

Automação de procedimentos fotointerpretativos através da classificação orientada a segmentos

Carlos Alberto Pires de Castro Filho^{1,2}
Fabiana Silva Pires de Castro^{1,3}

¹ Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça Gen Tibúrcio, 80, Urca – 22290-270 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

² 1ª Divisão de Levantamento – DSG/1ª DL
Rua Cleveland, 250, Menino Deus - 90850-240 – Porto Alegre - RS, Brasil
pires@1dl.com.br

³ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências – Coordenação de Cartografia
Unidade Estadual do Rio Grande do Sul
Av. Augusto de Carvalho 1205, Praia de Belas – 90010-390 – Porto Alegre – RS, Brasil
fabianasp@ibge.gov.br

Abstract. With the age of high resolution orbital images, new processing methods and methodologies for information extraction were developed. Amongst the new features, the object-oriented classification obtains cartographic objects as a result of its process, presenting graphical representations of the land elements together with its attributes. In such a way, the object-oriented classification, besides being a new technique of image processing, it possess throughout its methodology similar steps to the ones used in the traditional visual image interpretation procedures, being, however, done automatically. The present article describes a comparison between the steps involved in the object-oriented classification method and the visual ones, usually applied on aerial photographs and described by Anderson (1982). Adding to this, it concluded that, although the automatized method showed advantages comparing to the visual one, in both cases the technician knowledge of the land aspects is indispensable.

Palavras-chave: remote sensing, image interpretation, object-oriented classification, sensoriamento remoto, interpretação de imagens, classificação orientada a objetos.

1. Introdução

A era das imagens orbitais de alta resolução espacial abriu novas possibilidades para identificação e extração de informações do terreno, devido ao maior detalhamento dos elementos presentes na imagem. As características geométricas dessas novas imagens são constantemente avaliadas, analisando os possíveis usos desses dados de sensores remotos orbitais para apoio a projetos de mapeamento e de planejamento territorial. Juntamente com a análise geométrica das imagens de alta resolução, faz-se necessárias também suas avaliações com relação à potencialidade ou resolução temática, isto é, a capacidade do usuário de poder identificar padrões em imagens (Carper et al., 1990 apud Antunes, 2000).

Através de procedimentos fotointerpretativos é possível analisar padrões em imagens orbitais, como também em fotografias aéreas - analógicas ou digitais - referentes a cor, textura, forma, contexto, entre outros, e identificar visualmente ou automaticamente, elementos do terreno que poderão ser extraídos como informação. Para que os procedimentos fotointerpretativos sejam realizados com maior precisão e confiabilidade, técnicas de processamento digital de imagens são plenamente utilizadas, realçando os elementos do terreno existentes naquela cena. A escolha da melhor técnica de processamento a ser utilizada depende diretamente das características do dado a ser processado e das feições que se

pretende identificar. Entretanto, observa-se que, independentemente da técnica, o dado de entrada, como também o de saída a um processamento digital de imagens, é um arquivo matricial, ao qual, posteriormente, deverão ser realizados procedimentos fotointerpretativos para que informações possam ser extraídas.

Dentre os tipos de processamento de imagens digitais, a classificação pixel-a-pixel, desenvolvida na década de 70, é plenamente utilizada em imagens de baixa e média resolução espacial, associando cada um de seus pixels a uma determinada classe e distinguindo diferentes elementos em uma imagem orbital (Schowengerdt, 1997). Porém, trabalhos como os de Nishida (1998), Blaschke e Strobl (2001) e Pinho et al. (2005) demonstram que, no caso de imagens de alta resolução, a classificação orientada a segmentos é a mais indicada e promissora, já que leva em conta para identificar as classes não somente a resposta espectral dos alvos, mas também suas variantes geométricas e topológicas. Isso se dá pelo fato de que, em uma imagem de alta resolução espacial, um elemento do terreno é identificado pela união de vários pixels adjacentes - obtendo assim formas e dimensões distintas - diferentemente das imagens de média e baixa resolução, onde um pixel representa a resposta espectral de vários elementos. A classificação orientada a segmentos é descrita na seção 2 do presente artigo.

