

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Computação e**  
**Sistemas Digitais**

ISSN 1413-215X

**BT/PCS/0115**

---

**Utilização de Redes Neurais**  
**Artificiais para Construção de**  
**Imagem em Câmara de Cintilação**

---

**Luiz Sérgio de Souza**  
**Edith Ranzini**

**São Paulo - 2001**

1233357

O presente trabalho é parte da tese de doutorado apresentada por Luiz Sergio de Souza, sob orientação da Profa. Dra. Edith Ranzini.: "Utilização de Redes Neurais Artificiais para Construção de Imagem em Câmara de Cintilação", defendida em 13/04/2000, na EPUSP.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Luiz Sérgio de

Utilização de redes neurais artificiais para construção de imagem em câmara de cintilação / L.S. de Souza, E. Ranzini. – São Paulo : EPUSP, 2001.

12 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, BT/PCS/0115)

1. Redes neurais (Inteligência artificial) 2. Medicina nuclear 3. Imagens médicas 4. Câmara de cintilação I. Ranzini, Edith II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais III. Título IV. Série  
ISSN 1413-215X

CDD 006.3  
616.07575  
616.0754  
539.775

**UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE  
IMAGEM EM CÂMARA DE CINTILAÇÃO**

Luiz Sérgio de Souza  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo  
Engenharia Elétrica  
Departamento de Sistemas Digitais e  
Computação

Edith Ranzini  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo  
Engenharia Elétrica  
Departamento de Sistemas Digitais e  
Computação

## RESUMO

A área de desenvolvimento de sistemas inteligentes registrou grandes avanços nas últimas décadas, principalmente com relação às Redes Neurais Artificiais (RNAs). Em medicina nuclear as aplicações envolvem o reconhecimento de padrões e o auxílio ao diagnóstico, destacando-se a interpretação automática de imagens. Os avanços obtidos no desenvolvimento de sistemas baseados em Câmaras de Cintilação procuram atender a demanda por maior qualidade de imagem, mantendo-se os custos em patamares aceitáveis. Neste contexto, este trabalho apresenta uma aplicação de redes de perceptrons multicamadas no problema da Construção de Imagem em Câmara de Cintilação.

## ABSTRACT

Numerous advances have been made in developing intelligent systems, some inspired by biological neural networks. In Nuclear Medicine, Artificial Neural Networks (ANNs) have been used for a variety of pattern recognition and decision-making problems. These include the automated image interpretation. Current advances in Scintillation Camera technology have resulted in and are moving toward the development of systems with smaller cost designed to further improve spatial resolution. This work investigates a new approach: the use of a Multi Layer Perceptron (MLP) neural network in the problem of Scintillation Camera Image Construction.

palavras-chave: **Redes Neurais Artificiais, Câmara de Cintilação, Medicina Nuclear, Imagens Médicas.**

---

## 1 INTRODUÇÃO

Os isótopos radioativos [ENGE-72] são utilizados em Medicina Nuclear para prevenir, diagnosticar e tratar doenças como o hipertireoidismo, diferentes tipos de câncer e enfermidades sanguíneas. Frequentemente, alterações são identificadas antes que as enfermidades sejam detectáveis mediante outros métodos de diagnóstico, o que repercute significativamente em tratamentos mais eficientes e prognósticos mais favoráveis. Por exemplo, em exames de cintilografia óssea é possível identificar a existência de tumores seis a oito meses antes que tenham atingido um tamanho suficiente para que sejam captados por exames como o de raio-X [DANTAS-99].

Os procedimentos envolvem a utilização de pequenas doses de isótopos de meia vida curta<sup>1</sup>, administradas *in vivo* via oral ou endovenosa, onde o próprio metabolismo do paciente direciona o material radioativo (radiofármaco) para o órgão a ser tratado ou examinado. Assim, o material radioativo atinge somente as regiões próximas ao tecido investigado, reduzindo os riscos ao paciente.

A tabela 1 apresenta a descrição e aplicação de alguns radioisótopos e radiofármacos.

Produto	Aplicação	Vida - útil
Citrato de Gálio <sup>67</sup> Ga	Localização de tumores em tecidos moles	7 dias
Cromato de Sódio <sup>51</sup> Cr	Marcação de eritrócitos para gamagrafia esplênica	90 dias
Iodeto de Sódio <sup>123</sup> I	Estudo da função tireoidiana	13 horas
Iodeto de Sódio <sup>131</sup> I	Estudo da função tireoidiana	15 dias
Cloreto de tálio <sup>201</sup> Tl	Imagem cardíaca	16 dias

Tabela 1 – Isótopos e radiofármacos<sup>2</sup>

Os principais componentes da Câmara de Cintilação, figura 1, são a unidade de processamento e o dispositivo de detecção da radiação, este último constituído por um detector tipo cristal cintilador<sup>3</sup> e por sensores que geram sinais elétricos. A interação da radiação no detector resulta em eventos de cintilação, que têm origem no decaimento de energia dos elétrons excitados no processo [KNOLL-89]. Na saída do dispositivo de detecção, as seguintes informações podem ser obtidas a partir dos sinais dos sensores elétricos:

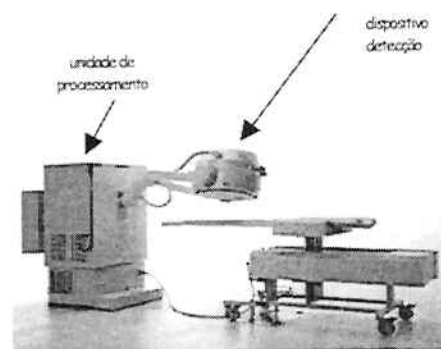


Figura 1 - Câmara de Cintilação

- ✓ localização do evento de interação, pois a composição das amplitudes dos sinais de saída varia em função da posição do evento de interação na região ativa do detector;
- ✓ energia da radiação, pois a soma das amplitudes dos sinais é proporcional à energia total depositada em cada interação da radiação no detector

<sup>1</sup> tempo necessário para desintegração radioativa de metade dos isótopos de uma amostra [ENGE-72]

<sup>2</sup> fonte Brasil Nuclear, ano 6 n. 18 - 1999

<sup>3</sup> por exemplo, o cristal de iodeto de sódio dopado com tálio (*NaI: Tl*)

Na sua forma básica de resposta, referenciada neste trabalho pela sigla *SPEI* (do Inglês: *Single Photon Emission Image*), a imagem obtida corresponde a uma coleção de pontos no plano  $xy$ , que representam os eventos de interação da radiação no dispositivo de detecção. Cada ponto da imagem apresenta intensidade proporcional à frequência com que os eventos ocorrem durante o exame. Esta frequência varia de acordo com a distribuição de concentração do material radioativo (radiofármaco) absorvido no órgão examinado.

