

## **Metodologia de classificação em imagens de satélite de diferentes sensores e com uma única composição colorida para identificação de mudanças de uso do solo**

Rafael Walter de Albuquerque<sup>1</sup>

Mariana Giannotti<sup>1</sup>

Maurício George Miguel Jardini<sup>2</sup>

Luiz Roberto da Silva<sup>3</sup>

José Alberto Quintanilha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PTR - EPUSP)

Avenida Professor Almeida Prado, travessa 2 numero 83 – Edifício Paula Souza (Engenharia Civil) CEP 05508-010 - São Paulo – SP, Brasil

{r.w.albuquerque, mariana.giannotti}@gmail.com; jaquina@usp.br

<sup>2</sup>Fundação para o Desenvolvimento Técnico da Engenharia (FDTE)

Rua Padre Eugenio Lopes, 361 - Morumbi - Condomínio Cristal

CEP: 05615-010 - São Paulo – SP, Brasil

maruricio.jardini@gmail.com

<sup>3</sup>Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Capital: Av. Nossa Senhora do Sabará, 5312 Pedreira

CEP: 04447-011 São Paulo – SP, Brasil

luizroberto.silva@cesp.com.br

**Abstract.** Population growth has induced the occupation of areas that require environmental protection. Such places need constant monitoring, otherwise the quality of environment affect people's lives. That's the case of dams that are used as water resource to produce electric energy, they need to be preserved to keep providing an energy of quality to population. Some dams are constantly suffering with local human presence, such as buildings and fishing. In this cases satellite images are very useful for identifying points that new establishments are checked. The classification in two images of the same local that differ in the moment of time they were taken can provide where are the locals that new kinds of human activity are appearing. This work has the objective of developing a methodology of classification of two different sensor and time period satellite images that were provided in only one color composed band each. As the digital archives of the images were missing the values of the bands of the satellite sensor, the parameters of the classification method had to be tested by an empirical method. The methodology developed showed quite good results. The commission errors that appeared were mostly associated with the inappropriate registration of the two images, indicating the method potential. Therefore, methodologies of identifying change using high resolution images depends a lot in the registration process.

**Palavras-chave:** Environmental protection, monitoring, manager, dam, proteção ambiental, monitoramento, gestor, represa.

### **1. Introdução**

O processo de urbanização brasileiro, na segunda metade do século XX, conduziu à formação de 12 regiões metropolitanas e 37 aglomerações urbanas não-metropolitanas, que concentram 47% da população do país. Nas 12 áreas metropolitanas, residem 33,6% da população brasileira (52,7 milhões de habitantes), em extensos conglomerados que envolvem 200 municípios (Ipea/Unicamp-IE-Nesur/IBGE, 1999). Estes conglomerados, contudo, muitas vezes encontram-se em áreas que requerem proteção ambiental fixando-se em locais impróprios a processos de antropização.

Segundo Maximiliano (1996), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido usados por vários setores que tratam da questão ambiental na análise integrada dos dados do meio físico, consistindo em uma ferramenta importante para o assunto. Em um país de

dimensão continental como o Brasil, existe uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais. Neste cenário, os SIGs apresentam um enorme potencial de utilização (FELGUEIRAS e CÂMARA, 1993).

Juntamente ao SIG, outro recurso que auxilia o monitoramento e planejamento de ocupação do solo é o Sensoriamento Remoto (SR), que faz uso de imagens de satélite para se extrair informações acerca da superfície terrestre. As imagens de satélite geradas por sensores captam a reflectância de um ou mais elementos da cena (usualmente equivalente a um pixel da imagem) como sendo a integração das reflectâncias dos diversos alvos abrangidos por sua área imageada. Quando um sensor observa a cena, a radiância detectada é a integração de todos os objetos contidos no elemento de cena (Aguilar et al., 1999).

Dentre as diversas análises que podem ser feitas, via SR, e que auxiliam na questão ambiental, encontra-se o monitoramento da variação do montante de vegetação num dado local num determinado intervalo de tempo. Os índices de vegetação mais conhecidos, como o NDVI, que é o mais extensivamente usado (Jackson et al., 1983), podem ser aplicados em escala global, com resoluções espaciais e temporais mais acuradas possíveis dentro das características do instrumento e das propriedades das superfícies imageadas (Huete et al., 1988). Além disso, esses índices possuem estreita correlação com vários parâmetros biofísicos da vegetação, como índices de área foliar, biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética (Huete et al., 1988).