Diferentemente do que ocorre nas técnicas de processamento de imagens, o dado de saída da classificação orientada a segmentos são objetos cartográficos, isto é, representações gráficas das feições do terreno, possuidores de atributos e, no caso, de natureza planar, por ser oriunda de um segmento. Observa-se portanto que, apesar da classificação ser uma técnica clássica de processamento de imagens, a classificação orientada a segmentos possui características semelhantes às realizadas nos procedimentos fotointerpretativos, sendo, entretanto, realizada de forma automática.

O presente artigo tem como objetivo analisar as etapas da classificação orientada a segmentos, verificando analogias com as técnicas de interpretação de imagens. Para tal, será feita uma comparação entre a metodologia de classificação desenvolvida por Castro Filho (2006a) - e descritas na seção 2 deste trabalho - e os tradicionais procedimentos fotointerpretativos visuais usualmente aplicados sobre fotografias aéreas e descritos por Anderson (1982).

2. Processo de classificação orientada a segmentos

As etapas que compõe um processo de classificação orientada a segmentos (Castro Filho, 2006a) podem ser observadas na **Figura 1**. Nela, bandas de sensores orbitais são registradas (ou georreferenciadas), fundidas (composição multi-espectral com banda pancromática), segmentadas, pós-segmentadas e classificadas, obtendo assim o produto final.

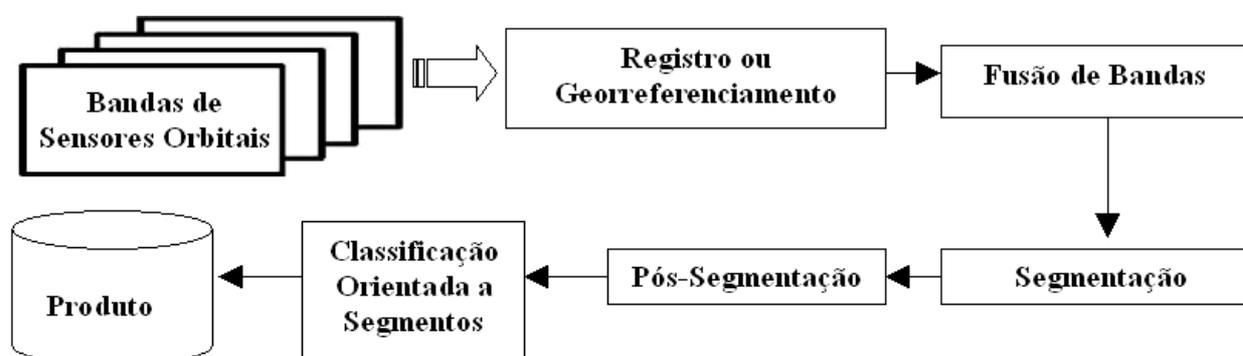


Figura 1 Etapas da classificação orientada a segmentos
(Fonte: Adaptado de Castro Filho, 2006a)

Após o registro e fusão das bandas, na fase de segmentação é realizada a união de vários pixels adjacentes e homogêneos espectralmente. Este processo computacional se baseia principalmente no reconhecimento de padrões dos níveis de cinza, fazendo com que a imagem seja dividida em diversas regiões homogêneas que passam a ser chamadas de segmentos. Tais segmentos são posteriormente classificados, podendo passar também pela etapa de pós-segmentação, onde serão editados para passarem a ter formas mais significativas, isto é, mais semelhantes às das feições. Os segmentos, por serem tratados como objetos, além de possuírem forma e dimensão específica, possuem também textura - em função das variações nos níveis de cinza de seus pixels - e relacionamentos topológicos entre si.

Estudos envolvendo a técnica de classificação orientada a segmentos em imagens de sensores orbitais ainda encontram-se em fase inicial. Atualmente no mercado existem poucos *softwares* capazes de realizar tal procedimento. Dentre estes, o eCognition, da empresa alemã Definiens Imaging, pode analisar simultaneamente parâmetros de forma, textura, relacionais (topológicos) e a resposta espectral de diversas classes, utilizando-se para isto a lógica *fuzzy* ou nebulosa. Esta lógica, diferentemente da booleana, “suporta os modos de raciocínio que são aproximados” (Yoshizawa et al., 2005), isto é, associa um determinado objeto a uma ou mais classes através de graus de pertinência, sendo bastante utilizada para classificar fenômenos e elementos de origens naturais. De acordo com Benz et al. (2004), o sistema de classificação *fuzzy* no eCognition possui necessariamente três diferentes etapas: “*fuzzificação*”; geração de base de regras *fuzzy*; e “*defuzzificação*”.

