

EDUARDO DE SOUSA MOREIRA

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA MEDIÇÃO DE DUREZA EM  
PEÇAS DE FERRO FUNDIDO

Trabalho de conclusão de Estágio apresentado ao Curso de Bacharel em Sistemas de Informação da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE – Como requisito parcial para obtenção de grau em Sistemas de Informação.

Orientador Específico: Paulo Marcondes Bousfield.

Joinville

2005

## TERMO DE APROVAÇÃO

O aluno **Eduardo de Sousa Moreira** regularmente matriculado na 4ª série do Curso de **Bacharel em Sistemas de Informação** apresentou e defendeu o Trabalho de Conclusão de Estágio (TCE), obtendo da Banca Examinadora a média final \_\_\_\_ (\_\_\_\_\_), tendo sido considerado aprovado.

Joinville, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2005.

---

Professor "A"

---

Professor "B"

---

Orientador de Classe



Agradeço a todos que me apoiaram durante a realização deste projeto, aos professores que me proporcionaram o aprendizado que pude adquirir durante esses anos. A meus pais que sempre me apoiaram durante esses anos de graduação tendo paciência comigo. A minha noiva Rosangela, que me deu muita força, me ajudou e me compreendeu, principalmente em momentos difíceis e não me deixou desistir. A Deus que colocou essas pessoas no meu caminho e me deu todas as oportunidades.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>07</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>08</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>09</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1. A EMPRESA E O CAMPO DE ESTÁGIO .....</b>	<b>11</b>
1.1 O Estágio Curricular .....	12
1.2 Tema e Assunto do Trabalho de Conclusão de Estágio.....	12
1.3 Problema .....	13
1.4 Objetivos .....	13
1.4.1 Objetivo Geral .....	14
1.4.2 Objetivos Específicos .....	14
1.5 Justificativa .....	15
1.6 Metodologia.....	15
1.7 Cronograma .....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Sistemas de Informação .....	17
2.1.1 Desenvolvimento de um sistema de informação .....	19
2.1.2 Tecnologia da Informação .....	20
2.2 Linguagens de programação .....	22
2.3 Inteligência Artificial .....	23
2.3.1 História da IA .....	24
2.4 Abordagens da IA .....	27
2.4.1 Inteligência artificial simbólica (IAS) .....	28
2.4.2 Inteligência artificial conexionista (IAC) .....	29
2.4.3 Inteligência artificial evolucionária .....	29
2.4.4 Inteligência artificial híbrida (IAH) .....	30
2.5 Sistemas especialistas .....	30
2.6 Redes neurais artificiais.....	31
2.6.1 História da RNA .....	32
2.6.2 Neurônio Biológico .....	34
2.6.3 Neurônio Artificial .....	36
2.7 Conhecimento .....	39
2.7.1 Representação do conhecimento .....	39
2.8 Aprendizado .....	41

2.8.1	Aprendizado supervisionado .....	42
2.8.2	Aprendizado não supervisionado .....	43
2.9	Reconhecimento de Padrões .....	44
2.10	Perceptron .....	47
2.11	Prototipação .....	48
2.11.1	Modelos e ferramentas de prototipação .....	51
2.12	Metrologia .....	52
2.13	Formatos de armazenamento de imagens .....	53
<b>3.</b>	<b>DESCRIÇÃO DA PRÁTICA .....</b>	<b>55</b>
3.1	Considerações iniciais .....	55
3.2	Levantamento da estrutura Atual .....	55
3.3	Escolha do Método de medição .....	58
3.3.1	Formato das imagens .....	59
3.3.2	Tratamento das imagens .....	59
3.4	O Protótipo .....	60
3.5	Interface do protótipo de medição de durezas .....	65
3.5.1	Tela de parâmetros .....	65
3.5.2	Tela do Conjunto de Treinamento .....	66
3.5.3	Tela do Conjunto de Testes .....	67
3.5.4	Tela de treinamento da rede .....	68
3.5.5	Tela de Testes da rede .....	70
3.6	Testes realizados .....	71
3.7	Vantagens e desvantagens .....	73
3.7.1	Melhorias para o protótipo .....	74
3.8	Linguagem utilizada .....	76
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO I – Fotos e Tabelas .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO II – Código-Fonte do protótipo do sistema .....</b>	<b>85</b>
	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

1 Componentes de um S.I. ....	18
2 Neurônio humano – Modificado .....	35
3 Modelo de neurônio artificial .....	37
4 Organização em camadas .....	38
5 Sistema de reconhecimento de padrões .....	44
6 Ciclo da prototipação .....	50
7 O Ensaio de dureza .....	53
8 Divisão em 100 ocelos .....	62
9 Divisão em 20 ocelos .....	63
10 Uso de processamento durante montagem da rede .....	64
11 Tela de parâmetros .....	65
12 Conjunto de Treinamento .....	66
13 Conjunto de Teste .....	67
14 Treinamento da rede .....	68
15 Teste da rede .....	70
16 Rede neural implementada .....	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

4GT: Técnicas de quarta geração

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BMP: Arquivo do tipo BitMap

CPU: Central Processing Unit (ou unidade central de processamento)

GHz: Giga Hertz

HB: Brinell Hardness (ou dureza brinell)

IA: Inteligência Artificial

IAC: Inteligência Artificial Conexionista

IAH: Inteligência Artificial Híbrida

IAS: Inteligência Artificial Simbólica

I.S.O: International Standards Organization

JPG ou JPEG: Joint Photographics Experts Group

MLP: Multi Layer Perceptron (ou perceptron multicamada)

RAM: Random Access Memory (ou Memória de Acesso Aleatório)

RP: Reconhecimento de padrões

RNA: Rede Neural Artificial

SI: Sistemas de Informação

SO: Sistema Operacional

TI: Tecnologia da Informação



## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo usando a inteligência artificial e o reconhecimento de padrões, voltado para área de metrologia, aplicada na empresa Fundação Ícaro Ltda. Um protótipo fará a leitura de dureza conforme as normas definidas por órgãos nacionais. A análise será feita através de imagens digitais provenientes de uma câmera fotográfica digital. Será utilizado o reconhecimento de padrões através da digitalização de uma imagem para que seja feita a definição da leitura em conjunto com a tecnologia de redes neurais artificiais para dotar o protótipo de inteligência. A linguagem de programação escolhida foi o delphi 5 por ser uma linguagem com boa documentação e por possuir uma grande gama de informações disponíveis na WEB, livros e revistas. Em conjunto com o delphi, foi utilizado o componente MLP, que implementa uma rede neural do tipo Perceptron. O protótipo deverá ser capaz de informar ao usuário qual a dureza na peça o qual foi digitalizado uma impressão que define sua dureza. Com o resultado da dureza o usuário poderá decidir se a peça está ou não em conformidade com as normas estabelecidas pelo cliente.

## INTRODUÇÃO

Com o objetivo de mostrar o uso de novas tecnologias em áreas produtivas e com o intuito de aplicar novos conceitos de TI em áreas que não sejam só a de informática, será apresentado apenas uma de diversas possíveis aplicações, que nesse caso específico se refere a inteligência artificial e a metrologia industrial.

No sentido de tornar claro o uso da tecnologia, e enfatizar seu uso em qualquer área, seja ela tecnológica, ou de processos já dominados à décadas, o autor mostrará a união da tecnologia à metalurgia.

A metalurgia do ferro já existe desde cerca do ano 1000AC, ou seja, a aproximadamente 3000 anos, seu processo já possui algumas tecnologias, desde análises químicas, a análises físicas, porém, ainda hoje muitos ensaios laboratoriais são feitos através dos olhos do homem. Um desses casos são os ensaios de dureza abordados nesse trabalho.

No primeiro capítulo será feita uma abordagem referente à empresa, ao estágio curricular, seu tema, os problemas atuais, objetivos, justificativa e a metodologia utilizada em sua elaboração. O Segundo capítulo contém a fundamentação teórica, que contempla temas que vão de sistemas de informação, metrologia industrial e inteligência artificial, entre outros. O terceiro e último capítulo trata do desenvolvimento do protótipo, suas características e seu funcionamento.

## 1. A EMPRESA E O CAMPO DE ESTÁGIO

Tudo começou em setembro de 1994 com a aquisição de uma fundição desativada da WEG. No decorrer dos anos o mercado se expandiu e com ele a então Fundição Ícaro iniciou uma série de modificações em sua planta industrial, saindo totalmente do sistema manual para o sistema de produção mecanizada.

No ano de 1996 a Fundição Ícaro adquiriu dois pares de máquinas de moldar, e substituiu os fornos de fusão (cubilo) por fornos rotativos, incrementando sua tecnologia e iniciando a produção de ferro fundido nodular. Em 1997 visando um melhor atendimento aos clientes, a Fundição Ícaro montou um laboratório metalográfico. Ainda no decorrer de 1997 houve a mecanização de todo o sistema de vazamento e desmoldagem, além de adquirir um par de máquinas de moldar para peças de até 100 kg.

No início de 1998 todo o *layout* da Fundição Ícaro foi alterado visando melhor aproveitamento do potencial dos equipamentos e da mão-de-obra envolvida.

Ainda no mesmo ano, informatizou-se todo o sistema de dados necessários para um melhor e mais rápido atendimento aos nossos clientes, fornecedores e colaboradores.

A partir de 2000 iniciaram-se alterações na arquitetura e paisagismo, onde adquiriu-se sistema de recuperação de areias e filtros coletores de partículas sólidas em suspensão, isso porque a Fundição Ícaro se preocupa em reduzir o impacto ambiental, gerado pela atividade. No ano de 2003 foi adquirido um espectrômetro de emissão óptica que analisa os elementos químicos que compõe o ferro fundido (C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Cu, Ni, Mg, Mo, Nb, Ti, Etc.), o que garante ainda mais qualidade. Em 2004, adquiriu-se um Forno a indução, que reduz poluição e custos, este forno substituiu duas unidades de fusão rotativas (de um total de 4).

Ainda preocupada com a poluição sonora, a Fundação Ícaro substituiu também duas de suas barulhentas máquinas de moldar pneumáticas, por duas unidades hidráulicas.

Em 2005 foi comprado um novo forno a indução, com isso todos os fornos rotativos foram substituídos, melhorando ainda mais a qualidade de seus produtos, e com menor impacto ambiental.

### 1.1 O Estágio Curricular

O Estágio ocorreu na Fundação Ícaro Ltda, no setor de Laboratório/Qualidade. Terá como supervisor de Campo de estágio o diretor da empresa, Sr. José Roberto Moreira, Orientador de Classe e também Orientador Específico o Professor Paulo Marcondes Bousfield.

### 1.2 Tema e Assunto do Trabalho de Conclusão de Estágio

Será abordado nesse trabalho o desenvolvimento de um protótipo de sistema de leitura de dureza de peças de ferro fundido, utilizando tecnologias de inteligência artificial.

O principal assunto deste trabalho é a necessidade da automação de determinadas tarefas, neste caso em específico, a medição de dureza de peças de ferro fundido. Hoje essa tarefa é realizada por pessoas e com o protótipo o autor deve obter uma maior confiabilidade do processo e controle.

### 1.3 Problema

Conforme a empresa vai se desenvolvendo, é natural a busca de novas tecnologias para automatizar processos e controles de suas atividades de forma a obter o melhor custo-benefício nas análises.

No processo atual um colaborador faz a medição de uma pequena impressão feita na peça através de equipamentos específicos para este fim. A medição é feita através de uma lupa com uma escala, a leitura obtida através da escala é comparada a uma tabela que converte o valor para a escala utilizada pela norma.

No procedimento descrito pode haver diversos erros, que se ocorridos no início do processo podem ter uma grande divergência da realidade em relação ao valor verdadeiro.

As principais causas de erro são: o responsável pela medição não enxergou direito a escala da lupa, talvez por motivos do ambiente, ou descontentamento com a empresa; a conversão pela tabela foi confundida; falta de treinamento adequado ao profissional que realiza a medição.

### 1.4 Objetivos

Agora serão descritos os objetivos do estágio realizado, no objetivo geral é mostrado qual a finalidade do estágio. Nos objetivos específicos estão os temas e objetivos aplicados para que se chegue ao objetivo geral.

#### 1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho busca implantar um protótipo de um sistema de medição de dureza em peças de ferro fundido, utilizando técnicas de inteligência artificial, minimizando os erros que podem facilmente ocorrer por profissionais humanos destreinados.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

Neste trabalho foram tratados os seguintes temas e objetivos:

- a) Coletar informações e dados sobre Sistemas de Informação, Inteligência Artificial e Reconhecimento de Padrões, comparando e identificando a melhor tecnologia a ser empregada através de suas vantagens e desvantagens;
- b) Implantar um protótipo de medição de dureza, utilizando técnicas de reconhecimento de padrões; e
- c) Testar o protótipo de forma satisfatória, utilizando as técnicas aqui descritas, analisando sua eficácia, sua tolerância a erros e facilidade de utilização.

## 1.5 Justificativa

As empresas, cada vez mais, necessitam de dados confiáveis em seu processo produtivo, que sejam livres de erros humanos, com a evolução da tecnologia surgiram novos meios de controlar determinados processos.

A criação de um software capaz de obter a dureza de uma peça de ferro poderá atingir o objetivo deste projeto, que é aumentar a confiança nos dados e facilitar a contratação de mão-de-obra com menor especialização.

## 1.6 Metodologia

Considerando as características inovadoras e até mesmo complexas deste trabalho, e sua implantação como protótipo, procurou-se dar mais ênfase a fundamentação teórica, seu funcionamento e as vantagens e desvantagens observadas nesse protótipo.

- a) Pesquisa bibliográfica em livros da Biblioteca Universitária, sites da internet, revistas, artigos e professores;
- b) Implantação do protótipo, observando as necessidades e políticas da empresa;
- c) Desenvolvimento do protótipo na empresa, utilizando os recursos disponíveis, como computadores, periféricos, softwares, equipamentos de medição e documentos;
- d) Entrevista com os profissionais usuários da nova tecnologia (profissionais atuais).

Deverá ser utilizada para o desenvolvimento do software de leitura de dureza, a técnica de comparação de padrões em imagens aliada com a tecnologia da digitalização de imagens.

## 1.7 Cronograma

ATIVIDADES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Levantamento das informações para a elaboração do projeto.		X	X									
Preparação do material, figuras, textos explicativos, curiosidades, fotos para o projeto.			X	X	X							
Aprendizado da linguagem e da técnica de criação de um software capaz de comparar padrões.				X	X	X	X	X				
Desenvolvimento do projeto, do software para comparação de padrões.							X	X	X	X	X	
Conclusões e considerações finais do projeto.												X

Tabela 1 – Cronograma de atividades

Fonte: O Autor



## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Sistemas de Informação**

Os Sistemas de Informações são utilizados para transformar dados em informação, são a ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço.

Segundo Oliveira (1999, p.275) “Sistema de Informação é o processo de transformação de dados em informação”.

O termo dado é freqüentemente confundido com informação, assim pode-se definir que dados representam o mundo real com pouco valor, como um simples objeto, mas quando se estabelecem regras e relações para organizá-lo se transformam em informações úteis e valiosas.

Abreu e Abreu (2000, p.13) define dado e informação da seguinte maneira: “Dado é qualquer elemento identificado em sua forma bruta que por si só não conduz a uma compreensão de determinado fato ou situação. E a informação é o dado trabalhado que permite ao executivo tomar decisões”.

Então Sistemas de Informação pode ser definido como o processo de transformação de dados em informação que são utilizados na estrutura decisória da empresa. Com o dado e informação pode-se adquirir o conhecimento.

Abreu (2000) afirma que conhecimento é quando a informação é trabalhada pelas pessoas e pelos recursos computacionais, possibilitando a geração de fatos mais apropriados. É uma informação valiosa na mente humana que inclui reflexão, síntese e contexto.

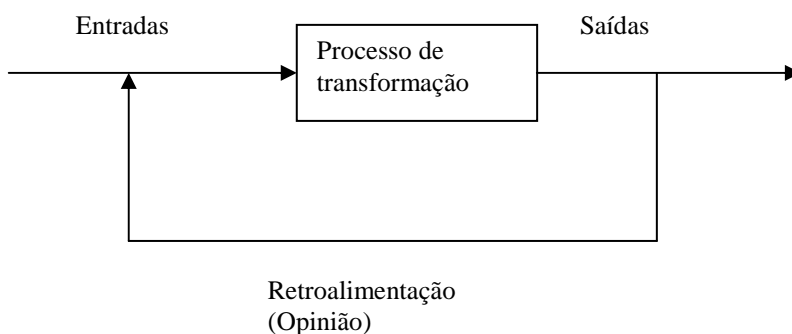


Figura 1 – Componentes de um S.I.  
 Fonte: Apostila de Abreu e Abreu (Modificada)

A figura 1 descreve os componentes de um sistema onde a entrada é a atividade de captar e juntar os dados primários podendo tomar muitas formas a qual será determinada pela saída desejada do sistema. O processamento é a parte do sistema que manipula todas as entradas de acordo com o objetivo do sistema. Pode envolver cálculos, comparações e armazenagem de dados para uso futuro. A saída envolve a produção de informações úteis, geralmente tem forma de documentos, relatórios e dados de transações. Em alguns casos, a saída pode se transformar em entrada para a alimentação de um outro sistema ou até mesmo do próprio sistema em questão através da realimentação por *feedback*. *Feedback* é a saída que retorna aos membros adequados da organização para ajudá-los e refinar ou corrigir os dados de entrada.

Laudon e Laudon (1999) identifica os elementos de um sistema de informação conforme mostrado a seguir:

- 1) *Software*: programas de computador (componentes lógicos), SO;
- 2) *Hardware*: plataforma física, periféricos – Computadores pessoais, servidores, redes de comunicação;
- 3) Pessoas: Gestores, técnicos e utilizadores de *Software* e *Hardware*;
- 4) Bases de dados: repositório de dados utilizados através do *software*;

- 5) Documentação: manuais e outras fontes físicas de informação que explicam o uso e operação do sistema; e
- 6) Procedimentos: passos que definem a forma como os sistemas devem ser utilizados pelas pessoas.

### 2.1.1 Desenvolvimento de um Sistema de Informação

Pressman (2002) afirma que o desenvolvimento de um Sistema de Informação pode abranger varias atividades e envolver profissionais com características diferentes como usuários, analistas e programadores, e também diferentes formas de trabalho como coleta de dados, planejamento, programação, redação de documentos e outras. Por isso normalmente o desenvolvimento do sistema é dividido em fases que são as seguintes:

- 1) Definir a finalidade: Aqui é preciso fazer a seguinte pergunta: Qual será o objetivo do sistema a ser desenvolvido?
- 2) Estudo da viabilidade: Depois de saber o objetivo do sistema é preciso saber se o sistema é viável, se é possível de ser realizado analisando alguns fatores como, se há dinheiro suficiente, se poderá ser criado dentro do prazo previsto, se existe disponibilidade de conhecimento técnico e se será compatível com o público a que se destina.
- 3) Requisitos do sistema: Nesta fase cria-se uma lista com todas as características e funções que o sistema deverá possuir quando pronto, pois os requisitos do sistema são todas as exigências que o sistema deverá cumprir para bem atender sua finalidade.
- 4) Análise: Utilizando as experiências e os conhecimentos do técnico e do usuário é criada uma nova solução para suprir as necessidades no funcionamento do sistema, aqui surge a proposição do novo sistema.