Além do monitoramento da variação da vegetação, o SR também auxilia na proteção de bacias hidrográficas e corpos hídricos. A caracterização do meio físico da bacia hidrográfica, com o intuito de levantar todas as áreas críticas do ponto de vista da manutenção da água, é condição básica para um planejamento bem sucedido da conservação e produção de água. Segundo Pereira (1973), *apud* Lima (1986), a conservação da água também depende da conservação de outros ecossistemas naturais.

A ocupação das margens dos corpos d'água e as modificações da cobertura e do uso das terras nas bacias afeta a qualidade das águas pelo aumento da carga de poluentes de origem difusa e pontual, como demonstrou Prado (2004). Esta autora evidenciou diferenças significativas nas contribuições dos braços dos rios Tietê e Piracicaba para o incremento do nível trófico da água da represa Barra Bonita no estado de São Paulo. Situação semelhante está ocorrendo na represa de Jaguari, localizada no município de Igaratá, ao nordeste do estado de São Paulo. A represa é base para atividades da Companhia Energética de São Paulo (CESP) e sua preservação está sendo cada vez mais ameaçada pela construção de novas residências e estímulo ao turismo.

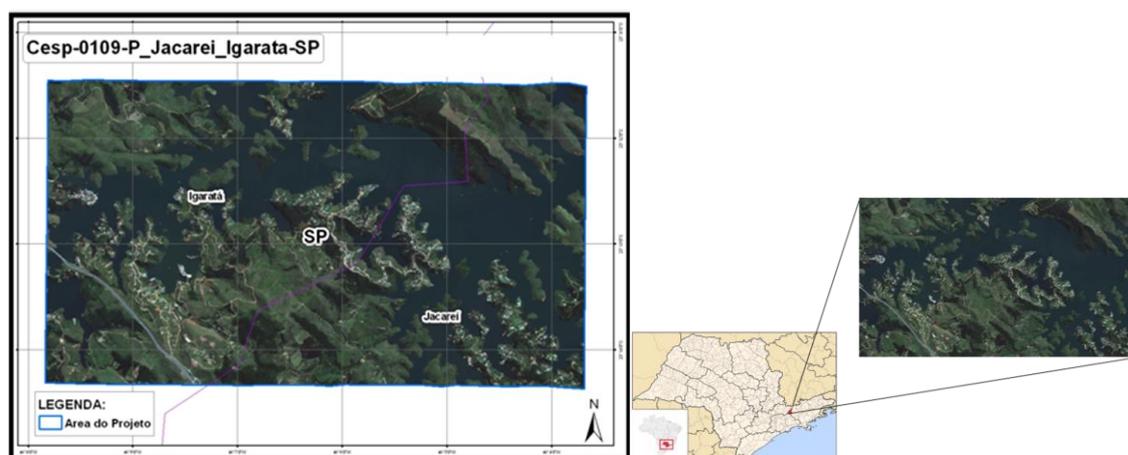
De acordo com Guimarães (2000), o mapeamento dos solos faz-se obrigatório em um estudo ambiental, à medida que tal análise requer o conhecimento da dinâmica natural de evolução do meio ambiente e de seu potencial de utilização. Segundo Eastman (1998), os sistemas de apoio à decisão são uma das mais importantes funções de um SIG e existem ferramentas desenhadas especialmente para este fim, como a utilizada neste trabalho.

Este trabalho tem o objetivo de gerar uma metodologia para a localização de pontos em que ocorrem mudanças de uso do solo a partir de imagens de sensores diferentes, utilizando como área de estudo a represa de Jaguari. Como a área deve ser ambientalmente protegida por se tratar de uma reserva aquífera, a localização de novas construções visa a informar ao gestor da represa sobre onde atuar para que novos empreendimentos sejam impedidos. O gestor deve atuar antes que as novas instalações sejam concluídas e impossibilitadas de serem retiradas dali.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo consiste na represa de Jaguari (Figura 1A), pertencente ao município de Igaratá, localizado a nordeste do estado de SP (Figura 1B), microrregião de São José dos

Campos. A cidade de Igaratá possui coordenadas Longitude: 46° 08' Oeste Latitude: 23° 12' Sul.



(A) (B)  
 Figura 1: (A) Represa de Jaguarí; (B)Localização do município de Igaratá, onde se encontra a represa.