A “*fuzzificação*” descreve a forma como será feita a transição do sistema booleano para o sistema *fuzzy*. Nesta transição são definidas as funções de associação para as classes e os graus de associação são estabelecidos entre 0 e 1.

Após a “*fuzzificação*” inicia-se a etapa de geração de base de regras *fuzzy*. “A base de regras *fuzzy* é uma combinação de regras *fuzzy* para diferentes conjuntos” (Benz et al. 2004) e deve definir uma única classe. As regras *fuzzy* são baseadas na lógica do “SE-ENTÃO”, combinando, através dos operadores *fuzzy*, os diversos conjuntos aos quais pode estar submetido um único elemento, não possuindo, entretanto, conjuntos que se sobrepõem. Nesta etapa a classificação *fuzzy* propriamente dita é realizada e, após a verificação dos seus resultados, pode-se validar a base de regras *fuzzy* criadas para cada classe, através da análise dos valores de ambigüidade resultantes.

Finalizando o sistema de classificação *fuzzy*, a “*defuzzificação*” é uma etapa que é definida como essencial para que a classificação resultante de uma imagem possa ser representada graficamente. Nesta etapa são traduzidos os resultados obtidos das operações *fuzzy* para valores booleanos, associando os elementos à classe onde obteve maior grau de pertinência.

3. Classificação orientada a segmentos X Procedimentos fotointerpretativos visuais

De acordo com a Sociedade Americana de Fotogrametria (1960 apud Moreira, 2001) a fotointerpretação é “o ato de examinar imagens fotográficas com o objetivo de identificar objetos”. Segundo Gonzalez & Woods (2000), a fotointerpretação automática de imagens é realizada unicamente pelo computador, sendo uma das principais metas a de dotar aquela máquina com a capacidade de simular as etapas realizadas por seres humanos, isto é, de simular os procedimentos fotointerpretativos visuais.

Anderson (1982) afirma que os processos fotointerpretativos, ou simplesmente fotointerpretação, são compostos pelos seguintes estágios: detecção; reconhecimento e identificação; análise e delimitação; dedução; e classificação e idealização. Tais etapas são semelhantes às apresentadas por Moreira (2001), o qual resume as mesmas à fotoleitura -

relativa às etapas de detecção, reconhecimento e identificação, fotoanálise - etapa de análise ou delimitação da imagem e fotointerpretação - relativo às etapas de dedução e classificação.

Na **Figura 2** observa-se a analogia feita entre as etapas descritas por Anderson (1982) e as da metodologia apontada na **Figura 1**, a qual será tratada como sendo etapas de um procedimento fotointerpretativo automático.

