

## Sensores Inteligentes: Uma abordagem Simbólico-Conexionista

Francisco de A. Tavares F. da Silva<sup>1</sup>

Antonio Macílio P. de Lucena<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-MCT

tel.: +55 85 260 2266 fax: +55 85 260 2184

Estrada do fio, 6000 Tupuiú

Eusébio-CE CEP: 61760-000

{tavares, macilio}@roen.inpe.br

### Abstract

*The work presents the development of Computing Intelligence techniques, applied on Smart Sensors devices, to be embedded in a next generation of Remote Sensing Satellites. The proposal presents a symbolic-connectionist approach to be implemented in high performance computing, under re-configurable hardware toward space qualification. The major objective is to insert new possibilities of Intelligent Signal Processing embedded on space engines or Systems for Embedded Intelligent Processing (SPIE Portuguese speaking). This proposal contemplates the development of a neural computer joint to an Expert System, applied on sensors fusion tasks, for example, in the visible and near infrared spectrum, and others. In a first approach this system shall be considered on detection and managing of alarms and alerts, near real time, over biomass burning and environmental pollution.*

### 1. Introdução

O Processamento Inteligente de Sinais, envolvendo a representação, análise e interpretação de cenas, exibe características que o torna um bom candidato à automatização, pela adoção de técnicas de Inteligência Artificial (IA) [1]. Por outro lado, a necessidade de adaptação ou “aprendizagem”, alto desempenho, minituarização, redução de custos e robustez, pode demandar a utilização de várias técnicas computacionais.

A literatura de IA, aplicada ao processamento de sinais, apresenta várias considerações envolvendo limitações, restrições e soluções sobre os problemas de representação e interpretação do mundo visual [1,2]. As tarefas de reconhecimento e classificação de padrões, por exemplo, podem enfrentar os problemas da presença de ruído, distorção, oclusão, rotação e translação, além da idiosincrasia do processo de Representação de Conhecimento dos contextos a serem considerados [2,3].

Em muitas aplicações espaciais, principalmente sobre os sistemas embarcados, o processamento

adaptativo e tolerante a falhas é desejável. Estas características são inerentes ao paradigma dos Sistemas Conexionistas, o que justifica seu uso na maioria dos trabalhos que envolvem reconhecimento de padrões e/ou interpretação de cenas.

No entanto, a tarefa de interpretação de imagens, no contexto de Visão Computacional, geralmente trata de um domínio restrito e pode ser realizada por processamento de informação utilizando heurísticas bem definidas [2,4].

Algumas das dificuldades inerentes ao processo de codificação destas heurísticas podem ser contornadas, se, por exemplo, for utilizada uma estrutura que permita caracterizar tanto a cena como também suas partes, como é o caso, por exemplo, do esquema de Quadros proposto por Minsky [4,5].

A literatura da área de Processamento Inteligente de Sinais e tecnologia de Sensores Inteligentes [6,7], tem apresentado excelentes propostas em direção aos sistemas automáticos de alertas, principalmente considerando-se à  *fusão de Sensores*.

A literatura da área espacial apresenta alguns trabalhos sobre os esforços de várias Agências Espaciais em direção ao desenvolvimento da tecnologia de Sensores Inteligentes. Isto pode ser observado, por exemplo, no projeto BIRD (Bi-spectral Infra-Red Detection-BIRD) da DLR (German Aerospace Research Establishment) [8], além dos projetos FOCUS [9] pela DLR/NASA e FUEGO [10] pela ESA (European Space Agency) junto a um consórcio europeu liderado pela INSA (Ingeniería y Servicios Aeroespaciales).

Os Sensores Inteligentes podem propiciar sensível redução de custos, principalmente no que se refere às operações de telecomando, para auxiliar na programação da  *seleção dos Imageadores*, e, também, na economia da transmissão, de volumes de dados dispensáveis ou redundantes, os quais são observados no tele-processamento convencional [8,10].

O Processamento Inteligente de Sinais a bordo também otimiza a programação das várias operações de  *validação de alertas*, e, portanto, aumenta a autonomia do satélite, nas tarefas de tomada de decisões, principalmente considerando as missões de alarme e alerta em curto prazo [8,10].

