

Metodologia para o mapeamento de aluviões a partir de imagem satélite SPOT no semi-árido Cearense – Um de estudo de caso

Francisco de Assis Jorge de Oliveira ^{1,2}
Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins ²
Gilberto Möbus ²
Pascal Kosuth ³

¹ Universidade Federal do Ceará – DEHA
Campus do Pici - Fortaleza – Ce
oli_jorge@yahoo.com.br

² Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Rua Rui Barbosa nº 1246 CEP: 60.115-221 – Fortaleza – Ce
{jorge, martins e mobus}@funceme.br

³UMR TETIS
Montpellier – France
pascal.kosuth@teledetection.fr

Abstract. This work shows a methodology to automatic classification and mapping of the Alluvial Soils using as parameter, spectral signatures of the collected targets with a spectroradiometer and satellite images with the atmospheric correction.

Palavras-chave: image processing, automatic classification, atmospheric correction, processamento de imagens, classificação automática, correção atmosférica.

1. Introdução

A formação geológica do Estado do Ceará é um dos fatores que dificultam o armazenamento de água subterrânea, com cerca de 75 % de rochas cristalinas em sua parte central e 25% de rochas sedimentares (PERH-CE, 1992). As rochas cristalinas funcionam como uma barreira à penetração da água forçando assim um escoamento superficial e conseqüentemente uma perda maior por evaporação. Já as rochas sedimentares possibilitam o armazenamento de água no subsolo, evitando assim sua perda por evaporação, e possibilitando a sua posterior utilização. Esse tipo de rocha ocorre no estado do Ceará em pequena quantidade, principalmente no entorno do Estado (PERH-CE).

Uma outra forma de se armazenar água no subsolo é através dos aluviões, que dependendo do local, pode ser um grande depósito de águas subterrâneas. Esses são depósitos de sedimentos, os quais são transportados pelos rios e depositados ao longo de suas margens, formam assim um estrato poroso com um bom potencial para o armazenamento de águas.

Portanto, o desenvolvimento de uma metodologia para o mapeamento dos corpos aluvionares a partir de técnicas de sensoriamento remoto é extremamente necessário, para o conhecimento do local da existência desse corpo aluvionar.

2. Área de estudo

O local de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Riacho Forquilha localizado no Município de Quixeramobim - Ce, entre as coordenadas: S5° 9' 38", W 39° 40' 12" e S5° 25' 22", W39° 26' 30".

3. Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido com o uso em campo de GPS (Global Positioning System) de navegação, espectrorradiômetro ASD (FieldSpec Pro), cobrindo a faixa espectral do visível e infravermelho próximo (350 nm – 1050 nm) e no escritório foi utilizado a imagem do satélite SPOT5 (cenas XS-170703) que possuem uma resolução espacial de 10 m, registrada pelo sensor em 17/07/2003, logo após a estação de chuvas) e programas para processamento e tratamento de imagens de satélite.

A radiação proveniente do sol quando atinge a superfície do planeta é absorvida parcialmente, sendo que a parte que interessa ao sensoriamento remoto é refletida pelos alvos da superfície terrestre. A parte que é refletida pode ser quantificada através dos espectrorradiômetros, que são sensores terrestres que possibilitam distinguir através da radiação refletida e dependendo da banda, os vários alvos da superfície terrestre.

Os solos refletem a radiação incidente em função de vários fatores, entre eles destacamos: o tipo de solo, quantidade de componentes químicos, físicos e mineralógicos, presença de matéria orgânica e a umidade presente no solo.

Portanto as interferências na radiação refletida por um solo não é ocasionada por um único fator, e sim por um conjunto de fatores ou características que com uma maior ou menor relevância tem sua participação na quantidade de radiação refletida. Porém alguns fatores se sobrepõem a outros, ocasionados pela sua maior presença no solo ou sua maior influência.

A radiação solar que consegue atravessar a atmosfera terrestre e atingir a vegetação gera três processos diferentes: 1) absorção que corresponde à parte da energia que a planta usa em suas reações fotoquímicas, 2) reflexão que é a parcela que volta para o espaço e é registrada pelos sensores passivos usados em sensoriamento remoto; 3) a transmissão que corresponde à parcela da radiação que consegue passar através das camadas das folhas.