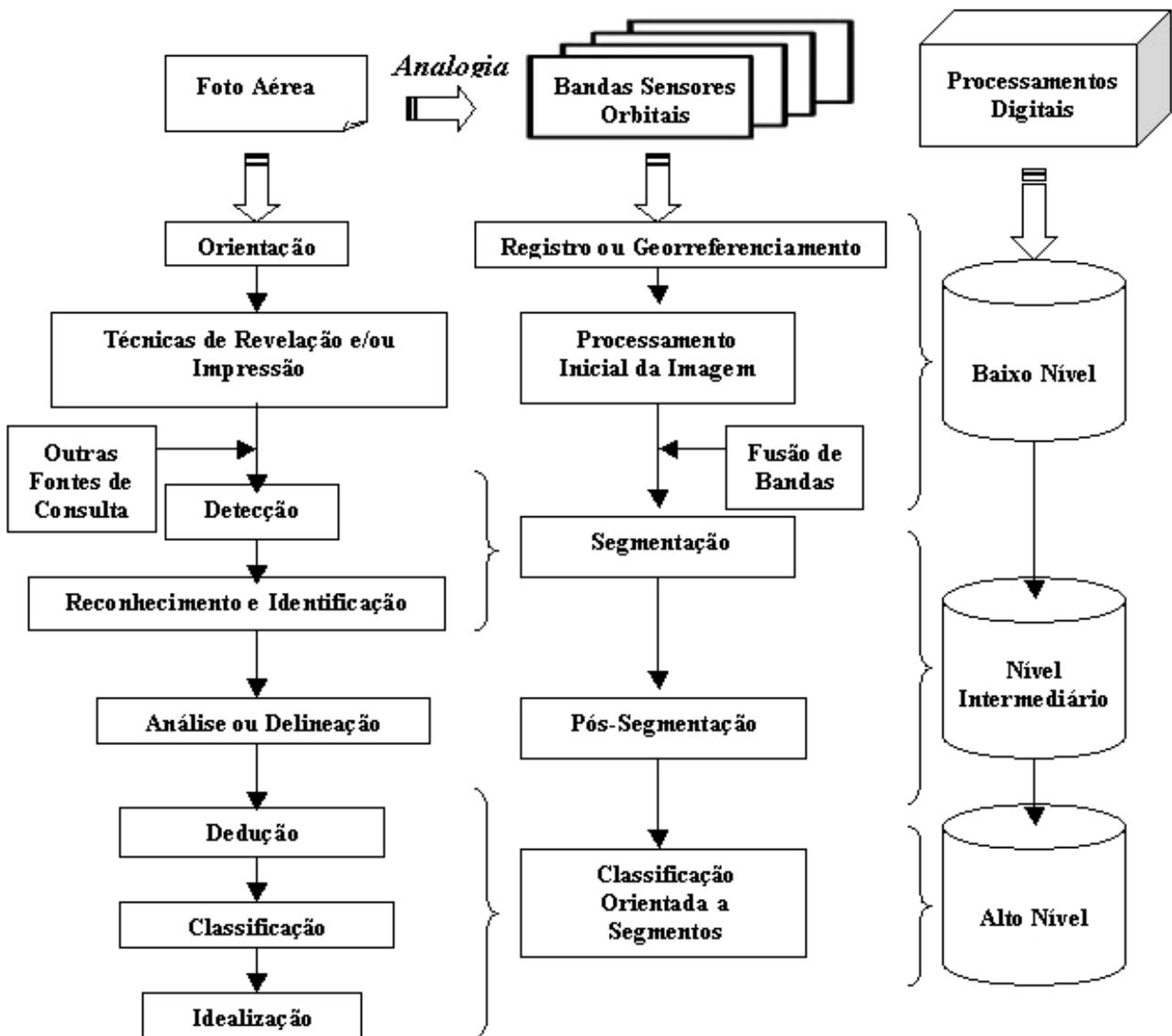


Figura 2 Analogia entre procedimentos fotointerpretativos visuais e automáticos (Fonte: Adaptado de Castro Filho, 2006b)

Iniciando o processo, observa-se que a etapa de orientação de uma fotografia aérea é equivalente a de registro ou georreferenciamento das bandas de uma imagem, já que em ambos os casos pretende-se orientar aquele dado ao terreno.

De forma equivalente são aplicadas as técnicas de revelação e/ou impressão das fotografias e de processamento inicial da imagem, buscando realçar aqueles dados para que os detalhes dos mesmos sejam melhor visualizados pelo usuário. Para efeito deste trabalho, entende-se como “processamento inicial da imagem” as técnicas de aplicação de filtros e ajustes dos histogramas de cada banda oriunda dos sensores orbitais.

Na etapa de utilização de outras fontes de dados para apoio aos procedimentos fotointerpretativos – que servem como apoio em todas as etapas seguintes – são observados documentos cartográficos e/ou imagens da mesma região em trabalho, porém obtidas através de metodologias alternativas, em projetos distintos ou em órgãos e/ou instituições diferentes. Tal etapa é equivalente a de fusão de dados, onde também são utilizados dados de fontes diferentes – bandas de sensores com maiores resoluções as quais serão fundidas com os dados iniciais – em todas as etapas seguintes do procedimento automático. Observa-se que tanto a etapa de utilização de outras fontes quanto à de fusão de bandas não são essenciais aos procedimentos fotointerpretativos. Tais dados, por serem complementares, foram inseridos paralelamente ao fluxograma da **Figura 2**.

No estágio de detecção, o ser humano olha para a imagem e seleciona o objeto de acordo com a sua importância, o que varia de acordo com sua visibilidade. Tal visibilidade depende de fatores técnicos da imagem tais como a resolução espacial, radiométrica e espectral, além também da escala de trabalho (Anderson, 1982). Este estágio é equivalente ao da definição dos parâmetros de segmentação de acordo com os objetos observáveis na imagem, os quais também dependem das características técnicas da imagem e da escala de trabalho.