5) Projeto detalhado: Toda parte de especificações funcionais descritas na análise serão realizadas na forma de módulos, programas e rotinas, sendo claramente descritas. Nesta fase as atividades que envolvem software e hardware são enfatizadas, são definidas as linguagens utilizadas, a finalidade de cada módulo também é identificada.

6) Programação: Aqui os componentes do programa são preparados. Pode-se dizer que nesta fase realiza-se a “codificação e depuração” dos programas.

7) Operação e manutenção: Esta fase engloba o uso efetivo do sistema e todas as modificações e complementações necessárias ao longo do tempo de uso do sistema.

### 2.1.2 Tecnologia da Informação

A expressão Tecnologia da Informação surgiu para substituir o termo Informática, como sendo um conjunto de recursos tecnológicos e computacionais para a geração e uso da informação.

“Tecnologia da Informação pode ser todo e qualquer dispositivo que tenha capacidade para tratar dados e ou informações, tanto de forma sistêmica como esporádica, quer esteja aplicada ao produto, quer esteja aplicada no processo.” Abreu e Abreu (2000, p.76).

De acordo com Rezende (2000) a TI deve visar a preocupação mais ampla sobre a maneira pela qual as pessoas trabalham e pensam, de forma que elas (as pessoas) possam tirar proveito total da tecnologia. Um dos benefícios que a Tecnologia da Informação traz para as organizações é a sua capacidade de melhorar a qualidade e a disponibilidade de informações e conhecimentos importantes para a empresa, seus clientes e fornecedores. Outras vantagens são: o melhoramento dos processos internos, aplicações de melhores controles, redução de custos, agregar valor aos serviços e produtos ofertados por uma empresa.

Pode-se classificar a evolução da TI em três eras: Transacional, Informacional e do Conhecimento.

- a) Era transacional (1960-1970), o uso da Tecnologia da Informação tem seu enfoque na área contábil, com grande volume de entradas, para obter as informações de saída através do processamento, utilizando uma série de cálculos e equações complexas.
- b) Era Informacional (1970-1990), foi neste período que se proliferaram os CPDs (Centros de Processamentos de Dados). Surgem também nessa época os bancos de dados, possibilitando a criação de Sistemas de Informação com funções de automatizar as rotinas do trabalho e gerar relatórios para a tomada de decisão.
- c) Era do conhecimento (a partir dos anos 90), foi neste período que surgiu o termo Tecnologia da Informação. A informação passa a ser encarada como um ativo das organizações. A TI torna-se a estratégia fundamental para as empresas, surgindo diversas aplicações em todos os departamentos das organizações.

Segundo Rezende (2000) a TI está fundamentada nos seguintes componentes:

- 1) *Hardware*, seus dispositivos e periféricos;
- 2) *Software* e seus recursos;
- 3) Sistemas de telecomunicações;
- 4) Gestão de dados e informações.

Todos esses componentes interagem e necessitam de um componente fundamental que é o recurso humano. Embora esse componente, conceitualmente não faça parte da Tecnologia da Informação, sem ele esta tecnologia não teria funcionalidade e nem utilidade.

Para a efetiva gestão da Tecnologia da Informação é fundamental a análise de viabilidade (custos, benefícios mensuráveis e não mensuráveis e respectivos resultados), considerando ainda, as ópticas da realidade econômica, financeira e político-social da empresa com o estado de arte e o sucateamento das tecnologias disponíveis no mercado, além das questões sócio-

políticas do ambiente organizacional que podem aflorar decorrentes do impacto da Tecnologia da Informação implantada.

## 2.2 Linguagens de programação

No começo, programar um microprocessador para executar uma determinada tarefa não era uma das coisas mais fáceis que existiam. O programador estava preso a utilizar-se da Linguagem de Máquina, que era a programação diretamente em binário ou em hexadecimal. Guardar o que cada código, ou seja, cada número binário ou seu equivalente em hexadecimal significava para o microprocessador, não era fácil.

Hoje existem diversas linguagens de computação, houve uma grande e contínua evolução técnica, no início foi criado as linguagens de baixo nível como o *Assembly*, que somente lê um programa e o converte para linguagem de máquina. Mais tarde surgem as linguagens denominadas de alto nível, as linguagens de alto nível oferecem comandos, que são conjuntos de uma ou mais instruções, capazes de executar uma tarefa completa. Mesmo sendo executadas em computadores, e conseqüentemente em microprocessadores diferentes, as linguagens permanecem inalteradas. Isto porque você não estará programando o microprocessador diretamente: a linguagem será um programa sendo executado sobre o microprocessador. Logo, a linguagem de alto nível se encarregará de traduzir os comandos de seu programa em alto nível que o microprocessador não conhece para um programa de baixo nível, que o seu microprocessador conhece. Assim, se tem a mesma linguagem de programação de alto nível para vários computadores diferentes, porém a maneira com que eles irão conversar com o microprocessador será diferente. E o mais importante: isto será transparente para o programador.

“As linguagens de programação são veículos de comunicação entre os seres humanos e os computadores” Pressman (1995, p.667).

### 2.3 Inteligência Artificial

De acordo com Barreto (2002) a palavra Inteligência vem do latim *inter* (entre) e *ligere* (escolher), significa aquilo que permite aos seres escolher entre uma coisa e outra. É a habilidade de realizar de forma eficiente uma determinada tarefa. A palavra artificial no latim é *artificiale*, que significa algo não natural, algo que é produzido pelo homem. Por isso Inteligência Artificial pode ser considerada um tipo de inteligência que é produzida pelo homem para dotar máquinas de algum tipo de habilidade que simula a inteligência do homem. Tafner et al (1995, p.17) definem Inteligência Artificial da seguinte maneira:

A Inteligência Artificial constitui-se em um conjunto de técnicas de programação para resolver determinados tipos de problemas em informática. Ela procura imitar, através dos programas que comandam estas máquinas, as formas de resolução de problemas do mesmo modo que o homem o faz. É claro que os tais programas são, essencialmente, algoritmos.

Outra definição:

“A Inteligência Artificial é a parte da ciência da computação concorrente ao projeto de sistemas computacionais que exibem inteligência humana: aprender novas informações, entender linguagens, raciocinar e resolver problemas” Arnold e Bowie (apud Rabuske, 1995, p.21).

Ao longo do tempo a Inteligência Artificial encontrou e ainda encontra resistência que, de modo geral, são objeções e mitos, mas principalmente a idéia que a máquina pode substituir o homem, Rabuske (1995) esclarece que o computador com as técnicas resolve os

problemas que o ser humano sabe e consegue resolver, mas que levaria muito tempo e esforço: “A IA é o resultado da aplicação de técnicas e recursos especialmente de natureza não numérica, viabilizando a solução de problemas que exigiriam do humano certo grau de raciocínio e de perícia.”

A IA pode ser entendida como um conjunto de técnicas e metodologias de programação usadas para tentar resolver os problemas de forma mais eficiente que soluções algorítmicas e fazendo isso o mais próximo possível de um ser humano. Ela transcende as fronteiras convencionais do estudo, envolvendo tanto ciência como engenharia, pois engloba o estudo e a construção do comportamento inteligente e este se encontra nos mais diversos lugares. Para entendê-la é preciso estar preparado para buscá-la em todas as áreas.

De acordo com Rabuske (1995) vários filósofos e cientistas se dedicaram à análise dos vários aspectos que constituíram a inteligência humana ao longo da história. Mesmo tendo sido iniciado dentro do campo da filosofia o estudo da inteligência ultrapassou os limites filosóficos e passou a ser estudada de forma científica por outros campos do saber humano. A IA pode ser considerada um empreendimento interdisciplinar, pois envolve a engenharia, psicologia, pedagogia, ciência cognitiva, neurologia, computação, entre outros. Ela se desenvolveu principalmente com o aparecimento da informática, por isso ela é confundida com seu aspecto informático.

### 2.3.1 História da IA

A IA não é recente, tendo seu marco histórico iniciado nos anos quarenta, onde com pesquisas em torno de seqüências de estratégia e análise do funcionamento do cérebro, objetivava a formalização de seu comportamento através do computador, que ainda não passava



de um projeto. “O desejo de criar artefatos capazes de reproduzir um comportamento inteligente encontra suas origens nas brumas do passado.” Barreto (2001, p. 5).

Pesquisadores em busca do surgimento da IA encontraram ao longo da história, em mitos, lendas e fatos, tentativas de substituir a figura do homem pela máquina.

De acordo com Rabuske (1995, p.24) “A história da inteligência artificial transcende bastante o computador atual, que data da década de quarenta”.

- a) O rei de Chipre, na mitologia grega com a história de Pygmalion, moldou uma figura feminina de marfim, trazida à vida pela Afrodite.
- b) O ditador Nebis, a 200 a.C. na história de Esparta, dispunha de um robô que era seu cobrador de impostos.
- c) Alberto Magno, no século XIII, idade média, fabricou um escravo animado em tamanho natural.
- d) Em 1677 surgiu a lógica Simbólica que vem de uma idéia em que a definição de um cálculo para o raciocínio fosse possível, proposta por Leibnitz. Esta foi trabalhada mais tarde por George Boole, onde passou a se chamar lógica booleana.
- e) No ano de 1979 o matemático Gottlob Frege fez surgir o cálculo dos predicados que tinha como objetivo analisar a estrutura formal do pensamento humano, atualmente esta é a base para a linguagem de programação Prolog.

Para uma compreensão melhor do que aconteceu desde 1940 até os dias de hoje, os acontecimentos principais estão descritos através de uma divisão por décadas, conforme Medeiros (2003).

A IA na década de 40: Este período foi marcado pela Segunda Guerra Mundial, e este fato resultou na necessidade de desenvolver uma tecnologia voltada para a análise de balística, quebra de códigos e cálculos para projetar a bomba atômica. Para que fosse possível o cálculo da bomba atômica surgiram os primeiros grandes projetos de construção de computadores. Nesta época também se iniciou os jogos para computadores, utilizados também para situações

mais reais além de jogos de dama e xadrez. Assim, originou-se a inteligência artificial tradicional, baseada em regras.

Mas houve a inspiração biológica, onde o interesse era simular as células nervosas através do computador, os estudos que analisavam o processamento cerebral motivaram o desenvolvimento de uma formalização matemática para o neurônio, isso permitiu criar concepções sobre de que forma os neurônios armazenam os pesos que contém o conhecimento.

Década de 50: Em 1956 surge a expressão inteligência artificial, criada por John MacCarthy após uma reunião de especialistas nos Estados Unidos. Esta época foi marcada por uma linha de pesquisa psicológica, onde se fez a utilização da lógica para finalidades matemáticas que possibilitaram a resolução de problemas como a prova de teoremas.

A programação através de comandos da lógica de predicados proporcionou um grande avanço para a programação de sistemas que utilizassem esquemas de raciocínio. Mesmo com a euforia do potencial tecnológico vislumbrado, esta década ficou marcada pelo sucesso da implementação do primeiro simulador de redes neurais artificiais e do primeiro neurocomputador. A partir do modelo matemático de MacCulloch e Pitts (1943) e da teoria de aprendizado de Donald Hebb (1949), foi possível a união desses conhecimentos para formar o modelo de rede neural artificial chamado Perceptron.

Década de 60: Nesta época os computadores começaram a fazer parte da vida das pessoas. Em 1965 L. Zadeh propôs a base à lógica difusa (*Fuzzy Logic*). O início de máquinas mais poderosas intensificou as pesquisas na simulação de redes neurais artificiais com o aprimoramento do modelo Perceptron e o surgimento de uma variante, o Adaline, os dois usavam as mesmas idéias de rede, porém a lógica de aprendizado os diferenciava.

Década de 70: Esta época apesar de muito difícil para abordagens biológicas, houve pesquisadores que chegaram a novas concepções de redes neurais artificiais por outros caminhos. Analisavam o aprendizado de informações através de redes maiores com a união e

interação dos neurônios, então nasceram as redes neurais em representação de mapas cerebrais, onde identicamente ao sistema nervoso humano o aprendizado acontecia através de toda uma rede e não apenas por um neurônio isoladamente.

Década de 80: As redes neurais tiveram seu reconhecimento através do físico Jonh Hopfield, que em 1982 provou que era possível a simulação de um sistema físico através de um modelo matemático baseado na teoria das redes neurais, nesta década também surge as técnicas e aplicações dos sistemas especialistas.

Década de 90: Consolidam-se as redes neurais como parte integrante do estudo da inteligência artificial, surgem inúmeras aplicações e desenvolvimento de modelos.

Os paradigmas biológicos e psicológicos são reconhecidos como complementos e necessários para sistemas mais evoluídos. Nesta década começam a ser construídos os sistemas híbridos, que são a união das concepções das quatro linhas de pesquisa permitindo a construção de grandes sistemas que pretendem abranger uma forma mais completa de representação do comportamento humano.

Os dias de hoje: Apesar de haver interesses em simular o humano por parte de alguns estudiosos no assunto, o que se alastra são aplicações voltadas para o controle inteligente nas indústrias e resolução otimista em problemas mal definidos, usando sistemas híbridos (neural-nebuloso).

## 2.4 Abordagens da IA

De acordo com Barreto (2002) a inteligência artificial possui quatro principais abordagens; simbólica, conexionista, evolucionária e híbrida. Ao querer resolver algum problema relacionado a IA é preciso ter conhecimento sobre o problema e técnicas para

manipular este conhecimento para conseguir a solução. É neste aspecto que as abordagens descritas acima se diferem. Para escolher a forma que se utilizará deve ser minuciosamente observado de que se trata a dificuldade e aonde se quer chegar.

Barreto (2002, p.22) destaca: “dependendo da abordagem da IA adotada, tanto do modo de manipular o conhecimento quanto como adquiri-lo, diferem”.

#### 2.4.1 Inteligência artificial simbólica (IAS)

Esta abordagem dá ênfase a forma como o ser humano raciocina. Trata de manipulação de símbolos que representam o conhecimento. Pode ser utilizada quando o problema está bem definido, ou seja, quando o modo de achar o problema esteja explícito.

De acordo com Barreto (2001, p.22)

Na IAS se espera que, o conhecimento sobre o problema particular a resolver e das técnicas úteis para o caso, possam levar a solução desejada. Esta solução deve ser obtida manipulando conhecimentos básicos e imitando ao menos até certo ponto, o modo de raciocínio usado por humanos na solução de problemas.

Para que se possa utilizar IAS, não se deve obter um problema aparentemente sem solução e aplicar a maneira simbólica para que o computador ache uma solução que não foi percebida ainda.

#### 2.4.2 Inteligência artificial conexionista (IAC):

A IAC possibilita soluções onde a IAS não consegue tratar, pelo principal motivo de conseguir trabalhar problemas que não são bem definidos.

“Pode-se dizer que se espera da IAC um desempenho melhor que o da IAS em problemas mal definidos, onde falta o conhecimento específico de como realizar uma tarefa” Barreto (2001, p. 23).

Este tipo de abordagem apóia o uso de redes neurais artificiais e se inspira no sistema nervoso, o qual é responsável pelo comportamento inteligente. O campo de aplicação da IAC envolve reconhecimento de padrão, controle de processos industriais de dinâmica complexa, controle de movimentos dos membros em robôs, dentre outros.

#### 2.4.3 Inteligência artificial evolucionária

Seu foco está na evolução biológica, tratando de problemas bem definidos. Segundo Barreto (2001, p.23) “Evolução biológica é um exemplo de solução de problema bem definido de sobrevivência de uma espécie em ambiente variável”.

Ela é baseada em comportamentos encontrados na natureza, tais como a auto-organização e o comportamento adaptativo, ou seja, a resposta para o problema está inserida em vetores denominados cromossomos, que são unidos criando um novo cromossomo (reprodução), ou alterados (mutados) para que chegue ao resultado esperado.

#### 2.4.4 Inteligência artificial híbrida (IAH)

Conforme Barreto (2002) a IAH utiliza os pontos positivos de todos os tipos de abordagens da IA para atingir uma melhor solução para os problemas. Um tipo de aplicação da IAH são sistemas Neuro Fuzzy, onde são unidos os conhecimentos de redes neurais, expressos através da interconexão de unidades de processamento simples, com a representação dos conhecimentos impressos obtidos através dos conjuntos Fuzzy.

#### 2.5 Sistemas especialistas

De acordo com Rich (1988, p.333) “A característica mais importante de um sistema especialista é que ele depende de uma grande base de conhecimento. Uma grande quantidade de conhecimento é tão crítica para o sucesso de um SE quanto o é a questão de representação desse conhecimento para o projeto do sistema”.

Segundo Rabuske (1995, p.72) "Sistemas especialistas são sistemas "computacionais" que resolvem problemas de uma maneira bastante parecida com o especialista humano. São sistemas com um conhecimento específico profundo sobre campos restritos do conhecimento”.

## 2.6 Redes neurais artificiais

De acordo com Vieira e Roisenberg (s.d.) sabendo-se que o ser humano possui complexos circuitos neurais cerebrais e que entre seus neurônios existem variadas conexões (Sinapses) que interagem entre si de modo a fazer emergir comportamento inteligente, surge a idéia de que se fosse possível modelar estas conexões neurais computacionalmente, poderiam as máquinas também possuírem comportamento inteligente. Neste contexto que surge as redes neurais artificiais (RNAs) que são inspiradas na própria natureza das redes neurais e sinapses biológicas.

As RNAs são técnicas computacionais que possuem um modelo matemático inspirados na estrutura neural de organismos inteligentes e adquirem conhecimento através da experiência. O cérebro de um mamífero pode ter bilhões de neurônios enquanto uma grande RNA pode ter centenas de milhares de unidades de processamento.

Braga et al. (2000, p.1) comenta que “Esta forma de computação não-algoritma é caracterizada por sistemas que, em algum nível, relembram a estrutura do cérebro humano. Por não ser baseada em regras ou programas, a computação neural se constitui a uma alternativa a computação algoritma convencional”.

Mesmo com pouco conhecimento no que diz respeito ao cérebro humano e ainda com muita dificuldade de modelar o que já se sabe sobre o assunto, são promissoras as pesquisas de redes neurais em diversas áreas como engenharia, computação e também em neurociências. E é de grande utilidade para problemas como reconhecimento de padrões, agrupamento, previsão de series temporais, etc.