Entre os efeitos ocasionados pela presença da atmosfera, está a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto na imagem. Os gases (vapor d'água, oxigênio, ozônio e dióxido de carbono) e os aerossóis (pequenas partículas materiais, diferentes da água e do gelo, em suspensão com raio variando de 0,10 μm a 10 μm) absorvem e espalham a radiação solar, Zullo Jr. et al. (2006).

Os sensores de um modo geral produzem imagens que tem uma série de distorções espaciais, não possuindo precisão cartográfica com relação à posição dos objetos na imagem, Richards (1995) apud Rojas (2005). As técnicas usadas em tratamento de imagens, com o objetivo de fazer a correção geométrica, correção atmosférica e radiométrica são utilizadas, respectivamente, para ajustar as linhas e colunas das imagens, amenizando os efeitos de interferência atmosférica e normalizando a radiometria das imagens, Silva et al. (2003).

O registro é um tipo de transformação da imagem no espaço de forma que duas delas em épocas diferentes sejam coincidentes no espaço, Rojas (2005). Neste tipo de correção geométrica uma imagem é a referência e a outra é a imagem a ser registrada.

Em muitas situações ocorre à necessidade de estudar o comportamento espectral dos alvos. Nesta circunstância precisa haver a transformação da imagem, que está em DN, para reflectância na superfície com as devidas correções na imagem, isto é para comparar imagens de diferentes sensores, em diferentes datas ou épocas do ano e comparar com bibliotecas espectrais. Na transformação de DN's para reflectância na superfície, os modelos usam parâmetros relacionados ao sensor que geralmente acompanham as imagens.

As imagens multiespectrais são submetidas a correções atmosféricas que para tal, podem ser utilizados modelos complexos que usam códigos de transferência radiativa ou modelos mais simples, baseados em objetos escuros presentes na cena, Chavez (1988) apud Silva et

al. (2003). Esses dois tipos de modelos estimam as condições atmosféricas e de iluminação no momento da passagem do satélite, Silva et al. (2003).

Para a correção atmosférica existem vários modelos, alguns com algumas limitações em relação à disponibilidade de dados de entrada, entre eles podemos citar: MODTRAN4 (Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance) e 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum). Para os modelos de correção atmosférica 6S e MODTRAN4 são difíceis estimar os parâmetros atmosféricos, sendo assim feito simplificações e uso de modelos padrões de atmosfera, Silva e Valfriano (2003). Neste trabalho foi usado o modelo de correção atmosférica MODTRAN4 que é usado no módulo FLAASH que por sua vez é executado no aplicativo ENVI.

Para a transformação de uma imagem de DN para radiância assume que a relação entre radiância e DN é linear, Luiz et al. (2003) e a transformação de DN para reflectância possibilita a análise de imagens de uma mesma área registrada pelo sensor do satélite em épocas diferentes, Loebmann (2005).

Os métodos de classificação consistem em agrupar os pixels que representam a mesma classe de uso do solo. Alguns usos do solo são relevantes, entre eles a água, vegetação, solo exposto, culturas, entre outros. O agrupamento desses pixels gera um mapa digital temático dos vários usos do solo.

Na prática, a classificação de uma imagem de satélite é feita com base em uma amostra dos vários usos do solo ou classes, ou seja, essas amostras podem ser áreas de treinamento ou curvas espectrais. Isso é necessário, pois ocorrem variações na energia refletida por diferentes pixels do mesmo alvo, variação essa atribuída à mistura dos materiais, iluminação da cena no momento da passagem do satélite, ruídos e outras imperfeições que prejudicam a qualidade da resposta espectral dos alvos.

Após uma classificação, surgem vários pixels soltos envolvidos por vários pixels de outra classe. Para agrupar os pixels às classes mais prováveis que os mesmos venham a pertencer, existem algumas técnicas para fazer esse refino na classificação. Pode ser usado um algoritmo de suavização ou um filtro, com isso elimina-se grande parte daqueles pixels que ficam espalhados ou soltos na imagem.