Para a determinação das coordenadas dos eventos de interação da radiação na superfície do detector, a unidade de processamento implementa a *Lógica de Anger*, que, em linhas gerais, consiste na realização de uma média ponderada sobre os sinais dos sensores elétricos, onde o peso de cada termo varia *linearmente* em função da posição do sensor com relação ao centro do detector.

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são estruturas de processamento em forma de grafo direcionado, com as seguintes definições e restrições:

- ✓ os nós do grafo são chamados *elementos processadores ou neurônios artificiais* e as ligações internas ao grafo são chamadas *conexões*;
- ✓ cada elemento processador, que apresenta *memória local*, pode receber várias conexões de entrada, com valores distintos, e produzir várias conexões de saída com o mesmo valor;
- ✓ cada elemento processador implementa uma função de transferência que usa unicamente a memória local e os seus sinais de entrada para produzir o correspondente sinal de saída. A função de transferência pode operar continuamente ou episodicamente. Nesta última forma, existe um determinado nível de ativação para que os sinais de entrada proporcionem a atualização do sinal de saída do elemento processador.

Este novo paradigma vem se desenvolvendo a partir da década de 1990, sendo particularmente bem sucedido em aplicações como análise de ruído [HAN-97], controle [ROH-96] e reconhecimento de padrões [OORE-97].

De uma forma geral, a utilização de RNAs apresenta vantagens como:

- ✓ menor necessidade de se determinar *a priori* os fatores ou características determinantes do modelo em desenvolvimento;
- ✓ permite a utilização de múltiplas variáveis, permitindo um inter-relacionamento muito mais complexo entre elas com alta tolerância a falhas e paralelismo inerente.

Na área de Medicina Nuclear recentes pesquisas investigam o potencial de utilização das RNAs em classificação e segmentação de imagens, inclusive introduzindo-se modelos híbridos fuzzy-neural. [ALIREZAIE-97] [LIN-96].

O processo de obtenção de imagens em Medicina Nuclear pode ser dividido em dois estágios: o primeiro corresponde à construção da imagem; o segundo se relaciona com o tratamento e a interpretação da mesma. Neste último encontram-se as aplicações de redes neurais apresentadas na literatura.

O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade da utilização de RNAs no primeiro estágio, ou seja, na construção de imagem em Câmara de Cintilação.

## 2 SISTEMA NEURAL PARA CONSTRUÇÃO DE IMAGEM EM CÂMARA DE CINTILAÇÃO

A figura 2 apresenta a arquitetura proposta neste trabalho. Os sinais elétricos originados em cada evento são processados pela RNA para a identificação do par ordenado  $(x, y)$  associado a um endereço na memória do computador, ao qual uma contagem é adicionada a cada reconhecimento da posição. Cada endereço corresponde a um pixel da imagem digital que é continuamente atualizado durante a aquisição da imagem.

A possibilidade de implementação da RNA em hardware permite o mapeamento da imagem digital diretamente a partir dos sinais fornecidos pelos sensores elétricos. Para isto é necessária a utilização de processadores de alta velocidade que possam gerenciar o alto fluxo de dados (estimado como a cima de 1000 caracteres por segundo) necessário a aplicação, bem como sustentar uma velocidade da ordem de bilhões de conexões por segundo. Este desempenho é necessário para garantir o processamento dos eventos de interação em taxas de contagem típicas ocorridas nos procedimentos de obtenção de imagens em medicina nuclear.

A figura 3 apresenta uma proposta de arquitetura baseada em componentes disponíveis no mercado. Por exemplo, existem processadores que permitem a implementação de oito neurônios com 256 sinapses em ciclos de 200 ns [SÄCKIGER-96]. O controlador executa duas tarefas principais, o fornecimento de instruções e dados para os processadores e o controle das memórias locais, onde são armazenadas as instruções, os pesos sinápticos e o estado da rede (sinais de entrada e saída de cada neurônio). As memórias locais são acessadas pelo computador, através da interface VME, para configuração da topologia da rede e do conjunto de pesos.

Os procedimentos de operação da Câmara de Cintilação permanecem os mesmos. A RNA será utilizada na tarefa de construção da imagem digital. Durante a realização dos exames, a saída da RNA deve indicar, a cada instante, as posições dos eventos de interação ocorridos no detector, como resposta aos respectivos estímulos de entrada compostos pelos sinais dos sensores elétricos da Câmara de Cintilação, que refletem o perfil específico de absorção do material radioativo no órgão.

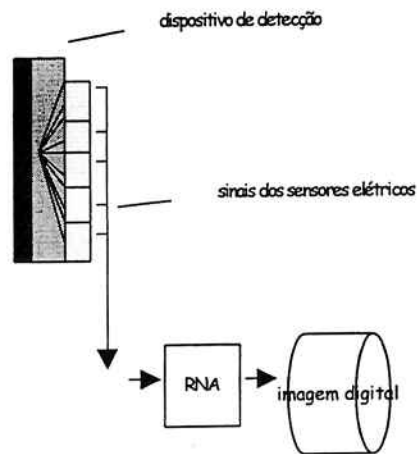


Figura 2 – arquitetura do sistema

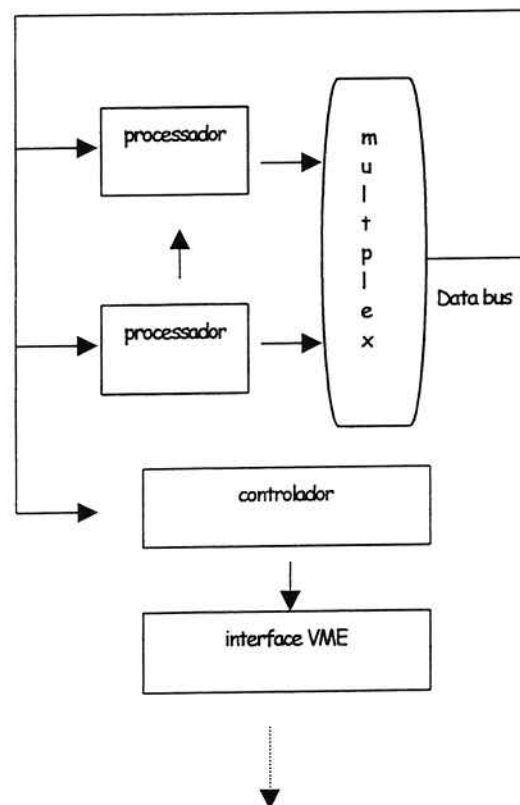


Figura 3 – diagrama de blocos da RNA

Sob o ponto de vista do projeto, é necessário estabelecer o tipo e a estrutura de RNA mais adequada à implementação do sistema. É necessário também estabelecer uma estratégia viável, dentro das limitações experimentais que a aplicação impõe, para treinamento e teste da rede.