O procedimento usado para solução de problemas em RNA inicia-se com uma fase de aprendizado, onde a rede recebe um conjunto de exemplos. Deste conjunto são extraídas,

automaticamente somente as características necessárias para representar a informação fornecida. As respostas para o problema são dadas através dessas características.

Conforme Braga et. al. (2000, p.2)

A capacidade de aprender, através de exemplos e de generalizar a informação aprendida é sem duvida, o atrativo principal da solução de problemas através de RNAs. A generalização, que está associada a capacidade de a rede aprender através de um conjunto reduzido de exemplos e posteriormente dar respostas coerentes para dados não conhecidos, é uma demonstração de que a capacidade das RNAs vai muito além do que simplesmente mapear relações de entrada e saída.

Conforme Braga et al (2000) algumas outras características que podem ser destacadas é as RNAs serem capazes de extrair informações não apresentadas de forma explícita através dos exemplos, também podem atuar como mapeadores universais de funções multivariáveis, onde o custo computacional cresce apenas linearmente com o número de variáveis aliando a capacidade de auto-organização e de processamento temporal com as outras características, pode-se afirmar que a RNA é uma ferramenta computacional poderosa para a solução de problemas complexos.

As RNAs são conhecidas pelo seu bom desempenho, porém são criticadas pelo usuário por não mostrar como o problema foi resolvido. O usuário aceita mais facilmente as RNAs que tenham capacidade de gerar alguma explicação sobre a forma de resolução do problema, mesmo que a explanação seja feita de forma limitada.

### 2.6.1 História da RNA

De acordo com Tafner et al (1996) o primeiro modelo artificial de um neurônio biológico foi em 1943, desenvolvido pelo neurofisiologista McCulloch e pelo matemático



Walter Pitts, onde fizeram uma analogia entre células nervosas vivas e o processo eletrônico. Na mesma década, 1949, Donald Hebb propôs uma teoria que explica a base do aprendizado das redes neurais explicando o que acontece durante o processo de aprendizado no cérebro, a nível celular. Esta teoria foi interpretada no ponto de vista matemático sendo utilizado hoje em vários algoritmos de aprendizado.

Em 1958, Frank Rosenblatt apresentou um novo modelo, que foi denominado de perceptron. Neste modelo, se fossem acrescentados de sinapses ajustáveis, as redes neurais poderiam ser treinadas para classificar certos tipos de padrões. Mais ou menos nesta mesma época surge também a rede Adeline, esta tentava imitar o cérebro humano utilizando processadores paralelos em vez de uma única CPU.

No ano de 1969 foi lançado o livro *Perceptrons* que teve como autores os cientistas Marvin Minsky e Seymour Papert. Neste livro os autores chamaram a atenção para a rede proposta por Rosenblat alegando que ela não era capaz de distinguir padrões linearmente separáveis, lançaram críticas sobre as redes neurais que apesar de usarem processos de aproximação empíricos não realizavam certas operações booleanas. Esta publicação gerou uma onda de pessimismo, as pesquisas em redes neurais se estancaram como relata Tafner et. al. (1995, p. 28) “O impacto desta publicação foi fatal, retraíram, com a crítica, praticamente todo o investimento e programas de pesquisa para esta tecnologia, que até então ainda eram emergente”.

Somente em 1982 o interesse por pesquisa relacionada a redes neurais voltou, John Hopfield contestou as teses matemáticas de Minsky e Papert, tendo sucesso. Com a publicação de um artigo que chamou a atenção para as propriedades associativas das RNAs “Em 1982, a cidade de Kioto no Japão sediou a primeira conferencia conjunta Estados Unidos – Japão sobre redes neurais” Tafner et. al. (1995, p. 28).

## 2.6.2 Neurônio Biológico

O cérebro humano é considerado o mais fascinante processador baseado em carbono existente, sendo composto por aproximadamente 10 bilhões de neurônios.

Braga et. al. (2000, p.5) destaca que:

O cérebro humano é responsável pelo que se chama de emoção, pensamento, percepção e cognição, assim como pela execução de funções sensoriomotoras e autônomas. Além disso, sua rede de nodos tem a capacidade de reconhecer padrões e relaciona-los, usar e armazenar conhecimento por experiência além de interpretar observações.

Os neurônios formam o sistema nervoso, sendo o principal componente deste sistema, eles estão conectados uns aos outros através de sinapses, que juntos formam uma grande rede, denominada rede neural.

Segundo Tafner em um artigo publicado na revista “Cérebro e Mente” (Março/Maio 1998) comenta que “Existem diversos tipos de neurônio, com diferentes funções dependendo de sua localização e estrutura morfológica, mas em geral constituem-se dos mesmos componentes básicos”.

O neurônio é composto pelo: corpo celular, axônio e os dendritos conforme mostra a figura 2.

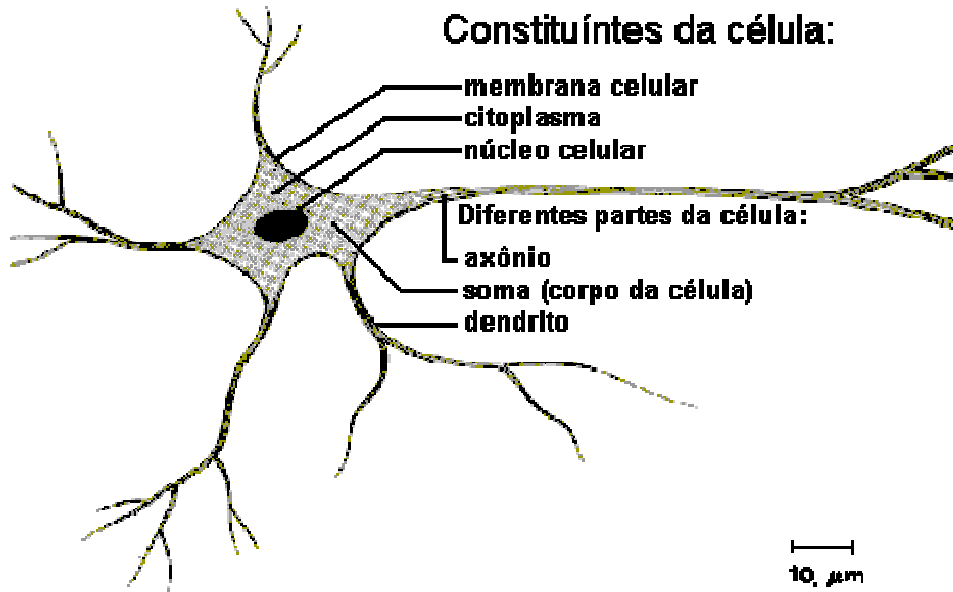


Figura 2 – Neurônio humano - Modificado  
 Fonte: Redes neurais em delphi

O corpo da célula ou soma mede alguns milésimos de milímetros, é responsável por coletar e combinar informações vindas de neurônios. Constitui-se de núcleo e pericário que dá suporte metabólico a toda célula.

Axônio é formado por um único filamento e possui ramificações na parte final. É constituído de uma fibra tubular que pode alcançar até alguns metros e é responsável por transmitir os estímulos para outras células.

E os dendritos são várias ramificações da célula que permitem captar estímulos transmitidos de outro neurônio, eles emergem do pericário e do final do axônio.

Como já foi comentado anteriormente, a sinapse é a região onde dois neurônios entram em contato. Elas transmitem estímulos através de diferentes concentrações de Na<sup>+</sup> (Sódio) e K<sup>+</sup> (Potássio), o resultado desses estímulos podem ser estendidos por todo o corpo humano.

Conforme Braga et. al. (2000, p.6):

O ponto de contato entre a terminação axônica de um neurônio e o dendrito de outro é chamado de sinapse. É pelas sinapses que os nodos se unem funcionalmente, formando redes neurais. As sinapses funcionam como válvulas, e são capazes de

controlar a transmissão de impulsos – isto é, o fluxo da informação – entre os nodos da rede neural.

Os impulsos recebidos por um neurônio em um determinado momento são processados, e atingindo um dado potencial de ação, este mesmo neurônio dispara, onde produz uma substância neurotransmissora que flui do corpo celular para o axônio, que pode estar conectado a um dendrito e outro neurônio.

Tafner (março/maio 1998) em seu artigo descreve o que ocorre em uma sinapse.

Em uma sinapse os neurônios não se tocam, permanecendo um espaço entre eles denominado fenda sináptica, onde um neurônio pré-sináptico liga-se a um outro denominado neurônio pós-sináptico. O sinal nervoso (impulso), que vem através do axônio da célula pré-sináptica chega em sua extremidade e provoca na fenda a liberação de neurotransmissores depositados em bolsas chamadas de vesículas sinápticas. Este elemento químico se liga quimicamente a receptores específicos no neurônio pós-sináptico, dando continuidade á propagação do sinal.

As sinapses podem ser excitatórias a qual facilitam o fluxo dos sinais elétricos gerados pelo potencial de ação e pode ser também inibitórios onde facilitam a passagem desta corrente.

Como já foi comentado anteriormente que o cérebro pode possuir em média 10 bilhões de neurônios e cada neurônio pode ter de 1000 e 100000 sinapses.

### 2.6.3 Neurônio Artificial

A rede neural é composta por várias unidades de processamento e seu funcionamento é bem simples. Essas unidades estão geralmente conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso, elas fazem operações sobre seus dados locais que são as entradas recebidas pelas conexões que possui. E são as interações entre as unidades de

processamento da rede que cria o comportamento inteligente da Rede Neural Artificial (RNA).

“O neurônio artificial é uma estrutura lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico”. Tafner (março / maio 1998)

Em um neurônio artificial as entradas representam os dendritos onde as ligações com o corpo celular artificial são feitas através de um elemento denominado peso que simula as sinapses. A função de soma processa os estímulos captados pelas entradas e o limiar de disparo do neurônio biológico foi substituído pela função de transferência.

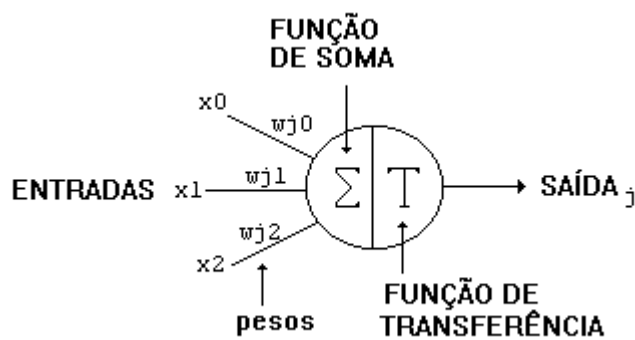


Figura 3 – Modelo de neurônio artificial

Fonte: Revista Cérebro & Mente mar/maio 1998

A figura 3, de acordo com Tafner (2005) ilustra um modelo de neurônio artificial onde existem as entradas ( $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ) podendo ser várias e um terminal de saída ( $j$ ), os pesos  $w_{j0}$ ,  $w_{j1}$ ,  $w_{j2}$  que simulam as sinapses podem ser positivos ou negativos os seus valores, dependendo de serem inibitórias ou excitatórias. Os pesos é que determinam “em que grau” o neurônio deve considerar sinais de disparo que ocorrem naquela conexão.

A combinação de diversos neurônios artificiais forma a RNA. As redes que simulam uma área de captação de estímulos que podem ser conectados em muitos neurônios, o que vai resultar em uma série de saídas (cada neurônio representa uma saída). A função dessa conexão é fazer do sinal de saída de um neurônio um sinal de entrada de outro ou orientar o sinal para

o mundo externo (mundo real). Podem-se combinar as muitas variantes de uma rede neural, mudando a arquitetura conforme a necessidade de aplicação.

Braga et al. (2000) explica que a propriedade principal e mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender. Os modelos de redes neurais, na sua maioria possuem algum tipo de regra de treinamento, elas aprendem através de exemplos. Esse treinamento é baseado em casos reais já conhecidos, e através desse treinamento a rede adquire a sistemática necessária para executar adequadamente o processo desejado dos dados fornecidos. Portanto a rede neural é capaz de extrair regras básicas a partir de dados reais, o que a faz ser diferente da computação programada, onde é necessário um conjunto de regras pré-fixadas e algoritmos. Normalmente as arquiteturas neurais são organizadas em camadas, possuindo unidades que podem estar conectadas as unidades da camada posterior conforme a figura 4 retrata.

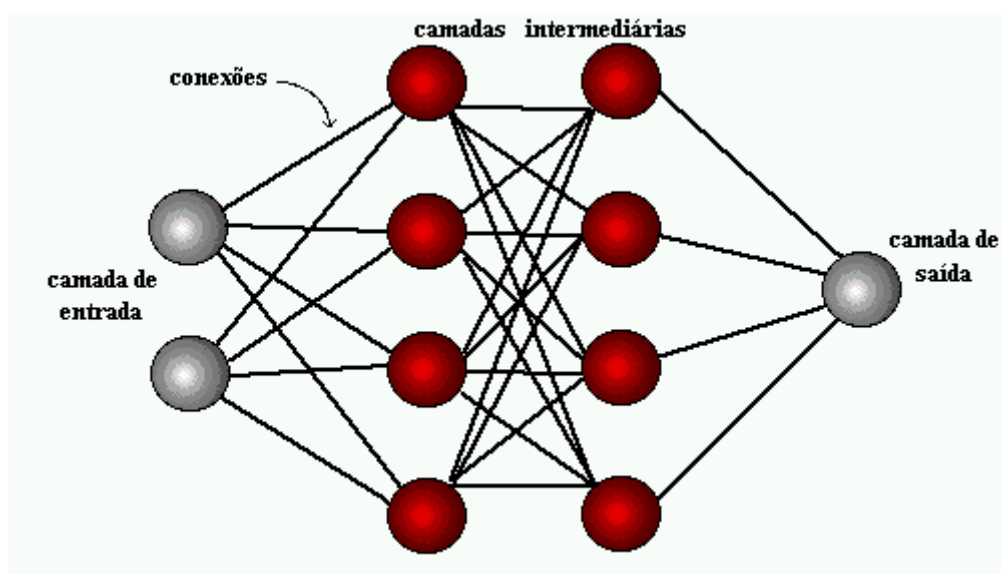


Figura 4 – Organização em camadas - Modificado  
Fonte: Redes neurais em delphi

Na camada de entrada os padrões são apresentados á rede, as camadas intermediárias ou escondidas podem ser consideradas como extratoras de características, é nesta camada que é feito a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas. E na camada de saída o resultado final é concluído a apresentado.

## 2.7 Conhecimento

Os seres humanos, desde o nascimento vão acumulando conhecimentos que lhes permitirão agir de modo a mostrar que são seres inteligentes, assim para o desenvolvimento da IA é fundamental o conhecimento. Para cada metodologia empregada em IA existe um método distinto de representá-lo.

Em IAS o conhecimento é passado para o computador através de regras armazenadas em sua memória. Já em IAC o conhecimento é obtido através de valores de conexões entre neurônios. Conforme Whitby (2003, p.46) afirma “(...) da mesma forma como o conhecimento é um companheiro confiável para os humanos na jornada da vida, também é incrivelmente útil para um computador. Um dos mais bem sucedidos ramos da IA é conhecido como “sistema baseados em conhecimento””.

As quatro abordagens da IA necessitam da aquisição, exploração e aplicação do conhecimento para solucionar as tarefas propostas.

“Para solucionar os problemas complexos na inteligência artificial é preciso de uma grande quantidade de conhecimento e também alguns mecanismos para manipulação desse conhecimento, a fim de criar soluções para novos problemas.” Rich e Knight (1988, p.125).

### 2.7.1 Representação do conhecimento

De acordo com Rich e Knight (1988) o desenvolvimento da inteligência só é possível através do conhecimento, por isso para que surgissem máquinas com algum tipo de

inteligência foi necessário inserir conhecimento nessas máquinas e para isso é preciso analisar algumas características de conhecimento.

O conhecimento possui diversos aspectos, características e detalhes relevantes que o torna volumoso. É difícil caracterizar o conhecimento, quem o possui não sabe explicá-lo e nem como o adquiriu.

Cada pessoa interpreta o conhecimento de maneira diferente da outra, duas pessoas não adquirem o mesmo conhecimento de uma forma exata, é de aquisição individual e também está em constantes mudanças, pois está sempre crescendo, se modificando e aperfeiçoando.

Rich e Knight (1988) também explicam que o conhecimento possui características que se revelam desfavoráveis a implementação de um sistema computacional inteligente, por isso surgiu a necessidade de criação de uma estrutura para sua implementação, a qual foi denominada representação do conhecimento.

A representação do conhecimento é caracterizada por ser generalizável, ou seja, necessita de vários pontos de vista do mesmo conhecimento para que possa ser atribuído de diversas situações e interpretações.

A representação do conhecimento também pode ser atualizada e corrigida com facilidade já que o conhecimento encontra-se formalizado, e pode ser utilizado mesmo que incompleto ou impreciso, permitindo sua implementação mesmo que não aborde todas as situações possíveis.

Uma de suas principais vantagens é a de ser compreensível ao ser humano, ou seja, a representação do conhecimento é de fácil interpretação, já que é baseada na linguagem natural humana.



## 2.8 Aprendizado

Conforme comentado anteriormente as redes neurais artificiais possuem a capacidade de aprender. Esse aprendizado ocorre quando a rede neural encontra uma solução generalizada para uma classe de problemas, que é feito através de um processo iterativo de ajustes aplicado a seus pesos, o treinamento.

Braga et al (2000, p. 15) define o que vem a ser aprendizado:

“Aprendizado é o processo pelo qual os parâmetros de uma rede neural são ajustados através de uma forma continuada do estímulo pelo ambiente no qual a rede está operando, sendo o tipo específico de aprendizagem realizada definido pela maneira particular como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros.”

Para se obter o melhor resultado da rede o conjunto de treinamentos precisa ser o melhor possível, pois um bom aprendizado acontece quando o conjunto for constituído de dados, o mais real possível para que seja apresentado a rede.

“A rede neural deve aprender dentro de um ambiente o mais real possível para que se comporte adequadamente em situações verdadeiras. O conjunto de treinamento e aprendizado (...) constituem os processos mais cuidadosos na concepção da rede neural” Tafner et al(1995, p.81).

Dois métodos de treinamento foram desenvolvidos, o aprendizado supervisionado e o aprendizado não-supervisionado.

### 2.8.1 Aprendizado supervisionado

O aprendizado supervisionado recebe esse nome por utilizar um agente externo que indica à rede a resposta desejada para um padrão de entrada conforme Tafner (1995, p.65) comenta “a rede neural é treinada com o auxílio de um professor ou um treinador”.