Independentemente da aplicação ou não de algum processo de agrupamento ou filtro para melhorar a classificação, é necessário avaliar os resultados da classificação para medir a eficácia do método usado. Isto pode ser feito com o uso da matriz de confusão ou de erros. Nesta matriz estão a quantidade de pixels que foram incluídos erroneamente em uma classe e este tipo de erro é denominado erro de comissão ou inclusão. Também esta matriz tem os pixels que foram excluídos erroneamente de uma classe, ou seja, pixels que pertenceriam a uma classe e foram classificados em outra classe, já este tipo de erro é conhecido como erro de omissão. Essa matriz mostra o quanto o método de classificação de imagens confunde uma classe com outra.

Um subproduto da matriz de confusão que auxilia na avaliação do classificador é o índice kappa (k). Uma das vantagens alegadas para uso do kappa é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas dos bem classificados como a exatidão global, esse índice é um método usado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, Iwai (2003). A estatística Kappa inclui todos os pixels da imagem, seja aqueles classificados corretamente ou aqueles classificados erroneamente, Moreira (2001) apud Iwai (2003).

O resultado da estatística Kappa é comparado com o intervalo de valores que estão na Tabela 1, com isso é possível avaliar a qualidade da classificação e fazer uma comparação entre os métodos de classificação.

Tabela 1 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssimo
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito boa
0,80 - 1,00	Excelente

Fonte: Iwai 2001 apud Landis e Koch (1977).

Para realizar esse trabalho, desenvolvemos uma metodologia para a coleta das assinaturas espectrais com o uso do espectrorradiômetro. Essa metodologia consiste em levantar as assinaturas espectrais dos diversos alvos que cobrem os aluviões, através de várias leituras. Para cada alvo foi registrada várias assinaturas espectrais ao longo das seções transversais do aluvião, sempre contemplando aluviões representativos da região. Esse levantamento ou o registro das assinaturas espectrais foi realizado em 20/04/2006 das 13:00 h às 15:00 h com pouca cobertura de nuvens.

Após a coleta das informações em campo, foram processadas as assinaturas espectrais ou curvas. Com as curvas de cada alvo foi gerada uma nova curva, que corresponde a média das curvas do alvo que está cobrindo o aluvião. Destacamos as seguintes curvas: lavouras de milho, feijão, plantação de tomate, grama, capim, vegetação arbusto, solo exposto e solo exposto com a presença de capim.

3.1 Pré-processamento das imagens SPOT

O registro da cena foi realizado com base nas imagens Geocover (Landsat TM), e em seguida a imagem foi então transformada para radiância, usando matemática de bandas do ENVI, e para tal, foram usados os coeficientes de calibração no modelo matemático. Esses coeficientes de calibração do modelo acompanham a imagem.

O resultado desta transformação são bandas separadas por arquivos, ou seja, cada banda corresponde a um arquivo independente. Essas bandas necessitam serem agrupadas em um único arquivo para que possa ser usado no FLAASH. Após juntar as bandas, ainda existe a necessidade de ajustar as unidades de radiância e transformar para o formato “BIL”. Com isso a imagem está pronta para ser carregada no módulo FLAASH e ser processada a correção atmosférica, removendo assim a interferência atmosférica e tendo como produto de saída uma nova imagem com a resposta espectral em reflectância na superfície. Porém, ainda existe a necessidade de outro ajuste usando matemática de bandas para que a resposta espectral dos alvos esteja no intervalo entre 0 e 1, que corresponde o intervalo que foi registrado as assinaturas espectrais no espectrorradiômetro.