Os materiais de estudo consistiram em duas imagens, ambas georreferenciadas e cada uma em um único arquivo de formato .TIFF de uma única banda de composição colorida, sendo uma de sensor QuickBird, ano 2009, e outra de sensor WorldView, ano 2010. O software utilizado foi o Erdas Imagine.

O Software Erdas inclui um módulo especialmente desenvolvido para auxiliar no processo de detecção de mudança de uso do solo e que foi utilizado neste trabalho; trata-se do módulo DeltaCue, que realiza classificação de duas imagens de uma mesma área e gera polígonos apenas nos locais em que detectou mudança na ocupação do solo. Esta concepção, além de facilitar visualmente ao usuário identificar os locais em que ocorreu mudança no uso do solo ao longo do tempo, ocupa menos memória do computador e agiliza o tempo de processamento dos dados. Esta economia de memória da máquina ocorre porque as áreas que permanecem com a mesma classe de uso do solo simplesmente não são processadas.

Para gerar as classificações, inicialmente foi feito um balanceamento das imagens, pois as mesmas provêm de sensores diferentes. Em seguida, foi verificado se as duas imagens são sobrepostas, sendo que o registro automático é uma das opções que o próprio DeltaCue oferece.

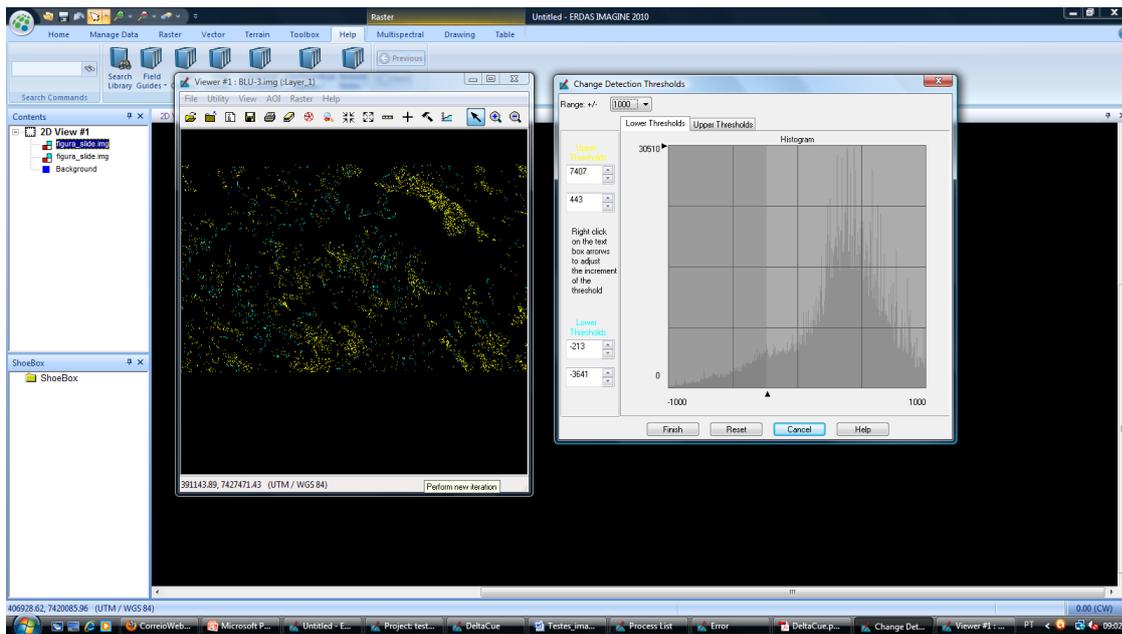
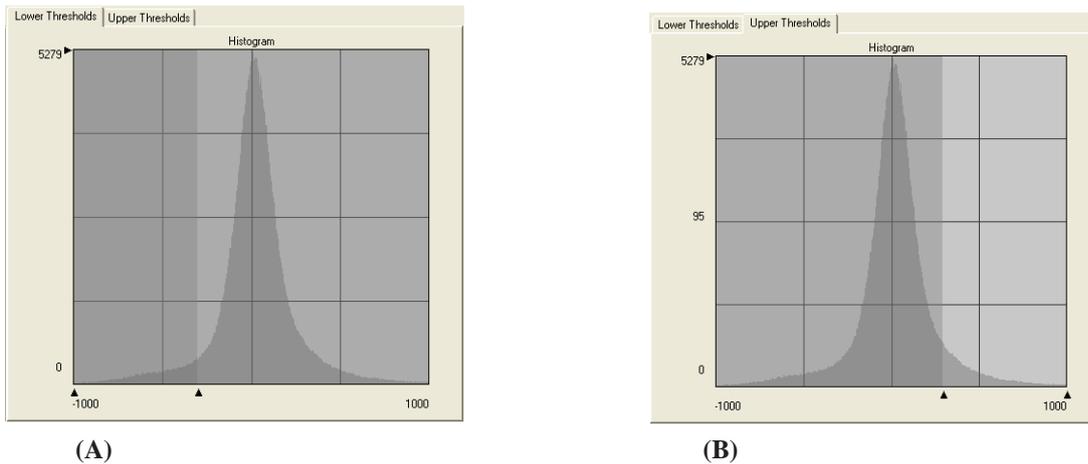
Os parâmetros de classificação fornecidos pelo DeltaCue são o algoritmo a ser escolhido (bem como se o mesmo deve apresentar segmentação espectral), os parâmetros do filtro espacial, caso seja necessário o seu uso, e se deve ou não ocorrer correção automática de registro (em caso positivo, a correção automática de registro de imagens abrange uma área máxima de 11x11 pixels).