A equação 1 dá a posição,  $p(x, y)$ , de um dado evento de interação ocorrido no detector como função dos sinais de saída dos sensores elétricos ( $s_1, s_2, \dots, s_n$ ).

$$p(x, y) = \mathfrak{F}(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad \text{Eq 1}$$

Destacam-se na literatura [TAMURA-97] [MHASKAR-97] [CHERKASSKY-96] dois tipos de redes como aproximadores universais: a rede RBF (*do Inglês Radial Basis Function*) e o MLP (*do Inglês Multilayer Perceptrons*) com o algoritmo de treinamento Back-Propagation (BP) [HAYKIN-94]. Esses dois tipos de redes diferem em alguns pontos básicos, dentre os quais o principal a destacar aqui é:

✓ as redes tipo RBF implementam uma generalização dos métodos de interpolação de dados para o mapeamento não linear de entradas e saídas, bastante apropriado ao problema de reconhecimento de padrões. Por outro lado, as redes MLP implementam aproximações em regiões do espaço de amostragem onde nenhum ou poucos dados são disponíveis na fase de treinamento;

Dadas as características da aplicação e o ponto destacado acima, propõe-se neste trabalho a adoção do modelo MLP com o algoritmo de treinamento Back-Propagation (BP).

A topologia da rede é estabelecida em função do balanço adequado entre o desempenho no aprendizado e a capacidade de generalização (isto é, de responder adequadamente a estímulos de um dado conjunto de teste). Esse balanço constitui a propriedade de escalabilidade da rede.

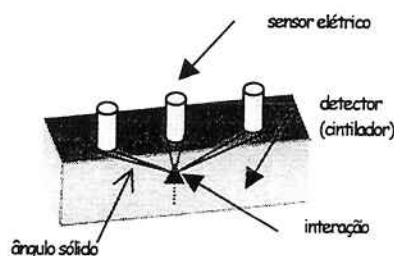


Figura 4- geração de sinais elétricos no dispositivo de detecção

Para viabilizar a tarefa de determinação de uma estrutura básica de rede, adequada às características globais do mapeamento, propõe-se a utilização de um modelo genérico para a simulação do processo geração de sinais no dispositivo de detecção (figura 4).

As equações 2, 3 e 4 representam a base do modelo proposto neste trabalho:

$$S_i(x, y) = \frac{\varepsilon(x, y)}{\left[ (x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 \right]} \quad \text{Eq 2}$$

$$\varepsilon(x, y) = \exp \left[ -\lambda_i \cdot \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \right] \cdot \frac{\Phi_i}{\left[ (x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Eq 3}$$

onde,

( $a_i, b_i$ ) : posição do  $i$ -ésimo sensor com relação ao centro do cristal;  $\Phi_i$  : sensibilidade;  $\lambda_i$  : parâmetro de atenuação correspondente ao ângulo sólido definido entre o sensor e o ponto de interação da radiação no cristal;

$S_i(x, y)$  : Sinal de saída do  $i$ -ésimo sensor elétrico para um dado evento de interação ocorrido na posição ( $x, y$ ).

A equação 3 compreende a função de atenuação exponencial, o ângulo sólido e a sensibilidade do sensor elétrico.

Para o projeto adequado da rede é necessário considerar a natureza estatística do processo de interação da radiação do detector e geração dos sinais elétricos. Assim na geração dos pontos ( $x, y$ ) tem-se um gerador de ruído (de acordo com a estatística de Poisson) dado pela equação 4.

$$R(\mu, \sigma) = \mu + \sigma \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot rnd(1)) \cdot \sqrt{-2 \cdot \ln(rnd(1))}$$

Eq 4

onde,

$\mu$ : valor da média;  $\sigma$ : variância.

O modelo de simulação permite a obtenção de eventos de interação referenciados a uma escala normalizada. Desta forma mapeamento pode ser analisado independentemente de eventuais aspectos relacionados com as dimensões do cristal ou dos tubos fotomultiplicadores.

### 3 CONFIGURAÇÃO DA REDE NEURAL PARA CONSTRUÇÃO DE IMAGEM EM CÂMARA DE CINTILAÇÃO

Foram analisadas diferentes possibilidades para a topologia da rede, considerando-se estruturas com 2, 3 e até 4 camadas escondidas, com diferentes combinações de quantidades de neurônios nessas camadas. As figuras 5 e 6 apresentam os conjuntos de treinamento e de teste, respectivamente. Os eventos, gerados por simulação, são distribuídos aleatoriamente no plano xy. Considerou-se inicialmente a situação ideal, onde os parâmetros de atenuação e sensibilidade são iguais para todos os sensores elétricos do dispositivo de detecção.

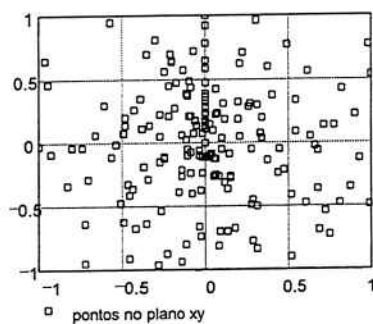


Figura 5 - conjunto de treinamento

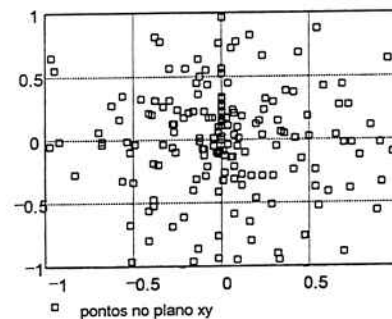


Figura 6 - conjunto de teste

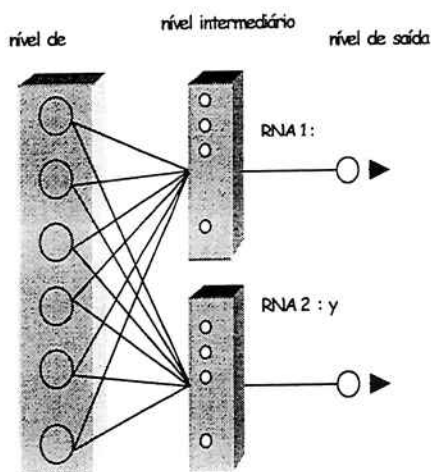


Figura 7 - estrutura da RNA

Dentre as configurações testadas, a figura 7 apresenta a topologia com maior grau escalabilidade alcançado. O primeiro nível é responsável pela entrada dos dados, sendo composto por uma camada de neurônios com função de ativação linear. O segundo nível (nível intermediário) é composto por duas redes independentes, cada uma com 2 camadas escondidas, alimentadas simultaneamente pela camada do primeiro nível. Finalmente, o terceiro nível (nível de saída) é composto por uma camada de dois neurônios, correspondendo às coordenadas dos eventos de interação  $(x, y)$ .

