

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
(Bacharelado)

PROTÓTIPO DE UM ROBÔ RASTREADOR DE OBJETOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

EMERSON DE OLIVEIRA

BLUMENAU, JUNHO/2001

2001/1-30

PROTÓTIPO DE UM ROBÔ RASTREADOR DE OBJETOS

EMERSON DE OLIVEIRA

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, FOI JULGADO ADEQUADO
PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Prof. Miguel A. Wisintainer — Orientador na FURB

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador do
TCC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel A. Wisintainer

Antonio Carlos Tavares

Maurício Capobianco Lopes

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais Luiz Flávio de Oliveira e Armelinda de Oliveira pelo incentivo aos estudos, pela paciência e amor.

Ao professor Miguel Wisintainer que com dedicação e sabedoria orientou este trabalho.

Um agradecimento em especial ao professor Antônio Carlos Tavares por sua paciência e disposição no esclarecimento das dúvidas surgidas ao longo do caminho. Ao professor Marcel Hugo pelas críticas e idéias sobre a redação do trabalho.

Ao meu irmão, meus amigos e todas as pessoas que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
SUMÁRIO	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ORIGEM.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
2 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS	4
2.1 VISÃO NATURAL - SISTEMA VISUAL HUMANO.....	4
2.2 VISÃO ARTIFICIAL – SISTEMA DE VISÃO ARTIFICIAL.....	5
2.3 APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VISÃO ARTIFICIAL.....	7
2.4 IMAGEM DIGITAL.....	9
3 REDES NEURAIS E RECONHECIMENTO DE PADRÕES	11
3.1 BREVE HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS.....	11
3.2 CARACTERIZANDO AS REDES NEURAIS	13
3.3 ARQUITETURAS, TREINAMENTO E FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO	15
3.3.1 <i>Arquiteturas de redes neurais</i>	16
3.3.2 <i>Treinamento</i>	18
3.3.3 <i>Funções de ativação</i>	19
3.3.4 <i>Níveis estruturais</i>	20
3.4 REDES NEURAIS E O PROCESSAMENTO DE SINAIS.....	21
4 ROBÓTICA	24
4.1 O QUE É UM ROBÔ	24
4.2 HISTÓRICO DA ROBÓTICA	29
4.3 PARTES DE UM ROBÔ.....	32
4.4 TIPOS DE ROBÔS	35
4.5 PORQUE UTILIZAR ROBÔS	40
4.6 GRUPOS DE PESQUISAS EM ROBÓTICA	43
4.7 ESTADO DA ARTE NO DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS	44
5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	49
5.1 FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO	49
5.2 ESPECIFICAÇÃO.....	49
5.2.1 <i>Módulo de controle do robô</i>	50
5.2.2 <i>Módulo de reconhecimento de imagens</i>	52

5.2.3	<i>Módulo de comunicação de dados</i>	55
5.2.4	<i>RRO Eddie – Robô rastreador de objetos Eddie</i>	61
5.3	IMPLEMENTAÇÃO	61
5.3.1	<i>Módulo de controle do robô</i>	61
5.3.2	<i>Módulo de reconhecimento de imagens</i>	65
5.3.3	<i>Módulo de comunicação de dados</i>	72
5.3.4	<i>RRO Eddie – Robô rastreador de objetos Eddie</i>	75
5.4	TESTES E VALIDAÇÕES	78
6	CONCLUSÕES	80
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
	ANEXO 1: ESQUEMA DAS PLACAS DE CONTROLE DOS MOTORES	82
	ANEXO 2: ESQUEMA DOS SENSORES INFRAVERMELHO	83
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura funcional de um sistema de visão artificial.	7
Figura 2: Representação de um pixel na imagem $f(x,y)$	10
Figura 3: Pixels na matriz de uma imagem monocromática.	10
Figura 4: Representação do neurônio artificial (a) e do neurônio biológico (b).	12
Figura 5: Camadas de uma rede neural.	15
Figura 6: Rede <i>Multilayer feedforward</i>	16
Figura 7: Rede <i>Competitive Layer</i>	17
Figura 8: Rede <i>feedback</i>	17
Figura 9: Rede <i>Multilayer Feedforward/Backward</i>	17
Figura 10: Gráfico das funções de ativação.	20
Figura 11: Autômato de Jacques de Vauncanson.	25
Figura 12: Boneco escritor, autômato de Jaquet-Droz (parte anterior).	25
Figura 13: Boneco escritor, autômato de Jaquet-Droz (parte posterior).	26
Figura 14: Braço robótico de brinquedo.	27
Figura 15: <i>Tmsuk</i> a faxineira andróide.	27
Figura 16: Robô na indústria.	28
Figura 17: Jogo de futebol de robôs.	28
Figura 18: Cena do filme <i>Metropolis</i>	30
Figura 19: O robô da série <i>Lost in Space</i>	30
Figura 20: Cartaz de <i>Blade Runner</i>	30
Figura 21: T800 o robô do filme <i>Terminator</i>	31
Figura 22: <i>Robocop</i> o robô parte-homem parte-máquina.	31
Figura 23: Robô <i>Unimate</i> fabricado pela Unimation.	32
Figura 24: Analogia do corpo humano e as partes de um robô.	33
Figura 25: Robô articulado ou rotacional.	36
Figura 26: Robo cilíndrico.	36
Figura 27: Robô SCARA.	37
Figura 28: Robô Spine.	37

Figura 29: Robô p \acute{o} rtico.....	38
Figura 30: Robô m \acute{o} vel.....	38
Figura 31: Ve \acute{e} culo Sojourner em solo Marciano.	45
Figura 32: Asimo o rob \hat{o} andr \acute{o} ide da Honda.	46
Figura 33: Aibo o c \acute{a} ozinho-rob \hat{o} da Sony.....	47
Figura 34: Andros Mark V-A1 rob \hat{o} para desativa \acute{c} o de bombas.	48
Figura 35: Interface entre os m \acute{o} dulos e o rob \hat{o}	50
Figura 36: Fluxograma do m \acute{o} dulo de controle de rob \hat{o}	51
Figura 37: Fluxograma do m \acute{o} dulo de reconhecimento de imagens.....	53
Figura 38: Fluxograma do m \acute{o} dulo de reconhecimento de imagens.....	54
Figura 39: Transmiss \acute{o} serial de dados.....	56
Figura 40: Conector DB-25.	57
Figura 41: Conector DB-9.	57
Figura 42: Transmiss \acute{o} paralela de dados.....	58
Figura 43: Fluxograma do m \acute{o} dulo de comunica \acute{c} o de dados.	60
Figura 44: Freq \acute{u} encia de deslocamento (a) x freq \acute{u} encia de acelera \acute{c} o (b).....	62
Figura 45: Por \c{c} o da tela referente ao m \acute{o} dulo de controle.	65
Figura 46: Diferentes imagens capturadas pela c \acute{a} mera.....	66
Figura 47: Imagem capturada X imagem processada.	67
Figura 48: Imagem centralizada X Imagem deslocada.....	68
Figura 49: Matriz de bits gerada a partir da imagem processada.	69
Figura 50: Arquitetura da rede neural utilizada.....	70
Figura 51: Algoritmo de treinamento utilizado.	71
Figura 52: Por \c{c} o da tela referente ao m \acute{o} dulo de reconhecimento.....	72
Figura 53: Status da interface serial.....	73
Figura 54: Status da interface paralela.....	75
Figura 55: Tela do <i>software</i> desenvolvido.	75
Figura 56: Parte superior do prot \acute{o} tipo.....	77
Figura 57: Parte inferior do prot \acute{o} tipo.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre o sistema visual humano e sistema de visão artificial.	9
Tabela 2: Modelos de redes neurais e suas aplicações básicas.....	18
Tabela 3: Características técnicas do robô Asimo P3.....	45
Tabela 4: Pinos mais utilizados do conector DB-25 no padrão RS-232.	57
Tabela 5: Pinagem do conector DB-9 no padrão RS-232.....	58
Tabela 6: Pinagem do DB-25 na interface paralela.	59
Tabela 7: Taxas de acerto	70
Tabela 8: Uso dos pinos da interface paralela.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Definição da classe <i>TThread</i> para controle dos motores.....	62
Quadro 2: Código para acionamento do motor direito.....	63
Quadro 3: Código para acionamento do motor esquerdo.....	63
Quadro 4: Definição da classe <i>TThread</i> para leitura dos sensores.....	63
Quadro 5: Rotina para leitura do status dos sensores.....	64
Quadro 6: Rotina de aplicação do limiar lógico na geração da matriz binária.....	66
Quadro 7: Rotina de aplicação do limiar lógico no pré-processamento.....	68
Quadro 8: Envio de sinais à porta paralela.....	74
Quadro 9: Leitura de sinais da porta paralela.....	74

RESUMO

O trabalho proposto aborda os aspectos implementacionais de um robô móvel controlado por microcomputador que utiliza visão artificial para identificar objetos dispersos em um ambiente controlado. Os objetos são representados por imagens de figuras geométricas planas e serão identificados através de visão computacional, que será implementada utilizando-se a técnica de redes neurais artificiais. Para a implementação do *software* de reconhecimento de imagens e controle do robô foi utilizado o ambiente de programação *Borland Delphi 5.0*. Como resultado obteve-se o protótipo de um robô triciclo que se movimenta no ambiente através da técnica de *line tracing*.

ABSTRACT

This work will concern to implementation aspects of a robot controlled by a microcomputer, that will be use artificial vision for identifies broadcasting objects in a controlled environment. The objects will be recognized throught computational vision technic, using artificial neural networks. For the implementation of the software of image recognition and robot control, was use Borland Delphi 5.0. As result, got a trecycle robot implementation that moves in a environment using line tracing technic.

1 Introdução

1.1 Origem

A robótica, cada vez mais presente na sociedade, apresenta-se de várias formas, podendo ser encontrada no trabalho, nas ruas, e até mesmo nas residências. No trabalho a sua presença é facilmente identificável. Tem-se atualmente uma estimativa da existência de mais de 700 mil robôs industriais (Morin, 1999). Existem casos de indústrias, principalmente montadoras de automóveis, onde a mão de obra humana está sendo cada vez menos utilizada, porém continua sendo indispensável. Em casa a robótica também está presente, lançando até mesmo novos termos como o “Robô Serviçal” (Bonalume Neto, 1992) ou “Robô do Lar” (Lemos, 2000). Este tipo de robô é uma espécie de “empregado” que fica circulando por toda a casa identificando eventuais pontos para manutenção e efetuando limpezas domésticas. Soluções e produtos nesta área já estão implementadas e disponíveis no mercado.

Com esta forte influência que a robótica vem tendo, são inevitáveis as discussões sobre como será a relação homem-máquina (Barrie, 1996) (Morin, 1999) (Bonalume Neto, 1992), pois levando-se em consideração somente o aspecto econômico, a aplicação da robótica é, em muitos casos, a solução mais adequada.

A robótica é uma área de pesquisa multidisciplinar, onde os conhecimentos de computação são extensivamente aplicados.

Sendo um ramo da robótica, a robótica móvel apresenta problemas que são específicos de seu escopo. Robôs móveis acionados por pessoas através de controle remoto, por exemplo, não apresentam problemas de implementação tão complexos quanto os robôs que não possuem este tipo de controle, pois estes devem “saber” sua localização e tomar a decisão mais adequada para a sua movimentação, de forma autônoma, através de sua “experiência” e interação com o meio.

Ainda dentro da robótica móvel tem-se os robôs que interagem com ambientes estáticos ou controlados e os robôs que interagem com ambientes dinâmicos, podendo por sua vez serem ou não controlados remotamente.

Robôs móveis interagindo com ambientes estáticos não tem implementação trivial, porém não possuem a complexidade e o número de variáveis que acompanham o desenvolvimento de robôs móveis que interagem com ambientes dinâmicos (Silva, 1997).

Exemplos da aplicação da robótica móvel são marcantes, pois em sua maioria são projetos de alta tecnologia e de grande importância para o desenvolvimento tecnológico e científico, assim como também, colaboram para o aumento da segurança das pessoas que desenvolvem suas tarefas em ambientes hostis, como por exemplo, no espaço, grandes profundidades aquáticas, na detecção de minas terrestres e até mesmo em situações pouco louváveis, como os conflitos militares.

Um exemplo da aplicação de alta tecnologia no desenvolvimento de sistemas robóticos pode ser encontrado no robô “Sojourner” do projeto “Mars PathFinder” para a exploração do planeta Marte (JET, 1997).

Deve-se ressaltar também, que os sentidos a serem implementados no sistema são função direta de seu objetivo. Existem projetos de robôs utilizados para a detecção de minas terrestres em que pesquisadores estão desenvolvendo um “nariz artificial” para que o robô, de forma autônoma, possa encontrar, identificar positivamente e desarmar ou destruir uma mina sem a intervenção direta do ser humano.

No trabalho proposto foi implementada a visão computacional para possibilitar que o robô faça o reconhecimento dos objetos inseridos em um ambiente controlado. Os objetos serão representados por imagens de figuras geométricas planas, distribuídas num conjunto de quatro padrões de imagens diferentes (círculo, retângulo, triângulo e trapézio). Para possibilitar o reconhecimento dos padrões das imagens utilizou-se a técnica de redes neurais artificiais. O deslocamento do robô se dará sobre uma linha no chão (*line tracing*), com locais de parada específicos para que seja capturada e analisada a imagem presente naquele ponto do ambiente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver o protótipo de um robô móvel que seja capaz de se locomover em um ambiente controlado, capturando as imagens de figuras geométricas planas distribuídas ao longo do caminho percorrido.

Como objetivos secundários tem-se:

- a) o estudo de técnicas de processamento e reconhecimento de imagens;
- b) implementação de uma rede neural capaz de efetuar o reconhecimento das imagens.

1.3 Organização do texto

No capítulo 1 é apresentada a introdução, o objetivo central e os secundários deste trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o processamento e análise de imagens sob o enfoque do sistema visual humano e o sistema visual artificial.

No capítulo 3 são apresentados conceitos de redes neurais artificiais e sua relação com o reconhecimento de imagens.

No capítulo 4 é dado o conceito de robô e robótica, a situação da robótica na atualidade, assim como questões técnicas da implementação de um robô móvel.

No capítulo 5 é apresentado o protótipo bem como os resultados obtidos durante a sua implementação.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 Processamento e análise de imagens

“Processamento de imagens consiste em desenvolver técnicas de compreensão dos mecanismos de visão natural e artificial e em fornecer ferramentas cujo desempenho aproxima-se o mais possível das extraordinárias capacidades do sistema visual humano” (Facon, 1993).

As duas principais áreas a que se destina o processamento de imagens digitais são a melhoria da qualidade da imagem para a análise humana e a preparação da imagem para ser submetida a interpretação através de máquinas. Os primeiros sistemas de processamento e análise de imagens datam do início do século XX e foram aplicados para o melhoramento de imagens publicadas em jornais e revistas da época (Gonzalez, 1992).

No melhoramento das imagens para a análise humana pode-se citar exemplos como o processamento de imagens de raios X a fim de facilitar a sua interpretação, assim como a geração das imagens em um exame de tomografia computadorizada.

Na área de interpretação de imagens através de máquinas tem-se aplicações de sistemas inteligentes para a análise de imagens de satélites, controle de qualidade de produtos manufaturados, interpretação de imagens de órgãos humanos para a formulação de diagnósticos, entre outros, como apresentado no capítulo 2.3.

2.1 Visão natural - Sistema visual humano

Pode-se considerar a visão, pela sua grande capacidade de identificação de estruturas presentes em determinada cena, como sendo o sentido pelo qual o ser humano tem a maior interação com o meio ambiente. Um antigo provérbio chinês que diz: “*Uma imagem vale mais do que mil palavras.*”.

Facon (1993), divide a interpretação de uma imagem, pelo sistema visual humano em seis etapas:

- a) **emissão de sinais luminosos por reflexão da luz:** é o reflexo da luz sobre os objetos;
- b) **recepção dos sinais luminosos pelo sistema visual:** é o ajuste do foco e da quantidade de luminosidade recebida, função esta desempenhada pelo cristalino, pupila e retina;

- c) **transformação dos sinais luminosos pela superfície sensível:** as células encontradas na retina transformam os sinais luminosos em pulsos nervosos que são encaminhados até o cérebro pelo nervo óptico;
- d) **armazenamento da informação:** é a capacidade de memorizar a imagem para que esta possa ser utilizada no futuro;
- e) **processamento da informação:** uma vez que a informação foi recebida e armazenada, esta é processada, ou seja seria uma forma de compreender o significado daquela imagem;
- f) **resposta nervosa:** É a decisão a ser tomada assim que a imagem foi compreendida, por exemplo, o que fazer com uma peça no momento que esta ficou pronta? Ela é de boa qualidade ?

Estas etapas denotam a presença de três partes do corpo humano primordiais para a percepção visual: o olho que **capta** os sinais luminosos e os **transforma** em pulsos nervosos, o nervo óptico que **conduz** estes sinais e o cérebro que **armazena, processa**, e gera a **resposta nervosa**.

Costa (1996) afirma que apesar da grande capacidade do sistema visual humano este está suscetível à imprecisão e a presença de diversas características como influência de ilusões, passividade e limitação a uma estreita faixa de frequência de radiação.

2.2 Visão artificial – Sistema de visão artificial

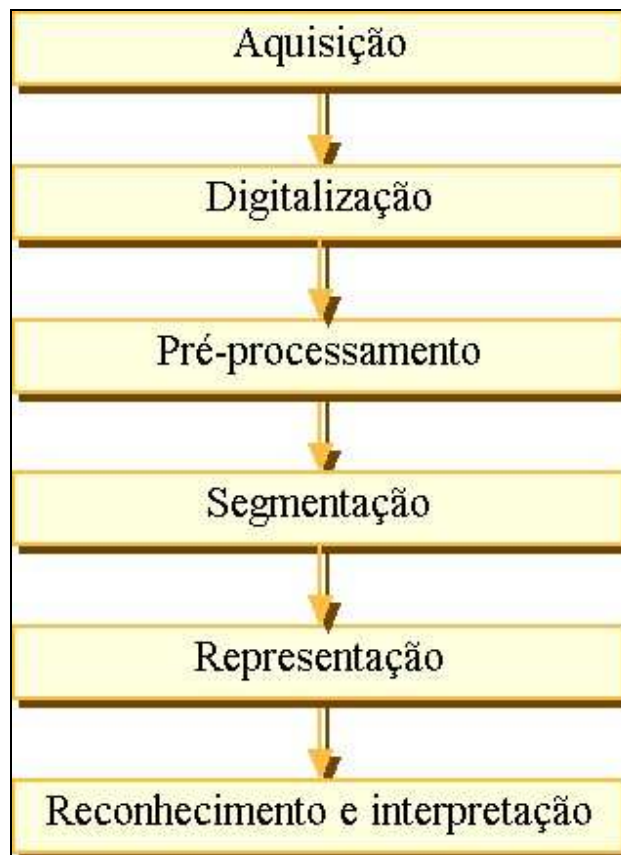
Através da ciência do processamento de imagens pode-se prover a modificação, a análise e a manipulação de imagens digitais, sendo que para isto uma estação de processamento de imagens deverá disponibilizar três facilidades: digitalização, visualização e manipulação das imagens. Facon, (1993) afirma que os sistemas de visão artificial variam muito de acordo com a aplicação que terão. O tratamento sobre a imagem deve levar em consideração três características:

- a) a natureza da imagem (de que área provém a imagem);
- b) a qualidade da imagem;
- c) o conhecimento do meio de estudo.

Segundo Facon (1993) e Gonzalez (1992) a estrutura funcional (fig. 1) de um sistema de visão artificial pode ser dividida em:

- a) **aquisição da imagem:** Se dá através do que é chamado de “sensor de imageamento”, normalmente uma câmera de vídeo;
- b) **digitalização da imagem:** É a transformação dos raios luminosos capturados pelo sensor de imageamento em uma matriz bidimensional de elementos chamados pixels (capítulo 2.4);
- c) **pré-processamento:** Consiste na correção de eventuais defeitos e anormalidades encontradas na imagem, isto para que aumente a chance de sucesso nas etapas subsequentes. “O pré-processamento não é indispensável, mas na maioria dos casos, necessário” (Facon, 1993);
- d) **segmentação:** Nesta etapa a imagem será dividida em suas partes constituintes, através da detecção de seus contornos e regiões;
- e) **representação:** Após a aquisição, digitalização, pré-processamento e segmentação da imagem, deve-se então decidir de que maneira serão agrupados os dados obtidos nas etapas anteriores. Normalmente estão em forma de pixel;
- f) **reconhecimento e interpretação:** É a última etapa, considerada a parte inteligente do sistema, onde a imagem será classificada (rotulada) e a decisão será tomada em virtude desta classificação.

Figura 1: Estrutura funcional de um sistema de visão artificial.



Como pode-se perceber os recursos de *hardware* e *software* estão fortemente unidos nos sistemas de visão artificial.

O *hardware* é utilizado, principalmente, nas etapas de **aquisição** (câmeras de vídeo, câmeras fotográficas, entre outros.) e **digitalização** de imagens (conversores analógico/digital – A/D, *scanners*, entre outros.). Já o *software* é massivamente utilizado nas etapas de **pré-processamento**, **segmentação**, **representação**, **reconhecimento e interpretação** não sendo, porém, excluído o uso de hardware também nestas etapas.