Além destes parâmetros que devem ser ajustados, o DeltaCue possui uma ferramenta chamada "Iterative Treshold", em que o usuário escolhe o intervalo quantitativo dos valores que devem ser diagnosticados como mudança de uso do solo. As diferenças entre o valor dos pixels das imagens apresentam diversos valores, devendo o usuário estabelecer o intervalo dos mesmos a qual serão associados à mudança da ocupação do solo. Definir este intervalo influencia diretamente na quantidade de itens que serão classificados como alteração na ocupação do solo, o que pode gerar diversos erros no resultado final caso este dado não seja bem estabelecido.

A operação (Z) realizada pelo DeltaCue não consiste em uma simples diferença entre o valor dos pixels das duas imagens (Pt1 e Pt2), mas sim na fórmula mostrada (Equação 1),

$$Z = (Pt2 - Pt1)/|Pt1| + (Pt2 - Pt1)/|Pt1|$$

em que os valores por ela gerados podem abranger o intervalo de -1000 a 1000, mostrados na Figura 2.



(C)  
 Figura 2: (A) Ajuste dos valores negativos: são incluídos os valores à esquerda do parâmetro estabelecido; (B) Ajuste dos valores positivos: são incluídos os valores à direita do parâmetro estabelecido; (C) Os valores coloridos (azul e amarelo) representam locais onde foi detectada mudança. A ausência de cor (fundo preto) significa que não houve mudança.

Já o filtro espacial tem a finalidade de identificar objetos com formato específico. O estabelecimento de valores como eixo maior e eixo menor podem exibir resultados com formas desejadas. Por exemplo, prédios possuem eixos de dimensões parecidas, enquanto que estradas possuem grande diferença de tamanho entre os eixos maior e menor.

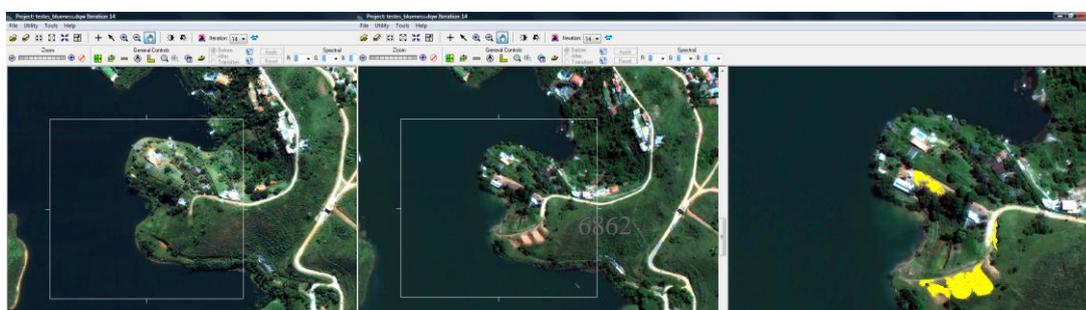
Realizaram-se então diversos testes para descobrir o algoritmo mais adequado, bem como os valores de seus parâmetros que geram os melhores resultados. A qualidade dos

resultados obtidos era avaliada visualmente, pois o módulo DeltaCue dispõe os resultados de maneira a facilitar este procedimento de avaliação. Ressalta-se que como cada imagem fora disponibilizada apenas em um único formato .TIFF, a atuação dos algoritmos ficou limitada e até mesmo impossibilitada em alguns casos, por isso a necessidade de simplesmente fazer testes (a ausência dos valores específicos de cada banda dos sensores impossibilitou diversas operações). Basicamente, os testes foram feitos trabalhando-se com os parâmetros que o DeltaCue oferece. Assim, verificaram-se os intervalos do “Iterative Tresholds” que geraram os melhores resultados, bem como os melhores parâmetros do filtro espacial (dimensões dos eixos maior e menor). Também foram verificados nestes testes se a utilização da segmentação espectral e a correção automática de registro devem ser incluídos para refinar os resultados.

