

# O uso do infravermelho de ondas curtas (SWIR) no mapeamento de fitofisionomias em ambiente tropical por meio de classificação hiperspectral de dados do sensor ASTER

Luiz Eduardo Vicente<sup>1</sup>  
Carlos Roberto Souza Filho<sup>1</sup>  
Archimedes Perez Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IGE  
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
(vicente, beto, archi)@ige.unicamp.br

**Abstract.** This study describes the application of image hyperspectral processing technique to ASTER data satellite, with emphasis in the short wave infrared region (SWIR), for the mapping vegetation species in the tropical environment. The use of the SWIR is not usually for the vegetation mapping, but this region of REM comprises important biophysical and biochemical elements from vegetation (e.g. lignin, cellulose). By using Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF) algorithm, spectral feature-oriented analysis and the field data control target, it has mapped several vegetation species in the Itirapina region (São Paulo State), such as woodland, shrubland, grasslands (tropical savannah), tropical semideciduous forest, etc. Results show that ASTER data and advanced hyperspectral techniques are able to map vegetation endmembers with high spectral correlation, like tree strata, shrub or grass strata, which are of fundamental importance to understanding process and transformations in tropical environments systems.

**Palavras-chave:** ASTER sensor, remote sensing, image processing, vegetation species, tropical environment, sensor ASTER, sensoriamento remoto, processamento de imagens, fitofisionomias, ambiente tropical.

## 1. Introdução

Estudos demonstram que em mapeamentos de vegetação utilizando sensores orbitais, características típicas de regiões tropicais (e.g., rugosidade e sombreamento provenientes de grande variedade de espécies e fitofisionomias herbáceas, arbóreas, arbustivas; variações acentuadas nos tipos de solos; elevada umidade atmosférica e matéria orgânica) por vezes mascaram parâmetros como índices de área foliar e biomassa (Huete, 1988; Epiphanyo e Vitorello, 1984). Um importante subsídio neste sentido trata-se da detecção de componentes bioquímicos (e.g. lignina, proteína, celulose), os quais podem auxiliar neste tipo de mapeamento. Porém, apesar de serem importantes para distinção entre diferentes fitofisionomias (Almeida, 2005), seu mapeamento por meio de imagens orbitais, visto que algumas de suas feições diagnósticas são bloqueadas pelas bandas de absorção do vapor d'água presentes na atmosfera (Curran et al., 2001; Kokaly & Clark 1999).

Dessa forma, este trabalho considera que tipos vegetacionais representam uma mistura espectral, resultando em um cenário extremamente heterogêneo, as quais dependem diretamente da identificação de componentes biofísicos e bioquímicos num gradiente contínuo de transição. Essa necessidade de exatidão taxonômica pode ser alcançada através da utilização de análise de mistura espectral (*spectral mixture analysis* – SMA) (Adams et al. 1986, Smith et al, 1985). O SMA simula processos físicos de mistura espectral com base em espectros puros, ou membros extremos (*endmembers*) (Smith, et al., 1990; Adams, et al., 1986). Essa abordagem tem gerado bons resultados não apenas aplicada a sensores hiperspectrais (espectrometria de imageamento) (Boardman & Kruse, 1994, Adams et al., 1989), mas também através da sua adaptação a sensores multispectrais, particularmente o sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), principalmente no que tange a aplicações geológicas (Souza Filho et al. 2003; Hubbard & Crowley 2005), sendo ainda pouco utilizado no que refere ao mapeamento da vegetação.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é o mapeamento de fitofisionomias em ambiente tropical por meio do uso integrado dos dados do sensor ASTER, conjuntamente com procedimentos de classificação hiperespectral, usando o algoritmo MTMF (*Mixture Tuned Matched Filtering*), com ênfase no SWIR, visto que esta região do espectro apresenta significativas feições de absorção relativas a componentes bioquímicos (Almeida e Souza Filho, 2005).

## 2. Área de estudo

A área escolhida para esse trabalho encontra-se na divisa dos Municípios de Brotas, Itirapina e São Carlos, no estado de São Paulo. Esse local foi escolhido por apresentar uma série de processos de fragmentação comuns a diversas outras áreas, com remanescentes de diferentes formações vegetais, assim como o intenso uso antrópico, gerando processos de fragmentação (Fig. 1). A vegetação original da área era constituída em grande parte por savana (cerrado) e, de forma mais restrita, por floresta estacional semidecídua (Fig. 1) (SMA/IF/Biota, 2002).