2.3 Aplicação dos sistemas de visão artificial

Pode-se, hoje em dia, encontrar a aplicação dos sistemas de visão artificial nas mais diversas áreas de atuação, como por exemplo:

- a) **medicina:** Análise de radiografias, mamografias (Braga Neto, 1995), tomografias, eletrocardiogramas (Parzianello, 1995) e ultra-som, para o auxílio na elaboração de diagnósticos.
- b) **biologia:** Análise de imagens microscópicas (Ribeiro, 1995);
- c) **segurança:** extensamente utilizada na Biometria (Lawton, 1998) (Bem-Yacoub, 1999) para checagem de identidade através da análise de impressões digitais, contornos da face (Lawrence, 1997) (Lin, 1997) e análise de assinaturas (Espinosa, 1995);
- d) **astronomia e Cosmologia:** Analisando imagens obtidas a partir de telescópios para a determinação de idade, temperatura e outras características das estrelas e planetas fotografados;
- e) **ecologia:** Na análise de imagens de satélites (Tian, 2000) por exemplo, identificando áreas devastadas e ou poluídas;
- f) **física:** Análise e tratamento de imagens em áreas como plasmas de alta energia e microscopia eletrônica (Gonzalez, 1992);
- g) **edição de textos:** Através do reconhecimento automático de caracteres (OCR) (Rios, 1997);
- h) **militar:** Análise do campo de batalha, posição e arsenal do inimigo e detecção de minas (Miao, 1998);
- i) **meteorologia:** Previsão do tempo através da análise de imagens aéreas e de satélite (Tian, 2000);
- j) **indústria:** Esta é uma das grandes áreas de aplicação, atualmente, dos sistemas de visão artificial. Isto se dá pelo alto poder de investimento financeiro das grandes companhias em decorrência do retorno que a aplicação desta técnica traz. Os sistemas de visão artificial são utilizados na classificação de peças, análise de tonalidade de tecidos e estampas, no alinhamento de impressão em *offset* ou papel contínuo, falhas em azulejos, montagens efetuadas por robô, entre outras.

A tabela 1 apresenta um comparativo entre o sistema visual humano e o sistema de visão artificial.

Tabela 1: Comparativo entre o sistema visual humano e sistema de visão artificial.

Característica	Sistema visual humano	Sistema de visão artificial
Natureza	Biológico	<i>Hardware + Software</i>
Método	Interpretação da radiação eletromagnética do espectro visível (Facon, 1993).	Obtenção de uma imagem contínua através da captação dos sinais luminosos.
Estratégia utilizada	Transformação de sinais luminosos (radiação) em sinais neuronais (Facon, 1993).	Transformação dos sinais luminosos (analógicos) em sinais digitais para posterior processamento e análise.
Adaptação ao meio	Ajuste do foco e luminosidade já no momento da recepção do sinal.	O ajuste de luminosidade, dependendo do tipo de sistema, pode se dar no momento da captação ou após efetuado algum tipo de análise da imagem.
Integração de recursos	Habilidade do ser humano em unir inteligência, experiência e acuidade visual.	Relativa dificuldade em unir as técnicas de processamento de imagens e análise inteligente.
Aplicação	Para resolução de diversos problemas, em certos casos dispensando o treinamento ou conhecimento prévio.	Resolução de problemas específicos.

2.4 Imagem digital

Segundo Facon (1993), pode-se considerar uma imagem digital como sendo uma matriz onde os índices de suas linhas e colunas indicam um determinado ponto na imagem, e o valor contido neste elemento da matriz indica o brilho médio amostrado, ou seja, uma imagem digital “refere-se a função de intensidade de luz $f(x,y)$, onde x e y denotam as coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao brilho (ou níveis de cinza da imagem naquele ponto)” (Gonzalez, 1992) (figura 2).

Gonzalez (1992) chama os pontos presentes nesta matriz de “elementos da imagem”, “elementos da figura” ou, como é comumente conhecido, “pixel” (figura 3).

3 Redes neurais e reconhecimento de padrões

A origem da teoria das redes neurais remonta os modelos matemáticos, da engenharia e neurônios biológicos (Kovácz, 1996). Tal como humanos aplicam o conhecimento adquirido em experiências passadas para resolução de novos problemas, uma rede neural utiliza exemplos resolvidos previamente para tomar novas decisões, fazer classificações e prognósticos.

Principais aplicações de redes neurais segundo Jain (1996):

- a) reconhecimento de padrões;
- b) previsão;
- c) otimização;
- d) memória associativa;
- e) controle.

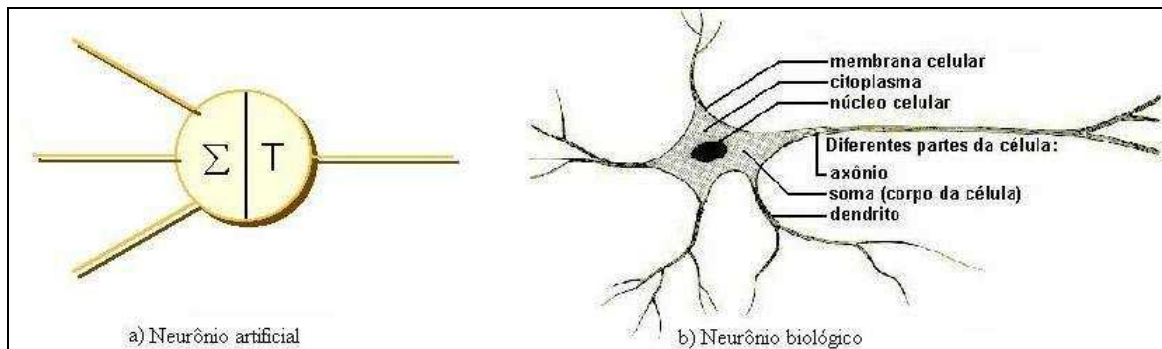
3.1 Breve histórico das redes neurais

A descrição do neurônio biológico foi apresentada, primeiramente, por Ramón y Cajal no século 19. Suas partes constituintes e funcionalidades foram devidamente identificadas, mas suas manifestações elétricas somente foram observadas por DuBois Reymond, alguns anos depois. Somente mais tarde, porém, seu funcionamento começou a ser melhor entendido, com as pesquisas de Erlanger e Gasser, na década de 1920 (Kovács, 1996).

Estima-se que o cérebro humano possua em torno de 100 bilhões (10^{11}) de neurônios e que o nosso sistema nervoso tenha cerca de 10^{14} conexões entre eles (sinapses). Estudiosos afirmam que cada neurônio possua mais de 1000 sinapses (Kung, 1993).

As redes neurais procuram reproduzir o processo de resolução de problemas do cérebro humano e é natural que seus conceitos estejam fortemente ligados ao funcionamento das células nervosas (neurônios). Como verifica-se na literatura a respeito de redes neurais, o neurônio artificial (fig. 4a) é retratado de forma semelhante ao neurônio biológico (fig. 4b).

Figura 4: Representação do neurônio artificial (a) e do neurônio biológico (b).



Redes neurais artificiais são frequentemente classificadas como sendo uma linha de pesquisa dentro da área de Inteligência Artificial (IA). Outros ramos da IA são:

- a) sistemas especialistas;
- b) algoritmos genéticos;
- c) lógica Fuzzy.

Kovács (1996), ainda aplica outras definições para as redes neurais, classificando-as como: modelos matemáticos para a classificação e reconhecimento de padrões, modelos em ciência cognitiva, parte da teoria conexionista e uma teoria para o estudo dos fenômenos complexos.

As pesquisas na área de redes neurais tiveram seu início em meados da década de 1940 e se estendem até os dias de hoje. Tafner (1995) descreve, de forma sucinta, o histórico das redes neurais artificiais conforme mencionado abaixo:

- a) primeiro trabalho: McCulloch, um neurofisiologista, e Pitts, um matemático, nos anos 40;
- b) na mesma época, Donald Hebb elabora a lei de aprendizado das redes neurais, descrevendo o que ocorre durante o processo de aprendizado no cérebro;
- c) realização, em 1956, da 1ª Conferência Internacional de Inteligência Artificial, onde foi apresentado o modelo desenvolvido por Nathaniel Rochester, da IBM;
- d) em 1959 foi apresentado o modelo de rede neural, desenvolvido por Widrow da Universidade de Standford, chamado de Adaline - *Adaptive Linear Element* (Kovacz, 1996);

- e) Frank Rosenblatt, na Universidade de Cornell em 1960, “...criou uma genuína rede de múltiplos neurônios do tipo discriminadores lineares e chamou esta rede de Perceptron.” (Kovacz, 1996);
- f) com a publicação do livro “Perceptron”, por Marvin Minsk e Seymour Papert, em 1969, que criticava seriamente a pesquisa na área de redes neurais, os programas de pesquisa retrairam e quase cessaram por completo;
- g) ressurgimento em 1982, com a publicação do trabalho de John Hopfield, que contestou as teses de Minsk e Papert;
- h) ainda em 1982, no Japão, foi realizada a primeira Conferência Conjunta Estados Unidos – Japão sobre redes neurais.

Atualmente as pesquisas na área de redes neurais não são mais exclusividade do meio científico e acadêmico e inúmeras aplicações comerciais são desenvolvidas implementando seus conceitos. Como exemplo pode-se citar sistemas de segurança, monitoração do tráfego em redes de computadores, classificação de produtos manufaturados, previsão do comportamento das ações nas bolsas de valores e até a determinação do perfil dos consumidores de determinados produtos. Continuando a trilhar este caminho, as redes neurais vislumbram um futuro ainda mais promissor. Tafner (1995) diz que o “...século XXI será direcionado para a Inteligência”.

3.2 Caracterizando as redes neurais

Quando a análise é realizada não mais sobre um único neurônio e sim um conjunto destes interligados entre si através de conexões sinápticas, tem-se então uma estrutura chamada de rede neural.

As redes neurais são compostas por camadas (k), cada qual com sua função, e são classificadas genericamente como sendo (Tafner, 1995):

- a) camada de entrada;
- b) camada(s) oculta(s);
- c) camada de saída.

A camada de entrada ($k^{(1)}$) recebe diretamente o sinal do vetor de entrada, não sendo responsável por nenhum tipo de processamento. Sua única incumbência é a de passar para a camada seguinte (oculta) o sinal que recebeu. Os elementos (x_n) recebidos pela camada de entrada $k^{(1)}$ podem ser representados pelo vetor: $X = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$.

Entretanto, alguns autores não classificam estas unidades de entrada como sendo uma camada, exatamente pelo fato de não efetuarem nenhum processamento computacional sobre o sinal recebido. Fausett (1994), por exemplo, faz este tipo de abordagem.

Loesch (1993), salienta que a função de transferência (capítulo 3.3) nesta camada é linear pois em nada modifica os valores de entrada.

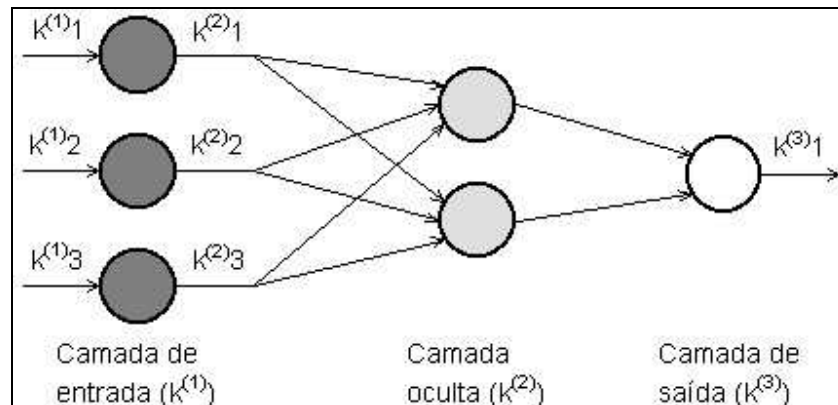
Zero ou m camadas ocultas ($k^{(m)}$) estão presentes em uma rede neural e se localizam entre a camada de entrada e a camada de saída. Segundo Tafner (1995) não existe uma regra para se determinar a quantidade de camadas ocultas existentes em uma rede neural. Nesta camada o sinal é propagado para os outros neurônios obedecendo-se as regras de transferência, ou seja, serão efetuadas operações computacionais com estes sinais.

Os elementos (x_n) recebidos pela camada oculta $k^{(m)}$ podem ser representados pelo vetor: $X = (x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, x_3^{(m)}, \dots, x_n^{(m)})$.

A camada de saída ($k^{(m+1)}$) faz a interface da rede neural com o mundo exterior (Tafner, 1995). Dependendo do tipo de arquitetura da rede neural, também nesta camada poderá ocorrer processamento do sinal recebido (capítulo 3.3).

Os elementos (x_n) recebidos pela camada $k^{(m+1)}$ são representados pelo vetor: $X = (x_1^{(m+1)}, x_2^{(m+1)}, x_3^{(m+1)}, \dots, x_n^{(m+1)})$.

Um exemplo de rede neural com as suas camadas pode ser visto na figura 5.

Figura 5: Camadas de uma rede neural.

Redes neurais apresentam características que não são encontradas na tradicional arquitetura Von Neumann. Segundo Jain (1996), elas incluem:

- a) massivo paralelismo;
- b) representação e computação distribuída;
- c) habilidades de aprendizado;
- d) habilidades de generalização;
- e) adaptatividade;
- f) contexto de processamento da informação herdado;
- g) tolerância a falhas;
- h) baixo consumo de energia.

3.3 Arquiteturas, treinamento e funções de ativação

Fausett (1994) afirma que uma rede neural pode ser classificada levando-se em consideração três características:

- a) sua arquitetura;
- b) o algoritmo de treinamento utilizado;
- c) sua função de ativação.

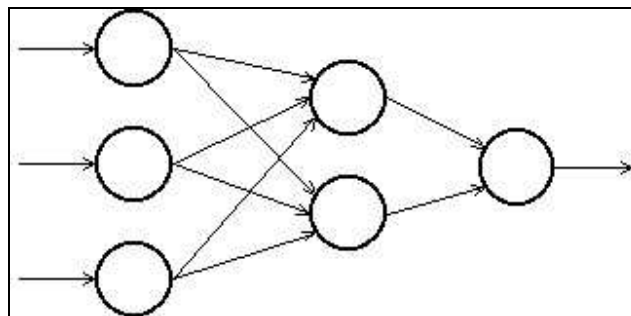
3.3.1 Arquiteturas de redes neurais

Segundo Fausett (1994), a distribuição dos neurônios nas camadas e o padrão de conexão entre as camadas é chamado de **arquitetura da rede**.

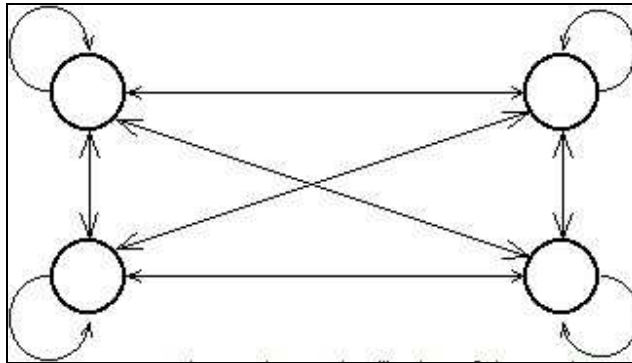
De forma análoga ao que ocorre com as conexões entre os neurônios biológicos, a rede poderá ter todas as saídas de uma camada conectadas com todos os neurônios da próxima camada. A isto dá-se o nome de rede neural amplamente conectada (*fully connected*).

A seguir estão representados, graficamente, algumas arquiteturas (Tafner, 1995) Fausett (1994). A arquitetura *multilayer feedforward* (fig. 6) caracteriza-se pelo fato de o sinal ser propagado somente para frente (*feedforward*) e a rede ser constituída de duas ou n camadas (*multilayer*).

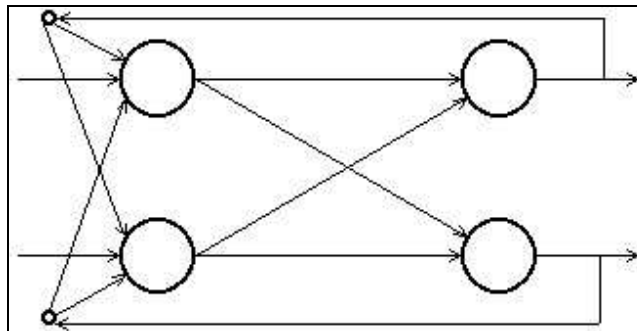
Figura 6: Rede *Multilayer feedforward*.



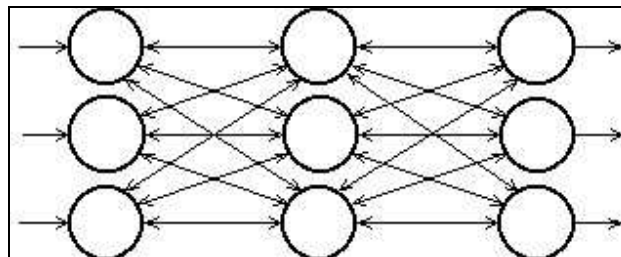
Chamada de *Maxnet* e baseada na competição, a arquitetura *competitive layer* (fig. 7) é geralmente utilizada como sub-rede para a seleção de qual nodo tem o sinal de entrada maior. Os n nodos estão amplamente conectados e seus pesos são simétricos e fixos.

Figura 7: Rede *Competitive Layer*.

Nas redes com arquitetura *feedback* (fig. 8) o sinal de saída de um neurônio serve como entrada para outra camada ou até para a mesma camada.

Figura 8: Rede *feedback*.

As redes que utilizam a arquitetura *multilayer feedforward/backward* (fig.9) propagam o sinal tanto para frente (*feedforward*) quanto para trás (*backward*). Este tipo de arquitetura é utilizado em sistemas onde o sinal anterior influencia o próximo sinal.

Figura 9: Rede *Multilayer Feedforward/Backward*.

A arquitetura da rede poderá ser escolhida de acordo com a necessidade da aplicação ou até mesmo o gosto do projetista (Tafner, 1995).

Loesch (1996) estabeleceu a relação entre alguns modelos de redes neurais e suas aplicações básicas (tabela 2):

Tabela 2: Modelos de redes neurais e suas aplicações básicas.

Modelo	Data	Aplicação básica
Adaline / Madaline	1960	Filtragem de sinal adaptativo, equalização adaptativa
Adaptive resonance Theory (ART)	1983	Reconhecimento de padrões
Backpropagation perceptron	1974-1986	Reconhecimento de padrões, filtragem de sinal, remoção de ruídos, segmentação de sinal/imagem, classificação, controle robótico adaptativo, compressão de dados
Recurrent	1987	Controle robótico, reconhecimento de fala, previsão de eventos sequenciais
Time-Delay	1987	Reconhecimento de fala
Redes de ligações funcionais	1988	Classificação, mapeamento
Redes de função de base radial	1987-1988	Classificação, mapeamento
Backpropagation de função utilidade no tempo	1974	Neurocontrole, robótica
BAM – Memória associativa bidirecional	1987	Heteroassociativa (memória endereçada por conteúdo)
Boltzmann machine, Caughy machine	1984-1986	Reconhecimento de padrões (imagens, radar, sonar)
Hopfield	1982	Evocação heteroassociativa, otimização
Brain-state-in-a-box (BSB)	1977	Possivelmente melhor desempenho que a rede Hopfield
Neocognitron	1975-1982	Reconhecimento de caracteres manuscritos e outras figuras

3.3.2 Treinamento

Para efetuar o treinamento das redes neurais há, basicamente, duas formas: o treinamento supervisionado e o não supervisionado.

No treinamento supervisionado se destaca a presença do que é chamado de professor, sendo que os padrões de entrada são apresentados à rede neural sempre acompanhados dos padrões de saída a eles associados. Caso o padrão não seja reconhecido de forma positiva deverá ocorrer uma correção dos pesos, conhecido por ajuste sináptico.

Este ajuste sináptico ocorre aplicando-se, normalmente, a chamada “Regra Delta”. Esta regra possui o seguinte formato (Tafner, 1995):

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \Delta_i, \text{ sendo que}$$

$$\Delta_i = c * \delta * x_i,$$

onde:

Δ_i = correção associado com a i -ésima entrada x_i

$w_i(n+1)$ = o novo valor do peso

$w_i(n)$ = o valor antigo do peso

δ = saída desejada – saída obtida (erro)

c = constante de treinamento

Um exemplo da utilização deste método de treinamento pode ser observado nos sistemas de classificação de peças manufaturadas, onde o responsável pelo treinamento apresenta o conjunto de padrões de entrada relacionando-os com os tipos de peças para que a rede possa aprender quais padrões de entrada estão associados aos padrões de saída.

O treinamento não supervisionado não requer a presença do professor nem de padrões de saída que necessitem ser comparados com os padrões de entrada. A rede por si só aprende a classificar os padrões, por isso são conhecidas como classificadores e são utilizados principalmente como detetor de características (Tafner, 1995). São consideradas redes auto-organizáveis (Fausett, 1994). Uma aplicação deste método pode ser observado nas redes para classificação do perfil de clientes.

3.3.3 Funções de ativação

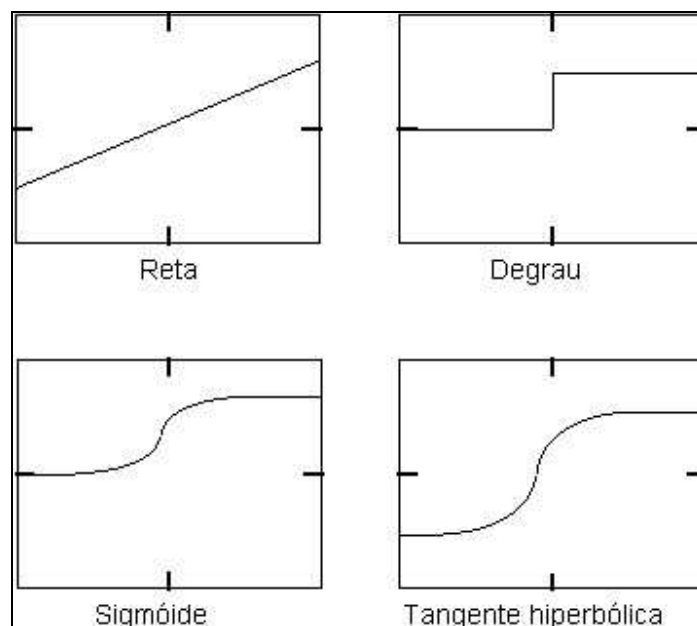
O funcionamento básico de uma rede neural pode ser descrito como sendo o somatório dos sinais de entrada e a aplicação de uma função de ativação (Fausett, 1994). Uma vez aplicada a função de ativação o sinal de saída do neurônio será gerado. Entretanto, pode-se encontrar na literatura uma abordagem um pouco diferente.