O Satélite BIRD [8], já lançado com sucesso em 2001, tem apresentado bons resultados, no entanto,

numa abordagem diferente da adotada no projeto BIRD, o qual utiliza o descontinuado NI1000 (Circuito Integrado contendo processador neural da Intel), este trabalho propõe à investigação de novas possibilidades tecnológicas dentro de uma abordagem simbólico-conexionista [2].

Numa primeira abordagem, esta tecnologia será considerada nas tarefas de reconhecimento automático de padrões de catástrofes e poluição ambiental, em tempo real. No contexto de processamento embarcado, este tipo de abordagem pode aproveitar Sensores convencionais em Sistemas de Alerta e Alarme, principalmente sobre *queimadas*, próximo ao tempo real.

## 2. Processamento connexionista embarcado

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos matemáticos que, inspirados nas estruturas cerebrais, são capazes de processar informação. Os paradigmas de RNAs, criados com a inspiração da neurofisiologia e teoria do comportamento (estímulo-resposta), são conhecidos também como modelos connexionistas, sistemas adaptativos, redes neurais ou neuronais, ou ainda sistemas neuromórficos.

As RNAs exploram características do processamento paralelo distribuído, ou seja, as inspirações neurofisiológicas das RNAs, do ponto de vista das conexões cerebrais, tornam os modelos connexionistas intrinsecamente adequados à utilização de sistemas paralelos, distribuídos e interconectados em larga escala [11,12].

Além das características inerentes aos sistemas connexionistas, é importante observar que as RNAs têm mostrado excelentes resultados em várias aplicações complexas, principalmente no que concerne as tarefas de Reconhecimento de Padrões. Detalhes sobre as várias aplicações utilizando-se RNAs podem ser encontrados em: Kosko e Haykin [6], Kosko [7], Haykin [11], Soucek [12], Morgan e Scofield [13] e Simpson [14].

Entretanto, poucas implementações, em hardware, visando redução de custo, peso e volume, têm apresentado eficiência e robustez desejadas, tendo-se em vista a construção de dispositivos de alta performance com qualificação espacial. Os detalhes sobre projetos na área espacial podem ser observados em Laborde [15] e Martin [16].

Por outro lado, o maior desafio é à busca do melhor paradigma de RNA, o qual seja capaz de aproveitar a tecnologia de VLSI atualmente disponível, sem deixar de atender as restrições e robustez impostas nas aplicações em ambiente espacial.

As RNAs tipo RBFs (do inglês Radial Base Functions) são adequadas aos problemas de ajuste de curva (aproximação) em um espaço de alta dimensionalidade, conseqüentemente, conforme visto no teorema de Cover [17], e de acordo com o formalismo apresentado em Haykin [11], tais Redes

poderiam ser utilizadas nas tarefas de Reconhecimento e Classificação de Padrões.

A literatura da área de sistemas connexionistas, implementados em hardware, mostra que as redes neurais tipo RBFs são um dos paradigmas de RNAs mais explorados para implementação eficiente em VLSI. Uma vez implementadas em hardware, qualificado espacialmente, as redes do tipo RBFs são possíveis candidatas, para implementação eficiente de Sistemas Conexionistas, a serem embarcadas em artefatos espaciais.

Uma das mais recentes implementações, de chip neural tipo RBF, é denominada ZISC78. Este chip explora as novas tecnologias de FPGA (do inglês Field Programmable Gate Arrays) e ASIC (do inglês Application Specific Integrated Circuits), sob implementações tipo ZISC (Zero Instruction Set Computer) [18,19].

Esta nova tecnologia ZISC, denominada ZISC78, permite integrar 78 neurônios em cada chip. Segundo as especificações do fabricante [18], cada um destes chips pode avaliar 500,000 vetores por segundo (limite de pico), sobre o reconhecimento de 16382 categorias. Isto equivale a um processamento de 8.6 GIPS, quando executando numa RNA tipo RBF a um *clock* de 33 MHz.