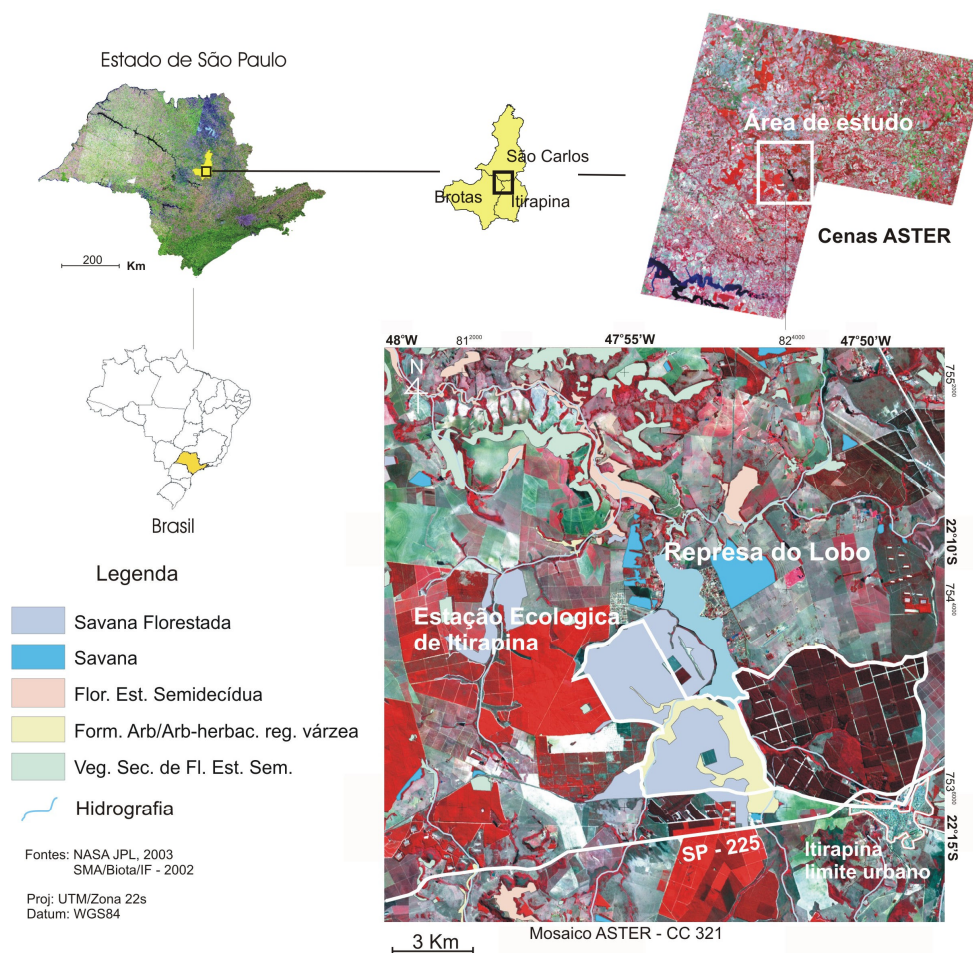


Figura 1. Área de estudo – estação ecológica de Itirapina e represa do Lobo

Os padrões de precipitação observados na área de estudo mostraram-se característicos de regime tropical, com distribuição sazonal bem caracterizada por uma estação chuvosa e outra de estiagem, com verão chuvoso e inverno seco. A média anual de precipitação está entre os valores encontrados por Nimer e Brandão (1989) para o Domínio dos Cerrados.

### 3. Material

Foi realizado um mosaico utilizando 3 cenas ASTER adquiridas em período de estiagem, no Nível L1B de processamento, com correções geométricas e radiométricas aplicadas, e na versão de pré-processamento V003. O ASTER opera embarcado no satélite TERRA, lançado em dezembro de 1999, como parte do programa EOS (*Earth Observing System*) da NASA. Um importante aspecto técnico deste sensor, e destacado como de relevância para este trabalho, trata-se de sua cobertura praticamente contínua na região do SWIR, entre as bandas 5 e 9. Mais detalhes sobre esse sensor podem ser encontrados em Abrams e Hook (2002), assim como na bibliografia correlata deste trabalho.