3.2 Processamento das imagens SPOT

No processo de classificação usamos apenas as bandas 1,2 e 3 do sensor SPOT pois essas bandas correspondem a faixa espectral coberta pelo espectrorradiômetro. Na parametrização da classificação foram coletadas assinaturas espectrais na imagem dos alvos que não foram coletas em campo com o espectrorradiômetro, entre esses alvos destacamos: vegetação rala,

água e solo exposto. Para o aluvião foi utilizado as assinaturas espectrais da cobertura do mesmo coletados em campo, sendo que cada cobertura do aluvião correspondeu a uma classificação, gerando assim um mapa temático com as classes: aluvião, água, vegetação rala e solo exposto. Dos classificadores testados, foram escolhidos: Distância Mínima e “Spectral Angle Mapper” (SAM), sendo que o método Distância Mínima obteve um melhor desempenho para esta imagem, Esta conclusão baseou-se em análise visual a partir da sobreposição da classificação em cima da imagem que gerou a classificação. Das 10 classificações utilizando o classificador escolhido, a que se mostrou com uma melhor definição dos corpos aluvionares foi aquela referente a assinatura espectral do aluvião com cobertura de grama.

4. Resultados e discussões

Com a escolha da classificação podemos melhorar o mapa temático através de processos de pós-classificação. Para esse mapa foi usado o agrupamento de pixels soltos sendo que aqueles pixels que se encontravam espalhados no mapa temático foram agrupados em outra classe com uma maior afinidade devido a sua localização. Com isso, gerou-se um mapa temático com uma boa definição dos aluviões que se encontra na **Figura 1**. O detalhe 1 que está na **Figura 2** mostra o aluvião ao longo da drenagem onde percebemos um aluvião mais largo e outro mais estreito. O detalhe 2 que se encontra na **Figura 2** mostra dois aluviões mapeados à jusante de dois reservatórios, mostrando um super-dimensionamento dos corpos aluvionares em alguns trechos. Isso pode ser justificado pelo fato da imagem que gerou a classificação ter sido registrada pelo sensor no período úmido, levando a uma mistura de pixels com as respostas espectrais semelhantes em áreas com a presença de aluvião e pixels que estão presentes no cristalino.