## 3. Sistema proposto

O protótipo ou Modelo Breadboard [15] do sistema proposto, conforme apresentado na Figura 1, é um equipamento que pode ser dividido em quatro módulos a seguir: o Módulo I é composto pela Interface de Aquisição e pela adaptação de um Conjunto de Sensores similar ao usado no Satélite CBERS como, por exemplo, o conjunto apresentado na Tabela 1.

Os Módulos II, III e IV são constituídos, respectivamente, por uma Interface Inteligente<sup>II</sup> (implementada em FPGA ou via CPU dedicada), por um GPS<sup>III</sup> e pelo Computador Neural<sup>IV</sup>.

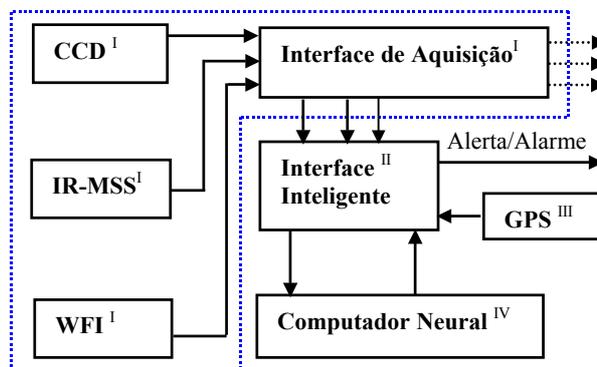


Figura 1. Diagrama dos Subsistemas.

A Interface Inteligente implementa um Sistema Especialista-SE adaptado do trabalho apresentado em Ferreira et al. [2], no entanto, este SE deverá coordenar a aquisição e *pré-processamento* (ex.: cálculos sobre

georeferência e correções geométricas e radiométricas dentre outros) executado sobre os dados provenientes do Conjunto de Sensores e do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Portanto, em tempo de aquisição e análise dos dados, o SE, implementado por regras específicas, deverá avaliar os padrões reconhecidos e emitir a certificação de alarme ou alerta sobre os diversos eventos de interesse.

Tabela 1. Conjunto de Sensores do CBERS.

Especificações	CCD	IR-MSS	WFI
Bandas Espectrais (mm)	0,51-0,73 pan: 0,45-0,52 0,52-0,59 0,63-0,69 0,77-0,89	0,50-1,10 pan: 1,55-1,75 2,08-2,35 10,40,12,50	0,63-0,69 0,76-0,90
Visada	8,3°	8.8°	60°
Resolução (m)	20	80 (pan e IV)	260
Faixa imageada	113 Km	120 Km	890 Km

O Computador Neural é implementado por um conjunto de RNAs, tipo RBF, as quais são ativadas por um firmware tipo FPGA. Para redução de custos de desenvolvimento, numa primeira avaliação do protótipo, cada canal de sensor alimentará um módulo tipo MUREN [19].

O módulo GPS será usado para auxiliar na geração de referência aproximada de coordenadas, para obtenção de *georeferências* [20]. Isto deverá simplificar as inferências do SE, quando comparado ao sistema proposto em Ferreira et al. [2]. Pois, além de auxiliar a navegação autônoma, o GPS pode fornecer pontos de referência (ex. nadir) ao SE, o qual via projeções de visada sobre o alvo, pode inferir a localização aproximada onde ocorrem possíveis catástrofes ou eventos de interesse.

Conforme pode ser observado na Figura 1, o fluxo de dados é compartilhado entre o *barramento* de comunicação e a Interface Inteligente. Isto é, inicialmente, a Interface de Aquisição realiza a amostragem dos sensores e envia os dados, para a Interface Inteligente e para o *barramento de comunicação* do satélite. Detalhes sobre satélites de Sensoriamento Remoto podem ser obtidos em Novo [20].

O empacotamento dos dados, a serem armazenados e/ou enviados as estações de tratamento em terra, é realizado por um sistema semelhante ao implementado nos satélites da série CBERS, como observado na região demarcada em azul na Figura 1.

Nesta proposta, além de alimentar o *sistema de comunicação* do satélite [20], os dados também são submetidos à Interface Inteligente e, também, ao Computador Neural. Estes dois últimos dispositivos operam continuamente analisando todas as imagens que estão trafegando pelo Módulo de Aquisição, na busca

de *assinatura espectral* (padrão específico) correspondente as regiões de fogo.