A interpretação de membros extremos da vegetação na imagem ASTER foi avaliada através do uso de mapas referentes a área de estudo (SMA-IF/Biota-FAPESP, 2002), bem como trabalho de campo, no qual foram identificadas diferentes formações vegetais, sendo estabelecidos alvos de controle por meio de GPS (*Global Positioning System*).

### 4. Processamento da imagem

#### 4.1. Correções: efeitos da atmosfera e efeito *crosstalk*

As 3 cenas originais Nível L1B foram submetidas à correção do efeito *crosstalk*, usando o *crosstalk correction software* (ERSDAC, 2003). Esse efeito é causado no ASTER pela dispersão da luz incidente na banda 4, a qual é refletida no plano focal de outras bandas do SWIR, causando, por exemplo, o aparecimento de “fantasmas” na interface entre superfícies de terra e água (Iwasaki e Tonooka, 2005). Em seguida, os dados foram compensados para minimização dos efeitos atmosféricos e corrigidos para reflectância através do programa *Atmospheric Correction Now* (ACORN), que utiliza o modelo de transferência radiativa (MODTRAN) (ACORN, 2002).

Devido a diferença de resolução espacial entre as bandas do VIS-NIR (15m) e do SWIR (30m), foi realizada uma re-amostragem espacial das bandas do SWIR, aumentando artificialmente sua resolução para 15m, permitindo, assim, a composição de um imagem com 9 bandas espectrais.

#### 4.2. Transformação *Minimum Noise Fraction*

A imagem ASTER foi submetida à transformação *Minimum Noise Fraction* (MNF) (Boardman e Kruse, 1994). Esse procedimento de redução espectral é uma derivação da Análise por Principais Componentes (APC), a qual é realizada através da aplicação de duas transformadas contrapostas ortogonalmente num plano bidimensional, sendo capaz de diminuir a correlação típica advinda da proximidade das características espectrais entre bandas, assim como diminuir a interferência atmosférica, separando os dados com alta decorrelação (maior variância) nas primeiras imagens MNF, e as menos decorrelacionadas (menor variância), nas últimas MNFs (Fig. 2).

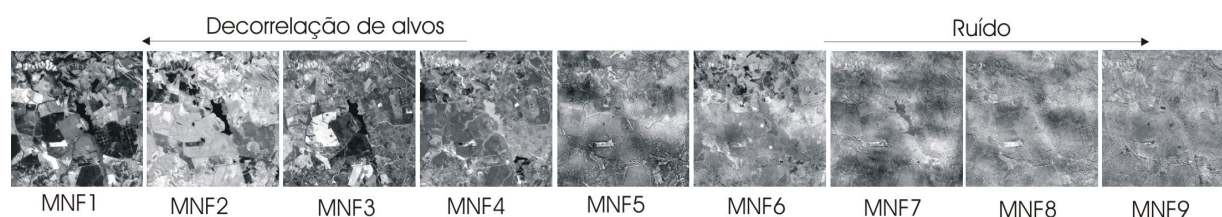


Figura 2. Bandas resultantes do processamento MNF.

### 4.3. Classificação MTMF

O procedimento MTMF é um refinamento do algoritmo *Matched Filtering* (MF) (Chen e Reed, 1987), o qual estabelece uma medida, de 0 a 1, traçada na forma de um vetor, entre a média dos valores dos pixels considerados n-dimensionalmente (valor 0) e os membros extremos (valor 1), gerando como resultado uma imagem denominada *MF Score*. Nessa imagem, valores intermediários entre 0 e 1 correspondem à porcentagem do membro extremo na mistura espectral. A componente *Mixture Tuned* do algoritmo, por sua vez, objetiva eliminar os falsos positivos por meio da adoção de cones tridimensionais, cujo diâmetro é controlado por desvios-padrão da nuvem média de pontos com base nas imagens *MF Score*, e centrados nos vetores formados por cada *endmember*, contrapondo-se ao seu próprio grau de improbabilidade num gráfico de dispersão. Esse conjunto de procedimentos do MTMF apresenta um alto nível de refinamento, sendo indicado para detecção de alvos raros ou escassos. Por operar na escala de sub-pixel, o algoritmo permite a detecção de sutilezas espectrais na menor resolução imageada.

