

# RECONHECIMENTO DE TRAJETÓRIA COM REDES NEURAIS

Giovanni Crestan  
Leonardo Enomoto Araki  
Thiago Antonio Grandi De Tolosa  
Wânderson de Oliveira Assis  
Wilson Carlos Siqueira Lima Júnior

IMT – Instituto Mauá de Tecnologia – Escola de Engenharia Mauá

## 1. Introdução

As redes neurais vêm sendo estudadas há alguns anos, mas ainda não são aplicadas em larga escala, principalmente por causa da sua complexidade e falta de profissionais capazes de criar redes confiáveis, que utilizem todos os benefícios propostos por elas.

As redes neurais são baseadas no comportamento dos neurônios e do cérebro humano, cujo funcionamento é muito diferente dos computadores atuais. Devido a isso, elas nos permitem criar aplicações complexas, nas quais se cria inteligência real na máquina, que será capaz de aprender, tomar decisões, reconhecer padrões, identificar tendências etc., ou seja, será capaz de criar programas aptos a aprender e depois generalizar seu aprendizado (produzir respostas adequadas para entradas que não estavam presentes em seu treinamento).

Este trabalho tem como finalidade a criação de uma rede neural que seja capaz de reconhecer o trajeto percorrido por um pequeno veículo, que enviará para a rede neural apenas os padrões de acionamento de seus sensores durante a execução da trajetória.

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- projeto e construção do veículo incluindo sensores ópticos, motores DC e módulo para transmissão dos dados em rádio-freqüência (RF), além de pistas para movimentação do veículo;
- circuito de recepção em rádio-freqüência e comunicação com o computador;
- rede neural;
- programa de integração que receberá os dados do módulo RF, processará a rede neural e exibirá o resultado (pista percorrida).

Esta solução foi apresentada durante a Eureka 2005, uma feira de apresentação dos trabalhos de conclusão de curso da Escola de Engenharia Mauá.

## 2. Redes Neurais Artificiais

Existem diversas definições para as redes neurais, também chamadas de neurocomputadores, redes conexionistas ou processadores paralelamente distribuídos. Podemos utilizar a definição apresentada por Haykin, S. no livro Redes Neurais. Princípios e Práticas:

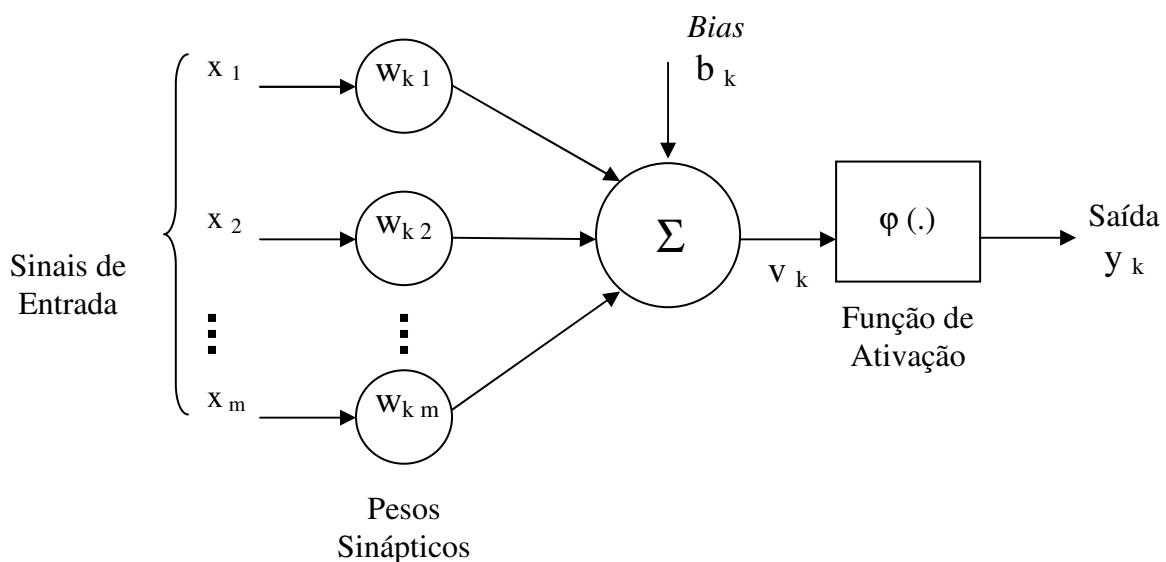
“Uma rede neural é um processador paralelo maciçamente distribuído sendo constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso”.