No modelo proposto, independente da tecnologia conexcionista, o Computador Neural será responsável pelo *casamento de padrões* propriamente dito (do inglês *template matching*), e deverá ser embarcado com um treinamento *básico* (treinamento realizado em terra) sobre *fusão de sensores* para detecção de queimadas e poluição ambiental.

Além do treinamento inicial, outros possíveis treinamentos em vô também podem ser realizados. São treinamentos sob novas condições prioritárias, não previstas em tempo de aquisição de conhecimento ainda em terra. Portanto, surgem possibilidades de atualização de novos parâmetros importantes, sobre padrões específicos, os quais possam ser detectados durante a vida útil do Satélite.

Para realização das tarefas de reconhecimento e classificação de padrões, propõe-se a adoção de tecnologia de hardware de sistema *conexcionista* de alta performance, por exemplo, usando-se a tecnologia do tipo ZISC. No entanto, a tecnologia para implementar as RNAs em hardware/firmware deverá ser passível de qualificação espacial.

O Computador Neural, para os Modelos de Qualificação e de Vô, será composto por vários processadores neurais independentes, utilizando-se a tecnologia *hard-bulk-CMOS*, de acordo com o número de canais do conjunto de sensores, e respeitando-se as normas de redundância e confiabilidade aplicadas aos sistemas espaciais embarcados [15,16].

A proposta envolve três aspectos críticos, sobre a introdução da tecnologia de processamento simbólico-conexcionista embarcado. O primeiro concerne à interface entre módulos e as tarefas sobre “fusão de sensores”, isto é, a análise simultânea de informações provenientes de diferentes sensores.

O segundo ponto está relacionado à qualificação espacial de novos sistemas conexcionistas, constituídos pela adoção da tecnologia de FPGAs e/ou ASIC. O terceiro, não menos complexo, está relacionado às tarefas de Reconhecimento de Padrões em tempo real, sob diversas condições de automação das tarefas de *classificação de imagens* e respectiva *inferência* sobre padrões específicos.

Este último aspecto é concernente ao problema de *registro e reconhecimento temático* (ex.: obtenção de georeferência e reconhecimento de padrões considerando-se temas específicos), e deverá ser solucionado pelo SE acoplado a um GPS. Esta abordagem deverá permitir também novas possibilidades sobre o registro de eventos, pois a geração de coordenadas, via GPS, é útil para auxiliar na localização geográfica do evento sob alerta.

#### 4. Desenvolvimento do conhecimento simbólico-conexcionista

O desenvolvimento e testes preliminares, do sistema proposto, serão executados através de simuladores dos subsistemas I, II e III. Alguns detalhes sobre simuladores de conjunto de sensores podem ser encontrados em Espósito et. al. [21].

O sistema conexionista proposto utilizará *aprendizagem* através de simulação de situações realistas, sob condições de imagens reais, de cenas gravadas pelos sensores da série CBERS, e, também de experimentos contendo imagens de sensores com características similares e sob condições de voo e “órbita” semelhantes.

Os dados contendo padrões específicos, dos fenômenos de interesse, podem ser obtidos via experimentos de Sensoriamento Remoto, utilizando-se aeronaves ou outros satélites. No entanto, também serão consideradas imagens contendo “cenas *artificiais* de fogo”, sintetizadas por *realidade virtual*, com o objetivo de antecipar uma coleção maior de possíveis padrões de referência.

Para avaliar o potencial desta abordagem, foram realizados alguns experimentos via imagens de Sensoriamento Remoto, adquiridas pelo Sistema AVIRIS [22], sobre o fenômeno de queimada registrado na região de Cuiabá (Cuiabá-MT, Brasil, 1995). Neste exemplo, as imagens foram processadas por um hardware neural baseado na tecnologia ZISC [18].

As imagens aqui usadas, para um primeiro experimento, não representam a realidade dos dados, quando em tempo de aquisição no satélite, no entanto, o exemplo abaixo, Figuras 2 e 3, ilustra a detecção de nove *manchas quentes* (do inglês Hot-Spot), via um sistema conexionista, implementado num processador tipo MUREN [19].