Para a caracterização espectral da vegetação foram utilizados membros extremos da imagem ASTER, com base nos alvos de controle georreferenciados em campo, onde selecionou-se 9 diferentes fitofisionomias, entre usos da terra e vegetação natural: cerrado, cerradão, campo cerrado, campo limpo, campo sujo, floresta estacional semidecídua, eucalipto, grama, pinus (Fig. 3b).

Os membros extremos coletados seguem as mesmas variações de inversão típica, derivada da absorção de clorofila expresso na banda 2, e água foliar na banda 4. Pode-se observar esse aspecto comparando-se amostras de campo cerrado, cerrado e cerradão (Fig. 3b). Portanto, entre as bandas 1-4 do VIS/NIR (Fig. 3b), são observadas diferentes níveis de água foliar entre fitofisionomias arbóreo-arbustivas e gramíneo-lenhosas devido a variação de reflectância e conseqüente diminuição de albedo (e.g. cerrado vs campo vs cerradão), assim como variações típicas na forma das folhas destas formações vegetais (Guyot, 1995).

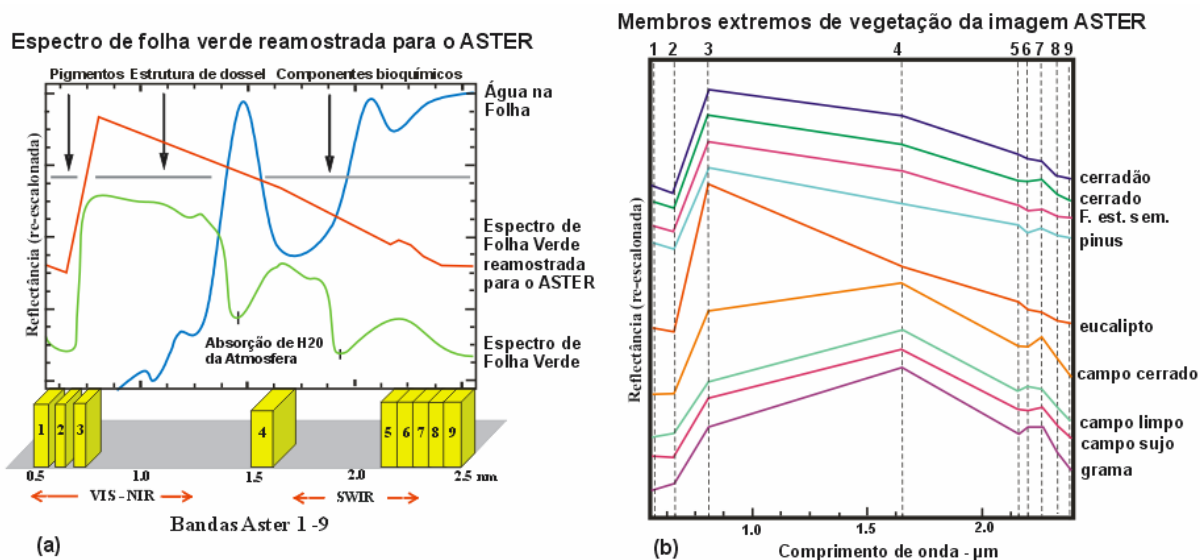


Figura 3. O esquema mostra o comportamento típico de uma folha verde (Fig. a) em relação aos membros extremos das fitofisionomias coletadas na imagem (Fig. b). Evidencia-se a curva típica relativa a região de maior absorção de clorofila entre as bandas 2 e 3 (0.63 - 0.86μm) (Fig. b), e suas diferentes variações em relação a formações gramíneas e arbóreas, assim como a retenção de água pela estrutura latifoliar na banda 4 (1.60-1.70μm) (Fig. b). Os espectros estão escalonadas para melhor visualização.



A maior dificuldade encontra-se na separação de subtipos muito próximos espectralmente, que apresentam sutis feições de absorção, tais como estruturas arbóreas densas. A mesma dificuldade é encontrada em situações com grande área foliar, como mata ciliar vs cerradão, e no caso de gramíneas diversas comuns em campo cerrado vs pastagem vs campo sujo. Neste caso, a maior resolução espectral na região do SWIR demonstrou ser capaz de delinear diferenças nas etapas de senescência, assim como presença de vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA) (grama seca) e possíveis resquícios da ação do fogo, detectáveis nas feições de absorção das bandas 5 a 7. Esse tipo de variação fica nítida, por exemplo, ao se observar os membros extremos de eucalipto, cerradão, campo cerrado e campo limpo, (Fig. 3b).