Uma rede neural assemelha-se ao cérebro humano em dois aspectos:

- o conhecimento é adquirido pela rede com base em seu ambiente por meio de um processo de aprendizagem;
- forças de conexão entre neurônios,, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

As redes neurais são baseadas no cérebro humano, que recebe continuamente informação, percebe-a e toma, com base na informação, decisões apropriadas.

A entidade mais simples de uma rede neural é o neurônio que, baseado no funcionamento do neurônio biológico, segue o modelo apresentado na Figura 1:



**Figura 1 – Modelo não linear de um neurônio.**

Os elementos básicos do neurônio são:

- entradas ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ );
- um conjunto de sinapses, cada uma delas caracterizada por um peso sináptico ( $w_{k1}, w_{k2} \dots, w_{km}$ );
- um somador ( $\Sigma$ ) utilizado para fazer a soma dos sinais de entrada ponderados;
- uma função de ativação  $\varphi(\cdot)$  para restringir a amplitude da saída do neurônio; podem ser utilizadas funções de ativação de um neurônio: função de limiar; função linear por partes ou função sigmóide;
- um bias ( $b_k$ ) que é uma espécie de peso do neurônio na rede;
- saída ( $y_k$ ).

Matematicamente, um neurônio  $k$  seria descrito pelas seguintes equações:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad (1)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \quad (2)$$

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j + b_k \quad (3)$$

Os principais benefícios das redes neurais são:

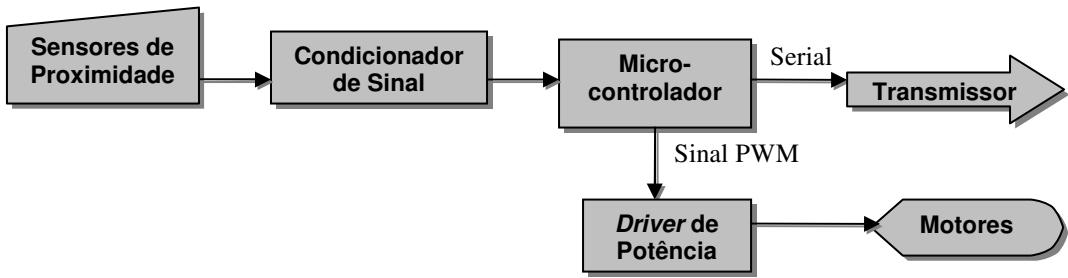
- generalização, que se refere ao fato de a rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento;
- poder computacional, por meio de sua estrutura maciçamente paralela;
- habilidade de aprender.

Essas capacidades de processamento de informação tornam possível às redes neurais resolver problemas complexos e/ou de grande escala que são atualmente intratáveis.

### **3. Desenvolvimento**

#### **3. 1 Construção do Veículo**

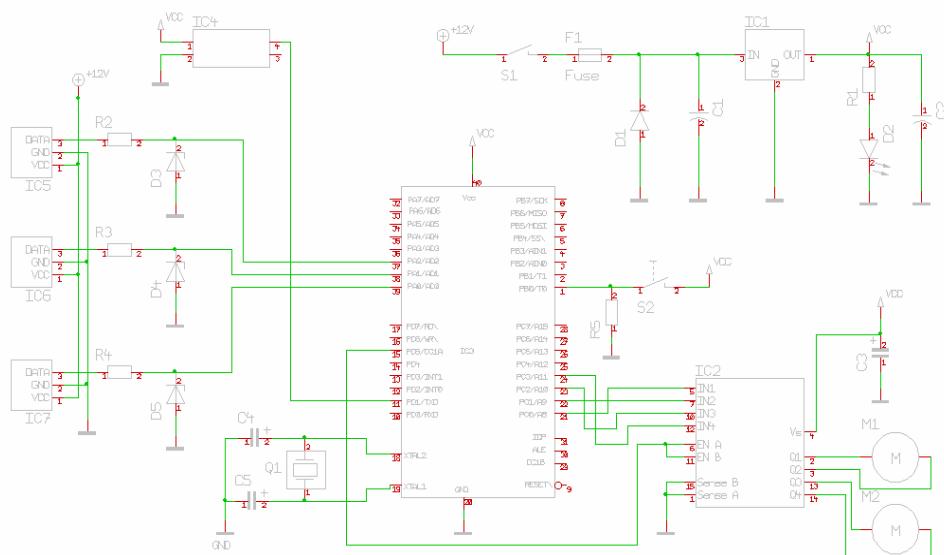
A construção do carro baseia-se no diagrama de blocos apresentado na Figura 2:

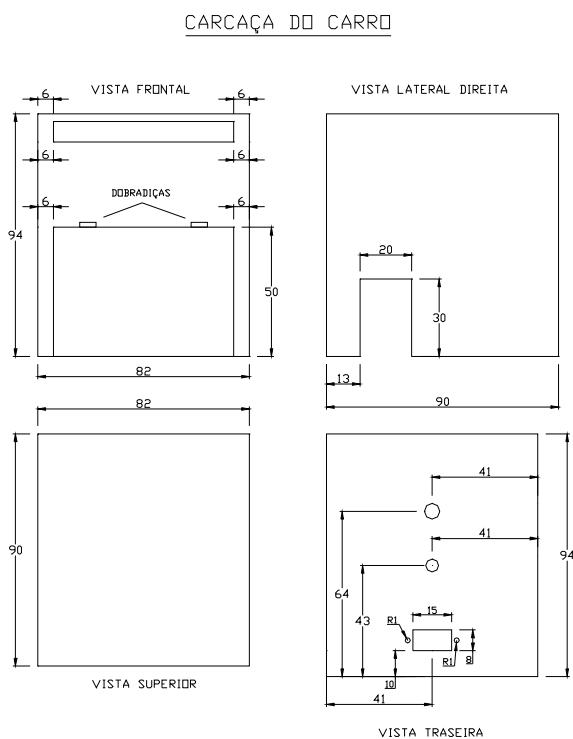


**Figura 2 – Diagrama de Blocos de Construção do Veículo**

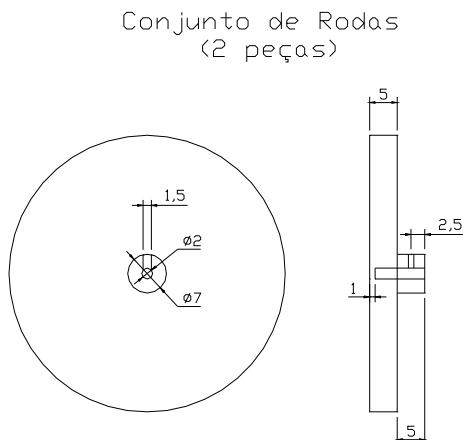
O microcontrolador é responsável pelo monitoramento dos sinais digitais de entrada proveniente dos sensores e controle dos sinais de saída do veículo. Os sensores de proximidade são monitorados continuamente para detectar a proximidade de obstáculos ou paredes laterais na pista. Os sinais dos sensores devem passar por um circuito condicionador que ajusta a amplitude do sinal de resposta para o padrão TTL. O sinal PWM gerado pelo microcontrolador é transmitido ao *driver* de potência, o qual controla o sentido de rotação dos motores segundo bits de comando enviados pelo algoritmo desenvolvido no microcontrolador.

A transmissão dos dados armazenados na memória interna do microcontrolador é realizada serialmente, utilizando a interface UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). A transmissão do sinal utiliza um circuito integrado transmissor RF, o qual opera na freqüência de 433,92MHz, sendo esta a mesma freqüência de trabalho do circuito receptor. O circuito elétrico completo utilizado no veículo é apresentado na Figura 3. O desenho do projeto mecânico do carro é apresentado na Figura 4 e as rodas são detalhadas na Figura 5.





#### **Figura 4 – Desenho da Estrutura Mecânica da Carcaça do Veículo**



## **Figura 5 – Desenho Mecânico das Rodas**

A Figura 6 apresenta fotografias do veículo desenvolvido.



**Figura 6 – Fotografias do Veículo: (a) Estrutura interna (b) Design da estrutura externa**

Para a movimentação do veículo foram utilizadas duas pistas diferentes: uma reta e outra curva. O objetivo do projeto é o de identificar por meio dos sinais dos sensores qual pista está sendo utilizada.

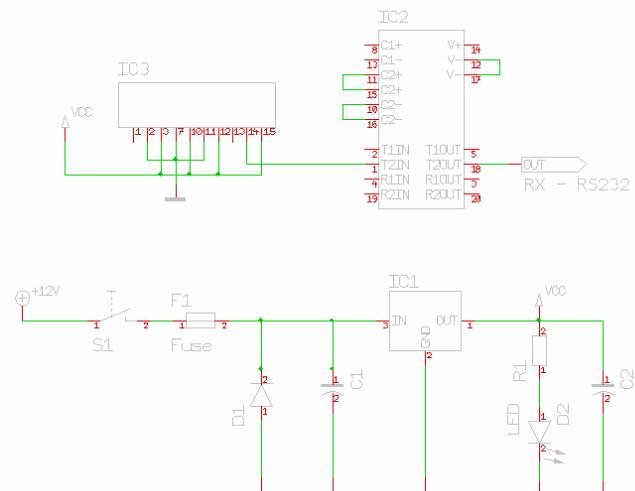
### **3. 2 Circuito de Recepção**

O circuito de recepção tem a função de receber os dados transmitidos pelo veículo via RF e condicioná-los ao padrão de comunicação RS232, para que o microcomputador possa, então, realizar a recepção serial do sinal conforme ilustrado na Figura 7.