Em Tafner (1995) pode-se encontrar referência a uma outra função chamada de função de transferência, também conhecida por limiar lógico (*threshold*) que seria responsável pela definição e envio do sinal para fora do neurônio.

Esta distinção é feita pois, em modelos de redes neurais mais simples a função de ativação se confunde com a função de transferência sendo, em muitos casos, uma única. Porém em modelos mais complexos suas atribuições são bem explícitas e distintas, cabendo a função de ativação um processamento, dentro do próprio neurônio, do sinal recebido para só então este ser repassado para a função de transferência (Tafner, 1995).

As funções de transferências mais comuns na modelagem de neurônios (fig. 10) são (Tafner, 1995) (Kovács, 1996) (Fausett, 1994) (Masters, 1994):

Figura 10: Gráfico das funções de ativação.



3.3.4 Níveis estruturais

Uma vez entendido os conceitos de neurônio, rede neural, arquitetura de rede, treinamento e função de ativação, as redes passam a ser analisadas segundo seus três níveis estruturais (Loesch, 1996):

- a) micro-estrutura;
- b) meso-estrutura;
- c) macro-estrutura.

Na micro-estrutura é analisado o neurônio de forma individual, com suas características próprias (função de ativação, viés, ganho, entre outros).

Quando considera-se o arranjo dos neurônios na rede (arquitetura), o tipo de entrada (analógico ou digital), o tipo de saída (saídas diretas ou complementação de entrada), isto caracteriza a meso-estrutura da rede.

Os vários modelos de redes neurais podem ser associados para a resolução de um problema maior. As redes que são utilizadas de forma associada podem ser classificadas em fortemente ou suavemente acopladas. A definição do uso desta solução é difícil pelo envolvimento de muitas variáveis no processo como, por exemplo, o número, o tipo, o tamanho das redes a serem utilizadas e o padrão de conexão entre elas. Este tipo de associação faz referência à macro-estrutura.

3.4 Redes neurais e o processamento de sinais

Amplamente demonstrado na bibliografia é o poder de processamento de sinais, que possuem as redes neurais.

“Classicamente, o processamento de sinais envolve principalmente operações lineares, exceto em alguns raros casos específicos e bem caracterizados como em detectores ou moduladores. Estas operações lineares são coletivamente referidas como *filtros lineares*, e como filtros que são, têm a essencial propriedade de seletivamente separar sinais que pertencem a uma certa classe dos demais” (Kovácz, 1996).

Como conceituado no capítulo 2.1, uma imagem é a reflexão dos sinais luminosos sobre determinado objeto. Sendo assim, a implementação de um classificador neural para o reconhecimento das mesmas é uma técnica perfeitamente aplicável.

Se for analisado o caso de uma imagem relativamente simples com as seguintes características: monocromática (preto e branco) com dimensões de 400 x 400 *pixels*, sendo que a partir desta imagem fosse gerada uma matriz binária representando cada pixel da imagem (1 – preto, 0 - branco) teria-se uma matriz de 160.000 elementos que deveriam ser repassados para a rede neural, o que acarretaria um dimensionamento extraordinário. Para estes casos se faz necessário efetuar processamentos sobre estes sinais para que as

dimensões da matriz sejam reduzidas (a técnica utilizada neste trabalho foi a da amostragem).

A aplicação de redes neurais pode se dar tanto no processamento da imagem (melhoramento, retirada de características, compressão, entre outros), bem como no reconhecimento ou classificação. Neste caso destaca-se a macro-estrutura de uma rede neural, pois pode-se utilizar modelos diferentes para cada tarefa, quando efetuadas em conjunto.

Uma das aplicações de sucesso das redes neurais é o reconhecimento de padrões (Fausett, 1994), em virtude de sua capacidade de generalização, habilidade de se ajustar a novos tipos de informações, velocidade de execução, tolerância a falhas e otimalidade (Hugo, 1995). O reconhecimento de padrões pode ser definido como sendo o reconhecimento através de máquinas de regularidades significativas em ambientes complexos ou ruidosos, ou a procura de determinadas estruturas nos dados (Hugo, 1995).

Em se tratando de imagens “... *um padrão é uma descrição quantitativa ou estrutural de um objeto ou alguma outra entidade de interesse em uma imagem. Em geral, um padrão é formado por um ou mais descritores...*” (Gonzalez, 1992). Entenda-se por “descritores” como sendo características.

Como toda a técnica as redes neurais apresentam suas desvantagens de aplicação (Loesch, 1996):

- a) falta de formalismo na especificação;
- b) realização de simulações pode ser um trabalho árduo e distante da realidade do modelo;
- c) limitação da aplicação a problemas específicos; entre outros.

No trabalho proposto foi implementado o modelo de rede neural do tipo *Perceptron*, inicialmente proposto por Frank Rosenblatt em 1957, com três camadas:

- a) camada de entrada;
- b) camada de processamento;
- c) camada de saída.

Optou-se utilizar este modelo por se mostrar aplicável e ter um bom desempenho na resolução do problema proposto, bem como por seu baixo custo em termos de tempo de treinamento.

4 Robótica

Pressionada principalmente pela sua utilização na indústria, a robótica tem um crescimento cada vez mais acelerado, chegando ao ponto de influenciar o cotidiano das pessoas. Quem ainda não tem algum aspecto da sua vida de alguma maneira envolvido pela robótica, é provável que no futuro a tenha, não necessariamente de um modo direto, como por exemplo sendo o dono de um “robô serviçal”, mas pense nos automóveis, eles certamente terão a maioria de suas partes montadas pelas “mãos” de um robô.

4.1 O que é um robô

O homem há tempos vem construindo máquinas com capacidade de movimento, muitas vezes similares aos seus, e com o sonho inerente de inserir inteligência nestes dispositivos. A maior parte das invenções humanas tem origem na imaginação e fantasia. Pandora, Golem e Frankenstein são considerados mais como sendo seres artificiais do que naturais (Ullrich, 1987).

Segundo McComb (2000) os roboticistas assim como o Dr. Frankenstein, do clássico de Mary Wollstonecraft Shelley, dão “vida” a suas criações a partir de peças mortas como por exemplo, motores, engrenagens e baterias.

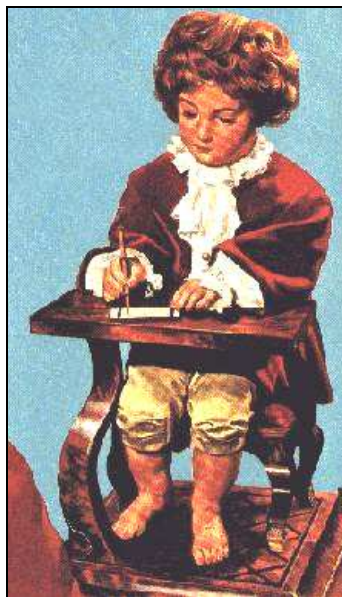
Os primeiros sistemas que implementavam o funcionamento autônomo ficaram conhecidos como autômatos e surgiram por volta dos séculos XVII e XVIII. Os autômatos são comumente citados como ancestrais dos robôs modernos, normalmente imitavam a forma do corpo humano e desempenhavam tarefas como escrita, desenho e tocar instrumentos musicais. Alguns autômatos ficaram famosos, entre eles destacam-se os de Jacques de Vaucanson (fig. 11) e os de Jaquet-Droz (fig. 12 e fig. 13).

Figura 11: Autômato de Jacques de Vauncanson



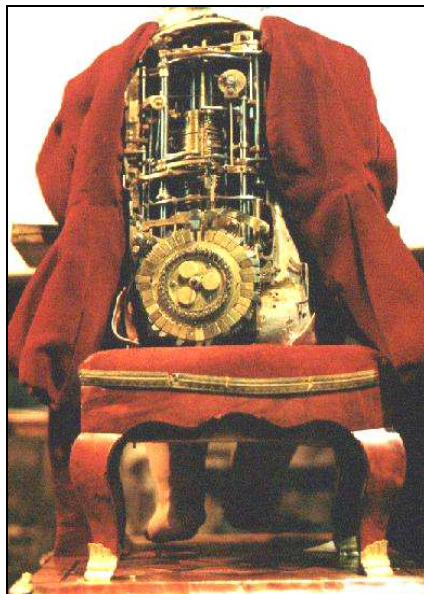
Fonte: Musee (1996).

Figura 12: Boneco escritor, autômato de Jaquet-Droz (parte anterior).



Fonte: Musee (1996).

Figura 13: Boneco escritor, autômato de Jaquet-Droz (parte posterior).



Fonte: Musee (1996).

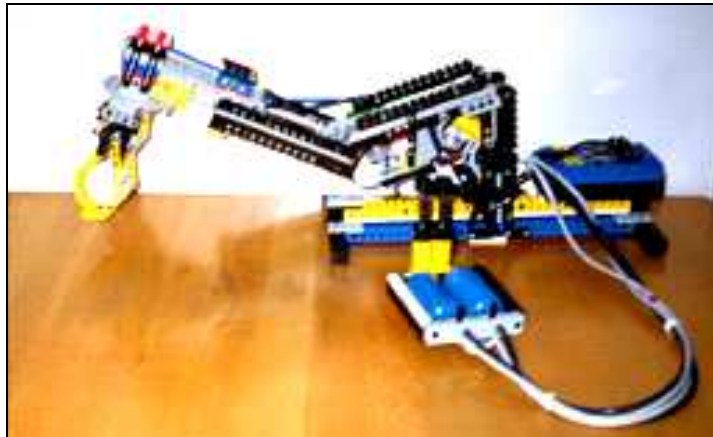
O termo **robô** surgiu em janeiro de 1921 quando foi encenada pela primeira vez, em Praga, a peça teatral, *Rossum's Universal Robot* (RUR), de Karel Capek. Na língua tcheca a palavra *robot* tem o significado de serviço compulsório, atividade ou trabalho forçado. Nesta peça eram conhecidos como robôs, pessoas fabricadas artificialmente, sendo extremamente eficientes, porém sem emoções (Salant, 1990). Em contrapartida Claude Lurgeau diz que o termo robô provém do russo e traduz a noção de trabalho (Vieira, 1985).

Salant (1990) afirma que “...um robô é um dispositivo mecânico motorizado que pode ser programado para fazer de forma automática uma grande variedade de tarefas. Uma vez programados, os robôs poderão executar suas tarefas sem a supervisão humana...”, conceito este similar ao adotado pelo *Robot Institute of America* (RIA) que classifica os robôs como “[...] manipulador multifuncional reprogramável, projetado para mover material, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de vários movimentos programados para a execução de várias tarefas.” (Vieira, 1985).

Se forem analisados estes conceitos, é possível chegar a conclusão de que muitos dispositivos disponíveis no mercado utilizam o termo robô de forma equivocada. Pode-se citar exemplos de alguns **manipuladores manuais** (braços robóticos de brinquedo - figura

14) e alguns **manipuladores manuais controlados remotamente** (dispositivos utilizados para remoção de bombas, resíduos químicos e radioativos, dispositivos que efetuam cirurgias a distância e a faxineira andróide *Tmsuk*, da empresa japonesa *Personal Robotics Solutions* – figura 15), que não poderiam ser considerados robôs, pois não “lembram” de instruções recebidas e não são capazes de repetir tarefas de forma autônoma ou automática (Salant, 1995).

Figura 14: Braço robótico de brinquedo.



Fonte: Lego (2000).

Figura 15: *Tmsuk* a faxineira andróide.



Fonte: Personal (2000).

São exemplos de dispositivos que genuinamente podem ser chamados de robôs, segundo Salant (1990) e o RIA, os que muitas vezes são aplicados nas indústrias,

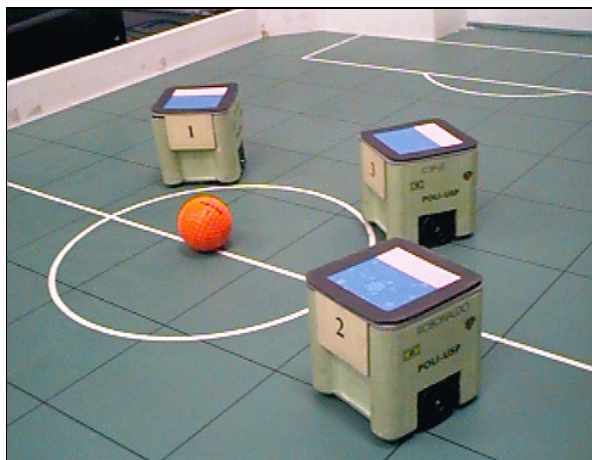
principalmente nas linhas de montagem de automóveis – figura 16 e o popular futebol de robôs – figura 17.

Figura 16: Robô na indústria.



Fonte: Adaptado de Instituto (1998).

Figura 17: Jogo de futebol de robôs.



Fonte: USP (2001).

Contradizendo, em parte, o que foi exposto anteriormente, tem-se o conceito de robô segundo a *Japan Industrial Robot Association* (JIRA). “Para a JIRA o robô é [...] uma máquina faz-tudo, equipada com um dispositivo de memória e um terminal, capaz de deslocar e substituir o trabalho humano pelo desempenho automático dos movimentos” (Vieira, 1985). Neste caso os manipuladores manuais seriam considerados robôs.

4.2 Histórico da robótica

Segundo Carezzato (2000), o termo **robótica** faz referência ao estudo e a utilização de robôs. Esta designação foi lançada pela primeira vez por Isaac Asimov um cientista russo, naturalizado americano, que utilizou extensivamente os robôs em seus livros. O termo robótica foi escrito pela primeira vez em seu livro “*Runaround*”, de 1942. (Tafner, 1995).

Asimov ainda lançou, na mesma época, as diretrizes básicas da robótica, que são citadas em grande parte da bibliografia da área:

- a) **Um robô não poderá prejudicar um ser humano, ou através de sua inatividade permitir que este esteja em perigo;**
- b) **Um robô terá de obedecer as ordens dadas pelo ser humano, a menos que estas contradigam a primeira lei;**
- c) **Um robô deverá preservar a própria existência a menos que isto contradiga a primeira e a segunda lei.**

Mais tarde, em 1984, Asimov ainda lançou uma quarta lei que precede as outras três: **Um robô não pode prejudicar a humanidade nem permitir que ela o faça.** Quando porém testemunha-se aplicações de sistemas robóticos em combates militares, que acabam por ceifar muitas vidas humanas, vê-se que estas leis parecem não ter um sentido prático.

A ficção científica sempre pareceu ter uma visão do que realmente iria acontecer no futuro. Isto não é diferente quando robôs são citados em livros, contos e filmes. Um clássico da ficção, do ano de 1926, *Metropolis* (fig. 18), um filme de Fritz Lang, já mostrava a aplicação de robôs. *Lost in Space*, uma série de TV que se tornou um clássico, trazia um robô (fig. 19) que avisava a sua família humana sobre um perigo eminente. Mais recentemente filmes como *Blade Runner* (fig. 20) de Ridley Scott (1982), *Terminator* (fig. 21) de James Cameron (1984), e *Robocop* (fig. 22) de Paul Verhoeven (1987), também enfatizavam a presença de robôs e andróides na sociedade.

Figura 18: Cena do filme *Metropolis*.



Figura 19: O robô da série *Lost in Space*.

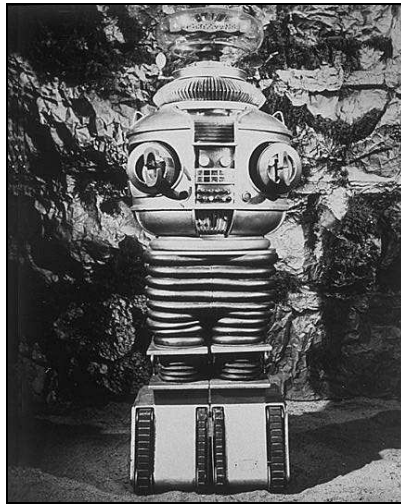


Figura 20: Cartaz de *Blade Runner*.



Figura 21: T800 o robô do filme *Terminator*.



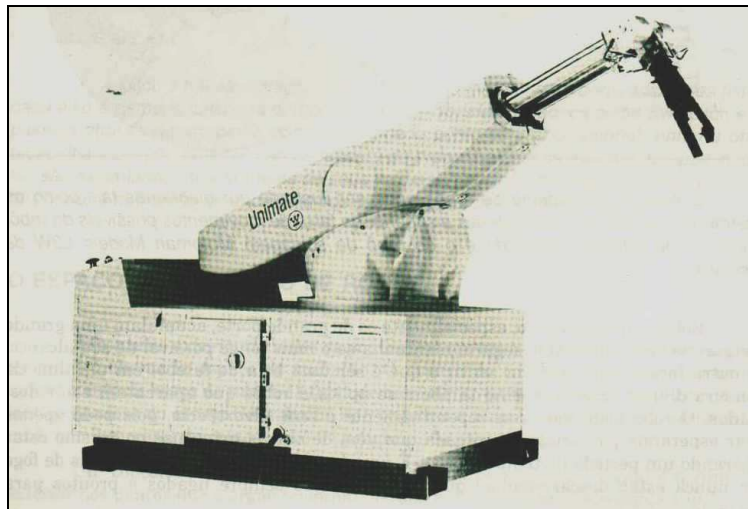
Figura 22: *Robocop* o robô parte-homem parte-máquina.



Na prática, a fabricação de sistemas robóticos iniciou-se na fábrica de robôs mais antiga do mundo, a *Unimaton*, sendo a ela atribuída a construção do primeiro robô industrial. Um de seus símbolos é a série de robôs *Unimate* (fig. 23), cujo primeiro exemplar foi vendido para a GM em 1961 (Ullrich, 1987) (Salant, 1990).

Estes robôs fabricados pela *Unimation* se caracterizavam por terem acionamento hidráulico com capacidade de carga de até 160 kg, sendo utilizados em operações de solda, carga e descarga, prensas e manuseio de materiais. Os robôs da série *Unimate* possuem um tempo útil maior que 98%, ou seja, eles ficam ativos cerca de 51 semanas por ano (Salant, 1990).

Figura 23: Robô *Unimate* fabricado pela Unimation



Fonte: Salant (1990)

“A fabricação de robôs no Brasil iniciou-se em 1985 a partir do Comunicado de Robótica feito pela Secretaria Especial de Informática. Nesse comunicado foram habilitadas dezesseis empresas para o fornecimento de robôs e manipuladores, quatro destas com tecnologia estrangeira.” (Salant, 1990).

Hoje existem dois principais grupos de usuários de robôs no Brasil: a indústria (como fonte de trabalho), com destaque para a automobilística, e as instituições de ensino e pesquisa (no desenvolvimento e pesquisa de robôs) (Salant, 1990).

Pode-se citar como referência na pesquisa da área de robótica, instituições como a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), a USP (Universidade de São Paulo), o Centro Tecnológico para Informática da Unicamp e o ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica).

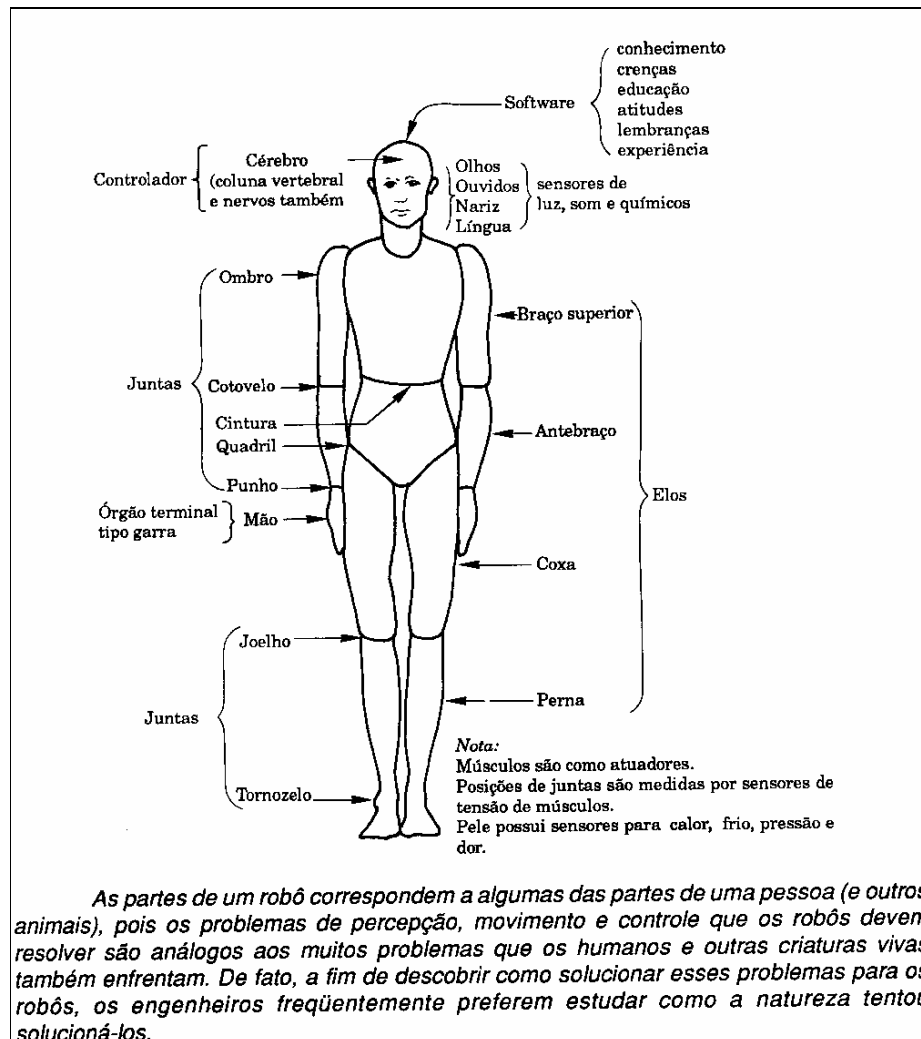
4.3 Partes de um robô

Como os robôs são construídos, normalmente, para efetuarem tarefas que são desempenhadas por seres humanos, é comum que sejam concebidos levando-se em consideração o *design* do corpo humano (fig. 24).