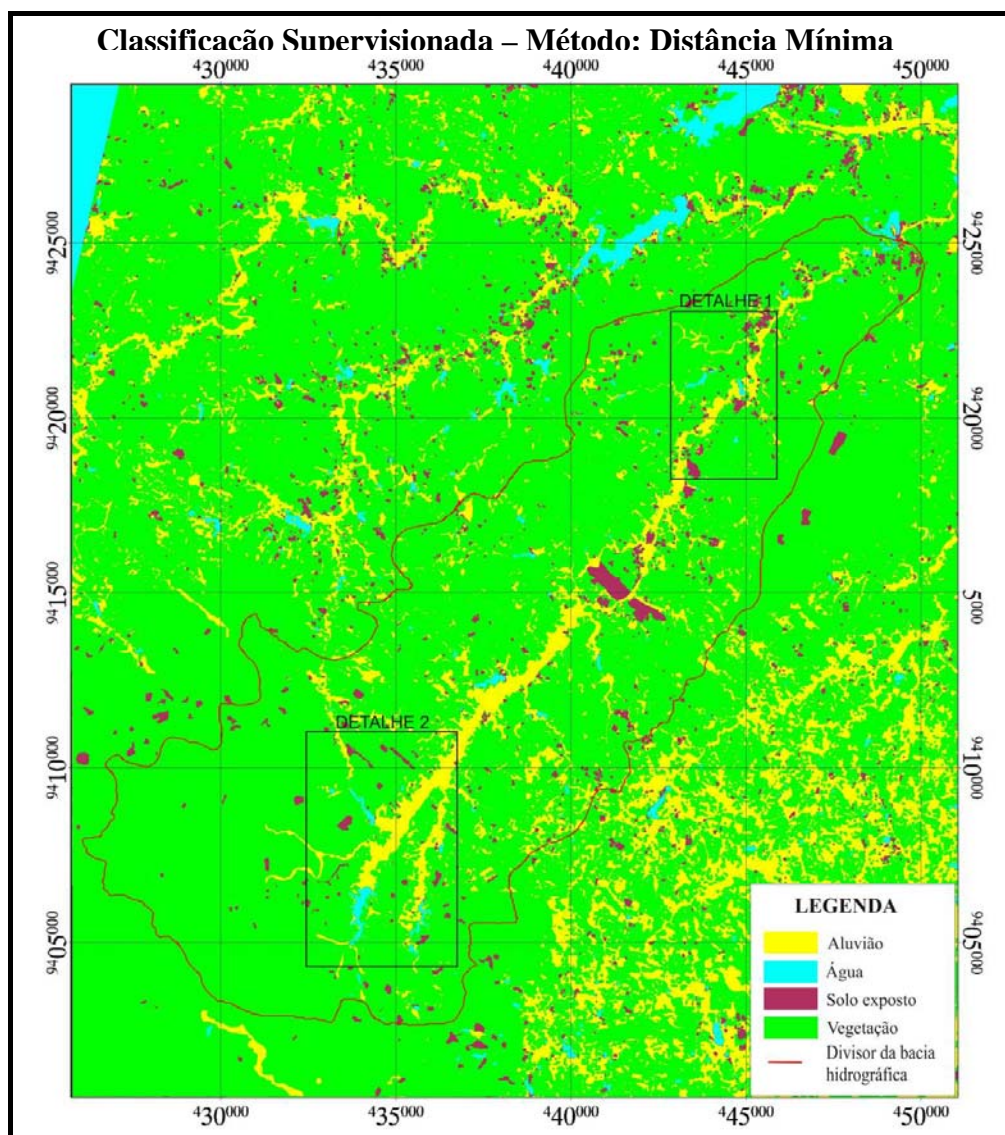


Figura 1 – Mapa temático da bacia do Riacho Forquilha

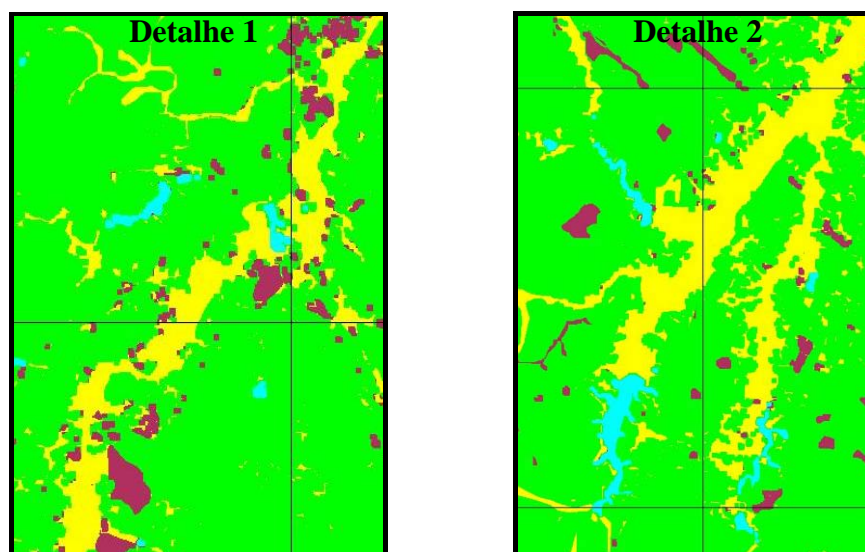


Figura 2 – Detalhe 1 e 2 do aluvião do Riacho Forquilha

Com a classificação definida, foi feito, por amostragem a escolha das áreas que foram usadas como verdades de campo para cada classe. A partir das verdades de campo foi calculada a matriz de confusão e desta matriz foi possível calcularmos o índice kappa e a acurácia global da classificação. A **Tabela 2** mostra a matriz de confusão para essa classificação, em que as colunas representam os percentuais de pixels classificados corretamente e erradamente. Para o aluvião, 82,38% dos pixels foram bem classificados enquanto 17,20% dos pixels foram classificados como sendo da classe vegetação rala e 0,42% foram classificados para a classe solo exposto.

Tabela 2 – Matriz de confusão

Classes do mapa temático	Classe	Verdade de campo (%)				
		agua	soloexposto	veg rala	Aluvião	% pixels *
	Água	100,00	0,00	0,00	0,00	22,96
	Soloexposto	0,00	99,18	0,00	0,42	25,08
	Veg rala	0,00	0,08	98,56	17,20	31,13
	Aluvião	0,00	0,74	1,44	82,38	20,83
	Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

* Percentagem de pixels da verdade de campo distribuídos por classes

A classificação de uma maneira geral, segundo a Tabela 1 e a análise do índice kappa, foi excelente, porém a classe aluvião foi a que obteve uma menor acurácia mesmo assim esse resultado é considerado excelente. A Tabela 3 mostra um resumo dos principais índices calculados a partir da matriz de confusão.