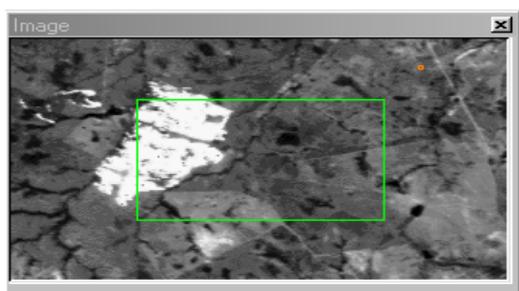


Figura 2. Imagem de entrada.

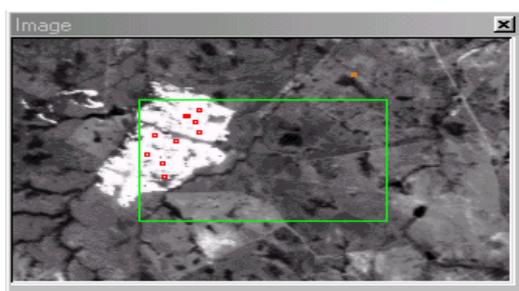


Figura 3. Padrões detectados.

Neste experimento, têm-se como alvos às regiões mais quentes. Na Figura 2, observa-se a imagem a ser processada, onde pode ser observada a área de detecção (*janela verde*), e, também, uma pequena *janela laranja* usada apenas como *marcador* de padrões de amostragem.

A RNA é do tipo RBF, e usa 9 neurônios na camada de entrada e apenas 6 (seis) neurônios na camada oculta, dos 156 disponíveis, responsáveis pelo armazenamento (*aprendizagem*) dos *campos de categorias*. Durante o processo de aprendizagem foram gastos 11 ciclos, incluindo os contra-exemplos.

A Figura 3 apresenta o resultado da detecção (*janelas vermelhas*). A *janela laranja*, fora da área de detecção (*janela maior em verde*), representa apenas um exemplo da janela de amostragem, portanto, sem valor durante o processo de ativação ou *detecção*.

Por outro lado, serão consideradas outras possibilidades de testes realistas, tais como: uma nova Missão na ISS (do inglês International Space Station) semelhante ao proposto no projeto FOCUS [9], pois o experimento poderia contemplar mais uma carga útil, para introdução, na ISS, de um artefato experimental sobre *alerta automático, referente a possíveis catástrofes e poluição ambiental, próximo ao tempo real*.

A estratégia a ser adotada, na *busca de focos de atenção* (possíveis focos de fogo), será a fusão de sensores planejada de acordo com os *registros temáticos* (ex.: georeferência sobre os pontos de interesse de monitoração), atualizados pelos dados de alerta gerados pela constelação de satélites do sistema NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Portando, as várias técnicas de detecção de queimadas já existentes serão consideradas, para subsidiar a fusão de sensores sobre a validação de alarmes ou alertas, pois não necessariamente todas as *regiões quentes* são fenômenos de queimadas. No entanto, futuros sistemas como, por exemplo, a rede FUEGO [10], ou novas gerações do BIRD [8], também serão consideradas para o aprimoramento da *aprendizagem* do sistema.

Numa primeira abordagem, a estratégia para validação ou certificação de alerta, será uma adaptação da estratégia empregada no projeto BIRD [8], mas será sintonizada por dados obtida via os algoritmos usados no sistema NOAA como, por exemplo, o apresentado em Flasse e Ceccato [23].

A heurística de fusão de sensores, a ser implementada nas regras do SE, será planejada considerando-se uma adaptação da estratégia adotada no projeto BIRD. No entanto, diferente da estratégia adotada no satélite BIRD, uma nova estratégia, inspirada numa abordagem semelhante à apresentada por Vodacek [24] e Vodacek et al. [25], considera os dados do sensor com Banda Espectral entre 0,76-0,90 nm, sem descartar outras variações, as quais poderiam

ser utilizadas para auxiliar na *validação* dos possíveis focos de fogo.