Os seres humanos podem ser considerados privilegiados por possuírem um corpo, analisando-se todos os seus aspectos, que se aproxima da máquina perfeita. É, normalmente, inteligente, pode se mover pelos mais diversos ambientes, é relativamente

resistente, produz energia a partir do consumo de alimentos e possui mecanismos sofisticados de autodefesa (sistema imunológico). A grande meta dos roboticistas é a construção de uma máquina similar ao ser humano, meta esta que, por enquanto, ainda não foi alcançada (McComb, 2000).

Figura 24: Analogia do corpo humano e as partes de um robô.



Fonte: Salant (1990).

Muitos materiais são aplicados para a construção de robôs. Os utilizados com maior frequência, segundo McComb (2000), são:

- alumínio: Utilizado em robôs de tamanhos variados é recomendado por ser extremamente forte, se considerado o seu peso, é fácil de cortar e pode se comprado em vários lugares;

- b) aço: Normalmente utilizado nas bases estruturais do robô por se mostrar muito forte e resistente, entretanto, seu manuseio pode se mostrar difícil por ele ser muito duro necessitando de ferramentas especiais para efetuar o seu corte. Seu uso também é recomendável em partes onde precisão e força são necessárias como braços e mãos;
- c) estanho, ferro e latão: Estanho e ferro são utilizados como ferragens adicionais, muitas vezes suportes, folhas de metal e carcaças. O latão é comumente encontrado em *kits* de montagem para hobistas;
- d) madeira: Por incrível que pareça a madeira também é utilizada em robôs, entretanto, seu uso é restrito à aplicações específicas, normalmente barcos e aviões robotizados. Existem muitas vantagens da aplicação da madeira, entre elas a sua facilidade de manuseio (pode ser cortada, lixada e entalhada facilmente), não é condutor de eletricidade impedindo assim curto-circuitos e está disponível em qualquer lugar;
- e) plástico: Muitos produtos do “mundo moderno” utilizam plástico, com os robôs não poderia ser diferente. Por muitas vezes o plástico pode se mostrar mais resistente que os metais sendo extremamente mais leve e é muito de manusear, cortar colar e dar formas das mais diversas para peça;
- f) *foamboard*: Uma espécie de sanduíche de espuma com papel ou plástico colado dos lados. Normalmente utilizado em bases de pequenos robôs onde o pequeno peso se faz necessário. Pode ser facilmente recortado e moldado.

Robôs industriais que são, geralmente, construídos para uma gama limitada de tarefas (Ullrich, 1987) possuem quatro partes essenciais: uma base fixa (que pode girar ou deslizar, porém por uma distância curta), um braço articulado, uma unidade de controle e um dispositivo de programação (Salant, 1990).

Entretanto, com projetos mais sofisticados na área da robótica móvel, outras variáveis foram introduzidas no processo, pois agora o robô passa a ter que interagir de maneira mais efetiva com o meio em que está inserido.

Alguns problemas são clássicos no desenvolvimento de robôs móveis, são eles (Jones, 1998):

- a) navegação (considerado o principal);
- b) reconhecimento;
- c) aprendizado;
- d) tamanho do robô;
- e) cooperação (interação) com outros robôs.

Com estes problemas a serem resolvidos por projetistas de robôs, novas partes com aplicação crítica surgem:

- a) Sensores de localização e orientação;
- b) Locomoção (rodas, pernas ou esteiras);
- c) Um “cérebro” para prover a “inteligência” necessária para gerenciar todas as variáveis do processo.

Algumas técnicas são aplicadas para dar habilidade de navegação aos robôs móveis. Entre elas destaca-se a aplicação de sensores para posicionamento e orientação. Estes sensores normalmente são os leds emissores de raios infravermelhos, sensores de ultra-som para avaliar distâncias, giroscópios, sensores de toque, entre outros (Jones, 1998). No trabalho desenvolvido utilizou-se pares de *leds* infravermelhos (emissor - receptor) para que o *line tracing* pudesse ser aplicado. A técnica do *line tracing* constitui-se em traçar no solo, por onde o robô irá se deslocar, um linha reflexiva, normalmente branca, para que os raios infravermelhos sejam refletidos nos *leds* receptores. O *line tracing* também pode ser utilizado aplicando-se sensores indutivos, porém a linha traçada no solo deve ser metálica.

4.4 Tipos de robôs

Diante da enorme gama de aplicação dos robôs surgem inúmeras classificações segundo características físicas, tipo de locomoção, movimentação, raio de ação, inteligência, características técnicas internas, trabalhos que pode realizar, grau de precisão, força que pode empregar, entre outros.

Salant (1990) apresenta uma classificação como descrito abaixo:

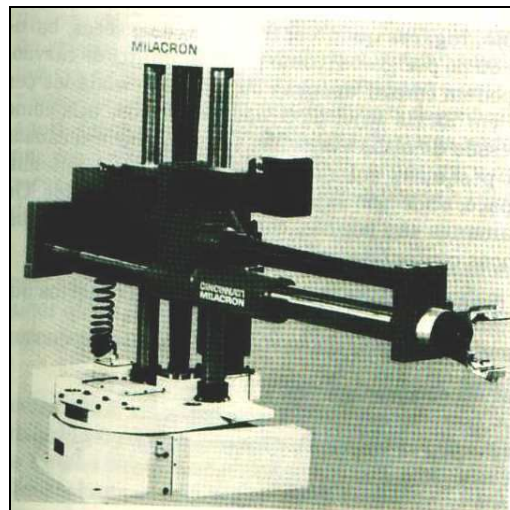
- a) robô articulado ou rotacional: Parecido com o braço humano, sendo capaz de muita precisão mas normalmente sem muita força (fig 25).

Figura 25: Robô articulado ou rotacional.



- b) robô cilíndrico: Possui um braço que pode ser girado horizontalmente. Sua precisão não é similar ao articulado, porém sua força é muito mais expressiva (fig. 26).

Figura 26: Robo cilíndrico.

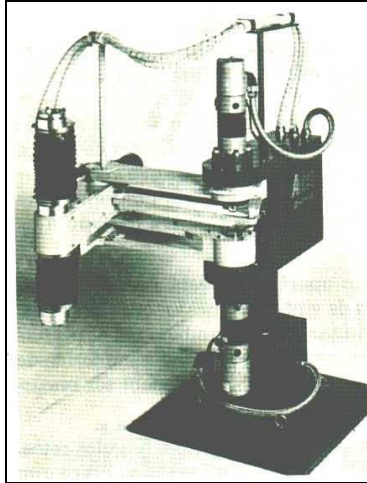


Fonte: Salant (1990).

- c) robô SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm): Este tipo de braço robótico possui uma liberdade de movimentação tanto no plano horizontal

quanto no vertical. Robôs com esta configuração são utilizados em larga escala na montagem de circuitos eletrônicos (fig. 27).

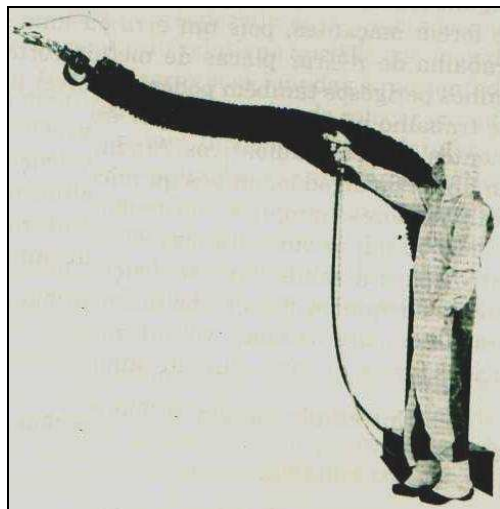
Figura 27: Robô SCARA.



Fonte: Salant (1990).

- d) robô *Spine*: Implementa alguns conceitos da espinha animal, isto permite ao robô se manter ereto, curvar-se e girar, sendo altamente flexível (fig. 28).

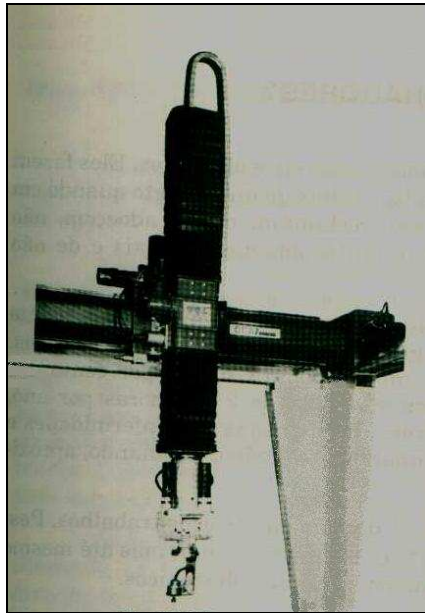
Figura 28: Robô Spine.



Fonte: Salant (1990).

- e) robô pórtico: Montado sobre uma ponte rolante este tipo de robô pode se mover com grande precisão, podendo também ser muito forte e estender-se por grandes distâncias dentro de uma fábrica por exemplo (fig. 29).

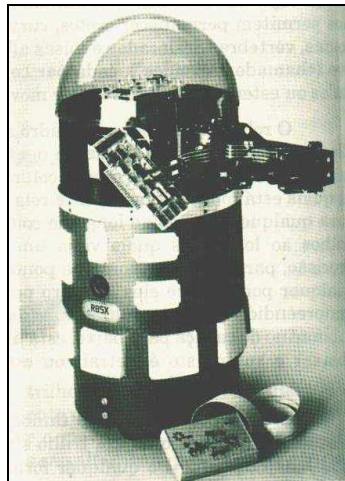
Figura 29: Robô pórtico.



Fonte: Salant (1990).

- f) robôs móveis: Alvo do estudo deste trabalho, são robôs que tem uma liberdade de ação maior devido ao fato de não se manterem fixos em nenhuma base (fig. 30).

Figura 30: Robô móvel.



Fonte: Salant (1990).

McComb (2000) ainda classifica os robôs em:

- a) não dependente e dependente de recursos externos (um microcomputador, por exemplo);

- b) móveis ou estacionários;
- c) autônomos ou teleoperados;

Segundo o tipo de “corpo” que o robô utiliza tem-se várias características a serem consideradas. O robô pode, eventualmente, possuir um endoesqueleto (como o ser humano) ou um exoesqueleto (como os insetos). Seus corpos, assim como os do ser humano, possuem partes vitais e são comumente chamados de *chassis* ou *frame*. O formato de seu “corpo” também suscita classificações. Mais especificamente os robôs móveis podem ser (McComb, 2000):

- a) *turtle*: Estes são robôs simples e compactos e seu nome deriva de sua semelhança com as tartarugas e da linguagem inicialmente utilizada para programá-los (*Turtle Graphics*);
- b) *vehicle*: São pequenos robôs autônomos com rodas. É comum a utilização de peças da LEGO© (Lego, 2000) e *chassi* de carrinho rádio controlado. Um bom exemplo deste tipo de robô é o Soujourner (fig. 31) da NASA (JET, 1997), que foi utilizado para explorar o solo de Marte;
- c) *rover*: Robôs que implementam alguns conceitos do corpo humano, inclusive algumas capacidades humanas, sendo utilizados principalmente como bombeiros e detetores de intrusos. Um famoso exemplo deste tipo de robô é o R2-D2 de *Star Wars*.
- d) *walker*: São robôs que possuem pernas e a capacidade de caminhar, podendo ser de seis pernas, como os insetos (o que dá muito estabilidade e equilíbrio) e duas como o ser humano. Entretanto tem-se exemplo de robôs implementados com uma até dez pernas.
- e) *android*: Os andróides são robôs desenvolvidos levando-se em consideração a forma exata do corpo humano. Estas são implementações extremamente complexas, ficando portanto, atualmente, restritas aos laboratórios de pesquisa.

Segundo McComb (2000), quanto a inteligência que o robô possui há duas formas de classificação: *smarts robots* (robôs inteligentes) ou *dumb robots* (robôs burros). A

inteligência de um robô não pode ser medida levando-se em consideração somente a capacidade computacional, mas sim a capacidade de reação, por exemplo, analisar as variáveis do ambiente e tomar uma decisão a respeito do melhor caminho a ser seguido. Normalmente um robô inteligente é controlado por um computador que pode prover uma maior capacidade de processamento a fim de se analisar todo o ambiente. Entretanto tem-se implementações com razoável poder computacional que não utilizam um computador como “cérebro”, entre eles estão principalmente os robôs BEAM. A palavra BEAM é o triplo acrônimo de:

Biology **E**lectronics **A**esthetics **M**echanics

Building **E**volution **A**narchy **M**odularity

Biotecnology **E**thnology **A**nalogy **M**orphology

Este tipo de robô foi idealizado por Mark W. Tilden do *Los Alamos National Laboratory* Situado em Los Alamos, Novo México, EUA (BEAM, 2001).

4.5 Porque utilizar robôs

“Os robôs são inacreditavelmente estáveis e eficientes. Eles fazem trabalhos consistentes em todas as horas do dia, todos os dias do ano (exceto quando em reparo ou manutenção), nunca estão cansados, não reclamam, nunca adoecem, não chegam atrasados, não saem cedo, além de não terem problemas pessoais e de não serem descuidados.” (Salant, 1990).

Ullrich (1987) já previa que o impacto da robótica na indústria seria comparável ao que foi causado pelo trator na agricultura e pelo computador nos escritórios. A tecnologia robótica tem muito a dar em termos de qualidade e produtividade. Analisando a questão do bem-estar do ser humano a robótica também tem papel fundamental, liberando os trabalhadores de atividades perigosas e repetitivas.

Analisando, pura e simplesmente, a quantidade de horas que um robô é capaz de se manter produtivo *versus* a quantidade de horas produtivas de um ser humano, apresenta-se o seguinte quadro:

- Um ser humano que trabalhe 44 horas semanais:

1 ano: **52 semanas**

1 mês de férias: **4 semanas**

Semanas trabalhadas: **48 semanas**

48 semanas x 44 horas: **2122 horas trabalhadas** (sem descontar eventuais atrasos, doenças, saídas antes do horário, etc.)

- Um robô que trabalhe 24 horas por dia:

1 ano: **365 dias**

1 semana de manutenção: **7 dias**

Dias trabalhados: **358 dias**

358 dias x 24 horas: **8592 horas trabalhadas** (sem atrasos, doenças, etc.)

Com estes números conclui-se que não existe como um ser humano competir com um robô que exerça a mesma função.

Alguns dos motivos pelos quais a mão-de-obra vem se tornando tão dispendiosa são os encargos impostos pelo governo, que no Brasil representam em torno de 100% do que é efetivamente pago ao funcionário, além de outros benefícios concedidos como por exemplo planos de saúde privado e subsídio para o transporte. Outros fatores a serem considerados são o investimento em segurança principalmente em atividades de alto risco, capacitação constante (treinamento) para aumentar a capacidade de concorrência numa economia globalizada.

Segundo Salant (1990), além da visível desvantagem em quantidade de horas trabalhadas, os seres humanos ainda podem ser “sujos” liberando de seus corpos fios de cabelo, partículas de pele, caspa, suor e até mesmo o gás carbônico liberado pela nossa respiração pode ser muito prejudicial a produção de circuitos eletrônicos. Outros produtos muito sensíveis a impurezas são: processadores e mídias como DVD (*Digital Video Disc*), CD (*Compact Disc*) e MD (*Mini-Disc*).

Porém o mais interessante da aplicação de robôs é poder liberar os seres humanos de atividades repetitivas, maçantes e perigosas. Alguns trabalhos são demasiadamente hostis como por exemplo:

- a) exploração submarina de grandes profundidades;
- b) mineração subterrânea;
- c) manipulação de cargas excessivamente pesadas;
- d) remoção e transporte de produtos químicos, radioativos ou explosivos;
- e) exploração espacial;
- f) manipulação de vírus e bactérias infecciosas;
- g) ambientes poluídos por gás venenoso e pó químico;
- h) locais de trabalho com temperaturas extremas (muito baixas ou muito altas);
entre outros.

Algumas desvantagens da aplicação da robótica nas indústrias são apresentadas por Ullrich (1987):

- a) suas atividades estão limitadas às habilidades de efetuar tarefas para as quais foram desenvolvidos;
- b) limitação, atualmente, dos sentidos que provêm interação com o meio (visão, tato, olfato, entre outros);
- c) altos custos de reprogramação, manutenção;
- d) o restante da linha de produção pode depender de um único robô, e se este parar toda a linha fabril pára;
- e) a questão social em relação às mudanças impostas pela substituição da mão-de-obra.

O último ponto destacado por Ullrich (1987) é muito delicado, pois imagine uma fábrica com apenas duas classes de trabalhadores: de um lado os técnicos altamente especializados que fazem a manutenção e reprogramação dos robôs, por outro lado tem-se os funcionários responsáveis pela limpeza e manutenção predial, enquanto estes também não forem substituídos por robôs. Isto aumentaria ainda mais o foço existente entre as classes sociais.

Segundo uma visão futurista as fábricas serão compostas por máquinas, um homem e um cachorro. As máquinas fazem o trabalho, o homem trata o cachorro e o cachorro cuida para o homem não se aproximar das máquinas.

Nos dias de hoje além da aplicação da robótica nas indústrias pode-se verificar a presença de robôs também nas residências como forma de companhia (bichos de estimação principalmente cães e gatos), elaborando serviços domésticos (mordomos e faxineiras) e no auxílio de pessoas com deficiências motoras (cadeiras de roda robotizadas) (Lemos, 2000).

Outras formas de aplicação podem ser encontradas em restaurante e bares, no papel de garçom e garçonete, bandas musicais utilizam robôs como parte de sua coreografia, robôs teleoperados fazem intervenções cirúrgicas e tratamentos dentários (robô Otto, da Universidade de Humboldt - Berlim) e robôs também são utilizados em testes de segurança em automóveis (robô Klaus da Volkswagen) (Lemos, 2000).

4.6 Grupos de pesquisas em robótica

Mundialmente conhecidos por seus projetos de pesquisa na área da robótica destacam-se instituições de ensino, grupos de pesquisa e até mesmo companhias privadas como por exemplo:

- a) MIT (Massachusetts Institute of Technology): Uma das maiores referências mundiais na área da robótica o MIT desenvolve projetos de alta tecnologia, tendo clientes de peso como por exemplo as forças armadas dos Estados Unidos;
- b) NASA (National Aeronautics and Space Administration): Destaca-se mundialmente pelo desenvolvimento de robôs para a exploração espacial. Um de seus projetos atuais é o desenvolvimento de robôs para auxiliarem os astronautas na manutenção da Estação Espacial Internacional;
- c) Honda: Mais conhecida por fabricar carros e motocicletas a Honda possui, o que é considerado por muitos especialistas, o projeto do robô mais avançado do mundo, pelo menos em termos de locomoção, o Asimo P3 (fig. 32).

No Brasil as instituições de ensino são os principais pesquisadoras em robótica, entre elas pode-se destacar:

- a) USP (Universidade de São Paulo): Um dos projetos mais conhecidos da USP é o Guaraná, a equipe de futebol de robôs que foi vice-campeã mundial da *Robocup* 2000 (fig. 17);
- b) UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais): Com seu curso de Robótica Móvel desenvolve vários projetos através de seus alunos e professores;
- c) UNICAMP (Universidade de Campinas): Destaque para pesquisa nas áreas de Robótica Pedagógica e Visão Robótica;

4.7 Estado da arte no desenvolvimento de robôs

Segundo Jones (1998) o roboticista deve ser um generalista, tendo noções básicas de engenharia mecânica, engenharia elétrica, ciência da computação e inteligência artificial.

Porém projetos avançados não necessitam somente de conhecimento básicos. Neste caso se faz necessário a reunião de profissionais das áreas afins, com conhecimento avançado, para compartilhar sua experiência com os demais membros da equipe. Este tipo de abordagem no desenvolvimento de projetos pode ser observado em casos de sucesso, e alta tecnologia, na aplicação de sistemas robóticos.

Alguns projetos de alta tecnologia e sucesso podem ser vistos a seguir:

- **Mars Pathfinder** (JET, 1997):

No dia 04/12/1996 foi lançado para Marte o projeto *Mars Pathfinder*, talvez o mais ousado já elaborado para exploração daquele planeta. A missão chegou em solo marciano no dia 04/07/1997 e dentro da sonda enviada havia um veículo robô chamado Sojourner (fig. 31) que tinha como missão explorar o planeta vermelho. Este veículo era relativamente pequeno, pesava cerca de 11.5 quilos. Seu "cérebro" era composto por duas placas que efetuavam o processamento e a distribuição de energia para todo veículo. O sistema de navegação era composto por raios laser e câmeras de vídeo. O conjunto de *softwares* para controle do robô era executado em uma estação *Silicon Graphics Onyx2 Supercomputer*, onde a seqüência de comandos era gerada. Uma vez gerados os comandos uma simulação, utilizando a realidade virtual, era efetuada para que em seguida os comando fossem enviados ao veículo através de radiofrequência. O Sojourner possuía seis rodas e sua locomoção era efetuada através de motores DC. Sua estrutura era de alumínio e possuía

uma isolação especial conhecida por *Solid Silica Aerogel* que pode operar em temperaturas com grande oscilação.

