPHY, R.R. **Introduction to AI Robotics**. Cambridge: MIT Press, 2000.

PWM, Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br>, Acesso em 10 OUT. 2015.

ROSÁRIO, João Mauricio. **Robótica Industrial I: Modelagem, utilização e programação**. São Paulo: BARAÚNA, 2010.

SIEGWART, R., NOURBAKHSI, I. R., **Autonomous Mobile Robots**. MIT Press, Massachusetts, 2004.

Sensor ultrassônico, revista Saber Eletrônica, Ano 42, Nº 400, Maio de 2006

ZADEH, L. **Fuzzy sets**. *Information and Control*. v. 8, p. 338–353, 1965.