Segundo Whitby (2003, p.67) “O aprendizado supervisionado cobre aqueles casos em que sabemos de antemão quais padrões particulares desejamos que a rede aprenda e o processo de treinamento que envolve a combinação do desempenho da rede ao reconhecimento desses padrões”.

O objetivo desse tipo de aprendizado é ajustar os parâmetros da rede para que se encontre uma ligação entre o conjunto de entrada e o de saída fornecido, portanto a rede deverá possuir pares de entrada e pares de saídas desejadas para cada entrada.

Cada vez que a rede receber uma entrada, a saída obtida deverá ser verificada para saber se esta saída é a desejada para aquela entrada. A saída é gerada a partir dos cálculos efetuados com os pesos que a rede possui. Caso a saída seja diferente da desejada, os pesos da rede deverão ser ajustados para que armazene o conhecimento desejado. Tafner et al (1995, p. 65) destaca que “Essa interatividade do treino deverá ser repetida com todo o conjunto de treinamento (entradas e saídas), até que a taxa de acerto esteja dentro de uma faixa considerada satisfatória.”

Braga et al (2000, p.16) ressalta uma desvantagem desse tipo de aprendizagem “ A desvantagem do aprendizado supervisionado é que, na ausência do professor, a rede não conseguirá novas estratégias para situações não cobertas pelos exemplos do treinamento da rede.” Mas mesmo com essa desvantagem essa forma de aprendizado é a mais comum no treinamento das RNAs e tem demonstrado excelentes resultados em aplicações reais. Um

exemplo tecnicamente conhecido como aprendizado supervisionado é treinar uma rede neural artificial para reconhecer caracteres escritos a mão.

### 2.8.2 Aprendizado não-supervisionado

Nesse tipo de aprendizado não há um professor ou supervisor que acompanha o processo de aprendizado. Aqui somente o conjunto de entradas é fornecido à rede, essas entradas são trabalhadas pela rede de modo que ela se organiza para classificá-las usando seus próprios critérios.

“O treinamento não-supervisionado classifica padrões de entrada internamente, não exigindo a definição de valores desejados na saída” Tafner et al (1995, p.78).

Muitos sistemas biológicos ocorrem através de aprendizado não-supervisionados, como por exemplo, os estágios iniciais dos sistemas de visão e audição. Só é possível possuir esse tipo de aprendizado quando há uma redundância nos dados de entrada, pois sem redundância seria impossível encontrar padrões ou características dos dados de entrada.

“Aprendizado não-supervisionado cobre aqueles casos em que não conhecemos o padrão, ou nem mesmo se há um padrão, e a tarefa da rede é encontrá-lo.” Whitby (2003,p 68)

Uma aplicação desse tipo de aprendizado é a mineração de dados, onde uma base de dados grande e aparentemente desestruturada é passada para a rede, onde a rede pode detectar padrões ou grupos de dados.

## 2.9 Reconhecimento de Padrões

Barreto (2002) define Reconhecimento de Padrões (RP) como um dos campos de aplicação da Inteligência Artificial. Ela utiliza técnicas para classificar ou descrever padrões ou objetos através de um conjunto de propriedades ou características.

“Reconhecimento de Padrões é a área de pesquisa que tem por objetivo a classificação de objetos (padrões) em um número de categorias ou classes” (Sergios Theodorides, 1999).

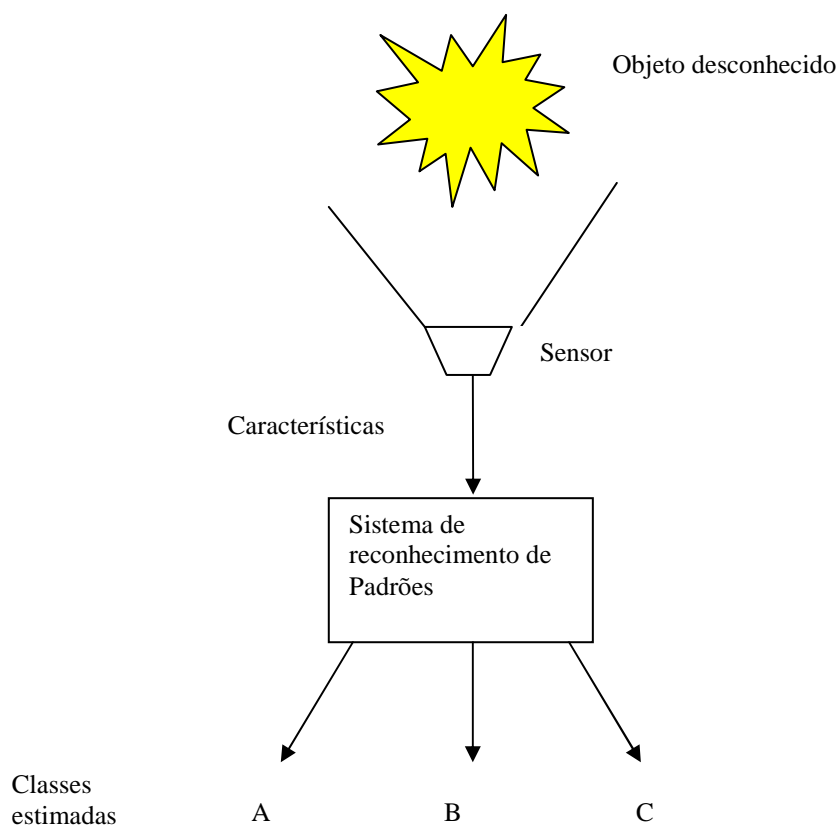


Figura 5 – Sistema de reconhecimento de padrões

Fonte: <http://www.lx.it.pt/~afred/docencia/Percepcao/acetatos/A3.PDF>

Conforme mostra a figura 5, um objeto desconhecido é captado por um sensor conectado a um sistema de reconhecimento de padrões, este sistema reconhece o objeto e o identifica conforme a classe que ele representa.

O reconhecimento de Padrões é uma das áreas de pesquisa bem avançadas da IA. A capacidade de reconhecimento de padrões permite ao programa reconhecer a fala em linguagem natural, os caracteres digitados e a escrita. Seus principais objetivos são: atribuir um padrão a um conjunto desconhecido de classes de padrões (clustering) ou identificar um padrão com membros de um conjunto conhecido de classes (classificação).

Uma pessoa pode querer utilizar sistemas de reconhecimento de padrões de forma interativa, para restringir a sua atenção a um conjunto de casos selecionados pelo sistema, ou automatizar completamente o processo de tomada de decisão, sem a necessidade de intervenção humana.

Historicamente as técnicas de reconhecimento de padrões eram aplicadas no reconhecimento de caracteres e na classificação de células de sangue, mas durante os últimos quarenta anos essa metodologia tem sido aplicada em áreas diversas.

No reconhecimento automático e contagem de partículas de matérias descritas através do tamanho e forma (células, bactérias, víruses, pó), assistindo os cientistas em disciplinas como a bioquímica, microbiologia, física, metalurgia.

Técnicas de RP revolucionaram o processamento de dados de satélite, proporcionando informações sobre condições do solo, tipos de vegetação, características térmicas, padrões meteorológicos, topografia de terrenos.

Categorias da área de aplicação:

- a) Processamento de documentos, reconhecimento de caracteres impressos ou escritos como máquinas de leitura para cegos, leitores de códigos de barra, etc.
- b) Automação industrial - inspeção e montagem/configuração de objetos complexos como inspeção de circuitos impressos, processamento de imagens, assistência em metrologia.
- c) Detecção remota - observação do planeta através de sensores em satélites ou aviões.

- d) Medicina e biologia - processamento de diversos sinais e imagens médicas como contagem de células de sangue, diagnósticos médicos.
- e) Identificação de pessoas - É utilizado para reconhecimento de voz e impressões digitais.
- f) Aplicações científicas - Interpretações de ondas sísmicas para previsão de terremotos, análise de composição molecular através de imagens de microscópio eletrônico.
- g) Aplicação na agricultura - inspeção de produtos, ordenação e empacotamento de produtos.
- h) *Data Mining* - Mineração de dados em bancos de dados

Existe um ponto em comum entre essas aplicações, normalmente as características disponíveis nos padrões de entrada são milhares, e não são utilizadas, são extraídas dos padrões de entrada características otimizadas, utilizando procedimentos guiados pelos dados.

O reconhecimento ou classificação de um padrão consiste em uma das seguintes tarefas:  
Classificação supervisionada e classificação não supervisionada.

Segundo Whitby (2003, p. 67),

O aprendizado supervisionado cobre aqueles casos em que sabemos de antemão quais padrões particulares desejamos que a rede aprenda e o processo de treinamento que envolve a combinação do desempenho da rede ao reconhecimento desses padrões [...] aprendizado não-supervisionado cobre aqueles casos em que não conhecemos o padrão, ou nem mesmo se há um padrão, e a tarefa da rede é encontrá-lo.

Um projeto de sistemas de reconhecimento de padrões envolve três aspectos: aquisição de dados e pré-processamento, representação dos dados e tomada de decisão. Em geral um problema de reconhecimento de padrões bem definido e restrito permite uma representação compacta dos padrões e uma estratégia de decisão simples, mas os padrões a serem reconhecidos nem sempre possuem essas características.

Existem algumas abordagens de reconhecimento de padrões, as mais conhecidas são: *template matching* (casamento), abordagem estatística, sintática e redes neurais.

## 2.10 Perceptron

Braga et al (2000) afirma que foi com o surgimento em 1957 do perceptron criado por Frank Rosenblatt que cresceu o interesse pelas redes neurais, sua topologia original era composta por unidades de entrada (retina), por um nível intermediário que era formado pelas unidades de associação e um nível de saída que era formado pelas unidades de resposta. Mas mesmo com três níveis, é conhecido como perceptron de uma única camada porque somente o nível de saída possui propriedades adaptativas.

Tafner (1995, p.103) destaca que “houve muito otimismo entre os pesquisadores, pois, aparentemente, parecia que os perceptrons podiam resolver vários tipos de problemas. Iniciou-se então, intensa pesquisa sobre redes neurais”. Um livro com o título Perceptrons de Minsky e Papert que criticava o perceptron causou um grande impacto entre os pesquisadores neste ramo e esses ficaram desestimulados.

A rede neural perceptron possui como elementos a camada de entrada onde cada elemento faz a distribuição do sinal que recebe para todas as unidades de processamento; e os neurônios que constituem as unidades sigma ( $\Sigma$ ) e funções de transferência (T).

Essas unidades sigma fazem a soma ponderada dos sinais que vem pelas conexões com elementos de entrada. A saída de cada neurônio ou unidade de processamento, em função da soma ponderada, é determinada pelas funções de transferência.

Pelo fato da rede perceptron possuir apenas uma camada de processamento ela se limita a separar problemas linearmente separáveis. Em redes perceptron não existe um procedimento para ajustamento de pesos com mais de uma camada.

Redes que surgiram mais tarde que haviam superado esses problemas com técnicas de aprendizado mais desenvolvidas deixaram de ser perceptron recebendo outros nomes. No aprendizado em uma rede perceptron a rede recebe um conjunto de padrões que corresponde ao objeto que a rede deve reconhecer, os pesos das conexões entre a camada de entrada com a unidade sigma são ajustados, para obter a saída desejada, esse ajuste dos pesos é denominado de treinamento. Por isso o perceptron é do tipo de aprendizado supervisionado como afirma Tafner et al (1995, p.111) “Dizemos que a aprendizagem do perceptron é do tipo supervisionado porque requer que o comportamento da rede durante o treinamento seja avaliado para se decidir o que fazer para que os pesos sejam devidamente ajustados (...)”.

Em um neurônio da rede perceptron, pode-se também ter um elemento especial, esse elemento recebe o nome de viés. Segundo Tafner et al (1995) o viés é um elemento especial da camada de entrada cujo sinal tem sempre valor 1.

## 2.11 Prototipação

A definição de um sistema ocorre através da descoberta gradual e evolutiva em oposição a previsão onisciente. Esse tipo de abordagem é chamado de prototipagem. Também é conhecida como modelagem de sistemas ou desenvolvimento de heurística. Ela oferece uma alternativa atraente e funcional para o método de especificação para que se possa lidar melhor com a incerteza, a ambigüidade e a inconsciência dos projetos do mundo real.



Segundo Pressman (1995: p.35) “A prototipação é um processo que capacita o desenvolvedor a criar um modelo do *software* que será implementado”.

Este modelo pode ser de três formas:

a) Um protótipo em papel ou modelo baseado em PC que retrata a interação homem-máquina de uma forma que capacita o usuário a entender quando a interação ocorrerá;

b) Um protótipo de trabalho que implementa algum subconjunto da função exigida do *software* desejado;

c) Um programa existente que executa parte ou toda a função desejada, mas que tem outras características que serão melhoradas em um novo esforço de desenvolvimento.

Ao desenvolver um *software* a prototipagem inicia-se com a coleta dos requisitos, onde reúne-se desenvolvedor e o cliente para definir os objetivos globais para o software, ocorre a elaboração do projeto rápido que representam aspectos do software que serão visíveis ao usuário, este projeto é avaliado pelo cliente/usuário e é usado para refinar os requisitos para o *software* a ser desenvolvido.

Segundo Pressman (2002, p.29) “A prototipagem pode ser um paradigma efetivo para a engenharia de Software. O importante é definir as regras do jogo no início; isto é, o cliente e o desenvolvedor devem estar de acordo que o protótipo seja construído para servir como um mecanismo para definição dos requisitos.”

O protótipo pode ser descartado no decorrer do seu desenvolvimento, e o software real será projetado, levando em conta a qualidade e a manutenibilidade.

A figura 6 mostra o ciclo com as atividades que o desenvolvedor deve executar durante o processo de prototipagem, e dentro desse ciclo também existe a participação do cliente/usuário.

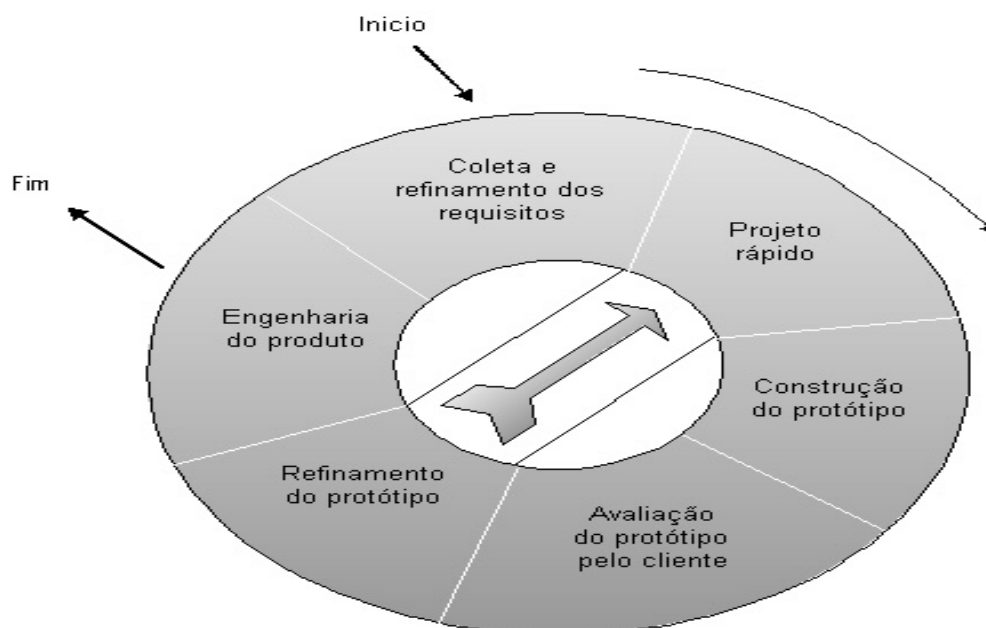


Figura 6 - Ciclo da prototipação

Fonte: Protótipo de um sistema para cálculo de *Kanban* utilizando programação orientada a objeto e XML

Após sua conclusão, o protótipo deve ser avaliado, podendo ser aprovado ou não, dependendo do avaliador, usuário, ou executor do projeto. Segundo Rabuske (1995, p.82) Alguns princípios básicos devem ser levados em consideração quando é procedida a avaliação:

- A) Processos complexos devem ser avaliados sob diversos prismas e não através de um único número;
- B) Para que algo possa ser medido, é preciso ter padrões de medida. Os padrões estabelecidos em testes formais frequentemente não servem, e os próprios testes podem não passar de formidáveis perdas de tempo e desperdício de dinheiro;
- C) Um erro pode significar um passo maior que um acerto.

Sendo o protótipo aprovado, alguns procedimentos devem ser seguidos, como demonstrado também por Rabuske (1995, p.86): “Após o término do protótipo e decidida a sua aplicação, será necessário:

- A) Construir uma *interface* amigável para o sistema;
- B) Prover alguma capacidade de exame da base de conhecimentos e da linha de raciocínios;
- C) Fornecer ao usuário recursos que o "Salvarão" quando o construtor estiver ausente;

D) Guardar uma biblioteca com casos que ocorreram”.

### 2.11.1 Modelos e ferramentas de prototipação.

Pressman (2002) afirma que para que a prototipação de *software* seja efetiva, um protótipo deve ser desenvolvido rapidamente, de forma que o cliente possa avaliá-lo e recomendar mudanças. Para levar em efeito a rápida prototipação, três classes genéricas de métodos e ferramentas estão disponíveis: técnicas de quarta geração, componentes de *software* reusáveis, especificação formal e ambientes de prototipação.

- a) Técnicas de Quarta Geração: as técnicas de quarta geração (4GTs) abrangem um amplo conjunto de linguagens de emissão e de consulta a banco de dados, de geradores de aplicações e de programas além de outras linguagens não procedimentais de nível mais alto. Uma vez que capacitam o engenheiro de *software* a gerar códigos executáveis rapidamente, as 4GTs são ideais para a rápida prototipagem.
- b) Componentes de software reusáveis: é fazer o uso de um conjunto de componentes de *software* existente. Um componente de *software* pode ser uma estrutura de dados (ou banco de dados) ou um programa ou um componente procedimental. Em cada caso, o componente de *software* deve ser projetado de tal maneira que possa ser reusado sem um conhecimento detalhado de seu funcionamento interno.
- c) Especificação Formal e Ambientes de Prototipação: São linguagens formais que estão sendo desenvolvidos em ambientes interativos que (1) possibilitem que o analista crie interativamente uma especificação baseada em linguagem de um sistema de software; (2) invoque ferramentas automatizadas que traduzam a especificação baseada em

linguagem em códigos executável; (3) capacite o cliente a usar o código executável como um protótipo para refinar os requisitos formais.

## 2.12 Metrologia

Conforme Silva (1984, p.1) “Metrologia é a ciência da medição de massa, tempo, temperatura, dimensões, durezas, ou qualquer outra coisa que possa ser mensurada”.