A missão encerrou-se em 10/03/1998 quando a última transmissão do Sojourner, às 13:21, chegou à Terra.

Figura 31: Veículo Sojourner em solo Marciano.



Fonte: JET (1997).

- **Asimo P3** (Honda, 2000):

Fruto de 10 anos de pesquisa e mais de 100 milhões de dólares de investimento o Asimo P3 da Honda (fig. 32) é considerado o robô mais moderno (e famoso) do mundo. Uma evolução do projeto anterior, o P2, atualmente o P3 pode caminhar com extrema facilidade e equilíbrio. O objetivo inicial do P3 era desenvolver a mobilidade com inteligência (Lemos, 2000). Este já foi alcançado pois Asimo pode até mesmo subir e descer escadas com extrema precisão.

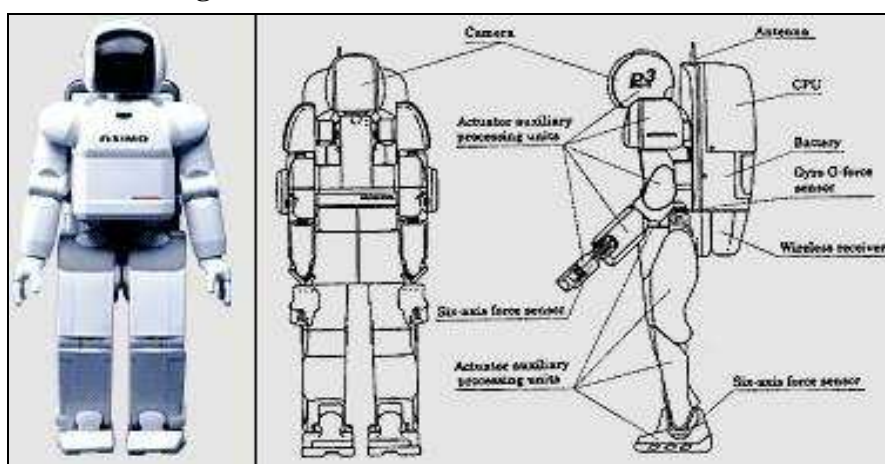
Agora o próximo passo de seus criadores é inserir inteligência para que Asimo possa explorar ambientes por conta própria. Algumas características do P3 são listadas a seguir:

Tabela 3: Características técnicas do robô Asimo P3.

Característica	Dados
----------------	-------

Peso	130 Kg
Altura	1.60 m.
Largura	0.60 m
Velocidade da caminhada	2 Km/h
Peso que pode carregar em cada mão	2 Kg
Tempo de operação (bateria)	Aproximadamente 25 min.
Atuadores	Servo motores DC
Estrutura	Magnésio
Transmissão	<i>Wireless ethernet system</i>
Sensores	girômetros, sensores de força G, sensores de toque e câmeras de vídeo.
Bateria	138V 6Ah(Ni-Zn)
CPU	Microspec II (110MHz) x 2

Figura 32: Asimo o robô andróide da Honda.



Fonte: Honda (2000).

- **Aibo** (Sony, 2000):

Robô de companhia criado pela Sony, tem formato de cachorro e possui capacidade de obedecer até cinquenta comandos de voz. Também é capaz de expressar seis emoções: alegria, tristeza, raiva, surpresa, medo e frustração. Através de sensores pode sentir o acariciar das pessoas tendo como reflexo o balançar de sua cauda. Aibo (fig. 33) é um sucesso comercial fazendo com que a Sony não consiga atender a demanda de forma satisfatória. No dia de seu lançamento, no Japão, foram vendidos 3000 exemplares em 20 minutos e sem se importar com o preço, cerca de 2500 dólares, as 2000 unidades exportadas para os Estados Unidos se esgotaram em quatro dias. Seu sucesso é tamanho

que a Sony eliminou as lojas do processo de vendas e atualmente só aceita encomendas por telefone ou pela Internet (Lemos, 2000).

Figura 33: Aibo o cãozinho-robô da Sony.



Fonte: Sony (2000).

- **Andros Mark V-A1** (Remotec, 2001)

Fabricado pela Remotec, Mark V-A1 (fig. 34) é um exemplo clássico de robôs trabalhando em ambientes hostis. Utilizado para remoção de bombas, trabalhos em usinas nucleares, entre outros, sua importância social é evidente, pois elimina a utilização de seres humanos em trabalhos que são extremamente perigosos.

O Mark V-A1 é um robô relativamente grande e muito resistente. Ele é capaz de se locomover em terrenos de difícil acesso desde lama, areia e pedras até escadas e rampas. Possui isolamento do ambiente para que água, poeira e impurezas do ar não seja absorvidas por seus sistemas. Possui uma estação de comando, que pode variar de uma maleta até o tamanho de um refrigerador (dependendo do local em que será utilizado) de onde o operador pode enviar comandos e receber o status do robô. Estas estações de comando podem efetuar a comunicação utilizando radiofrequência, ou cabos de fibra óptica. Atualmente mais de 600 unidades do Mark V-A1 estão em operação em departamentos de polícia, corporações de bombeiros, a SWAT americana, entre outros.

Figura 34: Andros Mark V-A1 robô para desativação de bombas.



Fonte: Remotec (2001).

5 Desenvolvimento do protótipo

5.1 Funcionalidades do protótipo

O protótipo de robô desenvolvido no trabalho está habilitado a se locomover através de um ambiente controlado utilizando a técnica de *line tracing* e efetuar o reconhecimento de figuras geométricas planas que estarão dispersas ao longo do caminho percorrido.

O controle do robô e o reconhecimento das imagens são efetuados por um microcomputador.

A comunicação entre o microcomputador e o robô é realizada através das interfaces serial e paralela. A interface serial é utilizada para a transmissão de comandos para a câmera, bem como o recebimento da imagem capturada. Já a interface paralela é utilizada para enviar sinais de controle aos motores e receber o status dos sensores de posicionamento do robô.

5.2 Especificação

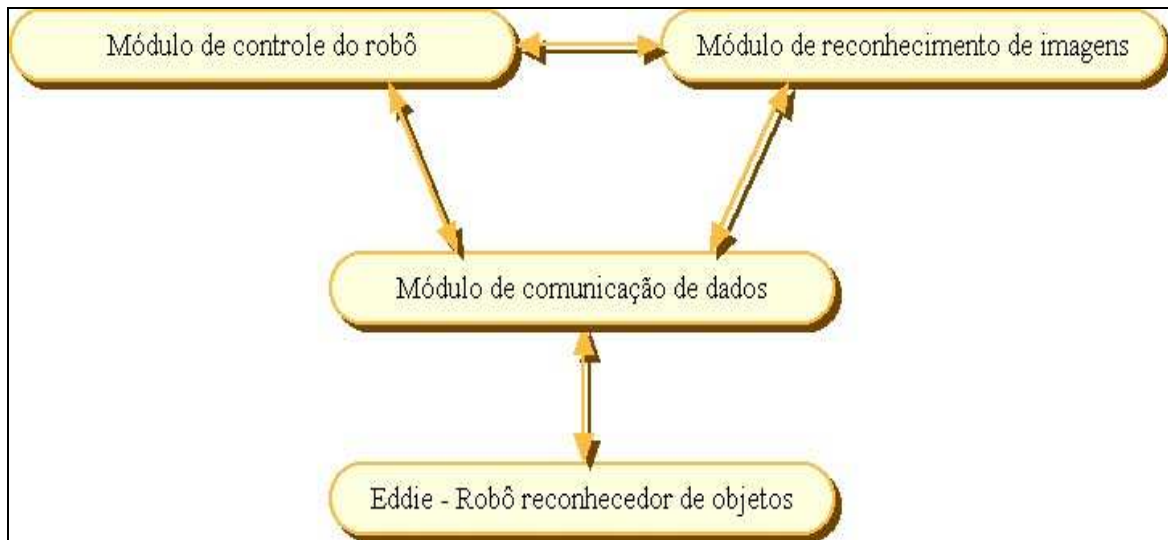
O *software* foi especificado em três módulos:

- a) controle do robô;
- b) reconhecimento de imagens;
- c) comunicação de dados.

Para ambos os módulos foi utilizada a técnica de fluxogramas.

Um quarto componente do sistema é o robô propriamente dito. Para a especificação do protótipo do robô não foi utilizada nenhuma técnica estruturada, somente foram levantadas as necessidades e partiu-se para a montagem.

O interfaceamento entre os módulos e o robô é apresentado na figura 35.

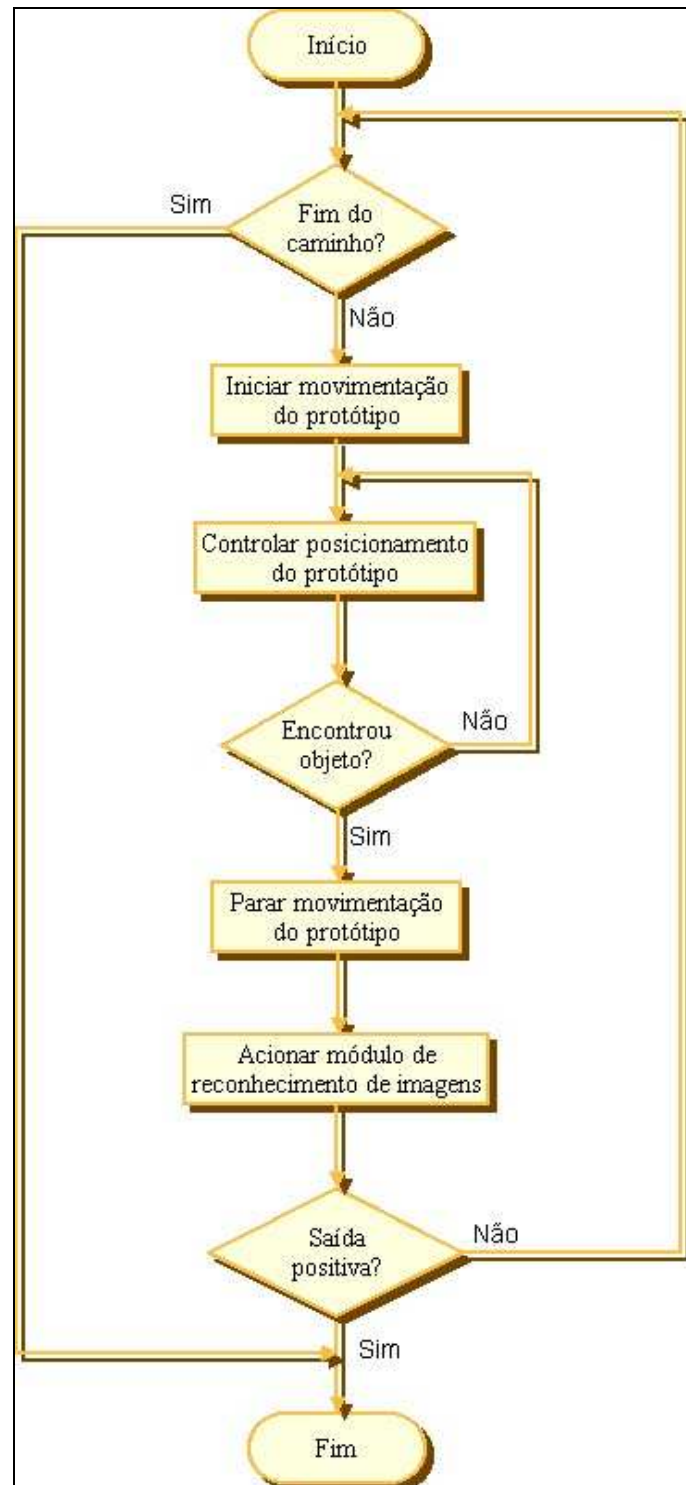
Figura 35: Interface entre os módulos e o robô.

5.2.1 Módulo de controle do robô

As atribuições do módulo de controle são prover o deslocamento, manter e eventualmente corrigir a trajetória do robô, localizar os pontos de captura da imagem e verificar se é o fim do caminho.

Para estes controles, que são executados simultaneamente, foi utilizado o recurso da programação multitarefa através da implementação de objetos *TThreads*, que no ambiente Borland Delphi instanciam processos concorrentes.

O fluxograma do módulo de controle do robô é mostrado na figura 36.

Figura 36: Fluxograma do módulo de controle de robô.

5.2.2 Módulo de reconhecimento de imagens

A função básica do módulo de reconhecimento de imagens é habilitar o robô, através da visão artificial, a reconhecer as imagens dispersas ao longo do caminho por ele percorrido.

Para o melhor entendimento da especificação deste módulo é interessante a sua divisão em três sub-funções:

- a) aquisição;
- b) processamento;
- c) reconhecimento.

A **aquisição** realiza-se através de uma câmera de vídeo instalada no robô que transmite, de modo serial, a imagem capturada num determinado instante. Uma vez que a imagem foi recebida será aplicado a ela um **processamento** para que seja possível à rede neural proceder com o **reconhecimento**. Nota-se uma clara divisão das tarefas entre as partes constituintes do sistema. A aquisição ocorre no robô, já o processamento e o reconhecimento ocorrem no microcomputador.

Após ter sido capturada, a imagem é submetida à uma rede neural que irá efetuar o seu reconhecimento, sendo que uma resposta entre duas possíveis é esperada:

- a) a imagem capturada faz parte da classe solicitada (saída positiva);
- b) a imagem capturada não faz parte da classe solicitada (saída negativa).

A saída gerada pelo módulo de reconhecimento de imagens será repassada ao módulo de controle do robô para que este tome a decisão de continuar ou não a sua movimentação.

Um fluxograma destas etapas é apresentado na figura 37.

Figura 37: Fluxograma do módulo de reconhecimento de imagens.

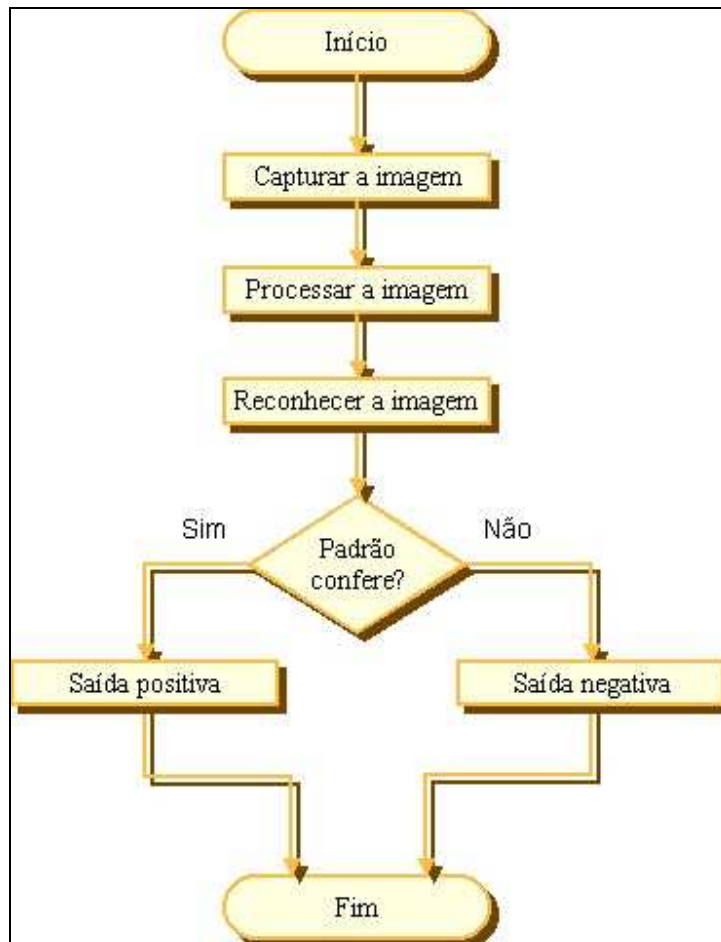
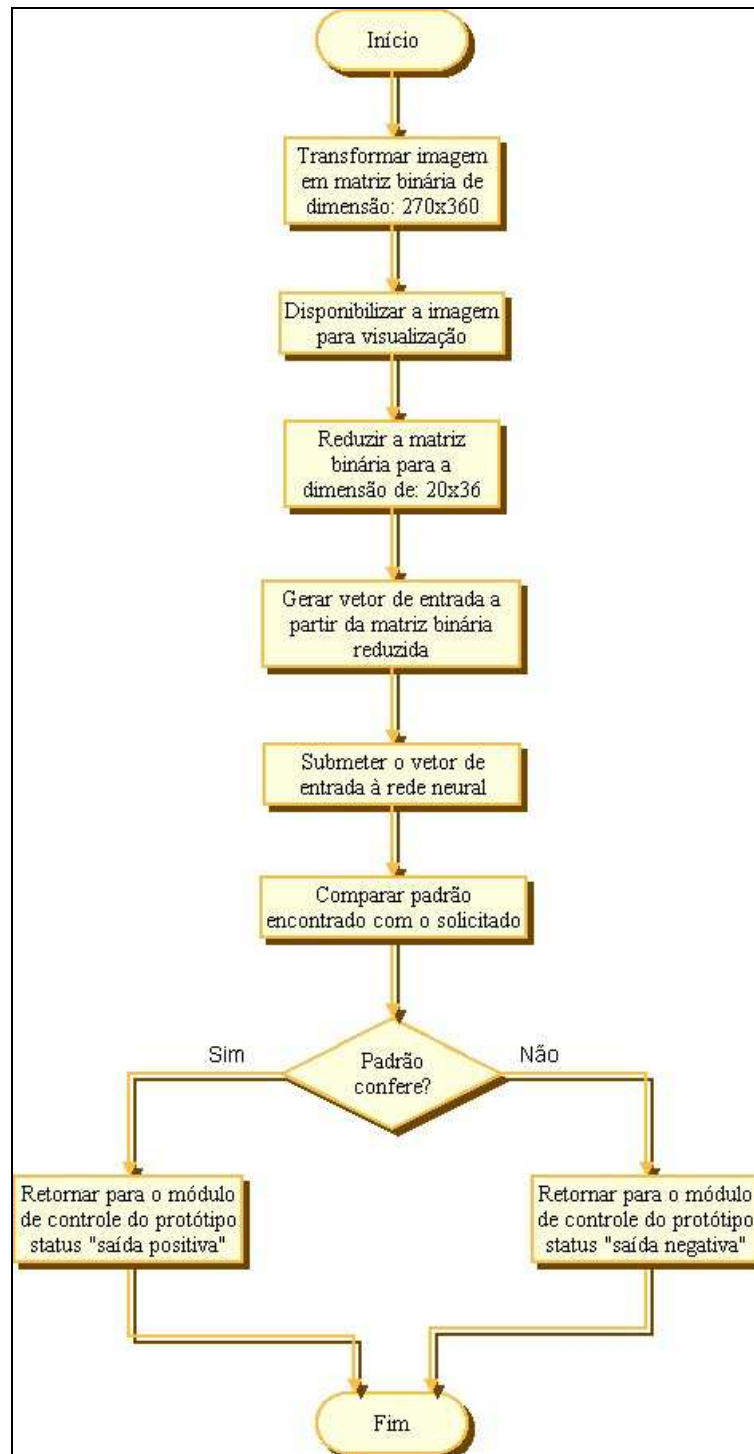


Figura 38: Fluxograma do módulo de reconhecimento de imagens.

5.2.3 Módulo de comunicação de dados

A comunicação de dados é uma característica importante em grande parte das implementações computacionais. Através dela pode-se criar aplicações que possibilitem a troca de informações entre os mais diversos recursos computacionais. Atualmente, por exemplo, não são mais comuns os computadores que funcionem *standalone*.

Quando fala-se em comunicação, de modo geral, importantes aspectos devem ser observados: a **fonte** de transmissão, a **mensagem** transmitida, o **meio** de transmissão e o **destino** da transmissão (Tafner, 1996).

Imagine duas pessoas conversando na rua, mesmo numa conversa informal, os elementos da comunicação se fazem presentes:

- a) **Fonte:** pessoa que fala;
- b) **Mensagem:** palavras que estão sendo emitidas;
- c) **Meio:** o ar (por onde propagam as ondas sonoras);
- d) **Destino:** pessoa que ouve.

O emissor, por sua vez, pode trocar de papel e ser o destino da mensagem enviada e o que era o destino passa a ser o emissor. A este tipo de alternância dá-se o nome *Half-Duplex*, pois ocorre nos dois sentidos, porém não simultaneamente. Já a comunicação que ocorre em um único sentido é chamada de *Simplex*. Há um terceiro tipo de comunicação, chamada de *Full-Duplex*, onde a transmissão é feita nos dois sentidos de forma simultânea.

Segundo Tafner (1996), grande parte das transmissões de dados entre dois pontos é feita através de duas maneiras:

- a) transmissão serial: a transmissão dos bits da informação é efetuada de forma seqüencial, um a um, por um único meio físico;
- b) transmissão paralela: a transmissão dos bits da informação é efetuada de forma simultânea, através de meios físicos paralelos.