Tabela 3 – Resultados da avaliação da classificação

Cena: XS-170703	
Classificador: Distância mínima	
Acurácia global	95,07%
índice kappa	0,93
Acurácia do aluvião	82,38%

5. Conclusão

O cálculo da matriz de confusão foi realizado com o objetivo de avaliar a classificação como um todo e também a classificação dos aluviões. No entanto, essa matriz também foi usada para avaliar o classificador, por esta razão não foi aplicado nenhum procedimento de pós-classificação antes de ser calculado a matriz de confusão. Só após o cálculo desta matriz é que a classificação passou pelo agrupamento.

Para melhorar essa classificação uma das alternativas é trabalhar com uma resolução espacial maior, pois a imagem SPOT que foi processada aqui tem uma resolução espacial de 10 m, porém, quanto menor a resolução espacial e espectral maior será a precisão da classificação.

Nesta metodologia pode ser acrescentado o Modelo Digital do Terreno do SRTM, com o objetivo de melhorar a classificação, neste contexto defini-se uma faixa ao longo da drenagem

onde está o aluvião e a parti do Modelo Digital é possível calcular a declividade e com isso usar esse parâmetro no processo de classificação.

Uma análise minuciosa do mapa temático e com o conhecimento adquirido nas visitas a campo mostra que essa metodologia foi bastante eficiente na classificação automática.

Agradecimentos: Ao Programa ISIS (Incentivo ao Uso Científico de Imagens Spot) do CNES (Centro Nacional de Estudos Espaciais da França), dentro do projeto de cooperação bilateral franco-brasileiro (CAPES-COFECUB nº 474-04). 2006. Que forneceu a cena: XS-170703, Bandas: 1, 2, 3 e 4 que foi usada neste trabalho.

6. Referências

Iwai, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano do Município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélites**. 2003. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Loebmann, D. G.; Guimarães, R. F.; Bettiol, G. M.; Freitas, L. F.; Redivo, A. L.; Carvalho Júnior, O. A. Mistura espectral de imagens LANDSAT para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do Rio Jardim DF. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia, 2005. CD-ROM.

Luiz, A. J. B.; Gürtler, S.; Gleriani, J. M.; Epiphanyo, J. C. N.; Campos, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte. 2003. CD-ROM.

Richards, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction**. Berlin. Springer – Verlag. 2ª ed., 1995. 340p.

Rojas, E. H. M.; **Síntese Genética de Redes Neurais Artificiais ART2 na classificação de imagens ASTER para mapeamento de uso e cobertura da terra na região Norte de Mato Grosso**. 2005. 126p. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Rojas-E-H-M-2004/paginadeacesso.htm>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2006.

Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. (PERH-CE)**. Fortaleza, 1992. Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/> 2005. Acesso em: 10/01/2006.

Silva, B. S. G.; Valfriano, D. M. Georreferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando o sensor LANDSAT ETM+. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Remoto (SBSR), 11., 2003. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte. 2003. CD-ROM.

SPOT5: Imagens de satélite. Programa ISIS (Incentivo ao Uso Científico de Imagens Spot) do CNES (Centro Nacional de Estudos Espaciais da França), dentro do projeto de cooperação bilateral franco-brasileiro (CAPES-COFECUB nº 474-04). 2006. Cenas: XS-170703. Bandas: 1, 2, 3 e 4. 1 CD-ROM.

SULSOFT. Guia do ENVI URL: Disponível em: <http://www.sulsoft.com.br/downloads/main.htm>. Acesso em: 05/09/2005.

Zullo JR. J.; Xing F. G.; Guyot, R. L. G. ; Bezerra, P. C. Pré-processamento das imagens de satélite, Campinas-SP. 2006. Disponível em: <http://orion.cpa.unicamp.br/html/cigv1n1a7.html>. Acesso em: 20/05/2006.