Medir uma grandeza é compará-la com outra da mesma espécie tomada como unidade. Assim sendo, para medir um comprimento deve-se escolher previamente um comprimento para servir de unidade e em seguida avaliarmos quantas vezes o comprimento dado contém esta unidade. Deste conceito de medida, resulta a necessidade de definirmos uma unidade de cada espécie de grandeza, as quais podem ser agrupadas em sistemas de unidades.

No Brasil, o sistema de medida linear, padronizado, adotado pelo governo desde 1873 é o sistema métrico ou sistema internacional de medida (SI) – nome dado pela II Conferência Geral de Pesos e medidas, mediante acordos internacionais, com o objetivo de fixar relações métricas e lógicas, entre todas as medições efetuadas pela ciência, indústria e comércio.

O autor abordará apenas a parte relacionada a medida de durezas.

De acordo com Silva (1984, p.1) “Dureza pode ser considerada a resistência que um material oferece à penetração de outro em sua superfície”. Os ensaios de dureza são feitos em peças acabadas ou não, deixando apenas uma pequena marca, às vezes quase imperceptível, não afetando assim partes úteis da peça. Esta característica faz dele um importante meio de controle da qualidade do produto. Para este protótipo utiliza-se a escala de medidas de dureza Brinell (HB).

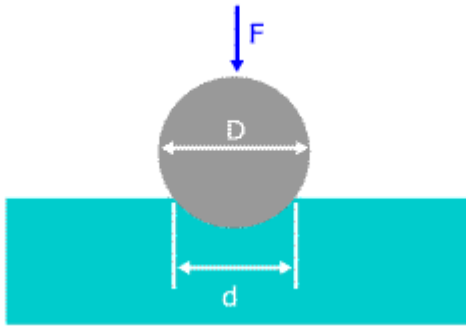


Figura 7 – O Ensaio de dureza

Fonte: [http://myspace.eng.br/eng/mat/cie\\_mat1.asp](http://myspace.eng.br/eng/mat/cie_mat1.asp)

Autor: Desconhecido

Seja um material, representado em verde na figura 7, que é submetido à ação de uma esfera de material duro de diâmetro  $D$ , comprimida por uma força  $F$ . Isso produz uma cavidade no material de diâmetro  $d$ . A dureza Brinell (HB) do material é dada pela fórmula:

$$HB = 2F / (\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})).$$

### 2.13 Formatos de armazenamento de imagens

Existem diversos tipos de arquivos para o armazenamento de imagens digitais, o autor abordará apenas os dois tipos mais utilizados e mais conhecidos.

Conforme Torres (1997),

O formato BMP é o formato mais "puro" que uma imagem pode aparecer. Os arquivos BMP são grandes, pois não utilizam nenhum esquema de compressão de dados. Por outro lado, arquivos BMP são compatíveis com todos os programas, inclusive com o próprio sistema operacional (o papel de fundo do Windows, por exemplo, é um arquivo BMP) e também não possuem limite de cores (um arquivo BMP pode ter qualquer número de cores).

Torres (1997) também cita que “JPG ou JPEG é o padrão que permite arquivos de menor tamanho. Entretanto, seu esquema de compactação de dados é baseado em perda de informações. Por este motivo, o padrão JPG só deve ser utilizado em imagens prontas”.

Os dois tipos de arquivos comentados podem possuir vantagens e desvantagens, o BMP tem como vantagem sua qualidade, facilidade de manipulação, já que o mapeamento da imagem é feito bit a bit, portabilidade é também uma vantagem, já que todo aplicativo de manipulação de imagens tem como opção o BMP, e como principal desvantagem, seu tamanho físico ocupado nas mídias de armazenamento digitais. Os arquivos JPG, têm uma concepção completamente diferente, tem como vantagem seu espaço físico reduzido, devido a compressão da imagem, porém, sua desvantagem é a manipulação que se torna mais complicada, devido a necessidade de ferramentas mais “especiais” e complexas, outra desvantagem das imagens JPG é sua perda de informações, que dependendo da necessidade pode ser um ponto crucial na definição de um software que manipule imagens.

### **3. DESCRIÇÃO DA PRÁTICA**

#### **3.1 Considerações iniciais**

Com o conhecimento adquirido com o estudo teórico sobre IA, suas ferramentas, características, vantagens e desvantagens, pretende-se construir um sistema, na área de metrologia, que fará a medição da dureza de uma peça de ferro fundido.

Será descrito a seguir como foi implementado um protótipo para a finalidade da medição de dureza, a linguagem utilizada, as vantagens e desvantagens do protótipo, possíveis melhorias a serem realizadas e sua viabilidade técnica.

#### **3.2 Levantamento da estrutura Atual**

Na estrutura atual a medida da dureza das peças é feita através de equipamentos aferidos, e conforme normas específicas para este fim. O objetivo do ensaio de dureza é verificar se a peça apresenta a dureza especificada, conforme norma que pode ser ABNT, I.S.O., etc; ou conforme especificação no desenho da peça fornecido pelo cliente.

O processo sem a utilização do protótipo é feito utilizando um durômetro, uma lupa, uma lâmpada (Ou pequena lanterna) e uma peça a ser analisada. O ensaio de dureza pode ser destrutivo, quando a peça é destruída para o ensaio, cortando-a por exemplo, ou não-

destrutivo quando o ensaio é feito sem afetar a peça ou parte útil dela, podendo a peça utilizada para o ensaio ser vendida normalmente.

O durômetro disponível na empresa (Anexo I, foto 1), é da marca MAB, modelo 08BM2, foi calibrado para medições de durezas entre 100 e 450HB, porém no segmento atual muito raramente existem desvios fora da faixa de 150 a 250HB, através desses dados foi observado que o protótipo deve ser treinado dentro desse limite, já que as fotos para o treinamento da rede devem ser retiradas de peças já existentes em produção, e no processo atual.

No Anexo I – Tabela 1, pode ser observado os limites de dureza para cada tipo de material, o material FE-38017 não é produzido na empresa, então deve ser desconsiderado o treinamento para esta faixa de dureza, a lupa (Anexo I, foto 3) é da marca ITC, modelo 40X, sua faixa de calibração é de 0 a 3 mm e cada divisão dentro da lupa representa 0,02mm (Anexo I, foto 4). Com o conhecimento da medida do diâmetro da impressão é usada uma tabela que converte o diâmetro em milímetros para dureza brinell (Anexo I, tabela 2). Tanto a lupa quanto o durômetro tem certificados de calibração emitidos em 28 de Junho de 2005, com validade de um ano. De acordo com dados dos certificados de calibração a variação na medição da dureza pode ser de +/- 6HB.

Para fins de explanação, todas as fotos referentes a peça, constantes neste TCE, em que foram feitos os ensaios são do “Fundido Maxion”, que é utilizada no motor da marca Maxion, a peça possui comprimento de 21cm, largura de 3cm, foi fundida no material FC-200, e deve possuir a faixa de dureza entre 180 e 240HB, para ser aprovada no ensaio de dureza (Anexo I, Tabela 1). A produção desta peça data do dia 28 de junho de 2005, porém trata-se de uma peça devolvida por apresentar problemas e suas fotos foram tiradas no dia 08 de agosto de 2005.

As fotos para treinamento e teste práticos da rede foram tiradas de peças diversas, de materiais diversos, suas características não são relevantes para o desenvolvimento deste



protótipo. O objetivo atual do protótipo não é ainda definir se a peça está aprovada ou reprovada, é apenas definir qual é a dureza.

A peça escolhida para o ensaio é levemente lixada no local onde se pretende fazer a dureza com o objetivo de deixar o local plano e liso, depois é colocada no durômetro (Anexo I, foto 2) que possui uma mesa com altura variável, em cima da peça fica uma esfera de 5mm de diâmetro, essa esfera sofre uma pressão de 750Kg, fornecida por uma bomba hidráulica, com isso, a peça fica com a marca da esfera impressa. Essa marca é que determina a dureza da peça, quanto maior a marca impressa, mais a esfera penetrou na peça, portanto a peça está mais mole, se penetrar menos, estará mais dura. Para medir a dureza, e obtermos um número, é utilizada a lupa. A lupa é o principal instrumento de medição, nela há duas escalas (Anexo I, foto 4), uma em milímetros e outra em polegadas, utilizamos a escala em milímetros, pois no Brasil é utilizado o sistema métrico. Essa escala é impressa na lupa, olha-se na lupa, e é medido o diâmetro da impressão da esfera na peça. Tendo esse número, utilizamos uma tabela, que serve para converter o diâmetro da esfera para a dureza BRINELL (Unidade de medida específica para peças em ferro fundido).

Cada classe de ferro fundido possui uma faixa de dureza especificada conforme norma (a especificação é na unidade BRINELL) (Anexo I, Tabela 2), se as durezas das peças em que foram feitos os ensaios estiverem dentro dos limites estabelecidos, o lote é então liberado para os processos posteriores, que são o jateamento para limpeza da peça, acabamento nos esmeris para retirada de rebarbas e pintura final, conforme exigências do cliente. No caso das peças possuírem durezas maiores ou menores o lote é rejeitado, um lote rejeitado pode ser recuperado através de tratamento térmico por exemplo, porém, a recuperação de peças com problemas de dureza gera custos maiores e geralmente não são feitas, sendo assim as peças rejeitadas voltam a ser fundidas.

### 3.3 Escolha do Método de medição

Partindo do princípio que os equipamentos principais (o durômetro e a lupa) estão aferidos por um órgão certificador, estes não devem ter variações a não ser as aceitáveis pela norma, no caso do durômetro ele é aferido para 750Kg de força em cima da esfera de 5mm de diâmetro, a esfera deve ser de tungstênio, conforme norma, e não ter nenhum tipo de variação dimensional (Não deve estar oval ou com ranhuras em sua superfície), a lupa possui a escala fixa em uma de suas lentes e não pode ser desmontada em hipótese alguma. Com isso concluímos que por norma estes equipamentos não devem possuir variação relevante, então serão obrigatoriamente utilizados estes equipamentos.

Para aquisição digital dos dados foi utilizada uma câmera fotográfica digital, a câmera possui resolução máxima de 5 Mega *Pixels*, porém será utilizada na resolução de 1 Mega *Pixel*, com a maior qualidade possível para esta resolução e a foto deve ser em preto e branco.

Por estar ainda na fase de protótipo, a comunicação com o computador ainda é feita manualmente, ou seja, uma pessoa deve copiar a foto da máquina fotográfica para o computador. Estando a foto armazenada no computador esta deve ser convertida para resolução de 330 x 247 *Pixels*, no formato Bitmap (BMP).

O propósito da foto ser em preto e branco, é para reduzir os possíveis ruídos de cores obtidos tanto pela máquina quanto pelo reflexo da luz ambiente, o formato bitmap foi escolhido por não ser um formato proprietário, por possuir maior documentação e pela maior facilidade na sua manipulação, como comentado no próximo subtítulo.

### 3.3.1 Formato das imagens

A decisão do uso de um formato de imagem adequado é extremamente importante para o correto funcionamento deste protótipo, foi realizado um estudo entre os dois principais tipos de imagens, como citado a seguir.

Conforme estudo realizado, se constatou que o formato de arquivo mais apropriado para a realização do protótipo é o formato BMP, como citado no estudo teórico, este sistema de arquivo possui como sua principal vantagem, a característica de reproduzir com maior precisão as imagens digitalizadas. Sua desvantagem principal é seu tamanho físico, que não é problema para o protótipo, já que o computador em que se realizarão os testes possui espaço disponível suficiente.

### 3.3.2 Tratamento das imagens

Com as imagens armazenadas no computador, é necessário fazer um tratamento para que o protótipo possa depois aprender, ser treinado, e definir a dureza através de imagem.

O tratamento é feito seguindo os seguintes passos:

Primeiro é retirado da imagem inteira, apenas uma parte, no tamanho de 166 x 166 *pixels*, dentro dessa imagem deve haver apenas uma foto da impressão na peça, excluindo todo o “lixo” que há ao redor da imagem fotografada.

Segundo, a imagem tratada é salva em algum lugar pré-estabelecido no computador.

Terceiro, a imagem tratada e salva, é armazenada no banco de dados do sistema inteligente.

Quarto, para cada imagem selecionada no programa inteligente, esta é dividida em pequenas partes, denominadas ocelos, são atualmente 20 ocelos, com tamanhos de 32 x 32 *pixels*.

O tratamento das imagens é necessário para aprimorar tanto o desempenho como a precisão do protótipo, deve ser usado apenas o essencial, e desprezado o “lixo”. O sistema não deve aprender nada mais que o necessário, e o seu aprendizado deve ser facilitado o máximo possível, ensinando-se apenas o que é necessário saber. Por esse motivo, o sistema utiliza da foto apenas a parte necessária para seu aprendizado.

### 3.4 O protótipo

Feito o levantamento da estrutura atual, escolhido o método de medição e definida a linguagem a ser utilizada, se deu início a implementação do protótipo para medição de dureza em peças de ferro fundido.

A implementação de seu código fonte foi feita em um computador Pentium Celeron, com processador de 2.8GHz e 512Mb de memória RAM, com Windows XP, utilizando o compilador Borland Delphi 5, a implementação foi feita no computador do autor, os testes foram feitos principalmente no computador da empresa cujas características serão descritas posteriormente.

O Autor concluiu através de pesquisas bibliográficas, que a rede perceptron possui as características ideais para atingir o objetivo esperado, possui uma documentação boa e diversos exemplos disponíveis em livros e na WEB. Para a implementação do protótipo foi utilizado um exemplo que fazia o reconhecimento de números manuscritos. Como o exemplo utilizava técnicas de manipulação de imagens, o autor usou o exemplo como base na construção do protótipo, e utilizou também o componente MLP, que implementa uma rede

neural artificial, do tipo perceptron, no delphi. Essa rede aprende através de exemplos, ou seja, utiliza-se fotos como entradas e para cada foto o autor apresenta a rede qual a saída esperada, então a rede ajusta seus valores no sentido da saída para a entrada, ou *backpropagation*. Algumas redes utilizam o viés para melhorar a precisão da rede, mas como o autor está trabalhando com entradas variadas, não apenas 0 e 1, optou-se por não utilizar o viés.

Como citado em capítulos anteriores foi utilizado um exemplo, que posteriormente foi sendo modificado para se atingir o objetivo de forma satisfatória. O exemplo tinha como função detectar através de uma imagem de um número manuscrito, o número correspondente.

Com o exemplo tornou-se mais claro o funcionamento da rede de neurônios artificiais, facilitando as alterações que virão a seguir. A princípio o maior problema é a precisão que deve ser obtida através da foto, então, o tamanho da foto foi aumentado de 32 x 32 para 166 x 166 *pixels*. Não basta apenas aumentar a foto para aumentar a precisão, é necessário aumentar também o número de ocelos, que aumenta também o número de entradas na rede.

Ocelo é uma pequena parte da foto, baseada em animais que tem esse tipo de visão, como a aranha que tem oito olhos, mais que enxergam apenas uma pequena fração da visão, a visão é composta então pela junção de todos estes ocelos. Numa primeira versão do protótipo, dividiu-se toda a foto em 100 ocelos de 32 x 32 *pixels*. Cada *pixel* é enviado para a entrada da rede que então é treinada. No exemplo utilizado pelo autor, havia o uso de convolução, a convolução é como se fosse uma máscara colocada sobre a foto para extrair apenas os *pixels* pretos. No protótipo, devido a grande quantidade de lixo contido na informação, como sujeira na peça, diferença de luminosidades no local do ensaio de dureza, etc, foi suprimida essa função, portanto, não foi utilizada a convolução. A figura 8 mostra uma das primeiras telas implementadas do protótipo com uma foto de dureza dividida em ocelos.

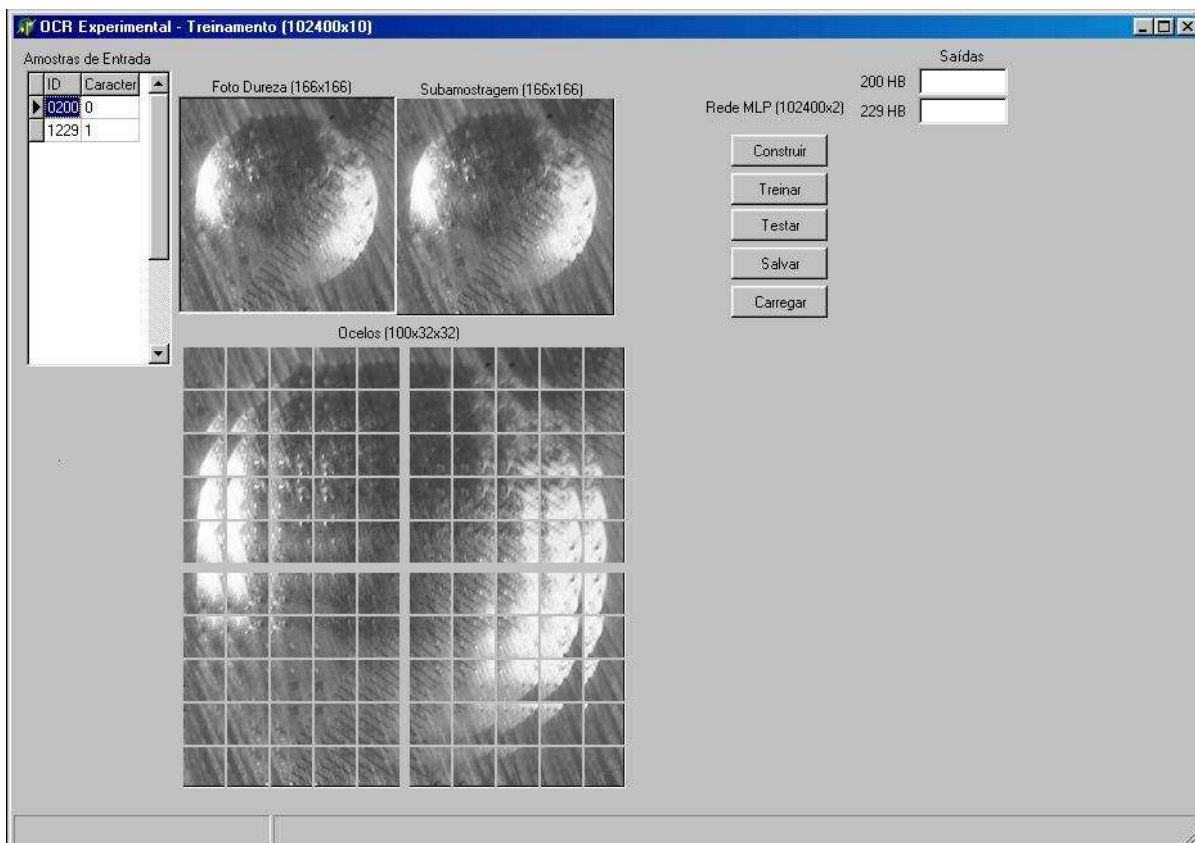


Figura 8 - Divisão em 100 ocelos

Fonte: O Autor

Existe no canto superior esquerdo uma lista com as durezas correspondente a cada foto, isso nada mais é que uma leitura direta do banco de dados Paradox utilizado, com suporte nativo no delphi. Logo ao lado há a foto, ao lado da foto uma subamostragem da foto, a subamostragem é uma cópia da foto feita *pixel a pixel*, não possui valor nenhum para o usuário final, mas mostra para o desenvolvedor que a manipulação de *pixels* está sendo feita com sucesso. Logo embaixo estão os ocelos de visão, que são criados a partir da subamostragem.