No reconhecimento e identificação, também chamado de fotoleitura, é realizada a relação de objetos claramente visíveis na imagem, reconhecendo feições na paisagem sem identificá-las nem classificá-las (Dainelli, 1990 apud Moreira, 2001). Tal etapa é semelhante à fase de segmentação e à sua análise.

Durante a análise ou delimitação da imagem (divisão de classes), as linhas de delimitação são traçadas separando os grupos de objetos, de elementos ou segmentos que tem uma individualidade identificável na fotointerpretação. A “individualidade” do objeto é estabelecida, mas a “identidade” só ocorre na classificação (Anderson, 1982). Nos procedimentos fotointerpretativos automáticos esta etapa ocorre na pós-segmentação, onde os objetos são editados para representarem determinadas feições.

Na dedução são verificadas as características ou fatores - ou evidências - observáveis na imagem que possuem correlações com uma determinada classe, fazendo com que objetos venham a convergir para ela. São utilizados conhecimentos técnicos - critérios presentes na mente do fotointérprete – e experiências de trabalhos de campo para que se separe os objetos em função de seus padrões (Moreira, 2001). Tal etapa se assemelha à geração de rotinas *fuzzy*, primeira fase da etapa de classificação orientada a segmentos.

A classificação se baseia na comparação entre as superfícies a serem classificadas, estabelecendo a “identidade” delas. Para objetos visíveis será feita com base nas características observadas daquele objeto; para objetos não muito visíveis, será feita em termos das características visíveis. Em ambos os casos é feita sobre “observações classificatórias”. Dois objetos nunca são idênticos, portanto busca-se classificá-los agrupando-os de acordo com seus aspectos mais característicos, sendo seus demais aspectos simplesmente desprezados (Anderson, 1982). A interpretação deve ser feita primeiramente no campo e, somente após isto - onde se adquire conhecimento das classes, se realiza a classificação final. Tal etapa se assemelha à aplicação de rotinas *fuzzy* – segunda fase da classificação orientada a segmentos – onde também é necessário o conhecimento do operador para que seja realizada e onde a classificação propriamente dita também é aplicada.

Na última etapa, idealizar é traçar uma linha que é a “representação ideal” ou “padronizada” do que se vê na imagem, sendo as transições graduais representadas por uma linha no mapa (Anderson, 1982). Nesse ponto a natureza é, portanto, esquematizada por uma representação, sendo a decisão sobre aonde deve ser traçada a representação tomada por um especialista. Semelhante à “*defuzzyficação*”, neste momento retorna-se para a lógica

booleana, buscando um modo de representação gráfica e finalizando a classificação orientada a segmentos.

De acordo com Gonzalez & Woods (2000), a fotointerpretação realizada pelo computador é dividida em processamento de baixo nível, de nível intermediário e de nível alto, os quais também estão ilustrados na **Figura 2**. O primeiro trata de etapas necessárias para que se possa visualizar - ou melhor visualizar - o conteúdo de uma imagem, tais como as de aquisição, pré-processamento, processamento inicial da imagem e fusão entre bandas. Tais etapas são realizadas automaticamente, sem que haja a inclusão de conhecimentos e a subjetividade oriunda do operador, sendo portanto chamadas de processamentos de baixo nível. Já, o processamento de nível intermediário realiza a extração e caracterização de componentes resultantes do processamento de baixo nível, equivalente a o que ocorre na segmentação e pós-segmentação de uma imagem. Por último, o processamento de alto nível envolve o reconhecimento e interpretação dos componentes extraídos no processo de nível intermediário, o qual está intimamente relacionado ao conhecimento do operador e à compreensão dos atributos descritores das classes, o que ocorre na classificação orientada a segmentos.

Gonzalez & Woods (2000) afirmam ainda que enquanto a maioria das técnicas usadas para o processamento de baixo nível e nível intermediário incluem um conjunto bem definido de formulações teóricas, o de alto nível inclui uma formulação de restrições e idealizações. Estas últimas possuem como objetivo o de reduzir a complexidade da tarefa de fotointerpretação a um nível tratável computacionalmente, isto é, ocorre de forma análoga aos procedimentos de traduções de características *fuzzy* de feições do mundo real para uma lógica booleana.