Os parâmetros da rede são apresentados na tabela 2. A heurística utilizada para a atualização da taxa de aprendizado ( $\eta$ ) consiste em verificar se a cada apresentação do conjunto de treinamento a função de

erro diminui. Em caso negativo, o ajuste é desfeito, a taxa é diminuída e os padrões são apresentados. O procedimento se repete até que o erro passe a diminuir, quando o ajuste é então validado. Quando é observado que a função de erro diminui por um número  $K$  de vezes consecutivas, o valor de  $\eta$  é aumentado para a aceleração do treinamento.

Função de erro	Função de ativação	$K$	$\eta$	arquitetura
MSE	tangente hiperbólica	5	adaptativo	8,16,32 e 64 neurônios nas camadas escondidas

Tabela 2 Parâmetros da rede MLP

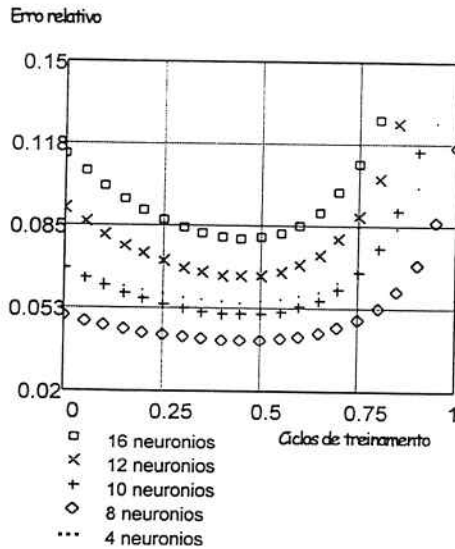


Figura 8 - desempenho da RNA com relação ao conjunto de teste

A figura 9 apresenta o desempenho da RNA em função do tamanho relativo do conjunto de treinamento. O resultado indica que a utilização de conjuntos maiores que o apresentado na figura 25 não representa ganho significativo no desempenho.

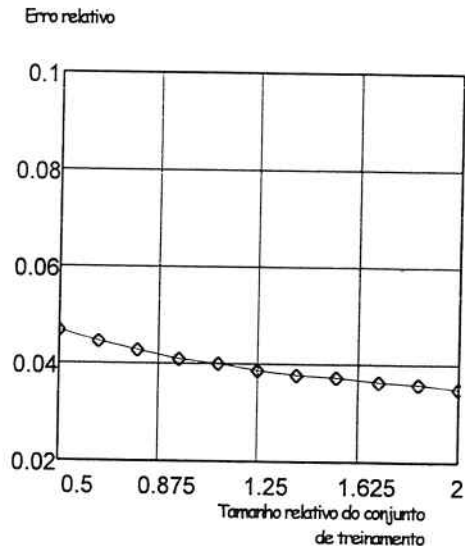


Figura 9 - desempenho da RNA em função do tamanho do conjunto de treinamento

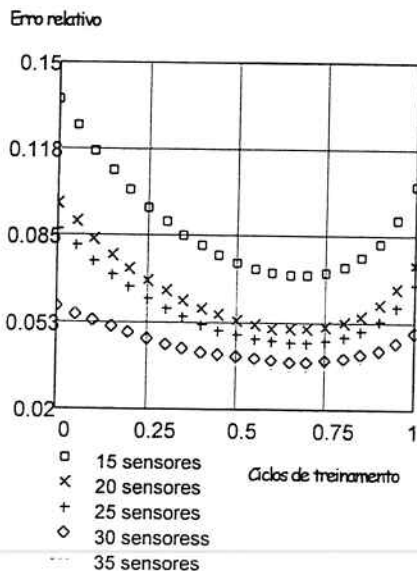


Figura 10 - desempenho da RNA em função da quantidade de sensores elétricos

A figura 8 apresenta o desempenho da rede da figura 7, com relação ao conjunto de teste (figura 6), para configurações com 4, 8, 10, 12 e 16 neurônios nas camadas escondidas do nível intermediário. Os resultados observados na figura 8, indicam o melhor desempenho para a configuração com 8 neurônios nas camadas escondidas do nível intermediário. O erro mínimo alcançado é da ordem de 4%. Este valor é aceitável pois, como será visto adiante, é da ordem de grandeza do erro sistemático imposto pela bancada experimental (utilizada no estudo de caso).

A figura 10 apresenta o desempenho da rede para diferentes configurações do dispositivo de detecção, com 35, 30, 25, 20 e 15 sensores elétricos. Os resultados indicam um desempenho aceitável (o erro na ordem de 5%) para o dispositivo com o mínimo 20 sensores, ainda para a configuração de rede com três níveis, mantendo-se os 8 neurônios nas camadas escondidas do nível intermediário.

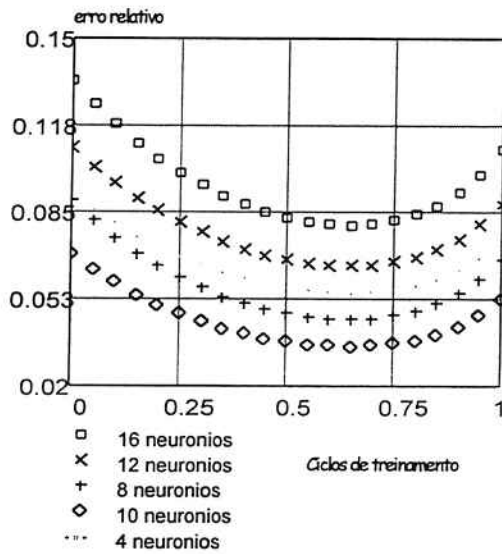


Figura 11 - desempenho da RNA

Para verificar o comportamento da rede em situações próximas do real, a figura 11 apresenta o desempenho da rede para um arranjo com 20 sensores elétricos no dispositivo de detecção, com variações aleatórias de até 10% nos valores de sensibilidade e nos parâmetros de atenuação destes sensores.