## **Figura 7 – Diagrama de Blocos do Circuito de Recepção**

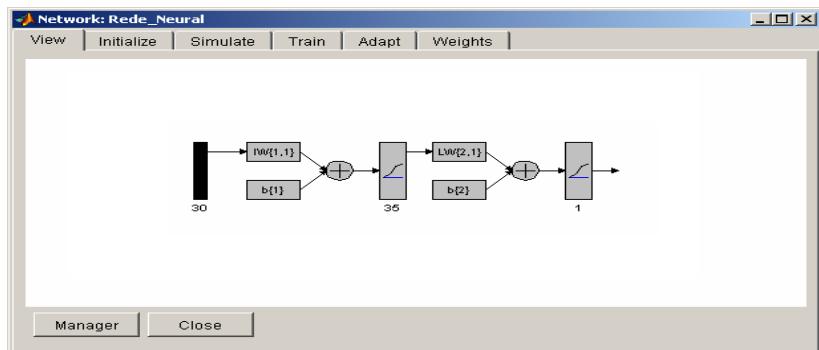
O circuito elétrico utilizado no receptor é apresentado na Figura 8.



## **Figura 8 – Esquema Elétrico do Circuito Receptor**

### 3. 3 Utilização de Redes Neurais para Reconhecimento da Trajetória

O objetivo da Rede Neural no projeto é o de reconhecer em que pista o carro andou (curva ou reta) com base nos dados de acionamento dos sensores coletados durante o trajeto. Utilizou-se uma rede neural de duas camadas desenvolvida no *software MATLAB®* conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9 – Rede Neural Utilizada no Projeto**

No projeto foram utilizadas 30 entradas (10 de cada sensor), 35 neurônios na 1.<sup>a</sup> camada e 1 neurônio na 2.<sup>a</sup>, onde teremos a resposta desejada. Este tipo de rede neural é a chamada *Multilayer Perceptron*, que possui mais que uma camada de neurônios. No caso deste projeto, esta se mostra mais adequada, pois teremos um grande número de entradas e apenas uma saída binária, o que justifica a segunda camada de neurônios utilizada.

#### Aquisição de Dados dos Sensores

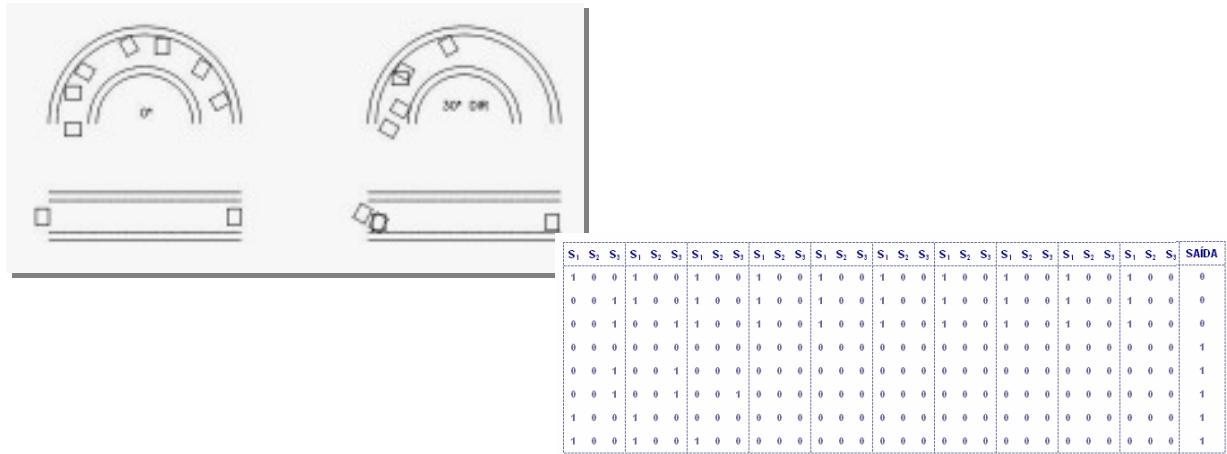
Toda vez que um sensor for habilitado ou que o tempo-limite para acionamento de algum sensor for excedido - quando o carro andar muito tempo em linha reta sem chegar perto das paredes - o programa de controle do carro deverá gravar o estado dos três sensores na seqüência: sensor da esquerda, sensor do meio e sensor da direita. O carro deve andar por qualquer uma das pistas, até que dez amostras sejam gravadas, completando assim a quantidade de entradas da rede neural. Dessa forma, o percurso do carro será entendido como completo quando for gravada a 10.<sup>a</sup> amostra dos três sensores.