4. Conclusões

Através da análise realizada e ilustrada na **Figura 2** observa-se que as etapas da metodologia descrita na **Figura 1** possuem fases análogas às da fotointerpretação citadas por Anderson (1982) e Moreira (2001). De acordo com Dainelli (1990 apud Moreira, 2001) tal fato ocorre já que os produtos a serem fotointerpretados podem ser fotografias aéreas, imagens obtidas por sensores orbitais ou qualquer outro tipo de imagem advindo de sensores remotos. Apesar de tradicionalmente tratar-se a fotointerpretação como sendo a análise de fotos aéreas, os mesmos processos podem ser realizados analogamente para os outros produtos.

Apesar de análogos, Lillesand & Kiefer (1994) afirmam que os procedimentos fotointerpretativos visuais apresentam algumas desvantagens quando comparados com os automáticos. A fotointerpretação visual requer um longo trabalho intenso por parte do operador, o qual introduz subjetividade ao processo em função do seu conhecimento do terreno e da experiência que possui em realizar o mesmo. Soma-se a isto o fato das informações espectrais e radiométricas oferecidas pelas imagens não serem plenamente utilizadas, em função de limitações naturais do olho humano em discernir diferentes níveis de cinza.

Entretanto pôde-se observar que tanto no caso dos procedimentos fotointerpretativos visuais quanto na classificação orientada a segmentos – já sendo associada a um tipo de fotointerpretação automática – é necessário que se tenha conhecimento da área de trabalho e das respectivas feições pelo operador. O que difere, é o fato de que no processo automático o responsável pela geração das rotinas de classificação orientada a segmentos poderá ser uma equipe composta por diversos especialistas em diferentes áreas das ciências geográficas, otimizando aquele processo e ao mesmo tempo tornando-o mais complexo. Já os procedimentos fotointerpretativos visuais, por serem realizados por um único intérprete, além

de aumentar a subjetividade do processo, também se limita ao conhecimento de um único operador ou especialista.

Referências

- Anderson, P. S. **Fundamentos para Fotointerpretação**. Sociedade Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, 1982. 139 p. CDD 526.9823.
- Antunes, A. F. B. Resolução Temática de Imagem Híbrida Resultante da Fusão SPOT-LANDSAT. 2000. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 52 – dezembro de 2000, pág. 48-56, ISSN 0560-4613, 2000.
- Benz, U. C.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingerfelder, I.; Heynen., M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Vol 58, pág 239-258. 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs>>. Acesso em: 10 jul. 2005.
- Blaschke, T.; Strobl, J. **What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS**. 2001. *GeoBIT/GIS* 6: 12-17. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/documents/reference2001.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2005.
- Castro Filho, C. A. P. Análise Temática de Classificação Orientada a Segmentos para Apoio ao Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 07., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBRAC, 2006a.
- Castro Filho, C. A. P. **Metodologia de Classificação Orientada a Segmentos para Apoio ao Cadastro Urbano**. 2006. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2006b.
- Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Lewis Publishers. Denver, 1999. 180 p. ISBN 0873719867.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. Traduzido pela Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. Brasil, 2000. 509p. ISBN 85 212 0264 4.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. Madison. 1994. 750 p. ISBN G70.4.L54.
- Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1ª Edição. Editora do INPE. São José dos Campos, SP, 2001. 250 p.
- Nishida, W. **Uma Rede Neural Artificial Para Classificação de Imagens Multiespectrais de Sensoriamento Remoto**. 1998. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1998.
- Pinho, C. M. D.; Feitosa, F. F.; Kux, H. J. H. Classificação Automática de Cobertura do Solo Urbano em Imagens IKONOS: Comparação Entre a Abordagem Pixel-a-Pixel e a Orientada a Objetos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2005. p. 4217-4224. Repositório da URLib: <tid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.17.58>. Disponível em: <<http://mart.dpi.inpe.br/rep- /tid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.17.58>>. Acesso em: 30 out. 2006.
- Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing – Models and Methods for Image Processing**. Second Edition. Department of Electrical and Computer Engineering University of Arizona. Tucson, Arizona. Academic Press, 1997. 522p. ISBN 0 12 6289816
- Yoshizawa, C. J.; Salvadori, G.; Matos Jr, N. J. M. **Tipos de Lógicas Não Clássicas**. 2005. Disponível em: <<http://www.geocities.com/logicas2000/Log01.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2005.