Por outro lado, outras estratégias contemplando a especificação de novos sensores, aplicados a determinados *registros temáticos*, serão analisadas. Pois, estes registros são importantes para georeferenciar às várias regiões *normalmente mais quentes e/ou contendo determinado nível de poluição*, tendo-se em vista aumentar a acuidade e/ou sensibilidade das heurísticas de detecção e validação dos vários fenômenos sobre as áreas de interesse.

Portanto, diferente das estratégias adotadas no sistema NOAA e no sistema BIRD, espera-se que o sistema conexcionista, proposto neste trabalho, também *aprenda* o conhecimento específico, das regiões brasileiras, como parte do processo do *treinamento conexcionista*, principalmente durante a vida útil do satélite. Isto é, a presente abordagem também deverá ser útil para complementar o conhecimento do território nacional fornecido ainda em terra.

## 5. Comentários e perspectivas

Este projeto visa disponibilizar a tecnologia necessária às pesquisas e desenvolvimento da área de Processamento Inteligente de Sinais, e, também, deverá suportar a construção de novos Sistemas Imageadores embarcados, integrados a tecnologia de Reconhecimento de Padrões em tempo real. Portanto, espera-se propiciar alguma autonomia sobre as operações de monitoramento e alerta via Sensoriamento Remoto.

Numa primeira abordagem, o sistema proposto utilizará as implementações de chips conexcionistas comerciais. No entanto, além de ampliar o uso dos dispositivos de *carga útil* das séries de satélites CBERS e SSR, esta proposta aproveitará toda a tecnologia de navegação, via GPS embarcado, aplicada ao Satélite Tecnológico-SATEC em desenvolvimento no INPE.

Numa segunda etapa, outros sensores poderiam contemplar, além de maior resolução, outras variações de bandas espectrais (ex: próximo ao visível ou infravermelho), e, também, mais um conjunto de CCDs, para obtenção de visão estéreo em tempo real.

Por outro lado, também serão considerados novos desenvolvimentos conexcionistas como, por exemplo, uma possível versão, em firmware, do paradigma de Rede Morfológica Não Supervisionada-RMNS desenvolvido no INPE [26].

A presente proposta motiva também à utilização de outros tipos de sensores, via dispositivos ativos (ex: radar), junto ao Processamento Inteligente Embarcado. Pois, a propriedade adaptativa, inerente aos Sistemas Conexcionistas, permite o desenvolvimento de outras missões como, por exemplo, a detecção e acompanhamento de alvos tipo vórtices, e, também, de manchas de petróleo lançado ao mar.

Um sistema completo, aplicado ao monitoramento ambiental, poderia ser implementado via uma

Constelação de Satélites dedicados. No entanto, possíveis aplicações em Sondas Espaciais, Plataformas Orbitais ou em Aeronaves de Reconhecimento, também serão consideradas. Por exemplo: Sistemas inteligentes embarcados em aeronaves não tripuladas, para reconhecimento e avaliação, em tempo real, de áreas consideradas estratégicas.

## Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Ceará-UFC pela infra-estrutura acadêmica. A DSR-OBT-INPE por ter fornecido as Imagens para os experimentos preliminares, e a Silicon Recognition, Inc, por ter cedido gentilmente o hardware neural e todas as informações sobre a tecnologia ZISC.