Com isso a rede é alimentada com o valor de cada *pixel*, de cada ocelo, note que há uma repetição proposital de partes da imagem, cada ocelo possui um deslocamento de 8 *pixels* para a esquerda e para baixo, pensando na precisão, isso quer dizer que a rede será alimentada com 100 x 32 x 32, que é igual a 102400 entradas.

Com a primeira parte do protótipo implementada, iniciou-se a fase de testes, no qual foi detectado o principal problema da rede, sua lentidão. A rede demora muito tempo para ser

montada, a fase de aprendizado é extremamente lenta, devido ao grande número de entradas. Durante os testes foram notadas as seguintes características da rede: A rede não requer uma grande quantidade de memória RAM para ser montada, e a rede utiliza 100% da capacidade de processamento disponível, este teste foi realizado em dois computadores, um do autor e um da empresa, com sistemas operacionais diferentes, obtendo-se as mesmas conclusões.

Após uma reunião com o professor orientador, chegou-se a seguinte conclusão: não é necessário utilizar todos os ocelos para alimentar a rede, como o objetivo é que o protótipo aprenda a “ler” o diâmetro da impressão, basta alimentar a rede com os ocelos das linhas ou colunas centrais, desprezando os ocelos dos quadrantes laterais. Com isso, foi feita uma nova tela, com uma rede de entrada mais “enxuta”, como mostra a figura 9.

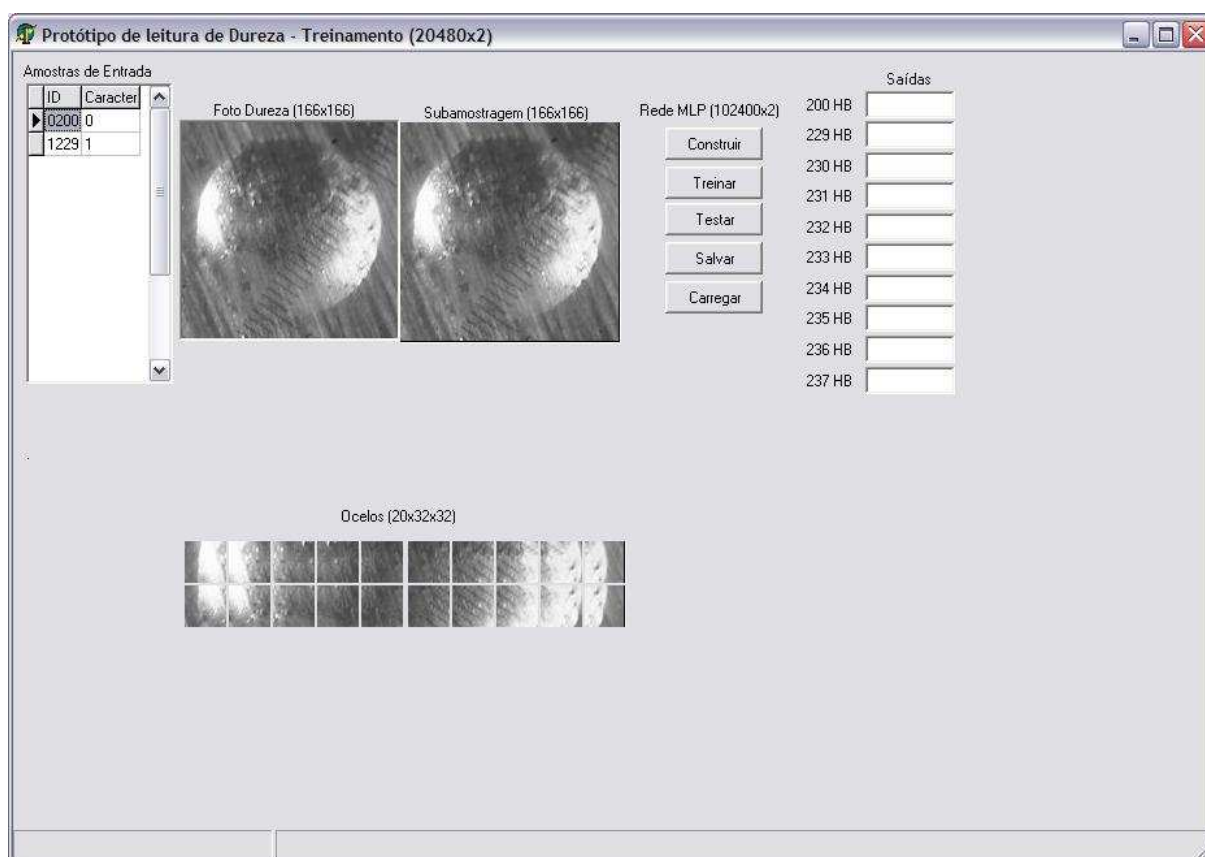


Figura 9 – Divisão em 20 ocelos  
Fonte: O Autor

Com a alteração realizada, a rede ficou com uma entrada cinco vezes menor, de 102400 entradas, agora está com apenas 20480. Houve um ganho considerável de

desempenho tanto na montagem da rede quanto no seu treinamento. Note que o desempenho mencionado é em relação ao tempo de realização da tarefa, o uso do processamento é ainda de 100%. A figura 10 mostra o gráfico, fornecido pelo gerenciador de tarefas do Windows XP.

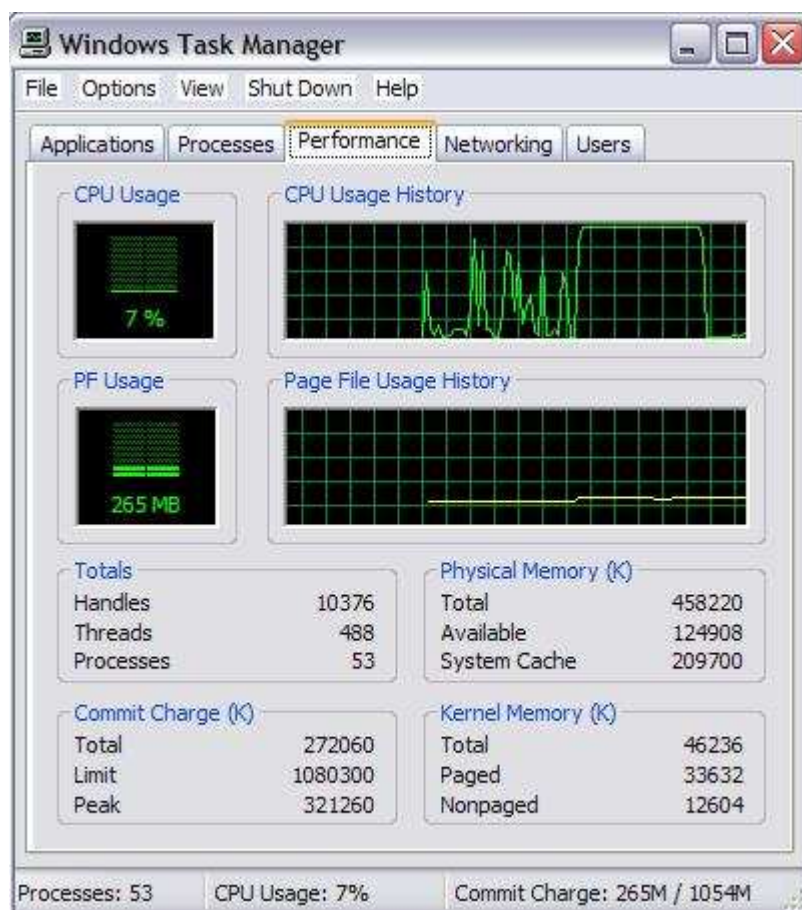


Figura 10 – Uso de processamento durante montagem da rede  
Fonte: O Autor

O uso do processamento é mostrado na figura 10, observe o gráfico, no caso apresentado foi acionada a função de montagem da rede, quando o gráfico de uso da CPU vai a 100% o uso da memória RAM permanece quase que inalterado, inclusive, durante o processo pode-se observar até uma pequena queda do uso de memória RAM em certo ponto. Este teste foi realizado em um computador Pentium Celeron com processador de 2.8GHz e 512Mb de memória RAM, com sistema operacional Windows XP Home Edition em inglês.

Para se ter uma idéia do desempenho anterior a esta modificação nos ocelos, imagine que o gráfico ficaria em 100% de processamento por mais de quinze minutos.



### 3.5 Interface do protótipo de medição de durezas

Por se tratar de um protótipo, este sistema possui interfaces com informações que não são de interesse do usuário final, porém, contém informações importantes para as posteriores atualizações e entendimento do funcionamento da rede como também localização de possíveis erros de programação, treinamento ou configurações. A seguir será feita uma breve explanação de cada tela e suas funcionalidades.

#### 3.5.1 Tela de parâmetros



Figura 11 - Tela de parâmetros

Fonte: O Autor

A figura 11 mostra a tela de parâmetros onde devem ser preenchidos quatro campos que definem as características da rede a ser criada e um campo que define aonde deve ser armazenado o conhecimento da rede. Esta tela foi herdada do exemplo utilizado pelo autor, conforme explicado no capítulo anterior.

Nº Épocas: Este campo é referente ao treinamento da rede, por padrão ele está com 1000 épocas, isto significa que a rede aprenderá mil vezes, ou seja, todo o conjunto de entrada será mostrado mil vezes para a rede.

Neurônios Camada Oculta: Define quantos neurônios devem existir na camada oculta da rede, quanto maior o número de neurônios nas camadas ocultas, mais ligações haverá entre os neurônios.

Taxa de Aprendizagem: Informa qual a taxa de aprendizagem da rede.

Taxa de inércia: Informa qual a taxa de inércia da rede.

Arquivo de conhecimento: É o arquivo onde o conhecimento da rede será armazenado.

### 3.5.2 Tela do Conjunto de Treinamento



Figura 12 - Conjunto de Treinamento

Fonte: O Autor

Nesta tela ilustrada pela figura 12, o usuário informa uma ID de até quatro dígitos para identificar o item, informa a dureza e adiciona a foto relativa a dureza informada na tabela. Para adicionar a foto basta clicar duas vezes no campo foto. Assim estão armazenadas as durezas e a foto relativa a cada dureza.

### 3.5.3 Tela do Conjunto de Testes

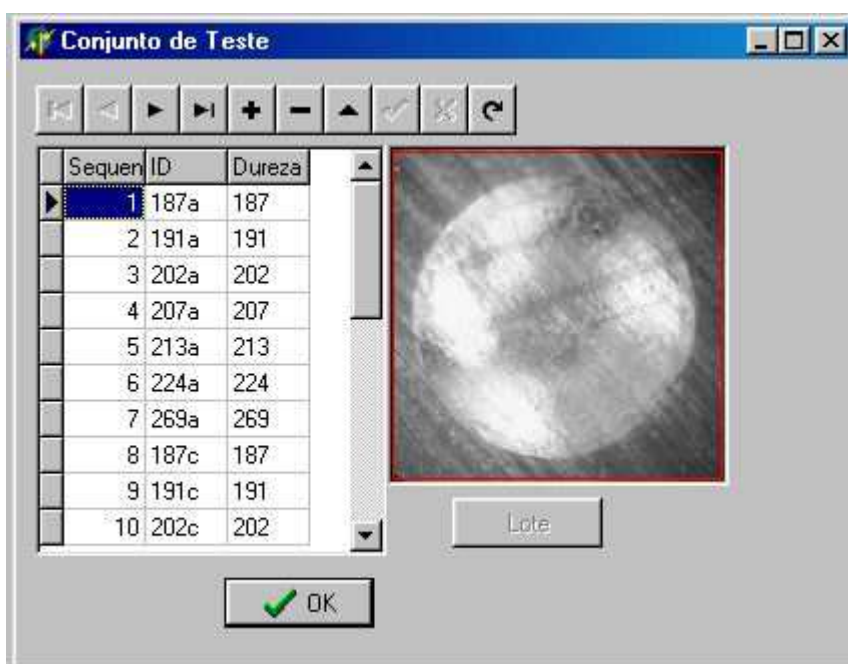


Figura 13 - Conjunto de Teste

Fonte: O Autor

A figura 13 mostra uma tela é idêntica ao do conjunto de treinamento, porém, os dados incluídos aqui serão utilizados para o teste da rede, que informará qual a quantidade de amostras analisadas, e a quantidade de erros, conforme será explicado.

### 3.5.4 Tela de treinamento da rede

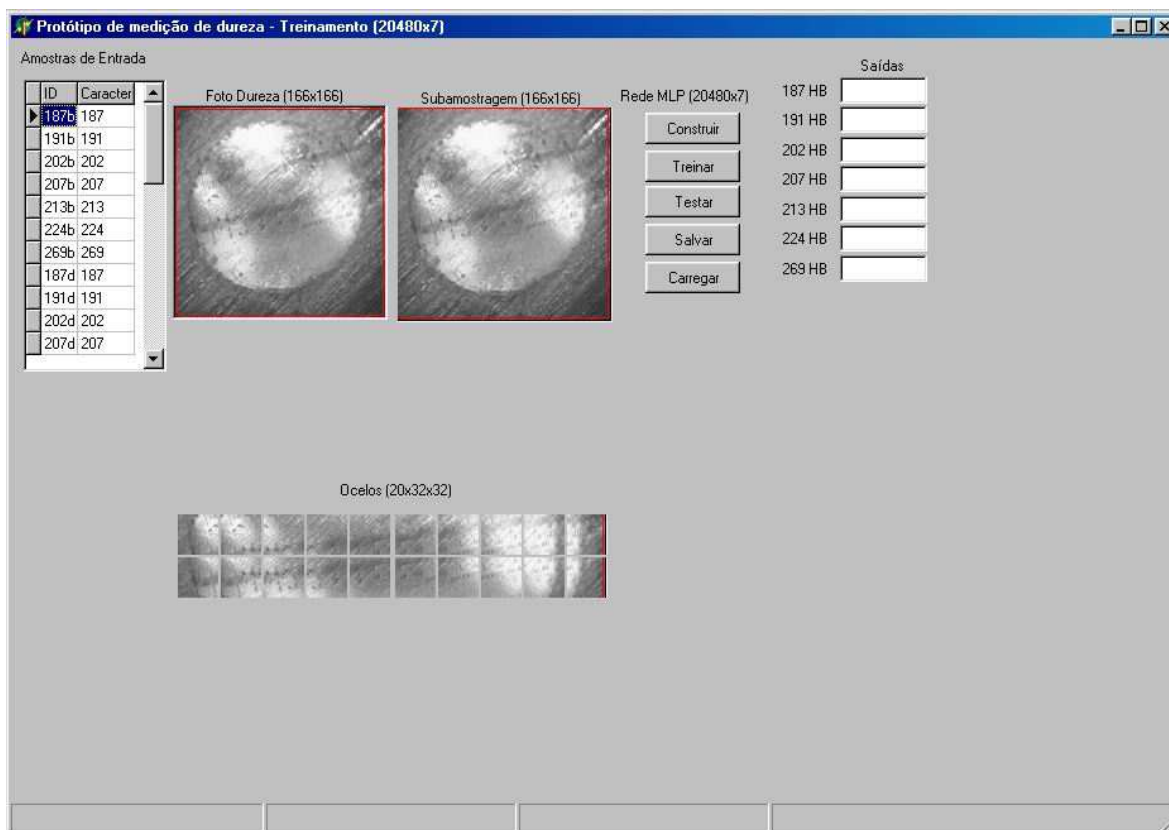


Figura 14 - Treinamento da rede  
Fonte: O Autor

A figura 14 identifica a tela onde é feito o treinamento da rede, esse treinamento é feito com base nos dados fornecidos como conjunto de entrada, existem cinco botões nesta tela que são referentes ao processo de treinamento da rede.

Botão Construir: Faz a construção da rede de neurônios artificiais conforme os parâmetros atribuídos a rede MLP. Essa construção inicia a rede sem nenhum conhecimento, o conhecimento será adquirido com o botão treinar, como será explicado a seguir.

No termino da construção da rede o programa informa o tempo que levou este processo, isso ajuda o autor a observar o desempenho nos testes, quando são feitas alterações, por exemplo, na quantidade de neurônios da camada oculta. O código-fonte deste procedimento está disponível no anexo II.

**Botão Treinar:** Este botão inicia o processo de treinamento da rede, que só pode ser feito após a rede estar montada. Como mencionado anteriormente, o treinamento é feito utilizando os dados do conjunto de treinamento. O código-fonte deste procedimento está disponível no anexo II.

**Botão Testar:** O botão testar, como o próprio nome sugere, faz um teste. Este teste consiste em analisar uma entrada e informar qual foi a saída. A escolha da entrada é feita pelo usuário, basta clicar em um item da tabela, e fazer o teste, o usuário deve observar a saída e ver se o aprendizado foi satisfatório ou não. Será mostrado a seguir a tela de testes que possui um processo automatizado de testes que informa ao usuário a quantidade de entradas e erros obtidos. O código-fonte deste procedimento está disponível no anexo II.

**Botão Salvar:** O botão Salvar salva os pesos dos neurônios e valores de suas sinapses que foram calculadas durante o treinamento, ou seja, salva o conhecimento. O código-fonte deste procedimento está disponível no anexo II.

**Botão Carregar:** O botão carregar alimenta a rede com o último conhecimento salvo, uma rede só pode ser carregada depois de ser montada, portanto, para carregar uma rede com conhecimento deve ser observado que os parâmetros da rede MLP devem ser os mesmos da rede que foi salva. O código-fonte deste procedimento está disponível no anexo II.