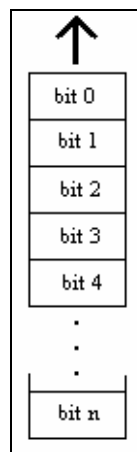
No trabalho desenvolvido foi utilizada a transmissão de dados do tipo *Half-Duplex*, pois há o envio de informações para a câmera, na forma de comandos, e a câmera, por sua vez, envia retornos a estes comandos, por exemplo, a imagem capturada em determinado instante.

Para a comunicação com a câmera foi utilizada a transmissão serial. Outra transmissão *Half-Duplex* ocorre entre o software de controle do robô e as placas de acionamento dos motores de passo e os sensores de posicionamento, sendo que esta transmissão é efetuada em paralelo.

5.2.3.1 Interface serial

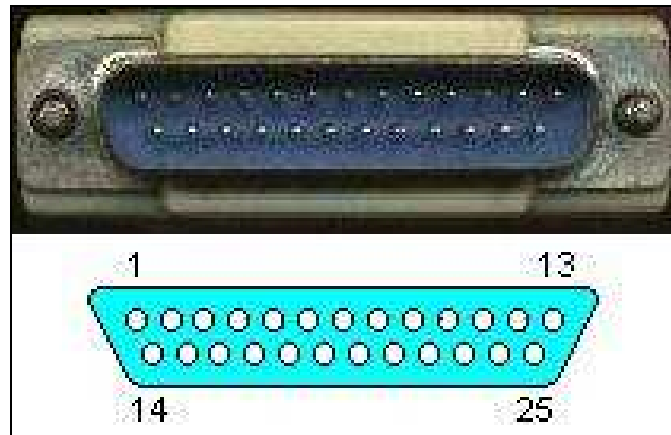
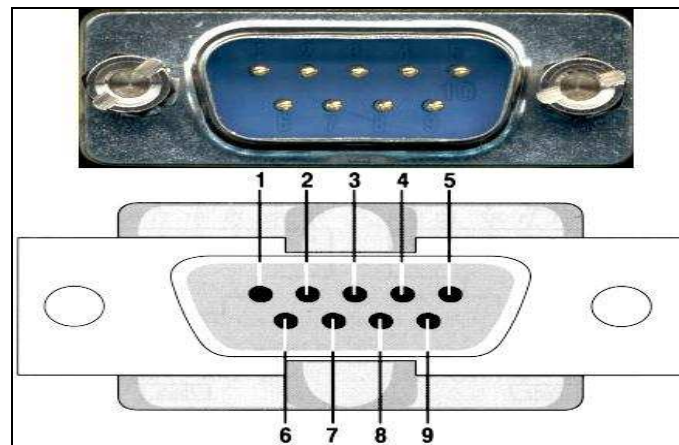
A transmissão serial, como já discutido anteriormente, ocorre quando os bits da informação seguem no meio de forma seqüencial, um a um (fig. 39).

Figura 39: Transmissão serial de dados.



Atualmente, um padrão estabelecido para a transmissão serial nos microcomputadores é a interface RS-232, que foi elaborada pelo EIA (*Electronic Institute Association*), sendo que os sinais trocados entre os equipamentos são normalizados pelo CCITT (Comitê Consultivo Internacional de Telegrafia e Telefonia) (Tafner, 1996).

Este tipo de transmissão é realizada, normalmente, através de dois tipos de conectores: o DB-25 (fig. 40) e o DB-9 (fig. 41). Nos microcomputadores do tipo IBM-PC é comum encontrar conectado a esta interface o *mouse*, o *modem*, teclados para automação comercial, entre outros periféricos. Estas interfaces são comumente conhecidas por portas COM (COM1, COM2, COM3, COM4, etc.).

Figura 40: Conector DB-25.**Figura 41:** Conector DB-9.

A tabela a seguir (tabela 4) mostra os pinos do padrão RS-232 mais utilizados no conector DB-25 (Tafner, 1996).

Tabela 4: Pinos mais utilizados do conector DB-25 no padrão RS-232.

Pino	Denominação – CCITT	Função do sinal
01	<i>Protective ground (PG)</i>	Terra de proteção.
02	<i>Transmitted data (TXD)</i>	Pino por onde os dados são transmitidos.
03	<i>Received data (RXD)</i>	Pino por onde os dados são recebidos.
04	<i>Request to send (RTS)</i>	Pino para solicitação de transmissão.
05	<i>Clear to send (CTS)</i>	Resposta para a solicitação de transmissão.
06	<i>Data set ready (DSR)</i>	Indica que o equipamento está conectado e pronto.
07	<i>Signal Ground (SG)</i>	Sinal de referencial zero.
08	<i>Data carrier detected (DCD)</i> <i>ou Received line signal detector (RLSD)</i>	Sinal informando que algum sinal de dado foi recebido.

15	<i>Transmitter clock (TXCLK)</i>	Clock de transmissão.
17	<i>Data derived clock (RXCLK)</i>	Clock de recepção.
20	<i>Data Terminal ready (DTR)</i>	Indica que o equipamento está conectado e pronto.
22	<i>Ring indicator</i>	Indica a presença de tom na linha de transmissão.
24	<i>External transmitter clock (EXT TXTCLK)</i>	Clock externo para transmissão.

No conector DB-9 há apenas 9 pinos, porém suas funções são similares aos do DB-25, sendo que os pinos básicos necessários para a transmissão estão presentes (tabela 5):

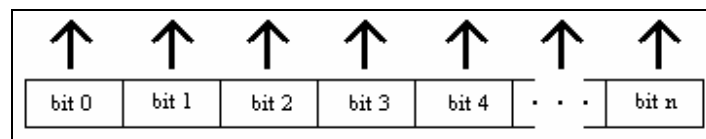
Tabela 5: Pinagem do conector DB-9 no padrão RS-232.

Pino	Denominação
01	<i>Carrier detect (CD)</i>
02	<i>Receive data (RC)</i>
03	<i>Transmit data (TD)</i>
04	<i>Data terminal ready (DTR)</i>
05	<i>Signal ground (SG)</i>
06	<i>Data set ready (DSR)</i>
07	<i>Request to send (RTS)</i>
08	<i>Clear to send (CTS)</i>
09	<i>Ring indicator (RI)</i>

5.2.3.2 Interface paralela

A transmissão paralela ocorre quando os bits da informação percorrem o meio de forma simultânea, através de meios físicos paralelos (fig. 42).

Figura 42: Transmissão paralela de dados.



Na interface paralela tem-se a presença de 25 sinais (pinos) sendo que destes 4 são de controle, 5 de *status*, 8 de dados e 8 são terra (Ground - GND).

Através do conector DB-25 (fig. 40) pode-se enviar até 12 sinais e receber outros 5. A tabela 6 mostra os pinos do DB-25 na interface paralela dos microcomputadores do tipo IBM-PC.

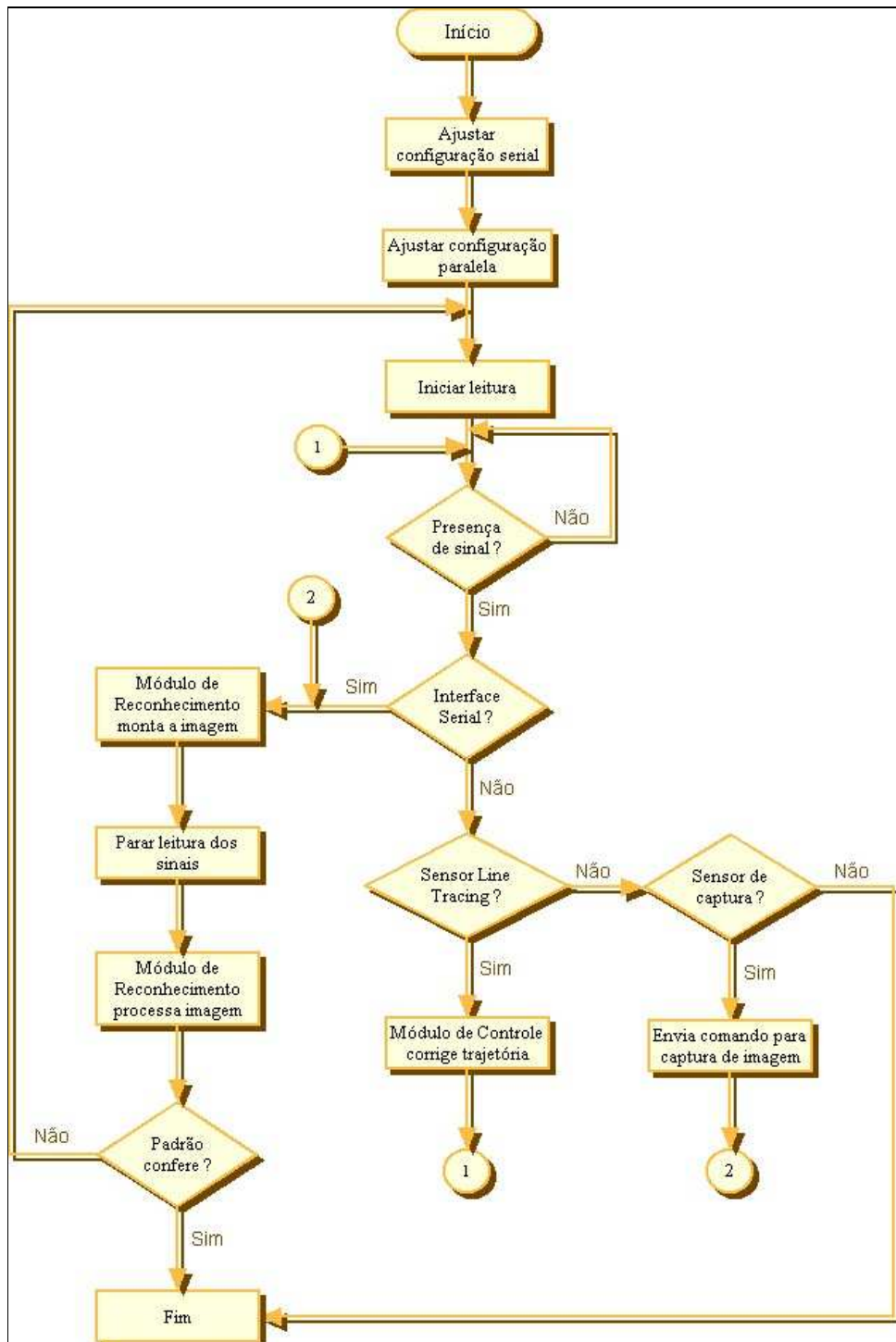
Tabela 6: Pinagem do DB-25 na interface paralela.

Pino	Nome	Direção do sinal	Tipo de sinal
01	<i>Strobe</i>	<i>Out</i>	<i>Control</i>
02	<i>Data 00</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
03	<i>Data 01</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
04	<i>Data 02</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
05	<i>Data 03</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
06	<i>Data 04</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
07	<i>Data 05</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
08	<i>Data 06</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
09	<i>Data 07</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>
10	<i>Acknowledge</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>
11	<i>Busy</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>
12	<i>Paper end</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>
13	<i>Select out</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>
14	<i>Auto feed</i>	<i>Out</i>	<i>Control</i>
15	<i>Error</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>
16	<i>Init</i>	<i>Out</i>	<i>Control</i>
17	<i>Select in</i>	<i>Out</i>	<i>Control</i>
18..25	<i>GND</i>	-----	<i>Ground</i>

Originalmente concebida para conectar a impressora ao computador a porta paralela atualmente é utilizada em vários projetos de automação, por permitir o envio simultâneo de sinais digitais. Assim como impressoras pode-se encontrar conectado à porta paralela uma série de periféricos como por exemplo unidade de disco removível, *scanner*, entre outros. A interface paralela é comumente conhecida como LPT (LPT1, LPT2, LPT3, LPT4).

O fluxograma do módulo de comunicação de dados é apresentado na figura 43.

Figura 43: Fluxograma do módulo de comunicação de dados.



5.2.4 RRO Eddie – Robô rastreador de objetos Eddie

O robô rastreador de objetos Eddie é um triciclo com duas rodas na parte traseira e uma na dianteira a fim de possibilitar a sua mudança de direção. Sua base é de alumínio e madeira e nela estão:

- a) dois motores de passo;
- b) duas placas para controle dos motores;
- c) câmera para captura da imagem;
- d) par de sensores infravermelho na parte inferior (para o *line tracing*);
- e) sensor infravermelho na lateral direita (detecção dos pontos de parada para a captura da imagem);
- f) sensor infravermelho na lateral esquerda (indica fim do caminho).

5.3 Implementação

Para a implementação do *software* foi utilizado o ambiente de desenvolvimento Borland Delphi© 5.0. Optou-se por esta ferramenta por dois principais motivos: domínio razoável das facilidades oferecidas pelo Delphi e o fato deste ambiente permitir a programação *multitask* que foi utilizada para prover o controle simultâneo dos motores e a leitura do *status* dos sensores.

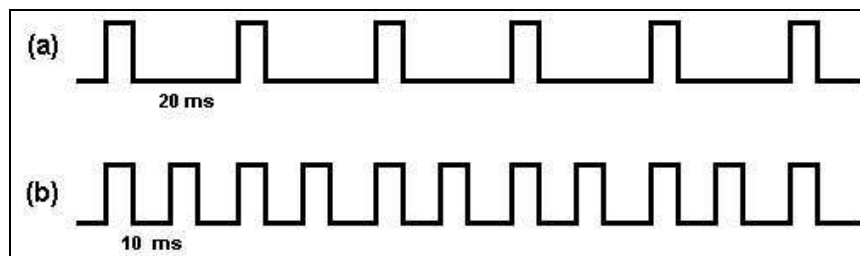
5.3.1 Módulo de controle do robô

Para o controle do robô foram criadas três *threads* (processos):

- a) *thread* para o motor direito: Este processo faz o controle da aceleração do motor direito com base no *status* dos sensores que estão acima da linha reflexiva no solo;
- b) *thread* para o motor esquerdo: Similar ao controle aplicado no motor direito;
- c) *thread* para leitura do *status* dos sensores: Processo utilizado para a verificação do *status* dos sensores localizados na parte inferior do robô que indicam se este está na trajetória, se existe um ponto de captura de imagem ou se é fim de caminho.

A aceleração se dá através da geração de pulsos (sinais) que são enviados, pela porta paralela, até as placas de controle dos motores. A frequência da geração dos pulsos irá indicar a velocidade com que o motor dará seus passos. A velocidade de cada motor é diretamente proporcional a frequência com que os pulsos são gerados (figura 44), sendo que cada pulso corresponde a um passo do motor.

Figura 44: Frequência de deslocamento (a) x frequência de aceleração (b).



```

type
  TThreadMotorDireito = class(TThread)
  protected
    procedure Execute; override;
  public
    constructor Create;
  end;

type
  TThreadMotorEsquerdo = class(TThread)
  protected
    procedure Execute; override;
  public
    constructor Create;
  end;

```

A definição da classe *TThread* para controle dos motores é apresentada no quadro 1:

Quadro 1: Definição da classe *TThread* para controle dos motores.

No método *Execute* da *thread* de controle do motor direito tem-se o seguinte código (quadro 2):

Quadro 2: Código para acionamento do motor direito.

```

vMOTOR_DIREITO := cLIGA_MOTOR_DIREITO;
EnviaSinalParalela(vMOTOR_DIREITO or vMOTOR_ESQUERDO);
Sleep(vSLEEP_MOTOR_DIREITO);
vMOTOR_DIREITO := cDESLIGA_MOTOR_DIREITO;
EnviaSinalParalela(vMOTOR_DIREITO or vMOTOR_ESQUERDO);

```

É enviado para a porta paralela o sinal do motor direito fazendo-se um “ou” entre este sinal e o do motor esquerdo para que no momento de se escrever na porta paralela não seja sobrescrito o byte gerado para o motor esquerdo. O mesmo vale para o motor esquerdo.

A *thread* do motor esquerdo está implementada de forma similar (quadro 3):

Quadro 3: Código para acionamento do motor esquerdo.

```

vMOTOR_ESQUERDO := cLIGA_MOTOR_ESQUERDO;
EnviaSinalParalela(vMOTOR_ESQUERDO or vMOTOR_DIREITO);
Sleep(vSLEEP_MOTOR_ESQUERDO);
vMOTOR_ESQUERDO := cDESLIGA_MOTOR_ESQUERDO;
EnviaSinalParalela(vMOTOR_ESQUERDO or vMOTOR_DIREITO);

```

A leitura dos sensores é feita através de um *looping* que verifica a cada 50 milissegundos o *status* dos sensores.

A definição da classe *TThread* para leitura dos sensores é apresentada no quadro 4:

Quadro 4: Definição da classe *TThread* para leitura dos sensores.

```

type
  TThreadLeituraDosSensores = class(TThread)
  protected
    procedure Execute; override;
  public
    constructor Create;
  end;

```

Rotina para leitura do status dos sensores (quadro 5):

Quadro 5: Rotina para leitura do status dos sensores.

```

while true do
begin
  vByteLido := LeSinalDaParalela;
  // Sensor line tracing direito
  if (vByteLido and cBIT_TRES) = 0 then
    vSLEEP_MOTOR_ESQUERDO := cACELERACAO_MEDIA
  else
    vSLEEP_MOTOR_ESQUERDO := cACELERACAO_MAXIMA;
  // Sensor line tracing esquerdo
  if (vByteLido and cBIT_QUATRO) = 0 then
    vSLEEP_MOTOR_DIREITO := cACELERACAO_MEDIA
  else
    vSLEEP_MOTOR_DIREITO := cACELERACAO_MAXIMA;
  // Iniciar captura da imagem
  if (vByteLido and cBIT_CINCO) <> 0 then
    IniciarCapturaDaImagem;
  // Verifica se é o fim do caminho
  if (vByteLido and cBIT_SEIS) = 0 then
    ContinuarMovimentacao
  else
    EncerrarMovimentacao
  Sleep(50);
end;

```

Desta maneira se um sinal for enviado pelos sensores este será lido na porta paralela e a devida ação será tomada, seja ela para corrigir a trajetória do robô, cessar o movimento para capturar a imagem ou porque é o fim do caminho a ser percorrido.

A porção da tela referente ao módulo de controle é apresentada na figura 45.

Figura 45: Porção da tela referente ao módulo de controle.

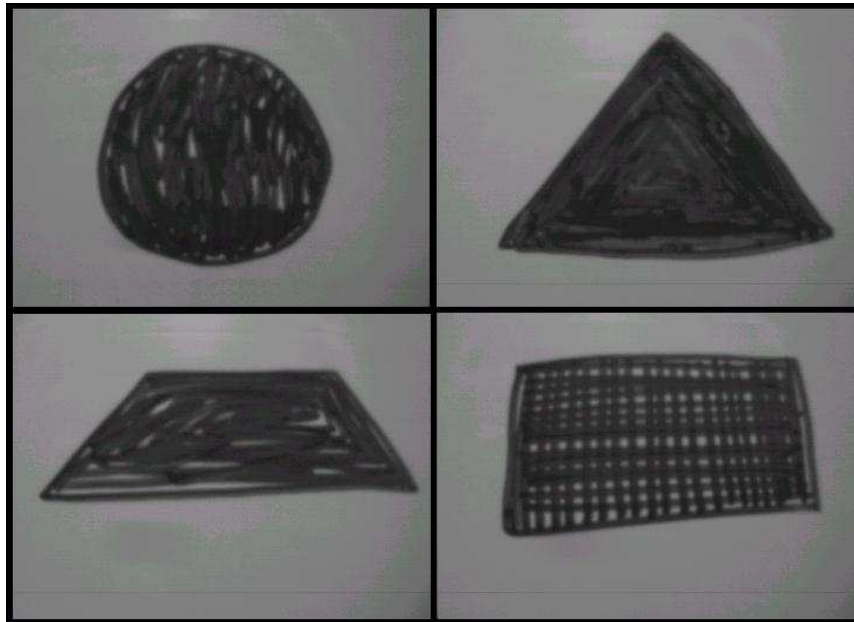


5.3.2 Módulo de reconhecimento de imagens

Todo o processo de reconhecimento de imagens inicia-se quando o módulo de controle do robô encontra no ambiente uma imagem. A presença de uma imagem é determinada por um ponto no chão que será detectado por um sensor localizado na lateral direita do robô, portanto, sempre que este ponto for encontrado o movimento do robô é cessado e a captura da imagem iniciada. Após isto ocorrer a imagem capturada (fig. 46) é enviada ao microcomputador através da porta serial (RS-232).

Para a captura da imagem foi utilizada uma câmera que captura imagens de 270x360 pixels (97200 pixels) com 256 níveis de cinza (1 byte por pixel) e transmite os dados de forma serial linha a linha, ou seja serão recebidas na porta serial do microcomputador 270 linhas de 360 bytes cada.

Figura 46: Diferentes imagens capturadas pela câmera.



Uma vez que a imagem foi recebida pelo microcomputador o processamento se dará através da sua transformação numa matriz binária (0 e 1) com as mesmas dimensões da imagem original (270 x 360), sendo que cada elemento da matriz irá representar um *pixel* da imagem. Os valores binários 0 e 1 serão atribuídos conforme a intensidade da cor cinza presente na imagem. Esta intensidade, no módulo de reconhecimento de imagens, é configurável, porém normalmente é definida com valor 80. Este tipo de limiarização é conhecido como *threshold* (limiar lógico).