Os resultados observados na figura 11 indicam que a mesma configuração de rede, porém com 10 neurônios nas camadas escondidas, apresenta robustez com relação às variações nos parâmetros de sensibilidade e atenuação.

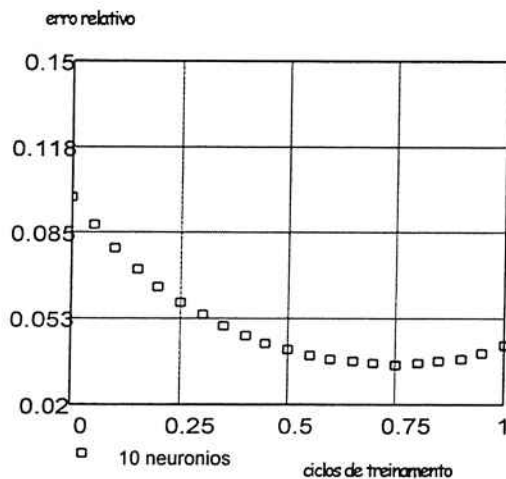


Figura 12 - desempenho da rede para variações nas posições dos sensores

A figura 12 apresenta o comportamento da rede em situações onde as respostas dos sensores mudam após o treinamento. Considerou-se modificações aleatórias em até 10% com relação às posições originais (a partir das quais os dados do conjunto de treinamento foram obtidos), obtendo-se então os dados do conjunto de teste. O erro médio na localização dos eventos do conjunto de teste, obtido na situação de movimentação dos sensores, permanece na ordem de 4%, indicando a robustez da rede.

#### 4 ESTUDO DE CASO

Apresenta-se um estudo de caso para a avaliação experimental da aplicação. A bancada da figura 13 reproduz algumas condições de operação de uma Câmara de Cintilação, cujo dispositivo de detecção é composto por um cristal cintilador de grande área e um conjunto de 7 tubos fotomultiplicadores distribuídos na região central do detector. A bancada permite a geração de eventos de interação em pontos específicos da superfície do detector, bem como a aquisição dos sinais para obtenção dos dados utilizados no treinamento e teste da RNA.

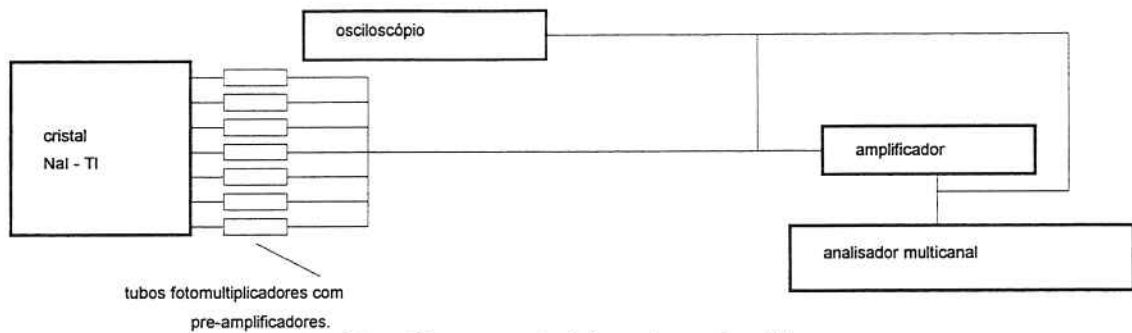


Figura 13 - componentes da bancada experimental

No projeto da RNA foi utilizado o ambiente para desenvolvimento e treinamento NeuralWorks Professional II/plus (produzido pela NeuralWare Inc.), bem como rotinas em linguagem Pascal.

A figura 14 apresenta o conjunto de eventos experimentais utilizados no treinamento da rede. Na realidade, para cada um desses eventos foram obtidas 20 medidas, de forma a se estabelecer uma estatística para o ruído. O conjunto de treinamento efetivo apresenta então um total de 800 pontos. Na figura 15 é apresentada a distribuição de eventos utilizados nos testes de generalização.

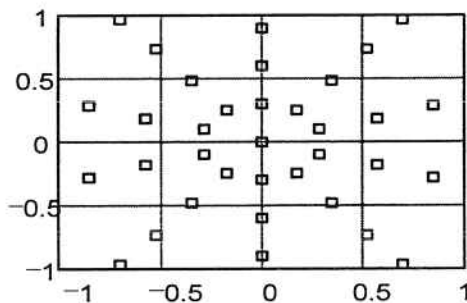


Figura 14 - dados experimentais para o treinamento da RNA

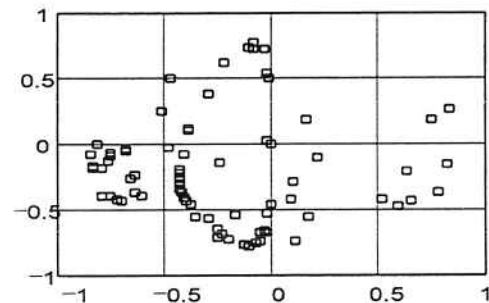


Figura 15 - dados experimentais para o teste da RNA

O desempenho da rede para configurações com 4, 8, 10, 12 e 16 neurônios nas camadas escondidas dos níveis intermediários, é mostrado na figura 16. A rede, agora<sup>4</sup> com 12 neurônios nas camadas escondidas, apresenta resultados satisfatórios para o conjunto de teste experimental apresentado na figura 15. Observa-se um erro médio da ordem de 4%, que é da mesma ordem de grandeza da incerteza na determinação da posição dos eventos experimentais devido a abertura finita do colimador.

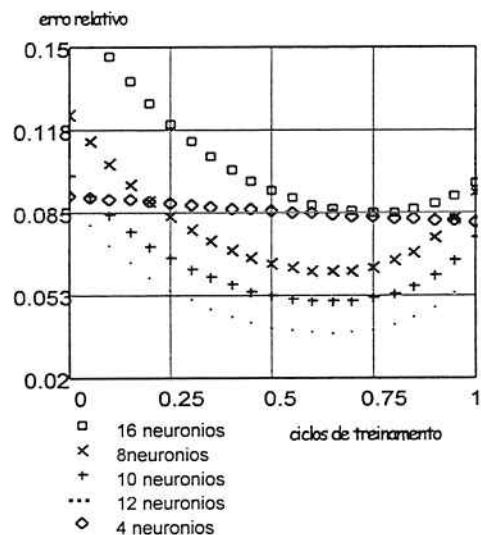


Figura 16 - desempenho da rede: protótipo.

<sup>4</sup> lembrando que nas simulações o mesmo desempenho foi alcançado com 10 neurônios nas camadas escondidas.