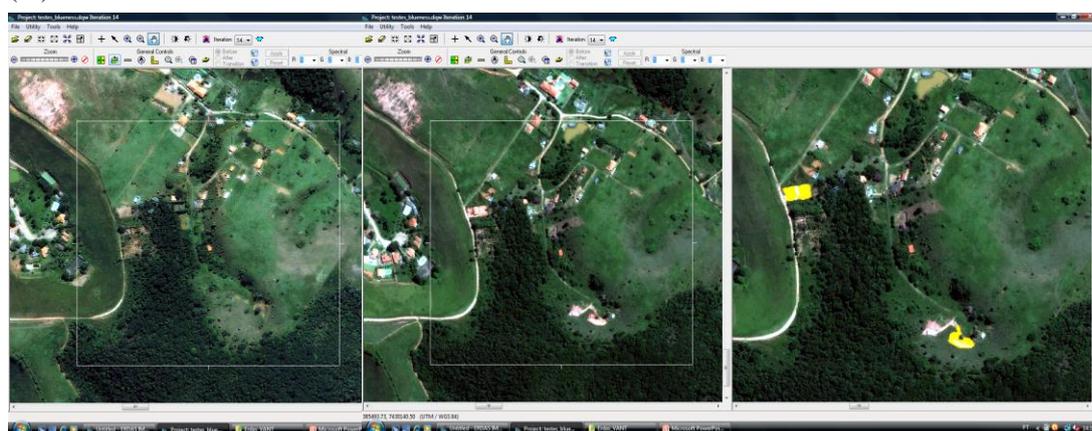
### 3. Resultados e Discussão

O algoritmo mais adequado foi o Blueness Diff, sem segmentação espectral. Este algoritmo identificou melhor as mudanças de uso do solo que ocorrem quando a vegetação passa a ser solo exposto. Estas são as mudanças que realmente ocorreram na área de estudo em um período de um ano (de 2009 a 2010), devendo o algoritmo ser capaz de identificar este padrão de alteração no uso do solo.

Os valores de treshold que geraram melhores resultados influenciaram diretamente nos erros de omissão e comissão. Os intervalos Lower Tresholds: -3094 a -716 e Higher Tresholds: 350 a 3004 geraram muitos erros de omissão e poucos de comissão, sendo que nos intervalos de Lower Tresholds: -3094 a -940 e Higher Tresholds: 11 a 3004 destacaram-se mais os erros de comissão, sendo os erros de omissão praticamente nulos neste caso. Já os filtros espaciais mostraram-se úteis na obtenção de melhores resultados. Assim, valores para o eixo maior foram obtidos por um intervalo de 32m a 100m e eixo menor de 10m a 50m. O filtro Misregistration também mostrou-se útil, sendo utilizado em seu valor máximo, igual a 11x11 pixels. Como o objetivo deste relato consiste apenas em identificar pontos em que fora detectada mudança no uso do solo (a mensuração da área dos locais em que houve mudança não é almejada), os resultados obtidos foram considerados válidos. A Figura 3 mostra alguns exemplos de mudanças que ocorreram no período de 2009 a 2010, sendo todas elas locais em que o solo era vegetação e se tornou exposto em virtude de naquele ponto ser estabelecida uma futura construção. Nestes casos, o gestor da represa pode ir ao local e exigir que a obra seja interrompida.



(A)



(B)

Figura 3: (A) ; (B) Exemplos de locais em que o programa detectou mudança de uso do solo no período 2009 – 2010.

Ao analisar cuidadosamente os resultados, notou-se que os erros de comissão gerados por este último intervalo decorriam de um registro mal feito das imagens. A falta de um registro acurado fez com que o programa erroneamente identificasse várias estradas de terra como mudança: o erro associado ao registro mostra vegetação em determinado ponto e estrada de terra neste mesmo ponto da outra imagem. Tal fato é mostrado na Figura 4.