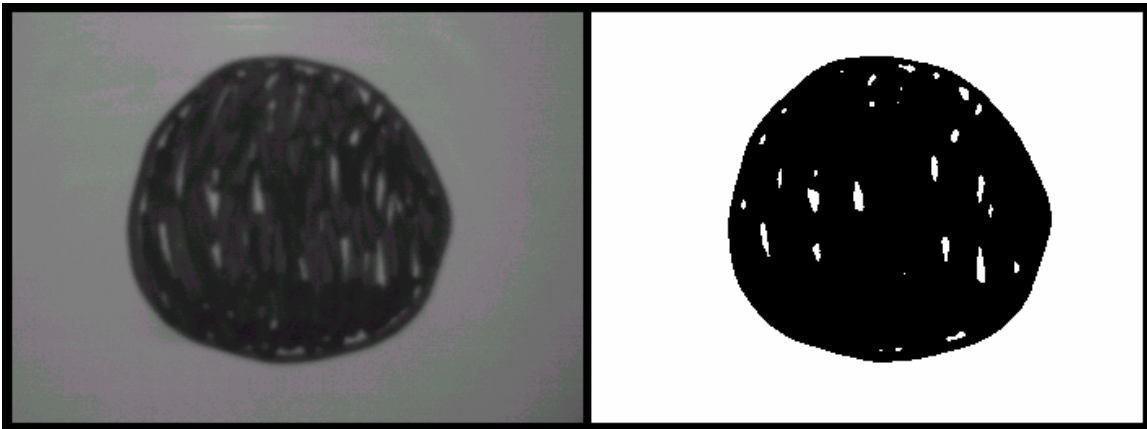
A aplicação do *threshold* para a geração da matriz binária é mostrada no quadro 6:

Quadro 6: Rotina de aplicação do limiar lógico na geração da matriz binária.

```
ValorDoThreshold := 80;  
if ValorDoPixel >= ValorDoThreshold then  
  ValorBinario := 1  
else  
  ValorBinario := 0;
```

A partir da matriz binária obtida da imagem capturada (256 níveis de cinza) é possível gerar uma imagem monocromática (preto e branco) como pode ser observado a seguir (fig. 47):

Figura 47: Imagem capturada X imagem processada.



Como fica impraticável passar para a rede neural uma matriz de dimensão tão grande (270 x 360 geraria 97200 entradas para a rede), é aplicado à matriz um pré-processamento para efetuar a redução da mesma. Utilizou-se para isto a técnica da amostragem.

O algoritmo funciona efetuando o somatório dos elementos da matriz, agrupando-os de 10 em 10, da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 &a_{11} + a_{12} + a_{13} + \dots + a_{110} + \\
 &a_{21} + a_{22} + a_{23} + \dots + a_{210} + \\
 &a_{31} + a_{32} + a_{33} + \dots + a_{310} + \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &a_{101} + a_{102} + a_{103} + \dots + a_{1010}
 \end{aligned}$$

A fórmula de pré-processamento para cada grupo de 10 x 10 bytes, que ocorre para toda dimensão da matriz (270 x 360), é a seguinte:

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} a_{ij}$$

No caso do pré-processamento também é aplicado um *threshold*, ou seja, se o somatório for maior ou igual ao limiar especificado então o valor que irá representar o conjunto de 100 bytes (10 x 10) será igual a 1 senão será 0. No módulo de reconhecimento de imagens este limiar é fixo em 75.

A aplicação do *threshold* para o pré-processamento da matriz binária é mostrada no quadro 7:

Quadro 7: Rotina de aplicação do limiar lógico no pré-processamento.

```

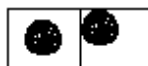
ValorDoThreshold := 75;
if Somatorio >= ValorDoThreshold then
  ValorDoByte := 1
else
  ValorDoByte := 0;

```

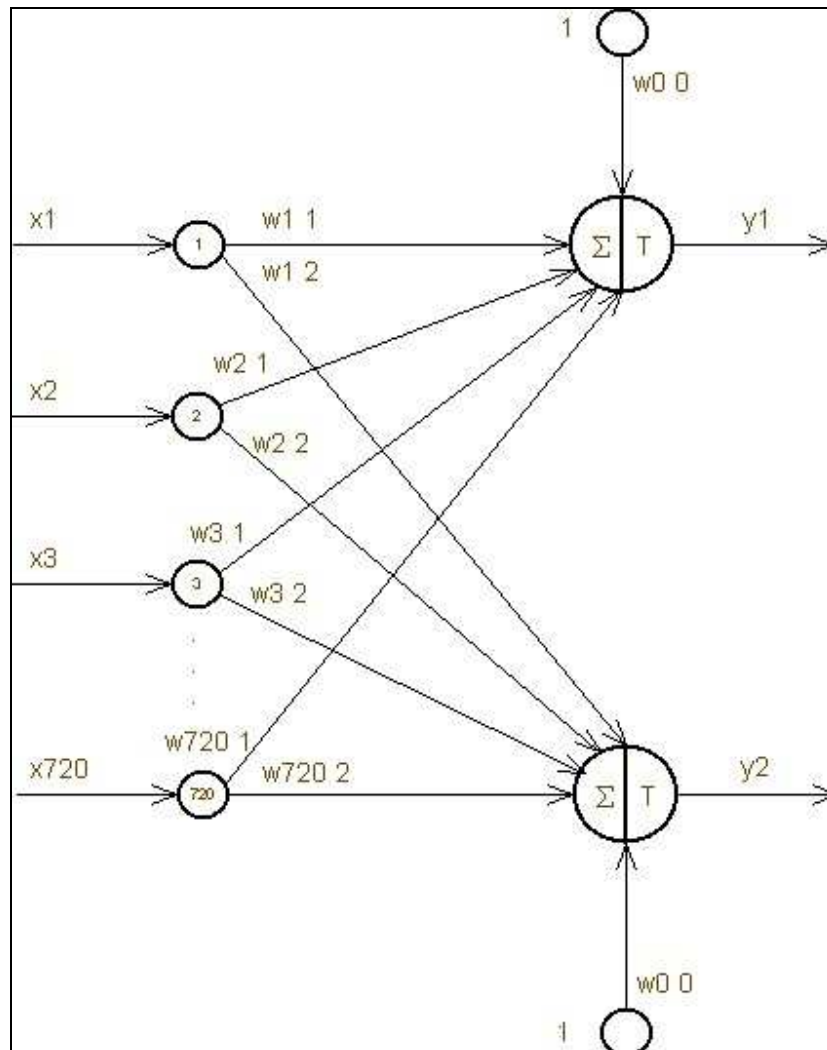
Como resultado deste pré-processamento é obtida uma matriz de 20 x 36. Esta dimensão foi escolhida, pois um grande número das imagens capturadas têm valor 0 nas últimas 7 linhas da matriz, sendo por sua vez dispensáveis. Isto também colabora para um dimensionamento ainda menor da rede neural.

Ao passo que ocorre o pré-processamento também é efetuado um deslocamento da imagem capturada para a posição 0 x 0 da matriz (fig. 48). Isto é realizado para que, quando efetuada a captura da imagem, não seja necessário levar em consideração a posição em que ela se encontra, tornando assim mais preciso o seu reconhecimento por parte da rede neural, pois esta não terá a incumbência de localizar a imagem na matriz.

Figura 48: Imagem centralizada X Imagem deslocada.



Uma vez com a matriz binária de dimensão 20 x 36 (fig. 49) preenchida, um vetor de entrada é gerado para ser repassado à camada de entrada da rede neural. Este vetor terá 721 elementos sendo que o primeiro é o valor de viés.

Figura 50: Arquitetura da rede neural utilizada.

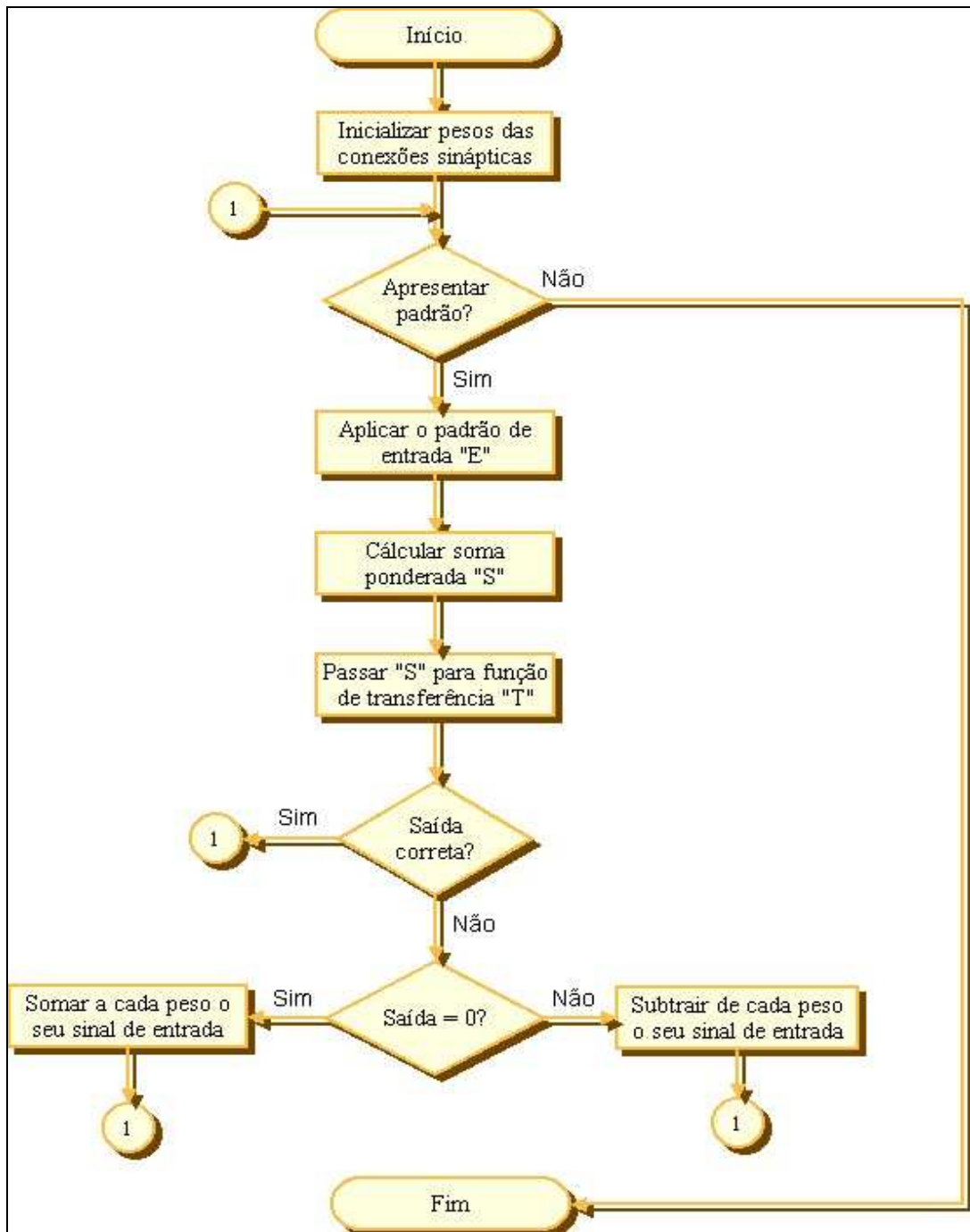
Para efetuar o treinamento da rede foi utilizado o método supervisionado. O conjunto de treinamento era formado por 25 imagens de cada padrão. As taxas de acerto são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7: Taxas de acerto

Tipo de imagem	Percentual de acerto
Círculo	96 %
Retângulo	92 %
Triângulo	92 %
Trapézio	88 %
Média geral	92 %

O algoritmo utilizado para efetuar o treinamento da rede é apresentado na figura 51.

Figura 51: Algoritmo de treinamento utilizado.



Com uma média geral de acerto de 92% conclui-se que o módulo reconhecedor de imagens tem um desempenho dentro do esperado para a atividade a qual foi destinado.

A porção da tela referente ao módulo de reconhecimento é apresentada na figura 52.

Figura 52: Porção da tela referente ao módulo de reconhecimento



5.3.3 Módulo de comunicação de dados

A comunicação de dados no trabalho proposto se dá através das interfaces serial e paralela. A interface serial foi utilizada para a comunicação do microcomputador e a câmera para a captura da imagem. Utilizou-se a interface paralela para o controle do robô na aceleração dos motores para correção do curso, leitura do posicionamento sobre a linha a ser percorrida, indicação da presença de imagem a ser capturada e fim do caminho.

5.3.3.1 Interface serial

Para o uso da interface serial foi utilizado um componente já existente chamado *TComPort* versão 2.01.

A fim de acionar a câmera são utilizados três comandos:

- a) ajuste da velocidade de transmissão: para este ajuste é enviado para a interface serial o byte 00h. Assim que recebe este comando a câmera ajusta a sua taxa de transmissão conforme estiver configurada a taxa da porta serial. A câmera possibilita a transmissão em quatro velocidades: 19200, 38400, 57600 e 115200 bps (bits por segundo);
- b) captura da imagem: para efetuar a captura da imagem é enviado o caractere 'F' (byte 46h). Ao receber este comando a câmera efetua a captura da imagem e a armazena no seu *buffer*;
- c) envio da imagem capturada: o envio do caractere 'E' (byte 45h) indica a câmera que é para iniciar a transmissão da imagem armazenada em seu *buffer*.

O *software* de comunicação de dados permite configurar a interface serial com os seguintes parâmetros:

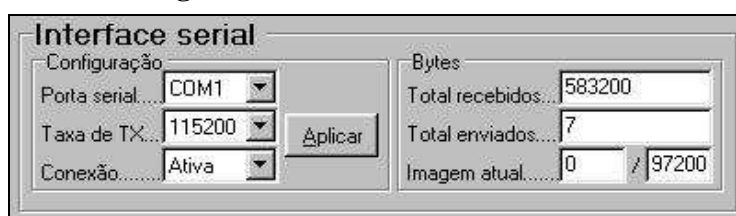
- a) porta serial: COM1, COM2, COM3 e COM4;
- b) taxa de transmissão: 19200, 38400, 57600 e 115200 bps;
- c) conexão: Ativa e Inativa.

Ainda pode-se obter informações sobre os bytes enviados e recebidos pela interface serial:

- a) total recebidos: indica o total de bytes recebidos desde a inicialização do sistema até o seu encerramento;
- b) total enviados: indica o total de bytes enviados desde a inicialização do sistema até o seu encerramento;
- c) imagem atual: indica quantos bytes da imagem atual estão sendo recebidos.

A porção da tela que contém o *status* da interface serial é mostrada na figura 53.

Figura 53: Status da interface serial.



5.3.3.2 Interface paralela

O uso da interface paralela possibilita o acionamento dos motores e a leitura dos sensores de localização do robô como demonstrado na tabela 8.

Tabela 8: Uso dos pinos da interface paralela.

Pino	Função
6	Habilitar o funcionamento do motor esquerdo
7	Envio do pulso para aceleração do motor esquerdo
8	Habilitar o funcionamento do motor direito
9	Envio do pulso para aceleração do motor direito
10	Leitura do sensor que indica fim do caminho

12	Leitura do sensor que indica ponto de captura de imagem
13	Leitura do sensor para o <i>line tracing</i> (esquerdo)
15	Leitura do sensor para o <i>line tracing</i> (direito)

Para o envio de sinais à porta paralela é utilizado o seguinte procedimento (quadro 8):

Quadro 8: Envio de sinais à porta paralela.

```

procedure EnviaSinalParalela(pvSinal : byte);
begin
  pvSinal := byte(pvSinal);
  asm
    mov dx,cENVIA_LPT1
    mov al,pvSinal
    out dx,al
  end;
end;

```

Para a leitura de sinais da porta paralela é utilizada a seguinte função (quadro 9):

Quadro 9: Leitura de sinais da porta paralela.

```

function LeSinalDaParalela : Byte;
var
  vByte: Byte;
begin
  asm
    mov dx,cLE_LPT1
    in al,dx
    mov vByte,al
  end;
  Result := vByte;
end;

```

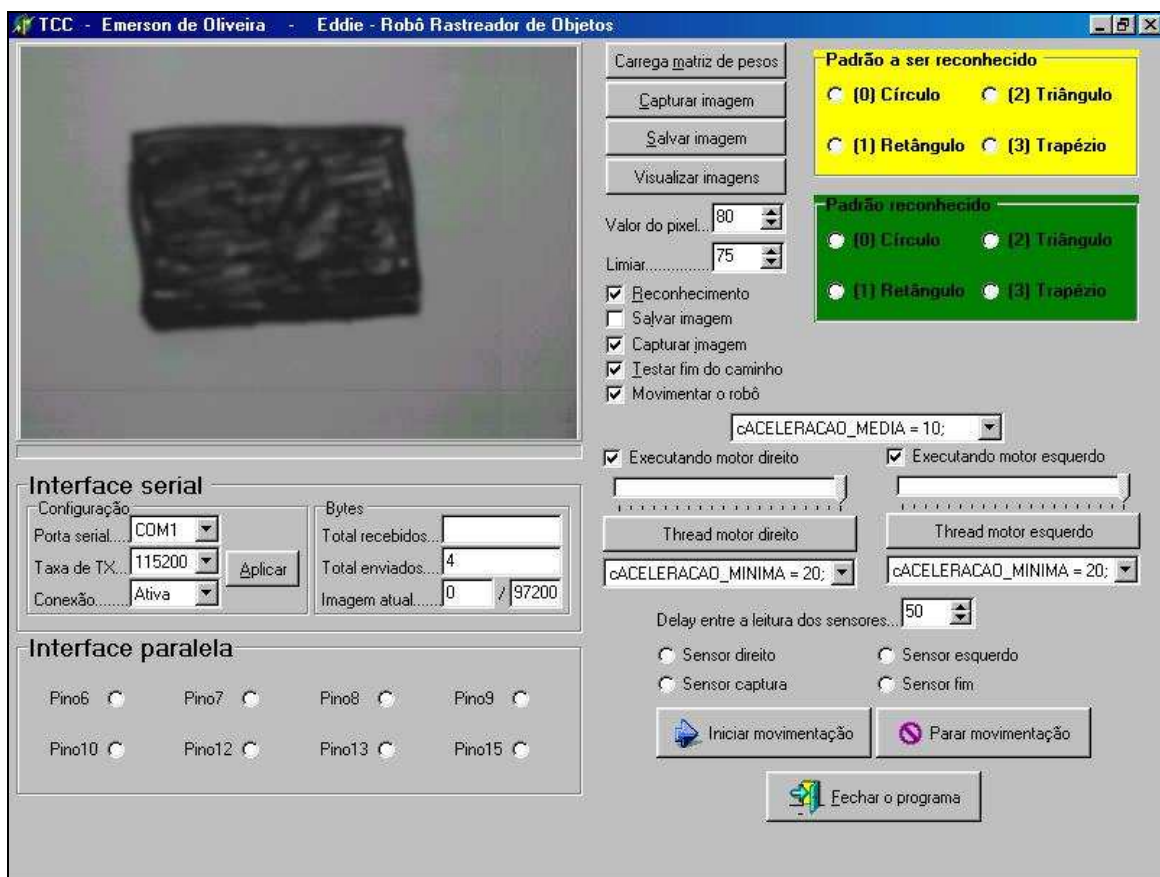
A porção da tela que contém o status da interface paralela é mostrada na figura 54.

Figura 54: Status da interface paralela.



A figura 55 apresenta a tela do *software* desenvolvido.

Figura 55: Tela do *software* desenvolvido.



5.3.4 RRO Eddie – Robô rastreador de objetos Eddie

Na construção do robô foram enfrentadas dificuldades de ordem mecânica como, por exemplo, para efetuar as emendas nas correias utilizadas na movimentação do robô, que se mostraram instáveis. Por fim foi adotado o uso de correntes abolindo assim a utilização das correias. Questões relativas a manufatura de engrenagens apropriadas para a utilização

das correntes que acoplavam os motores aos eixos, também tiveram que ser solucionadas procurando-se mão-de-obra especializada.

Problemas como estes podem ser evitados caso o projeto de construção do robô seja precedido de um planejamento utilizando uma técnica formal. Deve ser levado em consideração, também, a experiência do roboticista para que em empreendimentos futuros, erros do passado não sejam repetidos.

As partes constituintes do robô são as seguintes:

- a) uma base de alumínio com o tamanho de 16,5 x 27 x 0,2 cm;
- b) três rodas, sendo duas de 5,5 cm de diâmetro na parte traseira e uma de 3,5 cm de diâmetro na dianteira possibilitando assim que a direção do robô seja ajustada;
- c) dois motores de passo do tipo **23LM-C004-32** da **Minebea Co., Ltd.** de **6.0 V/Phase, 1.2 A/Phase e 1.8 Deg/Step**. Com 1.8 graus por passo o motor tem de executar 200 passos para efetuar uma volta completa. Os motores acionam os eixos das rodas traseiras através de correntes com 6,5 cm de diâmetro;
- d) duas placas para controle dos motores, com o esquema eletrônico definido no **anexo 1**, situadas na parte superior da base logo a frente dos motores;
- e) a câmera para captura da imagem funciona com alimentação de 12V e transmite os dados de forma serial. A dimensão da sua placa de controle é de 4,5 x 8 cm. Sua lente têm o diâmetro de 1 cm. Ela está inserida num invólucro de 11 cm de diâmetro. No robô a câmera está posicionada na parte superior da base com a lente virada cerca de 45 graus para esquerda em relação a parte dianteira do protótipo;
- f) Um par de sensores situados na parte inferior do robô para que este seja mantido na trajetória definida. Um outro sensor está localizado na lateral direita indicando ao robô quais os pontos de parada para a captura das imagens. O último sensor localiza-se na lateral esquerda indicando ao robô quando é o fim da trajetória a ser percorrida. O esquema eletrônico dos sensores infravermelhos está no **anexo 2** e foi obtido em McComb (2000).

Com todas as suas partes o peso total do robô é de 1,5 Kg.

As figuras 56 e 57 mostram, respectivamente, a parte superior e inferior do protótipo.

Figura 56: Parte superior do protótipo.