Considerando-se o diagrama de dispersão entre *matched filter score* e *infeasibility*, derivados do MTMF, a separação entre os pixels com assinatura genuína dos membros extremos e os falsos positivos foi realizada com base na seleção dos pixels com mais baixos valores simultâneos para essas duas variáveis. Adicionalmente, pontos de controle de campo (cf. círculos na Figura 4) foram utilizados para restringir o resultado da classificação, tornando o processo decisório menos subjetivo. Os resultados advindos de alguns alvos e seus respectivos diagramas de dispersão podem ser observados na figura 4.

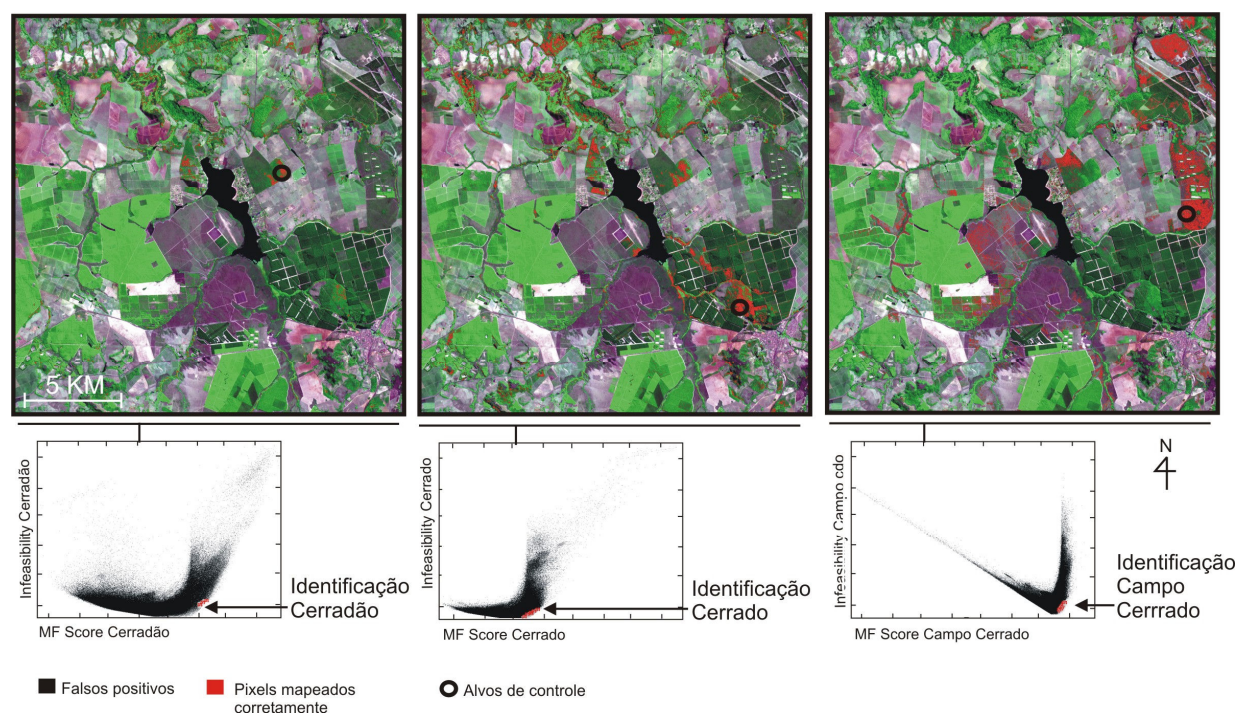


Figura 4. Por meio da aplicação do MTMF os pixels identificados corretamente são mapeados diretamente nas imagens ASTER (composição colorida 231 RGB). Com o auxílio dos alvos de controle é possível estabelecer-se o melhor ajuste para identificação de cada cobertura, tendo como base a contraposição no diagrama de dispersão de dados *MF score* e *infeasibility*, provenientes de membros extremos individuais. Na figura estão os exemplos de cerradão, cerrado e campo cerrado.