### 3.5.5 Tela de Testes da rede

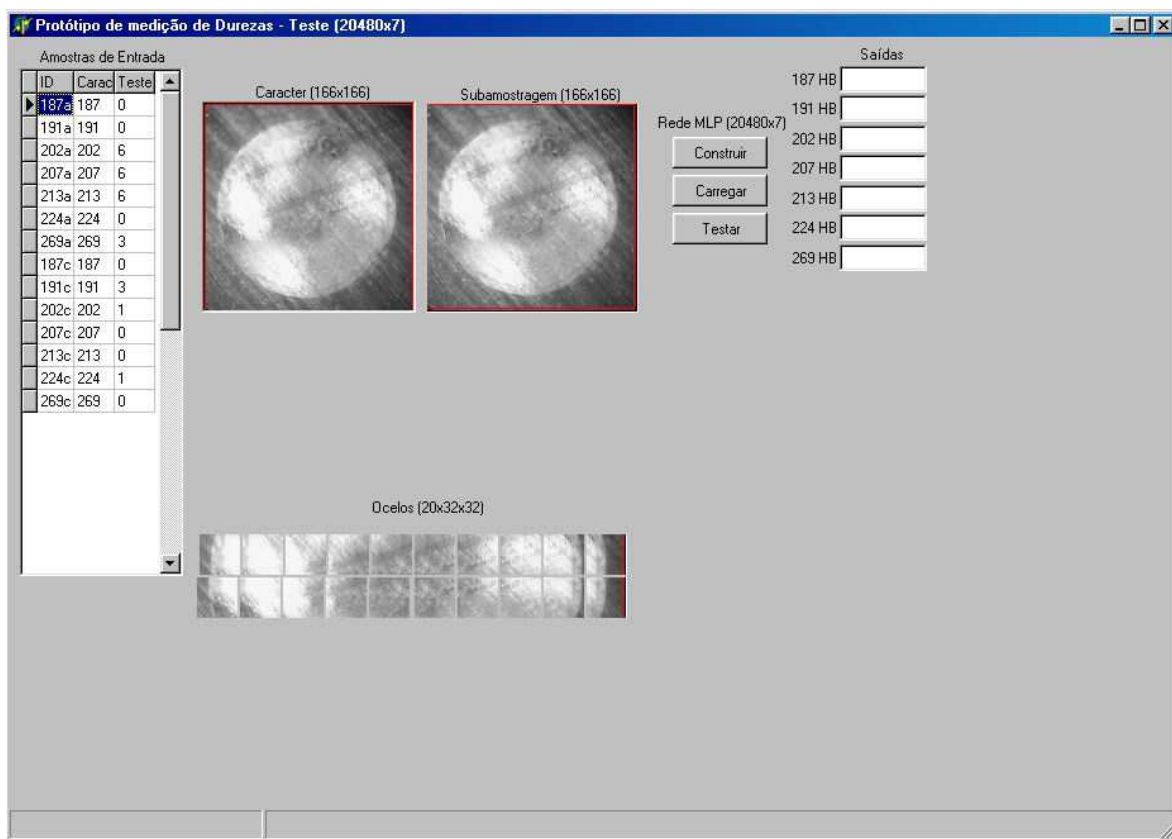


Figura 15 - Teste da rede

Fonte: O Autor

Na figura 15 está ilustrada a tela de testes onde temos apenas três botões: o construir, o testar e o carregar. Os botões construir e carregar tem funções idênticas as da tela de treinamento, explicadas anteriormente. A diferença nesta tela fica no botão testar.

O Botão testar realiza testes através do conjunto de testes fornecido ao programa, ele testa automaticamente de forma seqüencial como aparece na tabela e informa a quantidade de erros obtidos e testes realizados. Esta funcionalidade foi herdada do exemplo utilizado pelo autor, e ajuda muito na identificação de erros.

### 3.6 Testes realizados

O autor fez alguns testes práticos para conseguir chegar a resultados satisfatórios e poder tirar conclusões do funcionamento da rede. Para cada teste foram coletados os seguintes dados da rede: Número de Épocas, Neurônios na Camada Oculta, Taxa de Aprendizagem, Taxa de Inércia, número de entradas, número de saídas, e quantidade de fotos para o treinamento.

A maioria dos testes usou uma rede neural conforme mostra a figura 16. Alguns testes foram feitos com um número diferente de neurônios na camada oculta.

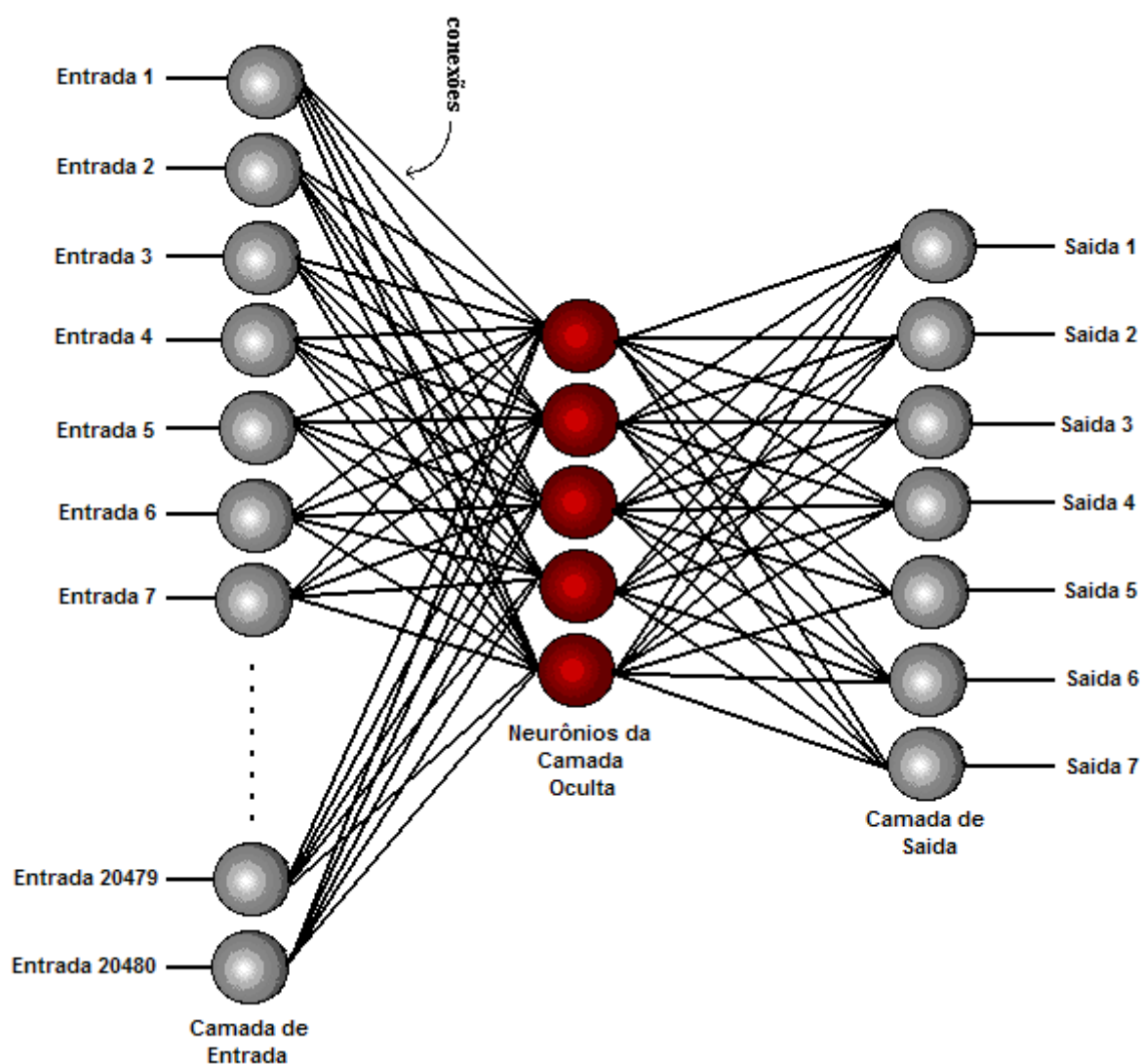


Figura 16 – Rede neural implementada.

Fonte: O Autor

E os seguintes resultados foram observados: Tempo para construir a rede, Tempo para treinar a rede, tempo para o carregamento, quantidade de erros. A quantidade de erros foi medida pelo autor, fazendo testes diversos no conjunto de entrada e também no conjunto de saída, para informação do tempo de realização de cada tarefa foi adicionada uma rotina no programa para calcular o tempo, e o resultado do tempo é mostrado para o usuário no final de cada tarefa.

Os testes foram feitos no computador da empresa, com a seguinte configuração:

Processador: Intel Pentium IV 2,4GHz e Memória RAM: 256Mb

Na tabela 2 pode ser observado a configuração da rede em cada teste. E na tabela 3 os resultados dos testes com cada configuração.

Dados da rede em teste							
Teste	Número Épocas	Neurônios C. Oculta	Taxa de Aprendizagem	Taxa de Inércia	Número Entradas	Número Saídas	Fotos Treinamento
1	100	5	90	30	20480	7	7
2	100	10	90	30	20480	7	7
3	10	5	90	30	20480	7	14
4	100	5	90	30	20480	7	21

Tabela 2 – Configurações da rede

Fonte: O Autor

Resultados Obtidos				
Teste	Tempo Constr.	Tempo Treinam.	Tempo Carregam.	Acertos
1	7s	16m, 4s	7m, 49s	0%
2	8s	16m, 6s	7m, 49s	0%
3	8s	3m, 29s	5m, 32s	Aprox. 10%
4	8s	47m 22s	6m, 5s	Aprox. 30%

Tabela 3 – Resultados dos testes

Fonte: O Autor



No primeiro teste a rede errou em todas as medições de dureza, para o teste de número dois, será aumentado o número de neurônios na camada oculta. O autor notou que os tempos mantiveram-se bem próximos, praticamente inalterados, e apesar do aumento no número de neurônios a rede ainda errou em todas as medições de dureza. Para o terceiro teste a rede será treinada com mais exemplos da mesma dureza, dois exemplos para cada saída.

Apesar do treinamento ser reduzido em dez vezes em relação aos testes anteriores a rede já apresenta uma pequena taxa de acerto e em alguns erros ela conseguiu uma aproximação dentro do tolerável de  $\pm 6HB$ . O autor concluiu neste teste que para o protótipo implementado é mais importante a variedade de exemplos do que a quantidade de treinamento da rede. Como o processo da empresa não apresenta grandes variações de dureza, o próximo teste foi feito com as fotos um pouco modificadas (as impressões da esfera foram um pouco deslocadas de forma aleatória) simulando uma foto nova de dureza conhecida. Para o quarto teste foi feito novamente um treinamento de cem épocas para observar se há uma grande variação, foi alterado também o número de exemplos que passou a ser três para cada saída.

Com o aumento para cem épocas, e com três exemplos de cada saída, a precisão melhorou, a quantidade de acertos foi maior, porém, ainda está muito longe do ideal. Com esses dados sabe-se que é de maior importância o número de exemplos.

### 3.7 Vantagens e desvantagens

No protótipo implementado foram constatadas algumas vantagens e desvantagens, observadas pelo autor, no decorrer do estudo realizado.

A principal vantagem é o fato de o sistema ser inteligente, ou seja, o que for ensinado para o sistema, ele aprenderá, diferente de sistemas lógicos que possuem grande limitação e

pode ser “ensinado” somente pelo programador. Gerando custos de manutenção e tempo de espera pelo desenvolvedor.

Outra vantagem, é que com pequenas alterações, o sistema pode ser utilizado em outra área da fundição e metrologia, que é a análise metalográfica de peças, que utiliza processo bem semelhante, porém, através de um microscópio.

A principal desvantagem é o desempenho, um sistema inteligente precisa aprender, ele não possui o conhecimento pronto como o sistema lógico, o aprendizado necessita de muito processamento, outra desvantagem, para este protótipo, é o armazenamento de fotos no formato BMP, que ocupa grande espaço em disco.

As entradas da rede (que são fotos) devem possuir uma saída conhecida para o treinamento, essa saída deve ser informada ao sistema tendo como parâmetro, a medição feita sempre pelo mesmo profissional, pois se a medição for feita por profissionais diferentes pode haver erros dos olhos humanos ou variações de medição que são normais e toleráveis. Porém, a rede neural deve ter sempre os mesmos parâmetros de aprendizagem, ou seja, aprender a ver sempre como um, apenas um, ser humano para que não se confunda.

### 3.7.1 Melhorias para o protótipo

O autor observou que futuramente podem ser feitas algumas melhorias no protótipo, que dependem de testes a serem realizados futuramente, podendo a melhoria ser aprovada ou não. A principal melhoria que deve ser feita é no sistema de armazenamento de imagens, para isso será necessário o uso de novas tecnologias de manipulação de imagens para o delphi, migrando dos arquivos BMP para os arquivos JPG. Apesar de serem menores, arquivos JPG

possuem pouca precisão, que é um ponto crítico desta nova ferramenta, os testes devem ser feitos observando-se principalmente a precisão na medição.

É importante citar o item desempenho, estudos práticos foram feitos para que o sistema tivesse a melhor relação entre precisão/desempenho, porém foi observado que o desempenho está relacionado diretamente com a capacidade de processamento disponível. Sendo que o sistema utiliza grande processamento matemático, e durante seu treinamento e montagem da rede o uso do processador é de 100%. Assim, uma possível melhoria seria aumentar a capacidade de processamento. A quantidade de memória RAM não é um item relevante, sendo que os testes foram feitos em máquinas com 256Mb e 512Mb, e não houve uso de toda a capacidade de memória disponível em momento algum dos testes.

Pensando no usuário final do sistema, a *interface* deve ser melhorada, o protótipo foi feito de maneira que se possa ver detalhes pertinentes ao autor, de maneira a facilitar os testes e observações de desempenho, podendo facilmente achar erros e efetuar correções no código. O usuário final deve dispor de uma *interface* amigável, com um sistema fácil de usar, mais imune a erros.

Ainda tendo o usuário como foco, é necessário melhorar a forma da aquisição das imagens, talvez utilizando uma câmera de filmagem, que detectasse a impressão da esfera, filtrasse a imagem através de outro software, e enviasse somente o necessário para o programa inteligente. Com isso se ganha o tempo de tratamento manual da imagem e transferências manuais para o sistema inteligente, assim o treinamento do usuário poderá ser facilitado, diminuindo custos e tempo de treinamento do humano.

O protótipo pode ainda sofrer alterações para que o usuário informe qual o tipo do material analisado e através do resultado informar o usuário se a peça se encontra dentro da faixa pré-estabelecida.

### 3.8 Linguagem utilizada

A linguagem de programação utilizada foi o Delphi, com o compilador Borland Delphi 5, escolhida por ser de conhecimento do autor e por possuir grande disposição de informações sobre a linguagem em meios de fácil acesso, como a WEB, livros, artigos etc. O Delphi possui manipulação de BMP nativa em sua linguagem, com manipulação direta de bits, e existe disponível na internet o componente MLP, que implementa uma rede Perceptron no delphi.

Para a implementação do protótipo foi utilizado como base, um exemplo, já na linguagem delphi, o exemplo era para reconhecimento de caracteres e foi sendo modificado conforme necessidade do autor. O protótipo encontra-se em uma fase completamente diferente, algumas funcionalidades foram retiradas por não serem pertinentes ao objetivo esperado e outras funcionalidades foram acrescentadas para otimização de desempenho e adequação ao objetivo esperado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentado com objetivo de concluir o curso de Bacharelado em Sistemas de Informação está descrito o desenvolvimento de um protótipo de sistema de medição de durezas em peças de ferro fundido, utilizando conhecimentos adquiridos através dos quatro anos de estudo na área de sistemas de informação. Este envolve a análise de um protótipo com ajuda do professor orientador específico, desenvolvido durante um ano de esforço e dedicação com o objetivo de implementar um protótipo viável, utilizando técnicas de inteligência artificial e redes neurais.

Inteligência artificial é uma tecnologia em grande desenvolvimento, utilizada de diversas formas, com variados propósitos, buscando resolver problemas da mesma maneira feita pelos seres humanos, que possuem uma forma de inteligência tão complexa.

Para tornar possível o uso da inteligência artificial, foi utilizado uma rede neural artificial do tipo perceptron de multicamada, que é composta de diversos neurônios artificiais que através de cálculos matemáticos aprende e adquire a inteligência artificial através do ensinamento de um ser humano.

O protótipo desenvolvido através da inteligência artificial é um sistema que aprende através do treinamento, podendo posteriormente ser adaptado com facilidade a outra área da empresa, como o laboratório metalográfico, que também faz análise de imagens através de microscópio. Com a inteligência artificial muitos problemas criados pela programação lógica são facilmente superados, com baixos custos de manutenção, bastando muitas vezes apenas um treinamento melhor da rede.

Este protótipo pode ser definido como um grande desafio, para sua construção as principais ferramentas e técnicas utilizadas foram apresentadas apenas no ultimo ano do curso, com isso houve um grande aprendizado, através de leituras, exemplos e pesquisas em fontes diversas.

Este sistema traz as vantagens do aprendizado de uma rede de neurônios artificiais, não é necessário incluir linhas de código para comparar cada imagem pré-definida, o sistema é ensinado como um ser humano, através de exemplos, que vão surgindo conforme o tempo, diferente de sistemas que necessitam “prever” o que irá ser medido. Quando acontece algo novo, basta ensinar a rede, e quando isso acontecer novamente ela estará apta a dar uma resposta satisfatória, dependendo do treinamento que lhe foi dado.

No futuro se pretende melhorar o *layout* do sistema, facilitando o treinamento de um usuário humano, que deverá ensinar o sistema a pensar. Deve ser feito também, um estudo mais aprofundado sobre a melhoria de desempenho da rede, inclusão de mensagens amigáveis ao usuário final e estudar uma forma de comunicar o usuário da maneira como se chegou a tal resultado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6589**: peças em ferro fundido cinzento classificadas conforme a resistência a tração. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 6916**: ferro fundido nodular ou ferro fundido com grafita esferoidal. Rio de Janeiro, 1981.

BARRETO, Jorge Muniz. **Inteligência artificial no limiar do século XXI**. 3.ed. Florianópolis: PPP Edições, 2002.

BRAGA, Antonio de Pádua; LUDERMIR, Teresa Bernarda; CARVALHO, André C. P. de L. Ferreira. **Redes neurais artificiais: Teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRAGA, Willian Cesar. **Microsoft Word 2003 – Série IT Educacional**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2004.

CAMPOS, Teófilo Emidio de. **Reconhecimento de Padrões**. Disponível em: <<http://www.vision.ime.usp.br/~teo/publications/qualificacao/node5.html>> Acesso em 25 abr. 2005.

CERCAL, Fernando. **Desenvolvimento de um sistema inteligente de suporte primeiro nível**. 2003. 75f. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade da Região de Joinville, Joinville.

CHAGAS, Michelle Cristiane. **Protótipo de um sistema para cálculo de Kanban utilizando programação orientada a objeto e XML**. 2003. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade da Região de Joinville, São Bento do Sul.

FRED, Ana. **Reconhecimento de Padrões**. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/~afred/docencia/Percepcao/acetatos/A3.PDF>> Acesso em 27 jun. 2005.