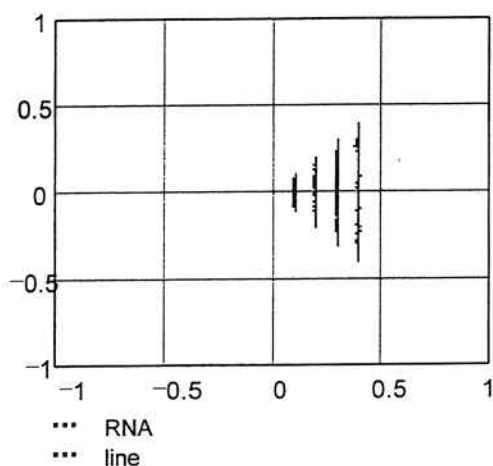


Figura 17 - Fmt para rede neural

resultado é representado por apenas quatro barras para melhor visualização. O limite de resolução espacial alcançado pela Lógica de Anger ( figura 18, onde apenas duas barras são mostradas) é da ordem 4 lp/cm.

## 5 CONCLUSÕES

A simulação do processo foi um fator crucial no desenvolvimento da aplicação, pois permitiu o estudo de diferentes configurações utilizando-se diferentes conjuntos de dados para o treinamento e teste da rede. Essa estratégia permitiu a especificação de uma estrutura básica, que, conforme demonstrou o estudo de caso, pode ser configurada para atender às condições específicas do equipamento.

Os resultados conduziram à uma estrutura com três níveis, onde o nível intermediário é composto por duas redes independentes tipo MLP com duas camadas escondidas. As simulações demonstraram a robustez dessa estrutura com relação a não uniformidades e perdas de linearidade. Esses resultados se confirmaram no estudo de caso, onde destacam-se como principais ganhos a possibilidade de redução do número de sensores elétricos e a resolução alcançada nas condições da bancada experimental.

As Câmaras de Cintilação apresentam uma limitação de desempenho causada pela inabilidade de se obter uma resposta espacial uniforme (dentro dos limites da estatística de Poisson) sobre toda área do detector exposto a um fluxo de radiação constante. Em imagens tipo SPECT, as correções de uniformidade e linearidade tomam-se extremamente necessárias, pois tais deformações são ampliadas no processo de reconstrução de imagem. A principal causa de deformações em imagens tipo SPECT é o deslocamento dos tubos fotomultiplicadores das suas posições originais, que ocorre durante a rotação do dispositivo de detecção. Conforme demonstrado neste trabalho, com a utilização da RNA é possível minimizar a perda de linearidade e uniformidade causada pelo deslocamento dos sensores.

Testes clínicos são decisivos para a consolidação de novas tecnologias na área de imagens médicas. Não obstante, é necessária uma fase de avaliação das novas soluções, a ser implementada antes da efetiva utilização em condições clínicas. Para isto são utilizados experimentos em laboratório, visando a investigação de parâmetros como a capacidade de resolução do sistema e seu comportamento em termos do ruído, os quais foram tratados nesse trabalho.

Para verificar a resolução espacial do sistema, nas condições da bancada experimental, as figuras 17 e 18 apresentam, em escala normalizada, imagens obtidas para padrões de eventos distribuídos sobre linhas verticais com diferentes frequências espaciais. Estes padrões dão uma medida experimental da função de modulação de transferência (*f<sub>mt</sub>*) [SORENSEN-87], que indica a fidelidade com que as informações do objeto são transferidas à imagem. A *f<sub>mt</sub>* é utilizada como um indicador do limite de resolução espacial de Câmaras de Cintilação [SORENSEN-87].

A figura 17 mostra o limite para resolução espacial alcançado pela RNA, que é de 8 lp/cm. Nesta figura o

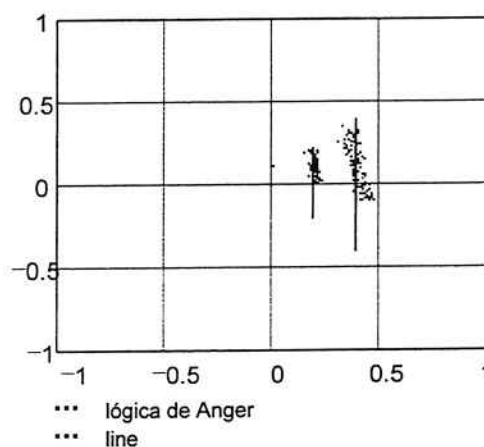


Figura 18 - Fmt para lógica de Anger

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ALIREZAIE-97] ALIREZAIE, J. JERNIGAN, M. E.; NAHMIAS, C.; Neural Network-Based Segmentation of Magnetic Resonance Images of the Brain; IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE; v. 44; n. 2; Apr.; 1997.
- [CHERKASSKY-96] CHERKASSKY, V.; GEHRING, D.; MULIER, F; Comparison of Adaptive Methods for Function Estimation from Samples; IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS; v. 7; n. 4; Jul.; 1996.
- [DANTAS-99] DANTAS, VERA; A Radiação Salva Vidas; BRASIL NUCLEAR; ano 6; n. 18, 1999.
- [ENGE-72] ENG, HARALD; Introduction to nuclear physics; ed. Addison Wesley; 1972.
- [HAN-97] HAN, Y.; LINCHENG, X. et al; Artificial Neural networks Controlled Fast Valving in a Power Generation Plant; IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS; v. 8; n. 2; Mar.; 1997.
- [HAYKIN-94] HAYKIN, S.; Neural Networks A Comprehensive Foundation; ed. Prentice Hall International Editions; 1994.
- [KNOLL-89] KNOLL G. F. Radiation Detection And Measurement; ed. John Wiley & Sons; 1989.
- [LIN-96] LIN, J. S.; CHENG, K. S.; MAO, C. W.; A Fuzzy Hopfield Neural Network for Medical Image Segmentation; IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE; v.43; n. 4; Aug.; 1996.
- [MHASKAR-97] MHASKAR, H. N. HAHM, N.; Neural Networks for Functional Approximation and System Identification; NEURAL COMPUTATION; Jan.; 1997.
- [OORE-97] OORE, S.; HIMTON, G.E.; A Mobile Robot that Learns Its Place; Neural Computation; v. 9; n. 3; Apr.; 1997.
- [ROH-96] ROH, C. H.; CHANG, H. S.; KIN, H. G.; CHANG, S. H.; Identification of Reactor vessel failures Using Spatiotemporal Neural Network; IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE; v. 43; n. 6; Dec.; 1996.
- [SÄCKINGER-96] SÄCKINGER, E.; GRAF; H.; A Board System For High-Speed Image Analysis and Neural Networks; IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS; v. 7; n. 1; Jan.; 1996.
- [SORENSEN-87] SORENSON, J.; PHELPS M.; Physics in Nuclear Medicine; New York, ed. John Wiley & Sons; 1987.
- [TAMURA-97] TAMURA, S. TATEISHI, M. Capabilities of a Four-layered Feedforward Neural Networks: Four layer versus Tree; IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS; v.8; n. 2; Mar.; 1997.

## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PCS/9301 - Interligação de Processadores através de Chaves Ômicron - GERALDO LINO DE CAMPOS, DEMI GETSCHKO
- BT/PCS/9302 - Implementação de Transparência em Sistema Distribuído - LUÍSA YUMIKO AKAO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9303 - Desenvolvimento de Sistemas Especificados em SDL - SIDNEI H. TANO, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9304 - Um Modelo Formal para Sistemas Digitais à Nível de Transferência de Registradores - JOSÉ EDUARDO MOREIRA, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/9305 - Uma Ferramenta para o Desenvolvimento de Protótipos de Programas Concorrentes - JORGE KINOSHITA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9306 - Uma Ferramenta de Monitoração para um Núcleo de Resolução Distribuída de Problemas Orientado a Objetos - JAIME SIMÃO SICHMAN, ELERI CARDOSO
- BT/PCS/9307 - Uma Análise das Técnicas Reversíveis de Compressão de Dados - MÁRIO CESAR GOMES SEGURA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9308 - Proposta de Rede Digital de Sistemas Integrados para Navio - CESAR DE ALVARENGA JACOBY, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9309 - Sistemas UNIX para Tempo Real - PAULO CESAR CORIGLIANO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9310 - Projeto de uma Unidade de Matching Store baseada em Memória Paginada para uma Máquina Fluxo de Dados Distribuído - EDUARDO MARQUES, CLAUDIO KIRNER
- BT/PCS/9401 - Implementação de Arquiteturas Abertas: Uma Aplicação na Automação da Manufatura - JORGE LUIS RISCO BECERRA, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9402 - Modelamento Geométrico usando do Operadores Topológicos de Euler - GERALDO MACIEL DA FONSECA, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9403 - Segmentação de Imagens aplicada a Reconhecimento Automático de Alvos - LEONCIO CLARO DE BARROS NETO, ANTONIO MARCOS DE AGUIRRA MASSOLA
- BT/PCS/9404 - Metodologia e Ambiente para Reutilização de Software Baseado em Composição - LEONARDO PUJATTI, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9405 - Desenvolvimento de uma Solução para a Supervisão e Integração de Células de Manufatura Discreta - JOSÉ BENEDITO DE ALMEIDA, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9406 - Método de Teste de Sincronização para Programas em ADA - EDUARDO T. MATSUDA, SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF
- BT/PCS/9407 - Um Compilador Paralelizante com Detecção de Paralelismo na Linguagem Intermediária - HSUEH TSUNG HSIANG, LÍRIA MATSUMOTO SAITO
- BT/PCS/9408 - Modelamento de Sistemas com Redes de Petri Interpretadas - CARLOS ALBERTO SANGIORGIO, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/9501 - Síntese de Voz com Qualidade - EVANDRO BACCI GOUVÊA, GERALDO LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9502 - Um Simulador de Arquiteturas de Computadores "A Computer Architecture Simulator" - CLAUDIO A. PRADO, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/9503 - Simulador para Avaliação da Confiabilidade de Sistemas Redundantes com Reparo - ANDRÉA LUCIA BRAGA, FRANCISCO JOSÉ DE OLIVEIRA DIAS
- BT/PCS/9504 - Projeto Conceitual e Projeto Básico do Nível de Coordenação de um Sistema Aberto de Automação, Utilizando Conceitos de Orientação a Objetos - NELSON TANOMARU, MOACYR MARTUCCI JUNIOR
- BT/PCS/9505 - Uma Experiência no Gerenciamento da Produção de Software - RICARDO LUIS DE AZEVEDO DA ROCHA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9506 - MétodoOO - Método de Desenvolvimento de Sistemas Orientado a Objetos: Uma Abordagem Integrada à Análise Estruturada e Redes de Petri - KECHI HIRAMA, SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF
- BT/PCS/9601 - MOOPP: Uma Metodologia Orientada a Objetos para Desenvolvimento de Software para Processamento Paralelo - ELISA HATSUE MORIYA HUZITA, LÍRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9602 - Estudo do Espalhamento Brillouin Estimulado em Fibras Ópticas Monomodo - LUIS MEREGE SANCHES, CHARLES ARTUR SANTOS DE OLIVEIRA
- BT/PCS/9603 - Programação Paralela com Variáveis Compartilhadas para Sistemas Distribuídos - LUCIANA BEZERRA ARANTES, LÍRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9604 - Uma Metodologia de Projeto de Redes Locais - TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO, WILSON VICENTE RUGGIERO