## Referências

- [1] Silva, F. A. T. F.; Oliveira, C. A.; Bittencourt, G. Uma representação de conhecimento para processamento e interpretação de imagens. *Jornada EPUSP/IEEE em Computação Visual*. São Paulo-SP, p. 165-176, 1990.
- [2] Ferreira, S.; Sandri S. e Silva, F. A. T. F. Um modelo híbrido para o reconhecimento e interpretação das relações entre os objetos em uma cena. *Congresso Brasileiro de Automática*. Uberlândia - MG: v.cd., p.1-6, 1998.
- [3] Rempel, E. L., Silva, F. A. T. F. Reconhecimento de padrões invariante a rotação utilizando uma rede neural morfológica não supervisionada. *V Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, Rio de Janeiro-RJ: v.cd., p. 109-112, 2001.
- [4] Silva, F. A. T. F. e Bittencourt, G. Uma representação de conhecimento para a interpretação de imagens de fenômenos meteorológicos. *VIII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*. Brasília-DF, p. 83-88, 1991.
- [5] Minsky, M. *A Framework for Representing Knowledge*. In: *The Psychology of Computer Vision*, P. Winston (ed), McGraw-Hill, New York, p. 211-277, 1975.
- [6] Kosko, B. and S. Haykin. *Intelligent Signal Processing*, IEEE Press and John Wiley & Sons, USA, 576 p. 2001.
- [7] Kosko, B. *Neural networks for signal processing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, USA, 382 p. 1992.
- [8] Brieß, K., Bärwald, W., Gerlich, T., Jahn, H., Lura, F., Studemund, H. The DLR Small Satellite Mission BIRD. *International Academy of Astronautics Journal*, Vol. 46, No. 2-6, p. 111-120, 2000.
- [9] Oertel, D.; Tank V.; Haschberger, P.; Zhukov, B.; Jahn, H.; Briess, K.; Knuth, R.; Lorenz, E.; v. Schoenermark, M. FOCUS: Environmental Disaster Recognition System, *ESA Symposium Proceedings on Space Station Utilisation*, ESOC, Darmstadt, Germany, p. 593-598, 1996.
- [10] Escorial, D.; Tourne, I. F.; Reina, F. J. FUEGO: A dedicated constellation of small satellites to detect and monitor forest fires. *3rd IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation*, Sec. B-601, Berlin, Germany, 2001. 4p.
- [11] Haykin, S. *Redes Neurais: Princípios e prática*, 2ª Ed., Bookman, Porto Alegre, RS, 2000. 900 p.
- [12] Soucek, B. *Neural and intelligent systems integration*. New York: Willey, 1991. 385 p.
- [13] Morgan. D. P.; Scofield, C. L. *Neural networks and speech processing*, New York: Academic, 1994. 383 p.

- [14] Simpson, P. K. *Artificial neural systems: foundations, paradigms, applications, and implementations*. Oxford: Pergamon Press, 1990. 207 p.
- [15] Laborde, B. Command and Data Handling On-board Satellites. *CNES*, Toulouse, p. 390-400, 1983.
- [16] Martin, J. *Communications Satellite Systems*, Prentice-Hall, New Jersey, p. 90-98, 1978.
- [17] Cover, T. M. Geometrical and statistical properties for systems of linear inequalities with applications in pattern recognition, *IEEE Transactions on Electronic Computers*, vol. EC-14, p. 326-334, 1965.
- [18] ZISC Manual. *Silicon Recognition*, Version 3.3, Petaluma-CA, 2002. 54 p.
- [19] MUREN Manual. *Silicon Recognition*, Version 3.3, Petaluma-CA, 2002. 39 p.
- [20] Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição, S. Paulo, Brasil, 308p. 1998.
- [21] Esposito, E. S. C.; Krug, T.; Green, R. O. Simulação das bandas espectrais das camaras CCD e WFI (CBERS), geradas a partir das imagens do sensor hiperespectral AVIRIS. *IX-Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos-SP, Publicação INPE-6948-PRE/2910, 1998. 12 p.
- [22] Vane, G, M. Crisp, H. Enmark, S. Macenka, and J. Solomon. Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS): an advanced tool for earth remote sensing. In: *Proceedings on International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, SP215, IEEE, New York, p. 751-757, 1984.
- [23] Flasse S. P. and Ceccato P. A contextual algorithm for AVHRR fire detection. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, No. 2, p. 419-424, 1996.
- [24] Vodacek, A. Environmental Applications of Remote Sensing. *Informatik: Sustainable Information Society*, No. 4, Zurich, p. 21-26, 2000.
- [25] Vodacek, A.; Kremens, R.; Fordham, A.; Vangorden, S.; Luisi, D.; Schott, J.R., and Latham, D. Remote optical detection of biomass burning using a potassium emission signature. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, p. 2721-2726 2001.
- [26] Silva, F.A.T.F.; Banon, G.J.F. Rede Morfológica Não Supervisionada-RMNS. *IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, ITA, São José dos Campos-Brasil: v.cd., p. 400-405, 1999.