## 5. Resultados e discussão

Com base na análise espectral dos membros extremos foram consideradas, separadamente, no processamento MTMF, o conjunto de bandas 1 a 3 (somente VIS/NIR), de 1 a 9 (VIS/NIR e SWIR), e as bandas de 4 a 9 (somente SWIR). Corroborando as análises espectrais preliminares, a utilização do VIS/NIR mostrou-se satisfatória para a identificação das fitofisionomias elencadas, tendo como base os alvos de controle, onde se verificou uma maior

capacidade de discretização baseada nos maiores gradientes entre bandas (arbóreas, herbáceas e gramíneas), considerando as características biofísicas latifoliare para vegetação (Knipling, 1970), ressaltadas nas bandas de 1-4. Ao considerar-se conjuntamente o SWIR (bandas 5-9), os mínimos gradientes reconhecidos nessas bandas foram capazes de detectar outros subtipos não considerados nos alvos de controle inicialmente.

Dessa maneira com a utilização do MTMF, somado ao rígido controle de membros extremos, conseguiu-se a separação de nove tipos fitofisionômicos, inclusive dos subtipos arbóreos (cerradão), gramíneo-lenhosos (campo limpo, campo sujo) e reflorestamento de grande porte (pinus), assim como áreas mistas, com formações arbóreas e gramíneas, como é o caso do campo cerrado (Fig. 5).