- BT/PCS/9605 - Desenvolvimento de Sistema para Conversão de Textos em Fonemas no Idioma Português - DIMAS TREVIZAN CHBANE, GERALDO LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9606 - Sincronização de Fluxos Multimídia em um Sistema de Videoconferência - EDUARDO S. C. TAKAHASHI, STEFANIA STIUBIENER
- BT/PCS/9607 - A importância da Completeza na Especificação de Sistemas de Segurança - JOÃO BATISTA CAMARGO JÚNIOR, BENÍCIO JOSÉ DE SOUZA
- BT/PCS/9608 - Uma Abordagem Paraconsistente Baseada em Lógica Evidencial para Tratar Exceções em Sistemas de Frames com Múltipla Herança - BRÁULIO COELHO ÁVILA, MÁRCIO RILLO
- BT/PCS/9609 - Implementação de Engenharia Simultânea - MARCIO MOREIRA DA SILVA, MOACYR MARTUCCI JÚNIOR
- BT/PCS/9610 - Statecharts Adaptativos - Um Exemplo de Aplicação do STAD - JORGE RADY DE ALMEIDA JUNIOR, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9611 - Um Meta-Editor Dirigido por Sintaxe - MARGARETE KEIKO IWAI, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9612 - Reutilização em Software Orientado a Objetos: Um Estudo Empírico para Analisar a Dificuldade de Localização e Entendimento de Classes - SELMA SHIN SHIMIZU MELNIKOFF, PEDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA GIOVANI
- BT/PCS/9613 - Representação de Estruturas de Conhecimento em Sistemas de Banco de Dados - JUDITH PAVÓN MENDONZA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9701 - Uma Experiência na Construção de um Tradutor Inglês - Português - JORGE KINOSHITA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9702 - Combinando Análise de "Wavelet" e Análise Entrópica para Avaliar os Fenômenos de Difusão e Correlação - RUI CHUO HUEI CHIOU, MARIA ALICE G. V. FERREIRA
- BT/PCS/9703 - Um Método para Desenvolvimento de Sistemas de Computacionais de Apoio a Projetos de Engenharia - JOSÉ EDUARDO ZINDEL DEBONI, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9704 - O Sistema de Posicionamento Global (GPS) e suas Aplicações - SÉRGIO MIRANDA PAZ, CARLOS EDUARDO CUGNASCA
- BT/PCS/9705 - METAMBI-OO - Um Ambiente de Apoio ao Aprendizado da Técnica Orientada a Objetos - JOÃO UMBERTO FURQUIM DE SOUZA, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9706 - Um Ambiente Interativo para Visualização do Comportamento Dinâmico de Algoritmos - IZAURA CRISTINA ARAÚJO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9707 - Metodologia Orientada a Objetos e sua Aplicação em Sistemas de CAD Baseado em "Features" - CARLOS CÉSAR TANAKA, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9708 - Um Tutor Inteligente para Análise Orientada a Objetos - MARIA EMÍLIA GOMES SOBRAL, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/9709 - Metodologia para Seleção de Solução de Sistema de Aquisição de Dados para Aplicações de Pequeno Porte - MARCELO FINGUERMAN, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/9801 - Conexões Virtuais em Redes ATM e Escalabilidade de Sistemas de Transmissão de Dados sem Conexão - WAGNER LUIZ ZUCCHI, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/9802 - Estudo Comparativo dos Sistemas da Qualidade - EDISON SPINA, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9803 - The VIBRA Multi-Agent Architecture: Integrating Purposive Vision With Deliberative and Reactive Planning - REINALDO A. C. BIANCHI, ANNA H. REALI C. RILLO, LELIANE N. BARROS
- BT/PCS/9901 - Metodologia ODP para o Desenvolvimento de Sistemas Abertos de Automação - JORGE LUIS RISCO BECCERRA, MOACYR MARTUCCI JUNIOR
- BT/PCS/9902 - Especificação de Um Modelo de Dados Bitemporal Orientado a Objetos - SOLANGE NICE ALVES DE SOUZA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9903 - Implementação Paralela Distribuída da Dissecção Cartesiana Aninhada - HILTON GARCIA FERNANDES, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PCS/9904 - Metodologia para Especificação e Implementação de Solução de Gerenciamento - SERGIO CLEMENTE, TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO
- BT/PCS/9905 - Modelagem de Ferramenta Hipermídia Aberta para a Produção de Tutoriais Interativos - LEILA HYODO, ROMERO TORI
- BT/PCS/9906 - Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com Dois Valores-LPA2v com Construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos - JOÃO I. DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE
- BT/PCS/9907 - Modelo Nebuloso de Confiabilidade Baseado no Modelo de Markov - PAULO SÉRGIO CUGNASCA, MARCO TÚLIO CARVALHO DE ANDRADE
- BT/PCS/9908 - Uma Análise Comparativa do Fluxo de Mensagens entre os Modelos da Rede Contractual (RC) e Colisões Baseada em Dependências (CBD) - MÁRCIA ITO, JAIME SIMÃO SICHMAN

- BT/PCS/9909 – Otimização de Processo de Inserção Automática de Componentes Eletrônicos Empregando a Técnica de Times Assíncronos – CESAR SCARPINI RABAK, JAIME SIMÃO SICHMAN
- BT/PCS/9910 – MIISA – Uma Metodologia para Integração da Informação em Sistemas Abertos – HILDA CARVALHO DE OLIVEIRA, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9911 – Metodologia para Utilização de Componentes de Software: um estudo de Caso – KAZUTOSI TAKATA, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/0001 – Método para Engenharia de Requisitos Norteado por Necessidades de Informação – ARISTIDES NOVELLI FILHO, MARIA ALICE GRIGAS VARELLA FERREIRA
- BT/PCS/0002 – Um Método de Escolha Automática de Soluções Usando Tecnologia Adaptativa – RICARDO LUIS DE AZEVEDO DA ROCHA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0101 – Gerenciamento Hierárquico de Falhas – JAMIL KALIL NAUFAL JR., JOÃO BATISTA CAMARGO JR.
- BT/PCS/0102 – Um Método para a Construção de Analisadores Morfológicos, Aplicado à Língua Portuguesa, Baseado em Autômatos Adaptativos – CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0103 – Educação pela Web: Metodologia e Ferramenta de Elaboração de Cursos com Navegação Dinâmica – LUISA ALEYDA GARCIA GONZÁLEZ, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0104 – O Desenvolvimento de Sistemas Baseados em Componentes a Partir da Visão de Objetos – RENATA EVANGELISTA ROMARIZ RECCO, JOÃO BATISTA CAMARGO JÚNIOR
- BT/PCS/0105 – Introdução às Gramáticas Adaptativas – MARGARETE KEIKO IWAI, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0106 – Automação dos Processos de Controle de Qualidade da Água e Esgoto em Laboratório de Controle Sanitário – JOSÉ BENEDITO DE ALMEIDA, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/01/07 – Um Mecanismo para Distribuição Segura de Vídeo MPEG – CÍNTIA BORGES MARGI, GRAÇA BESSAN, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/0108 – A Dependence-Based Model for Social Reasoning in Multi-Agent Systems – JAIME SIMÃO SICHMAN
- BT/PCS/0109 – Ambiente Multilinguagem de Programação – Aspectos do Projeto e Implementação – APARECIDO VALDEMIR DE FREITAS, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/0110 – LETAC: Técnica para Análise de Tarefas e Especificação de Fluxo de Trabalho Cooperativo – MARCOS ROBERTO GREINER, LUCIA VILELA LEITE FILGUEIRAS
- BT/PCS/0111 – Modelagem ODP para o Planejamento de Sistemas de Potência – ANIRIO SALLES FILHO, JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI
- BT/PCS/0112 – Técnica para Ajuste dos Coeficientes de Quantização do Padrão MPEG em Tempo Real – REGINA M. SILVEIRA, WILSON V. RUGGIERO
- BT/PCS/0113 – Segmentação de Imagens por Classificação de Cores: Uma Abordagem Neural – ALEXANDRE S. SIMÕES, ANNA REALI COSTA
- BT/PCS/0114 – Uma Avaliação do Sistema DSM Nautilus –MARIO DONATO MARINO, GERALDO LINO DE CAMPOS