#### Treinamento da RN e Levantamento dos Pesos Neurais

Antes de se utilizar a rede neural, é preciso que ela passe por um processo de aprendizagem. Como decidimos utilizar os dados de acionamento dos sensores, a rede tem de ser treinada com os padrões de acionamento dos sensores em cada pista.

O modo de treinamento escolhido foi o chamado *Back Propagation*, o mais apropriado, pois conhecemos exatamente as entradas (padrões de acionamento dos sensores em cada uma das pistas) e as saídas (pista em que o carro andou). Desse modo, utilizamos o chamado “aprendizado com professor”, em que se diz à rede neural as entradas e as saídas, e, com base nisso, é feito o treinamento da rede para adaptação dos pesos neurais.

Para se realizar o treinamento, criamos alguns padrões teóricos de acionamento dos sensores para cada uma das pistas, segundo a figura abaixo:

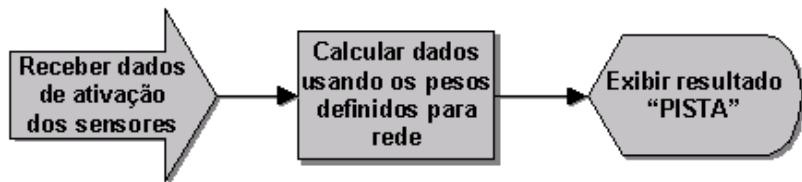


**Figura 10 – Tabela de Treinamento da Rede Neural**

A Figura 10 mostra claramente esse processo, em que, com base no movimento teórico do carro em cada uma das pistas, criaram-se as tabelas que seriam usadas no treinamento da rede neural. Com a tabela de treinamento em mãos, utilizou-se o *software MATLAB*® para criar e treinar a rede. O processo basicamente consiste em carregar as informações de entrada e as saídas desejadas para cada uma delas e a configuração de alguns parâmetros básicos. O próximo passo consiste em fazer o treinamento da rede, que consiste na adaptação dos pesos e dos *bias* de forma que o erro seja reduzido ao máximo possível e aumentando-se a confiabilidade da rede neural. Os pesos são recalculados até se conseguir reduzir a taxa de erro mostrando a convergência dos resultados. Após o treinamento, temos como resultado os pesos dos neurônios e dos *bias* das duas camadas. Estes são os pesos que deverão ser utilizados no processamento das informações enviadas pelo carro para encontrar a pista percorrida.

### 3. 4 Programa de integração

O programa de integração desenvolvido em Delphi<sup>®</sup> receberá os dados do módulo RF, processará a rede neural e exibirá o resultado (identificação da pista percorrida). Basicamente o processo ocorre como ilustrado na Figura 11.



**Figura 11 – Diagrama de Blocos do Programa de Integração.**

### 4. Resultados e Conclusões

O projeto foi bastante interessante já que envolveu simultaneamente várias áreas da engenharia: robótica, eletrônica, programação de microcontroladores, redes neurais e programação em linguagem de alto nível.

A eficiência da metodologia proposta foi avaliada por meio de vários testes, com o veículo partindo de posições aleatórias nas pistas. A rede neural foi treinada utilizando-se amostras de acionamento dos sensores com os valores práticos captados durante a movimentação do veículo. Obteve-se um índice de acerto de aproximadamente 98%, apresentando uma certa confiabilidade no reconhecimento da trajetória. Observou-se claramente a melhoria da eficiência à medida que eram efetuados mais ensaios práticos e efetuava-se o treinamento da rede.

Como continuidade deste trabalho pretende-se reestruturar o sistema para se identificar um número considerável de pistas diferentes visando aplicações onde se deseja utilizar robôs que se movimentem de forma autônoma. Neste caso, o sistema deve apresentar inteligência suficiente para identificar a pista e, com base nessa identificação, conseguir locomover-se de forma autônoma ao longo desta pista (mesmo se houver a presença de obstáculos em posições aleatórias). Obviamente será então necessário efetuar a comunicação RF bidirecional, ou seja, do veículo para o computador para enviar o sinal dos sensores e do computador para o veículo, para informar para o veículo o resultado do reconhecimento para que este possa movimentar-se de forma autônoma conforme as características da pista identificada.