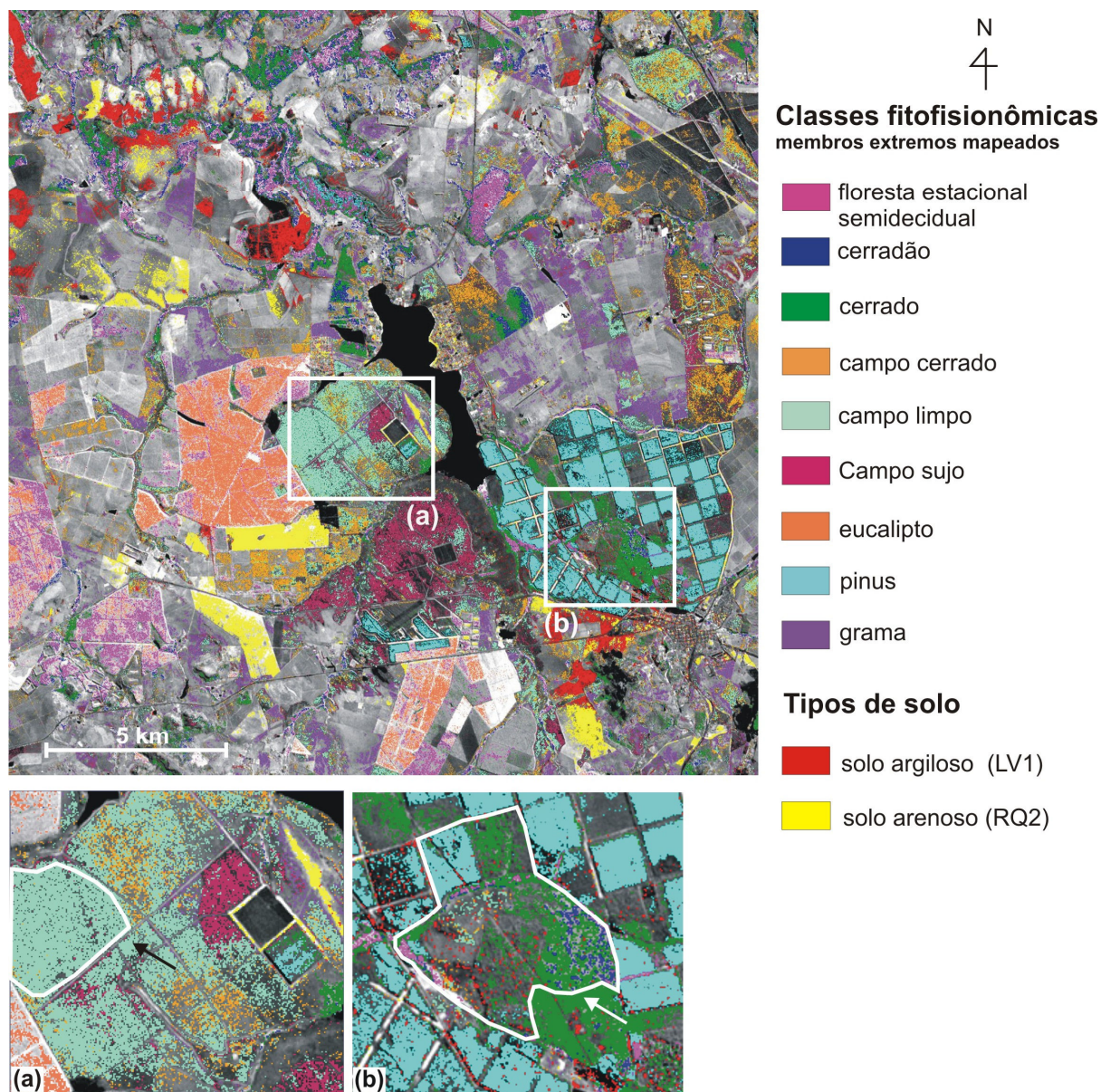


Figura 5. Resultados do processamento MTMF aplicado à imagem ASTER. No detalhe pode-se observar a variação das diferentes fitofisionomias numa escala de detalhe (Fig. a e b). Foram acrescentadas ao mapa duas classes de solos predominantes da região para melhor visualização de áreas de solo exposto em relação à vegetação.



Um exemplo da precisão alcançada pode ser demonstrado através da validação de um dos alvos de controle na principal área da estação ecológica, destacada na figura 5a. Esta área foi classificada oficialmente, através de mapeamentos na escala de 1: 25 000, como sendo toda ocupada por cerradão (savana florestada) (SMA/IF/Biota, 2002). Porém, através do mapeamento realizado foi possível identificar, neste mesmo local, fitofisionomias de cerrado, campo cerrado, campo sujo, campo limpo e remanescentes de pinus. Por toda área foram identificados fragmentos de pequeno porte, remanescentes de savana e floresta estacional semidecídua, os quais encontram-se, em grande parte, fora da área de preservação, muitos em pequenas propriedades em meio a pastagens ou cultivo. A figura 5c mostra que parte das glebas, anteriormente utilizadas para plantação de pinus, hoje apresentam formações de cerrado, cerradão, floresta estacional semidecídua e campo cerrado. Situação contrária pode ser verificado na Figura 5b, que por tratar-se de uma área preservada, apresenta grandes porções homogêneas de um tipo de cobertura, no caso campo limpo.

## 6. Conclusões

A adaptação do processamento hiperespectral MTMF aos dados do sensor ASTER proposta neste trabalho mostrou-se satisfatória no que se refere ao mapeamento de fitofisionomias, alcançando uma escala de detalhe, mesmo em áreas de cobertura predominantemente heterogênea.

Considerando a forte influência da atmosfera em climas tropicais, este estudo recomenda um rígido controle dos membros extremos, assim como uma correção atmosférica baseada em parâmetros locais, visto que essas etapas de processamento são fundamentais em procedimentos de SMA. Em relação às características técnicas do ASTER, este trabalho constatou um aumento do número de variações de fitofisionomias nos alvos de controle com a utilização conjunta das bandas VNIR/SWIR (9 bandas). Essa verificação indica um aumento na capacidade de detecção de tipos vegetacionais, porém, recomenda-se estudos mais detalhados com o uso de alvos de controle menores, e um número maior de membros extremos para a validação da detecção dos componentes bioquímicos expressos na faixa SWIR do espectro, assim como sua correlação com as feições de absorção no ASTER.

A consideração do SWIR em estudos de vegetação para estimativa de componentes bioquímicos ainda é relativamente recente, sendo um dos motivos a reduzida resolução espectral dos sensores orbitais atuais nesta região do espectro. Dessa forma, mesmo que ainda haja divergências a respeito dessa abordagem, exigindo uma maior quantidade de estudos, os resultados desse trabalho confirmam a capacidade do ASTER em reproduzir o comportamento espectral desses componentes no SWIR, constituindo-se, portanto, num dos diferenciais na identificação de diferentes fitofisionomias nessa escala de abordagem.