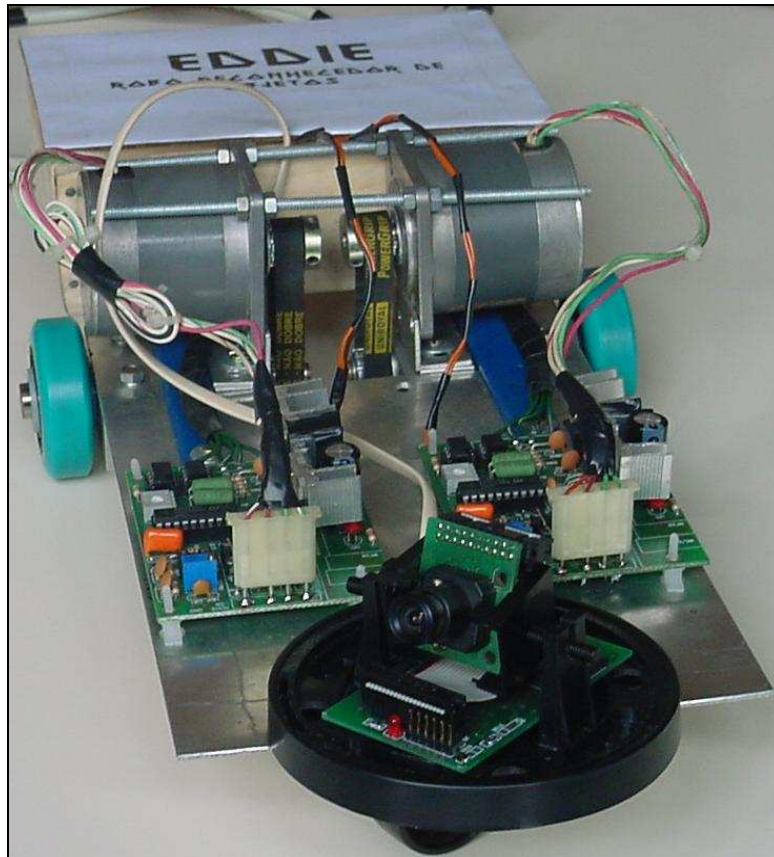
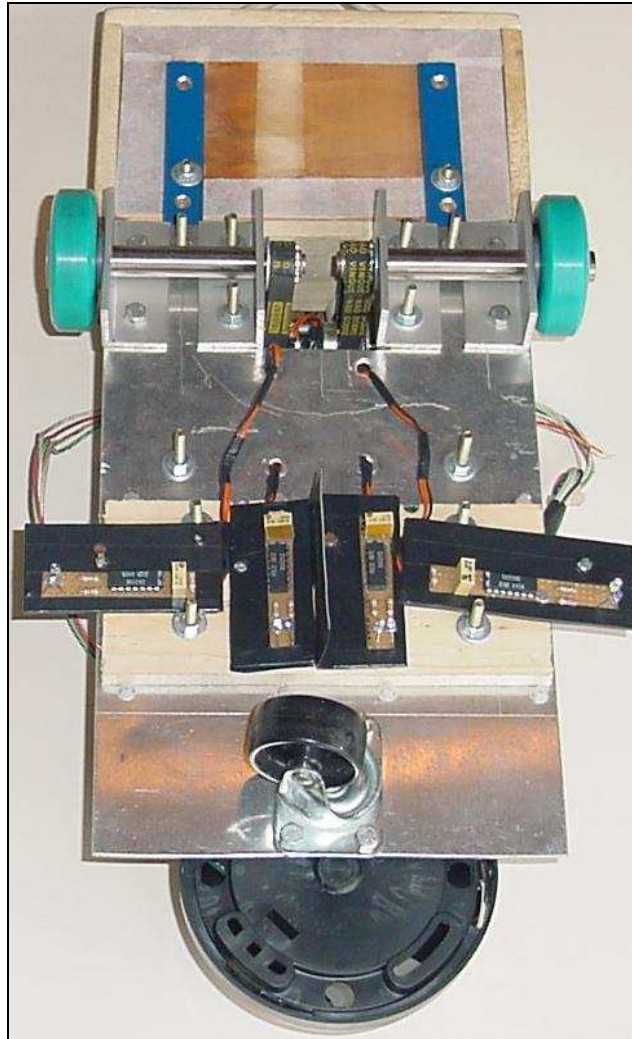


Figura 57: Parte inferior do protótipo.



5.4 Testes e validações

A maior concentração de testes foi no módulo de controle do robô. Foram efetuados testes em trajetórias de tamanhos diferentes para obter o comportamento do sistema em tempos de execução variados onde se mostrou eficiente e estável até o limite do comprimento total do cabo que liga o robô ao microcomputador, que tem 5 metros. Também foram realizados testes em trajetórias curvas, com um ângulo não inferior a 140 graus.

Durante o período de testes o robô fez em torno de 15 trajetórias diferentes totalizando cerca de 150 percursos completos.

Os testes no módulo de comunicação de dados ficaram por conta da medição do sinal enviado pelo robô assim como o enviado pelo microcomputador. Mesmo no limite especificado para o envio de sinais em paralelo (5 metros) o sinal chegava em ambos os sentidos variando de 4.95 a 5.05 volts.

Também foram aplicados testes para o módulo de reconhecimento de imagens que se mostrou eficiente alcançando uma taxa de 95% de acerto (no ambiente onde o Eddie estava inserido). Nos testes efetuados o robô fez cerca de 700 capturas de imagens sendo que o conjunto de testes era composto por 40 imagens diferentes dentro dos quatro padrões estabelecidos (círculo, retângulo, triângulo e trapézio).

6 Conclusões

O futuro reserva grandes avanços na área da robótica principalmente quando emprega-se a inteligência artificial, seja na locomoção, na interação com o ambiente e outros robôs, na implementação de sentidos e no desenvolvimento das tarefas para as quais o robô foi programado.

A maior dificuldade encontrada no desenvolvimento do protótipo foi a interação com o ambiente. Para dirimir esta dificuldade optou-se pela técnica de *line tracing*. Mesmo assim a quantidade de processamento necessário para manter o robô na trajetória era relativamente alta, sendo o processo de maior consumo de CPU. A tarefa de locomoção, executada pela maioria dos seres humanos com extrema facilidade, é árdua para um robô, mesmo em um ambiente controlado.

O custo dos equipamentos utilizados para a construção do robô representou uma fator preocupante. Quando utiliza-se “sucata” normalmente as peças não possuem o encaixe desejado, estão velhas demais ou são raras. Um opção então seria a utilização de *kits* para montagem de robôs, entretanto, estes, geralmente, possuem um custo elevado e podem não estar dentro das especificações que o problema a ser resolvido exige.

A implementação de uma rede neural para resolução do problema de reconhecimento de imagens mostrou-se adequada, sendo extremamente eficiente e de rápida execução.

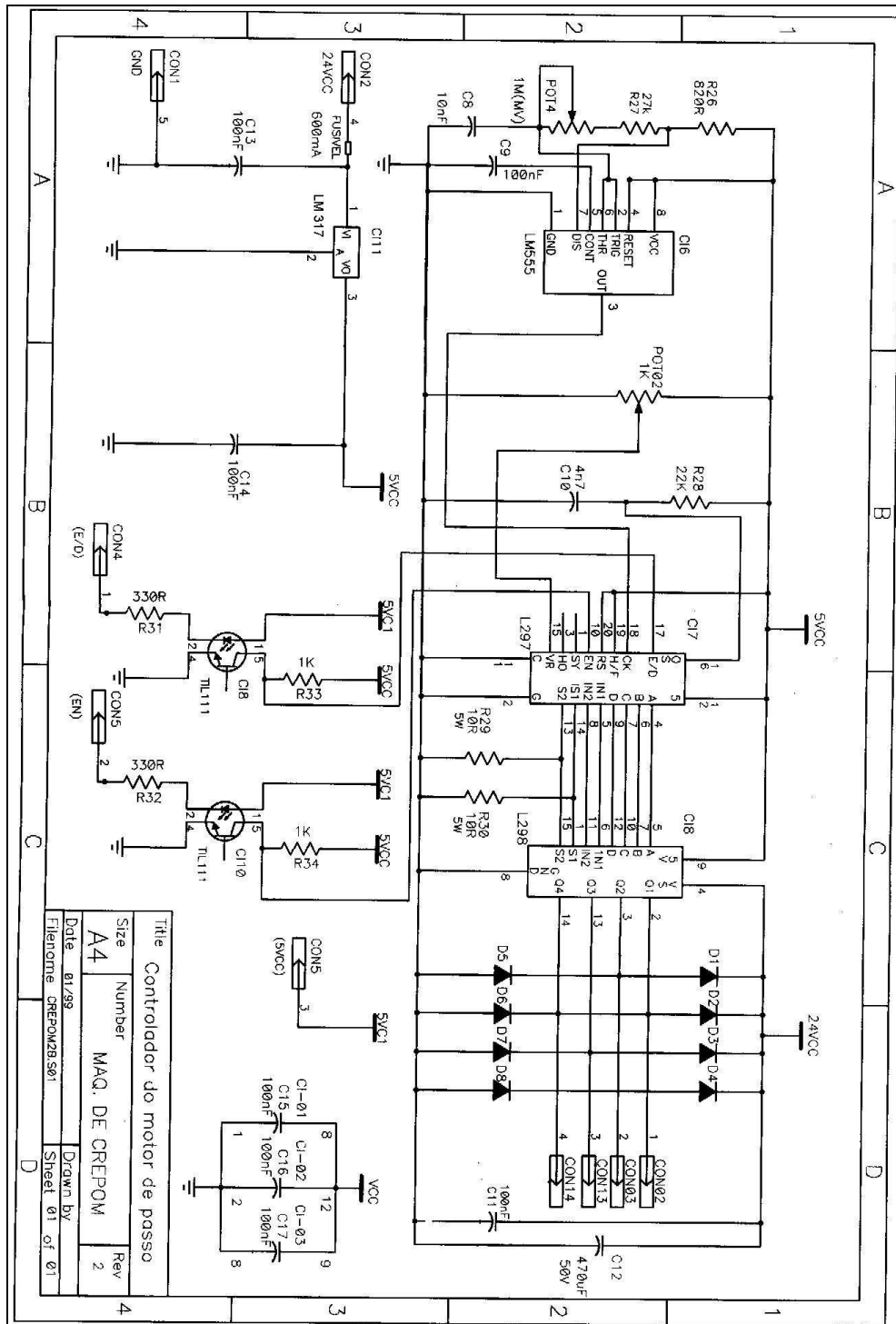
Para atividades como exploração submarina de grandes profundidades, mineração subterrânea, remoção e transporte de produtos químicos, radioativos ou explosivos e exploração espacial, a utilização da visão computacional se mostra desejável a fim de possibilitar ao robô agir de forma autônoma.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

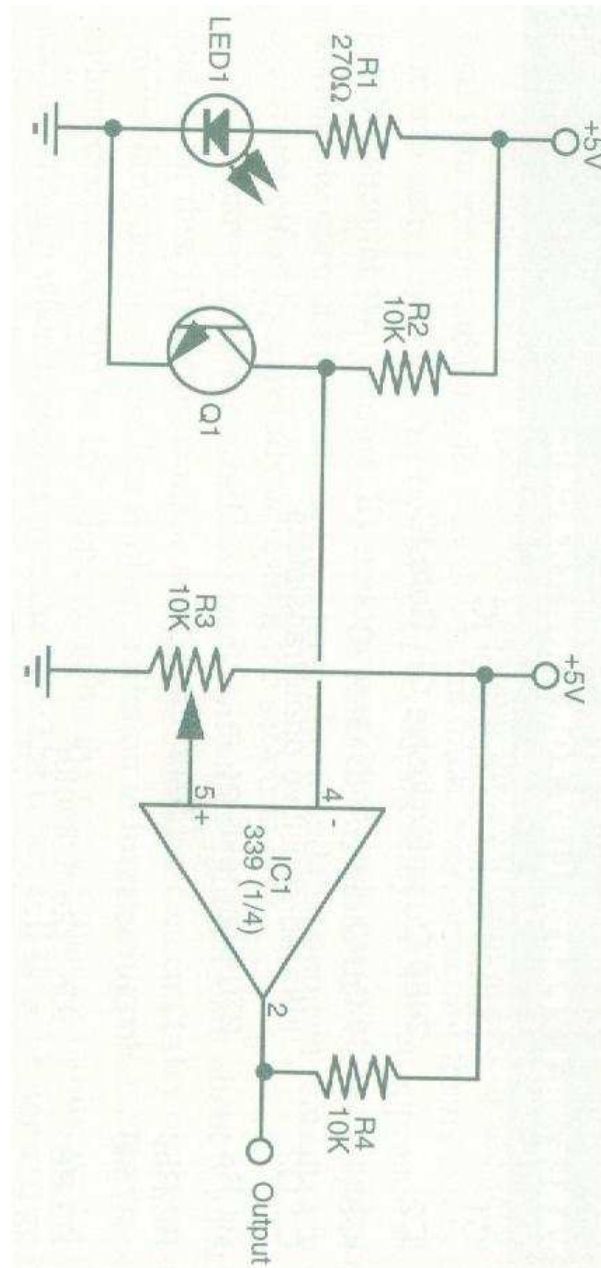
Como sugestões para trabalhos futuros propõe-se implementar o controle do robô, o processamento e o reconhecimento da imagem diretamente no robô, dispensando assim a utilização do microcomputador.

Fazer com que o robô interaja com um ambiente dinâmico, eliminando a técnica de *line tracing* e aplicando a visão computacional tanto para o reconhecimento de objetos quanto para a detecção de obstáculos e determinação do caminho a ser percorrido.

ANEXO 1: ESQUEMA DAS PLACAS DE CONTROLE DOS MOTORES



ANEXO 2: ESQUEMA DOS SENSORES INFRAVERMELHO



Código	Descrição
IC1	LM339 Quad Comparator IC
IC2	7486 Quad Exclusive OR Gate IC
IC3	7400 Quad NAND Gate IC
Q1, Q2	Infrared-sensitive phototransistors
R1, R4	270-ohms resistor
R2, R5, R7, R8	10K resistor
R3, R6	10K potentiometer
LED1, 2	Infrared light-emitting diode

7 Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, Márcio P. de. **Visão por computador**: conceitos básicos, [S.l.], fev. 1999. Disponível em: <<http://152.84.253.20/CVision/CompVision.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2000.

BARRIE, Chris. Homem escravo da máquina, uma quase certeza. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 mai. 1996. Caderno 2, p. D3.

BEAM Online, 2001. Apresenta uma coletânea de artigos, links, projetos e eventos sobre BEAM . Disponível em: <<http://www.beam-online.com>>. Acesso em: 25 jan. 2001.

BEM-YACOUB, Souhell. Fusion of face and speech data for person identity verification. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 10, n. 5, p.1065-1074, set. 1999.

BONALUME NETO, Ricardo. Robôs serviçais. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 13 dez. 1992. Caderno FolhaMais, p. 18.

BRAGA NETO, Ulisses de Mendonça; Neto, Winston Araújo de Siqueira. A technique for the automatic detection and classification of mammographic calcifications using the Watershed Method. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 8., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1995. p. 273-280.

CAREZZATO, Caetano Jimenez; CASTRO, Rodrigo Souza de. **Visão robótica**, São Paulo, jan. [2000?]. Disponível em: <<http://www.linux.ime.usp.br/~caetano/mac417/>>. Acesso em: 05 mar. 2001.

COSTA, José Alfredo Ferreira. **Sistemas de visão computacional**: conceitos e exemplo de aplicação em classificação automática de objetos, Campinas, jan. [1996?]. Disponível em: <<http://produto2.pep.ufrj.br/abepro/enegep96/9/a9079.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2000.

ESPINOSA, Miguel Gustavo Lizárraga; Ling, Lee Luan. Um método de compressão de imagens de assinaturas estáticas para um sistema de identificação pessoal. In: Simpósio

Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 8., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1995. p. 65-72.

FACON, Jacques. **Processamento e análise de imagens**. Província de Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 1993.

FAUSETT, Laurene V. **Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications**. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1994.

GONZALEZ Rafael C.; WOODS Richard E. **Digital image processing**. Knoxville: Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1992.

HONDA, 2001. Apresenta o projeto do robô humanóide Asimo P3. Disponível em: <<http://world.honda.com/ASIMO/>>. Acesso em: 03 mar. 2001.

HUGO, Marcel. **Uma interface de reconhecimento de voz para o sistema de gerenciamento de central de informação de fretes**. 1995. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

INSTITUTO Pedro Nunes. Coimbra, Universidade de Coimbra, 1998. Apresenta ementa e descrição do curso de actualização em robótica e automatização do Instituto Pedro Nunes. Disponível em: <<http://www.ipn.pt/robotica/robotica.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2001.

JAIN, Anil K.. Artificial neural network: A tutorial. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 29, n. 3, p. 31-44, mar. 1996.

JET Propulsion Laboratory – Mars pathfinder. Houston, NASA - National Aeronautics and Space Administration, 1997. Apresenta o projeto da NASA para a exploração do planeta Marte. Disponível em: <<http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/index0.html>>. Acesso em: 10 jan. 2001.

JONES Joseph L. Jones; FLYN, Anita M. SEIGER, Bruce A. **Mobile robots: inspiration to implementation**. Natick: A. K. Peters, 1998.

KOVÁCS, Zsolt László. **Redes neurais artificiais fundamentos e aplicações**. São Paulo: Edição Acadêmica, 1996.

KUNG, Sun Yang. **Digital neural networks**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.

LAWRENCE, Steve. Face recognition: a conventional neural-network approach. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 8, n. 1, p. 98-113, jul. 1997.

LAWTON, George. Biometrics: a new era in security. **Computer Society**, v. 31, n. 8 p. 16-18, ago. 1998.

LEGO Group - Lego MindStroms, 2001. Apresenta os kits da Lego para montagem de robôs. Disponível em: <<http://mindstorms.lego.com/>>. Acesso em: 11 mar. 2001.

LEMOS, José Augusto et al. Seu novo amigo, o robô. **Super Interessante**, São Paulo, ano 14, n. 6, p. 32-39, jun. 2000.

LIN, Shang-Hung. Face recognition/detection by probabilistic decision-based neural network. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 8, n. 1, p. 114-132, jul. 1997.

LOESCH, Claudio. Backpropagation para redes neuronais. **Dynamis**, v. 1, n. 4, p. 59-78, jul./set. 1993.

LOESCH, Claudio. **Redes neurais artificiais: fundamentos e modelos**. Blumenau: Editora da FURB, 1996.

MCCOMB, Gordon. **The robot builder's bonanza**. New York: MacGraw-Hill, 2000.

MASTERS, Timothy. **Signal and image processing with neural networks: a c++ sourcebook**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1994.

MIAO, Xi et al . Detection of mines and mine like targets using principal component and neural network methods. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 9, n. 3, p.454-463, mai. 1998.

MORIN, Hervé. Homens e robôs. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 04 abr. 1999. Caderno FolhaMais, p. 11.

MUSEE des Automates de Grenoble, [1996?]. Museu dos autômatos de Grenoble - homenagem à Jacques de Vauncanson. Disponível em: <<http://www.museeautomatesgrenoble.com>>. Acesso em: 14 abr. 2001.

PARZIANELLO, Luiz Cláudio; Furuie, Sérgio Shiguemi; Moura, Lincoln. Automated detection of the left ventricle contour in gated blood pool studies. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 8., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1995. p. 257-263.

PERSONAL Robotics Solution, 2000. Apresenta o projeto do robô humanóide Tmsuk. Disponível em: <<http://www.tmsuk.co.jp/>>. Acesso em: 03 mar. 2001.

REMOTEC, 2001. Apresenta os robôs para remoção de bombas, produtos químicos e nucleares. Disponível em: <<http://www.remotec-andros.com/>>. Acesso em: 02 mai. 2001.

RIBEIRO, Jr. Eraldo; MUCHERONI, Marcos L; CRUVINEL, Paulo E.. Análise de textura em imagens microscópicas de fungos usando método auto-regressivo e uma comparação com o método clássico de estimação espectral. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 8., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1995. p. 143-149.

RIOS, Emerson. **Reconhecimento inteligente de caracteres (ICR-OCR):** imagens de documentos. São Paulo: CENADEM, 1997.

SALANT, Michael A. **Introdução à robótica.** São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

SILVA, Ivan N. da; AMARAL, Wagner C. do; GOMIDE, Fernando A. C.. A fuzzy approach to mobile robots navigation. In: Workshop on Intelligent Robotics, 1., 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 1997. p. 4-8.

SONY, 2001. Apresenta o projeto do cãozinho robô Aibo. Disponível em: <<http://www.us.aibo.com/>>. Acesso em: 03 mar. 2001.

TAFNER, Malcon Anderson; XEREZ, Marcos de; FILHO, Ilson W. Rodrigues. **Redes neurais artificiais**: introdução e princípios de neurocomputação. Blumenau: Editora da FURB, 1995.

TAFNER, Malcon Anderson; LOESCH, Claudio; STRINGARI, Sérgio. **Comunicação de dados utilizando a linguagem C**. Blumenau: Editora da FURB, 1996.

TIAN, Bin et al . Temporal updating scheme for probabilistic neural network with application to satellite cloud classification. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 11, n. 4, p.903-920, jul. 2000.

ULLRICH, Robert A. **Robótica**: uma introdução. Rio de Janeiro: Campus, 1987.

USP – Universidade de São Paulo, 2000. Apresenta o projeto do time de futebol de robôs Guaraná. Disponível em: <<http://www.lti.pcs.usp.br/robotics/guarana/>>. Acesso em: 05 mar. 2001.

VIEIRA, Darli Rodrigues. **Funções da robótica no processo de acumulação**: O processo brasileiro. Petrópolis: Vozes, 1985.