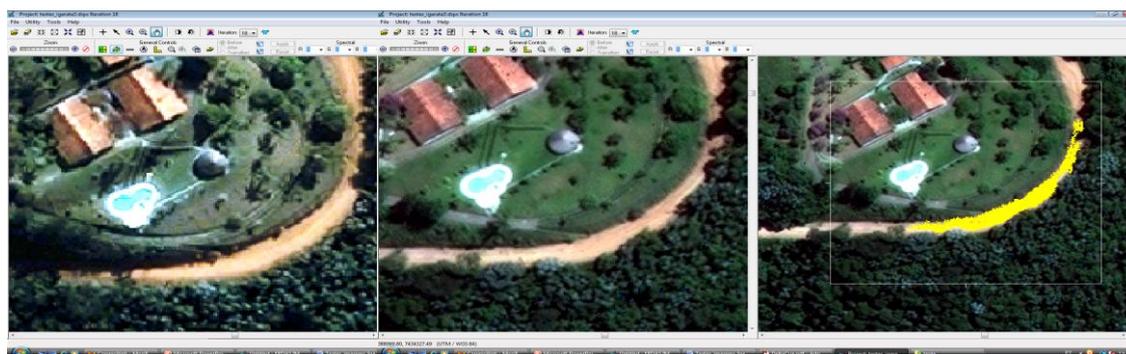


Figura 4: Exemplo de erro de registro em estrada de terra.

As imagens já foram fornecidas com apenas uma única banda colorida cada e com erros de registro associadas a elas, não sendo o objetivo deste trabalho o pré-processamento da imagem para depois gerar a classificação. Assim, os erros de comissão descritos acima são, em sua grande maioria, justificados pelo erro de registro das imagens gerados pelos fornecedores da mesma.

Logo, o intervalo composto por Lower Tresholds: -3094 a -940 e Higher Tresholds: 11 a 3004 mostrou-se altamente adequado, pois boa parte dos seus erros de comissão são associados ao erro de registro das imagens. Ressalta-se que a metodologia desenvolvida neste

trabalho é eficiente para se identificar os pontos em que ocorreu mudança no uso do solo ao longo do tempo (diferença de um ano) baseando-se em duas imagens de satélite de diferentes sensores. Tal método não visa à mensuração da área dos locais em que fora detectada mudança, visa apenas a sua localização para que o gestor da represa possa identificar onde ocorrem novas irregularidades que podem ser impedidas.

#### 4. Conclusões

A metodologia para detectar locais em que houve mudança de uso do solo envolvendo imagens tratadas de sensores Quickbird e Worldview foi considerada adequada.

Apesar de freqüentemente nos depararmos com imagens contendo apenas uma banda de composição colorida como material de trabalho, o DeltaCue mostrou-se eficiente para detectar mudanças de uso do solo. A maioria dos erros associados aos seus resultados foram oriundos do registro inadequado das imagens.

Recomenda-se, ao serem usadas imagens de alta resolução para se identificar mudanças no uso do solo através de sua classificação, que seja devidamente verificado o registro. Este mostrou-se uma etapa ainda mais importante para gerar bons resultados quando são utilizadas imagens de alta resolução. Deve-se, portanto, difundir uma política de verificar o registro de imagens de alta resolução espacial antes de começar a trabalhar ou de aceitar o fornecimento das mesmas.

#### Agradecimentos

À P&D ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – pelo auxílio/fomento aos recursos necessários para se desenvolver o projeto.

#### Referências Bibliográficas

Aguiar, A. P. D.; Shimabukuro, Y. E.; Mascarenhas, N. D. A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.14, p.647-657, 1999.

Eastman, J. R. Idrisi for Windows: Manual do usuário. Porto Alegre: UFRS, 1998.

FELGUEIRAS, C. A. e CÂMARA, G. Sistema de Informações Geográficas do INPE. 1. ed. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. (Org.). **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1993. P.41-59.

GUIMARÃES, L. T. Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ. 2000. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, Vol. 25, 1988. p.295-309.

IPEA/UNICAMP-IE-NESUR/IBGE. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**. Campinas, Unicamp (Coleções Pesquisas, 3), 1999.

Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter Jr., P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, 13(3), 1983. p.187-208.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 242 p.

Maximiniano, G. A. Bacia do Rio Pato Branco: ensaio cartográfico para análise da fragilidade do meio físico com uso de geoprocessamento. 1996. USP, 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

Prado, R.B. Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. 2004. São Carlos. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.