## 7. Referências Bibliográficas

- Abrams, M., & Hook, S. J.. (2002). *Aster User Handbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, v. 2, 135p.
- ACORN 2002. *ACORN 4.0 tutorial*. (2002). EUA, AGI-Colorado, 109p.
- Almeida, T. I. R.. (2005). *Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas tropicais e a abordagem sistêmica: uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral*. Tese de livre docência, Departamento de Geologia sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, p. 158p.
- Almeida, T. I. R., & Souza Filho, C. R.. (2005). *ASTER and Landsat ETM+ Images Applied to Sugarcane Yield Forecast*. Submitted to *International Journal of Remote Sensing*.
- Adams, J. B.; Smith, M. O., & Johnson, P. E.. (1986). Spectral mixture modeling a new analysis of rock and soil types at the Viking Lander I site. *J. Geophys. Res.*, 91: 8098-8112.

- Adams, J. B.; Smith, M. O., & Gillespie, A. R.. (1989). Simple models for complex natural surfaces: a strategy for the hyperspectral era of remote sensing. In: Proc. *IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp.* '89 1, IEEE, New York, 16-21.
- Boardman, J. W., & Kruse, F. A. (1994). Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 10. *Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI.* Proceedings, v. 1, p. 407-418.
- Chen, J. Y., & Reed, I. S. (1987). A detection algorithm for optical targets in clutter. *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, v. AES-23, n. 1.
- Clark, R. N.; King, T. V. V.; Ager, C. & Swayze, G. A. (1995). Initial vegetation species and senescence/stress mapping in the San Luis Valley, Colorado using imaging spectrometer data. *Proceedings of Summitville Forum '95*, edited by H. H. Posey, J. A. Pendelton and D. Van Zyl, Colorado Geological Survey Special Publications 38: 64-69.
- Curran, P. J.; Dungan, J. L., & Peterson, D. L., (2001). Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment* , 76: 349-359.
- Epiphanyo, J. C. N., & Vitorello, I. (1985). Interrelationships between view angles (azimuth) and surface moisture and roughness conditions in field measured radiometer reflectance of an Oxisol. In: *International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, Les Arc, France. Proceedings, Paris: INRA, v. 3, p.185-192.
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). (2001). *The crosstalk correction software user's guide*, 21 p.
- Guyot, G.. (1995). La réflectance des couverts végétaux. *Photo-Interprétation*, 95 (3): 157-180.
- Hubbard, B. E., & Crowley, J. K.. (2005). Mineral mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: data dimensionality issues e solutions. *Remote Sensing of Environment*, 99: 173: 186.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.
- Iwasaki, A., & Tonooka, H.. (2005). Validation of a crosstalk correction algorithm for ASTER/SIWR. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(12): 2747-2751.
- Kokaly, R., & Clark, R. N.. (1999). Spectroscopic Determination of Leaf Biochemistry Using Band-Depth Analysis of Absorption Features and Stepwise Multiple Linear Regression. *Remote Sensing of Environment*, 67: 267-287.
- Knipling, E. B.. (1970) Physical and Physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1: 155-159.
- Nimer, E., Brandão, A.M.P.M. (1989). *Balanço hídrico e clima na região dos Cerrados*. Rio de Janeiro: IBGE, 162p.
- São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente(SMA)-Instituto Florestal(IF)/Biota-FAPESP. (2002). Levantamento da cobertura vegetal do estado de São Paulo. Base cartográfica digital.
- Smith, M. O., & Adams, J. B.. (1985). Interpretation of AIS images of Cuprite, Nevada, using constrains of spectral mixtures. In: Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop. Pasadena, CA. Proceedings, *JPL Publ.*, 85-41, p. 62-68.
- Smith, M. O.; Ustin, S. L.; Adams, J. B., & Gillespie, A. R.. (1990). Vegetation in Deserts: I. A Regional Measure of abundance from Multispectral Images. *Remote Sensing of Environment*, 31: 1-26.
- Souza Filho, C. R., Tápia, C. H., Crósta, A. P. & XAVIER, R. P. (2003). Infrared spectroscopy and ASTER imagery analysis of hidrothermal alteration zones at the Quellaveco Porphyry-Cooper Deposit, Southern Peru. In: *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, Annual Conference – “Technology: Converging at the Top of the World”, p. 1-12.