FUNDAÇÃO ÍCARO LTDA. Qualidade. **Manual da Garantia da Qualidade**. Araquari, SC, 2004

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P.. **Gerenciamento de Sistemas de Informação**. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

FERRANDIN, Mauri. **Programação utilizando delphi**. s.n.t.

MEDEIROS, Luciano Frontino de. **Redes neurais em delphi**. Florianópolis: Visual Books, 2003.

PRESSMAN, Roger. **Engenharia de software**, São Paulo, Pearson Education do Brasil, 1995.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software**, Rio de Janeiro: Mc Grow – Hill, 2002.

RABUSKE, Renato Antônio. **Inteligência artificial**. Florianópolis: UFSC, 1995

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. Barueri: Manole, 2003.

RICH, Elaine. **Inteligência artificial**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

RICK, Elaine; KNIGHT, Kevin. **Inteligencia Artificial**. 2 ed., São Paulo: Makron Books, 1988.

SILVA, Carlos Roberto Dias da. **Projetos de Fundação I**. Vitória: s.n.1984

TAFNER, Malcon A.; XEREZ, Marcos de; RODRIGUES FILHO, Ilson W.. **Redes neurais artificiais: Introdução e princípios de neurocomputação**. Blumenau: EKO, 1996

TAFNER, Malcon A.; **Redes Neurais Artificiais: Aprendizado e Plasticidade. Cérebro & Mente**, Campinas, mar / maio 1998.

Disponível em: <<http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/plasticidade2.html>>

Acessado em: 01/08/2005

TORRES, Gabriel. **Padrões Gráficos**. Clube do Hardware. 28 de nov. de 1997 disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/357>> Acesso em: 07 de ago. de 2005

UNIVERSIDADE DA REGIAO DE JOINVILLE; Pro-Reitoria de Ensino. **Guia para apresentação de trabalhos acadêmicos**. Joinville: UNIVILLE, 2005.

VIEIRA, Renato Corrêa; ROISENBERG, Mauro. **Redes Neurais Artificiais: um breve tutorial**. Florianópolis: UFSC, s.d.

Wikipédia, a enciclopédia livre. **Idade do Ferro**. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Idade\\_do\\_Ferro](http://pt.wikipedia.org/wiki/Idade_do_Ferro)> Acesso em 17 jun. 2005

WHITBY, Blay. **Inteligência artificial: Um guia para iniciantes**. São Paulo: Madras, 2004.



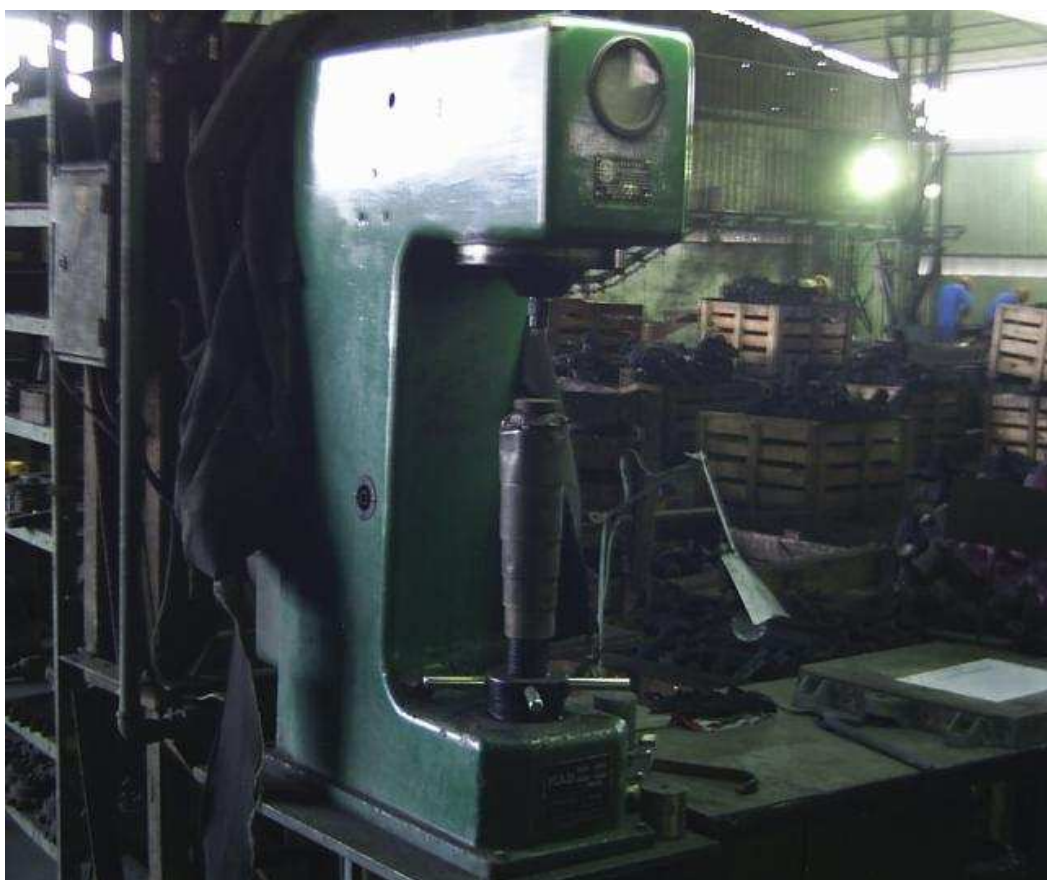
**ANEXO I – Fotos e Tabelas**

Foto 1 – Durômetro utilizado  
Fonte: O Autor

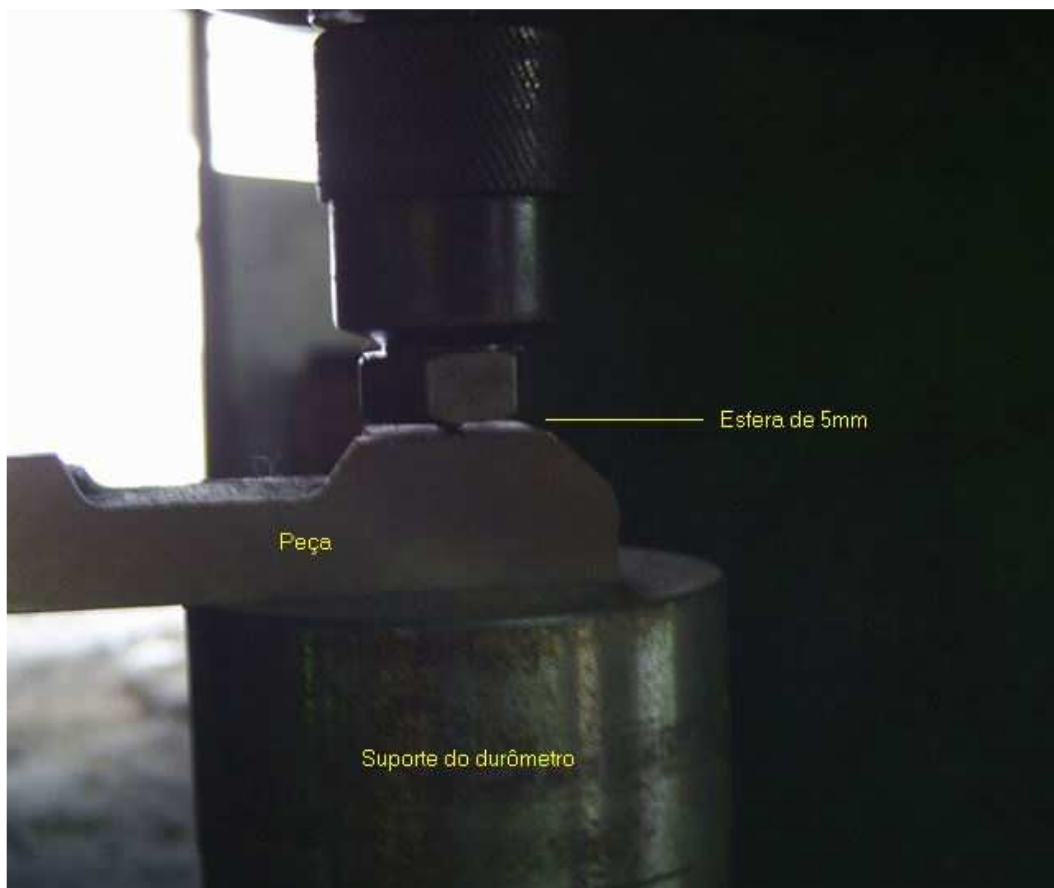


Foto 2 – Peça presa no durômetro  
Fonte: O Autor



Foto 3 – Lupa em cima da peça, para realização da medição  
Fonte: O Autor

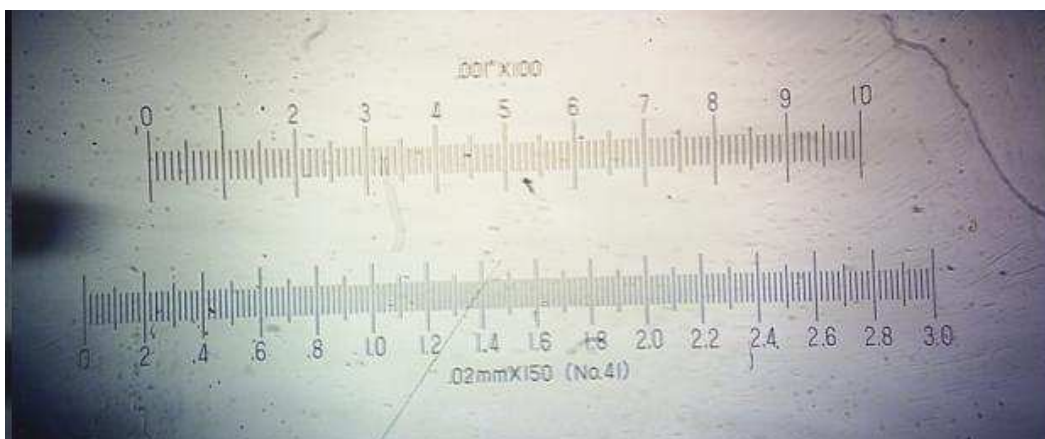


Foto 4 – Escala impressa na lupa  
Fonte: O Autor

ABNT	DUREZA	ABNT	DUREZA
<b>NBR 6589</b>	<b>(HB)</b>	<b>NBR 6916</b>	<b>(HB)</b>
FC-150	170-210	FE-38017	120-170
FC-200	180-240	FE-42012	150-200
FC-250	200-260	FE-50007	170-240
FC-300	210-280	FE-60003	210-280
		FE-70002	235-285

Tabela 1 – Relação de materiais e durezas - Resumido  
 Fonte – Manual da Garantia da Qualidade Ícaro

Dureza	Impressão	Dureza	Impressão	Dureza	Impressão	Dureza	Impressão
116	2.75	150	2.44	200	2.13	278	1.82
117	2.74	152	2.43	202	2.12	282	1.81
118	2.73	153	2.42	204	2.11	285	1.80
119	2.72	154	2.41	207	2.10	292	1.79
120	2.71	156	2.40	209	2.09	295	1.78
121	2.70	157	2.39	211	2.08	298	1.77
122	2.69	158	2.38	213	2.07	302	1.76
123	2.68	160	2.37	215	2.06	306	1.75
124	2.67	161	2.36	217	2.05	309	1.74
125	2.66	163	2.35	219	2.04	313	1.73
126	2.65	164	2.34	222	2.03	317	1.72
127	2.64	165	2.33	224	2.02	321	1.71
128	2.63	167	2.32	226	2.01	323	1.70
129	2.62	169	2.31	229	2.00	325	1.69
130	2.61	170	2.30	231	1.99	329	1.68
131	2.60	172	2.29	234	1.98	333	1.67
132	2.59	174	2.28	236	1.97	337	1.66
133	2.58	175	2.27	239	1.96	344	1.65
134	2.57	177	2.26	241	1.95	345	1.64
135	2.56	179	2.25	244	1.94	350	1.63
137	2.55	180	2.24	246	1.93	354	1.62
138	2.54	182	2.23	249	1.92	359	1.61
139	2.53	184	2.22	252	1.91	363	1.60
140	2.52	185	2.21	255	1.90	368	1.59
141	2.51	187	2.20	257	1.89	373	1.58
143	2.50	189	2.19	260	1.88	378	1.57
144	2.49	191	2.18	263	1.87	383	1.56
145	2.48	193	2.17	266	1.86	388	1.55
146	2.47	195	2.16	269	1.85	393	1.54
148	2.46	197	2.15	272	1.84	398	1.53
149	2.45	198	2.14	275	1.83	404	1.52

Tabela 2 – Tabela de conversão do durômetro - Modificado  
 Fonte – Manual da Garantia da Qualidade Ícaro

## ANEXO II – Código-Fonte do protótipo do sistema

Procedimento para construção da rede:

```

//// Evento do botao que constroi a rede Perceptron////////
procedure TFOCRTrein1600.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var i, n_entradas, n_saidas: integer;
    hora_inicio, hora_fim: tdatetime;
begin
    hora_inicio := time; // Armazena a hora que o procedimento foi acionado
    n_entradas:=20480; // Define o numero de entradas da rede
    n_saidas:=7; // Define o numero de saidas da rede
    MLP.Build; //Constrói a rede artificial através do componente MLP

    { Ajusta intervalo das entradas }

    for i := 1 to n_entradas do
    begin
        // Informa quantas entradas foram criadas
        StatusBar1.Panels[2].Text := 'Construida - Entradas: ' + IntToStr(i);
        with MLP do
        begin
            SetInputMin(i,0);
            SetInputMax(i,1);
        end;
    end;

    { Ajusta intervalo das saídas }

    for i := 1 to n_saidas do
    begin
        with MLP do
        begin
            SetOutputMin(i,0);
            SetOutputMax(i,1);
            // Informa quantas saidas foram criadas
            StatusBar1.Panels[3].Text := 'Construida - Saidas: ' + IntToStr(i);
        end;
    end;

    hora_fim := time; // Armazena a hora que o procedimento terminou
    // Informa o usuário o tempo que levou a construção da rede
    label28.caption:= ('A construção da rede levou: '+timetostr(hora_inicio - hora_fim));
end;

```

### Procedimento para treinamento da rede

```
// Evento do botao de treinamento da rede ////
procedure TFOCRTrein1600.BitBtn2Click(Sender: TObject);
var i, j, k: byte;
    m, n: word;
    hora_inicio, hora_fim: tdatetime;
begin
    hora_inicio := time; // Armazena a hora que o procedimento foi acionado
    { Faz o treinamento conforme o número de épocas }
    for m := 0 to FOOCR.NEpocas do
    begin
        { Para cada foto ... }
        tbFOCR.First;
        while not tbFOCR.Eof do
        begin
            Atualiza;
            Application.ProcessMessages;
            { Alimenta a rede com os valores dos Ocelos de visão }
            for k := 40 to 59 do // dos ocelos 40 ao 59, que sao os ocelos centrais
                for i := 0 to 31 do
                    for j := 0 to 31 do
                        begin
                            n := 64*k+i*8+j+1; // índice do neurônio de entrada
                            MLP.SetInput(n, O[k].Canvas.Pixels[i,j] shr 23); // 0 ou 1
                        end;

                    { Alimenta a rede com saídas esperadas, valor numérico da dureza }
                    for i := 0 to 7 do
                        MLP.SetOutput(i+1,0);
                    MLP.SetOutput(tbFOCRCaracter.AsInteger+1,1);

                    { Executa o treinamento }
                    MLP.Training;
                    { Atualiza barra de status }
                    StatusBar1.Panels[0].Text := 'Épocas: ' + IntToStr(m);
                    StatusBar1.Panels[1].Text := 'Erro: ' + Format('%2.8f',[MLP.Cost]);
                    { Próxima foto no arquivo }
                    tbFOCR.Next;
                end;
            end;
        MLP.Save;
        hora_fim := time;
        label28.caption:= ('O treinamento da rede levou: '+timetostr(hora_inicio - hora_fim));
    end;
```

Procedimento para teste (Não há grandes modificações do exemplo neste procedimento)

```

/// Evento do botao TESTAR /////
procedure TFOCRTrein1600.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var i, j, k, n: integer;
    Valor, Maior: double;
    IMaior: integer;
begin
    { Alimenta a rede com os valores dos Ocelos }
    for k := 40 to 59 do
        for i := 0 to 31 do
            for j := 0 to 31 do
                begin
                    n := 64*k+i*8+j+1; // índice do neurônio de entrada
                    MLP.SetInput(n, O[k].Canvas.Pixels[i,j] shr 23); // 0 ou 1
                end;
            end;
        end;
    MLP.Test;

    ed0.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(1)]);
    ed1.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(2)]);
    ed2.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(3)]);
    ed3.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(4)]);
    ed4.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(5)]);
    ed5.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(6)]);
    ed6.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(7)]);
    ed7.Text := Format('%2.4f',[MLP.GetOutput(8)]);

    { Verifica a maior saída para indicação visual }
    Maior := -20;
    for i := 1 to 7 do
        begin
            Valor := MLP.GetOutput(i);
            if Valor > Maior then
                begin
                    Maior := Valor;
                    IMaior := i;
                end;
        end;
    end;

    { Todas com fundo branco }
    ed0.Color := clWhite;
    ed1.Color := clWhite;
    ed2.Color := clWhite;
    ed3.Color := clWhite;
    ed4.Color := clWhite;
    ed5.Color := clWhite;
    ed6.Color := clWhite;
    ed7.Color := clWhite;

    { Exceto a que a rede acha que é certa }

```

```
case IMAior of
  1: ed0.Color := clYellow;
  2: ed1.Color := clYellow;
  3: ed2.Color := clYellow;
  4: ed3.Color := clYellow;
  5: ed4.Color := clYellow;
  6: ed5.Color := clYellow;
  7: ed6.Color := clYellow;
end;
end;
```

#### Procedimento do botao Salvar

```
////////// Procedimento do botao SALVAR //////////
procedure TFOCRTrain1600.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
  Mlp.Save;
end;
```

#### Procedimento do botão Carregar

```
////////// Procedimento do botao CARREGAR //////////
procedure TFOCRTrain1600.BitBtn5Click(Sender: TObject);
begin
  MLP.Load;
end;
```



## GLOSSÁRIO

**Pixel** (raw pixel data ou picture element): elemento de imagem; menor unidade ou ponto de um monitor de vídeo cuja cor ou brilho possa ser controlada. Em sistemas de vídeo de alta resolução a cor ou brilho de um pixel individual pode ser controlado; em sistemas de monitores de vídeo de baixa resolução um grupo de pixels é controlado ao mesmo tempo.

**Web:** Internet; Rede mundial de computadores.