

CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES DE VEGETAÇÃO NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E A FLORESTA AMAZÔNICA

ANA PAULA FERREIRA DE CARVALHO¹
MERCEDES MARIA DA CUNHA BUSTAMANTE¹
RENATO FONTES GUIMARÃES¹
OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR²

¹UnB - Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil
{anapaula@unb.br, renatofg@unb.br}

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
osmar@ltid.inpe.br

Abstract: The present work has used recent processing techniques to classify vegetation patterns in Landsat5/TM images. The study area is located in a transition zone between the Amazonian Forest and Cerrado. The procedure consists in a preliminary evaluation of the scene materials and comprehends three steps: a) Conversion of TM digital numbers to exoatmospheric reflectance, b) use of a spectral grouping algorithm and c) end members identification. Three main groups were identified by the spectral grouping algorithm. They were mostly varied by photosynthetic and non-photosynthetic vegetation and biomass. The internal spectral variance of each group was evaluated by a specific index. This methodology enabled the evaluation of the main patterns of vegetation in the study area.

Keywords: remote sensing, image processing, vegetation spectral reflectance

1. Introdução

O sinal de reflectância da vegetação obtido por sensores remotos é resultado de uma complexa interação entre fatores bioquímicos e biofísicos do dossel, além de sua organização na paisagem. Esses dados de reflectância podem ser utilizados para explorar propriedades ecológicas, um processo que normalmente requer o uso de modelos. No entanto, a diversidade de espécies, a fenologia e ainda componentes sazonais são responsáveis por grandes variações na cobertura vegetal, dificultando o uso de modelos.

Os espectros de folhas variam bastante em termos de estrutura da célula e constituintes bioquímicos. No entanto, na medida em que se passa da escala da folha para a escala do dossel essa variação espectral diminui. Um dos fatores chave no sucesso do relacionamento do sensoriamento remoto aos modelos ecológicos é a identificação dos fatores que definem a variância espectral em diferentes escalas (Ustin *et al.*, 1993). Nesse contexto, destaca-se a análise de mistura espectral, cujo procedimento consiste numa primeira avaliação dos materiais existentes na cena.

O presente trabalho tem como objetivo empregar recentes metodologias de análise de imagens para a classificação de padrões de vegetação em uma faixa de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado.

A área de estudo localiza-se no limite entre a APA Ilha do Bananal/Cantão e o Parque Nacional do Araguaia (Município de Pium, TO). Essa região situa-se na faixa de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, cuja vegetação é muito diversificada e rica em espécies desses dois biomas. Nessa região predominam campos, aparecendo também o Cerrado propriamente dito, Cerradões, Matas Ciliares, Matas de Igapó e, em áreas mais restritas, a Floresta Pluvial Tropical (IBAMA, 1995).

A região apresenta clima quente, semi-úmido, com quatro a cinco meses secos. O total pluviométrico anual situa-se em torno de 1.750mm, sendo que mais de 70% das chuvas ocorrem nos meses de novembro a março (IBAMA, 1995). A área de estudo faz parte da cena 223/067, do sensor Landsat TM-5, de 16/08/91, com coordenadas 9°40', 10°10'S e 49°40', 50°10'WGr, abrangendo o Centro de Pesquisas Canguçu.

2. Comportamento Espectral de Folhas e Dosséis

As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado pelos sensores ópticos. O comportamento espectral de uma folha é função de fatores como estrutura da folha, conteúdo de água e concentração de bioquímicos (Fourty *et al.*, 1996). Todas as plantas contêm os mesmos materiais básicos: clorofilas e pigmentos, proteínas, amido, ácidos graxos e moléculas bioquímicas estruturais e estocam energia na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese. Desta forma, o comportamento espectral dos vegetais na região entre 0,4-2,4- μm é muito similar (**Figura 1a**). Esse comportamento caracteriza-se por uma alta reflectância no infravermelho, proveniente do espalhamento foliar, e de cinco grandes feições de absorção localizadas em aproximadamente igual distância ao longo do espectro. Estas feições de absorção são provenientes da transição eletrônica da clorofila (0,4-0,7 μm) e da ligação O-H da água, que pode estar associada a feições de outros compostos químicos (0,97; 1,20; 1,40; 1,94 μm) (Dank *et al.*, 1984; Curran, 1989). Dessa forma, na região do visível os pigmentos existentes nas folhas (clorofilas e carotenos) são responsáveis pelo comportamento espectral, enquanto no infravermelho ondas curtas as feições da água dominam a assinatura espectral. Nas folhas fotossinteticamente ativas as feições da água mascaram as feições espectrais provenientes de outros componentes da planta (Jacquemoud & Baret, 1990, Jacquemoud *et al.* 1996). No entanto, quando a produção de clorofila da planta decresce, devido a processos de senescência ou clorose, as fortes feições de absorção da água desaparecem, possibilitando a identificação de feições menores no espectro (**Figura 1b**).

(a)

(b)

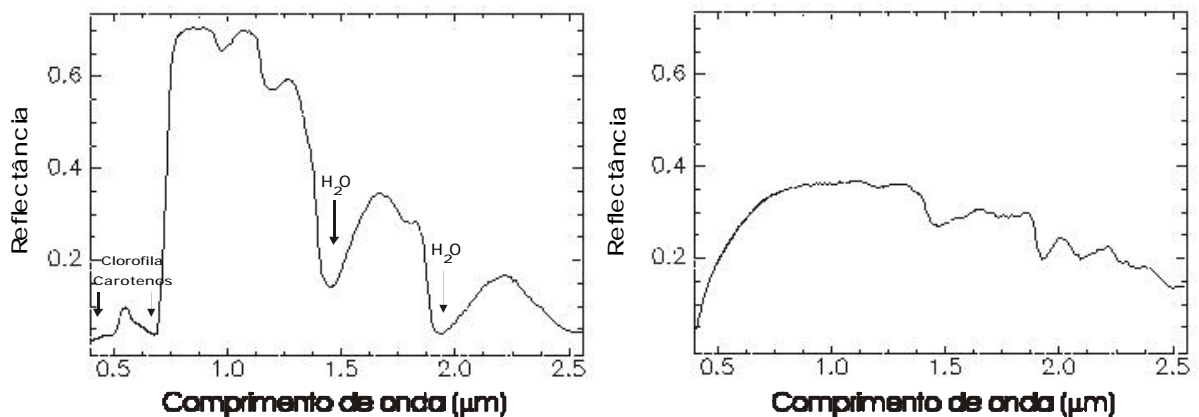


Figura 1 – Comportamento espectral da (a) folha fotossinteticamente ativa e (b) folha não fotossinteticamente ativa.

Apesar dos espectros das plantas serem muito similares, diferentes plantas contêm quantidades variáveis de cada um dos componentes químicos, que causam súbitas variações na forma das feições de absorção (Kokaly *et al.*, 1998).

Em relação ao dossel, os parâmetros responsáveis pelo comportamento espectral incluem a natureza geométrica (ângulos de iluminação e visada), espectral (elementos da vegetação e solo) e biofísica (índice de área foliar, IAF e distribuição angular foliar, DAF). Apesar dos padrões das curvas de reflectância de folhas e de dosséis serem bastante similares, diferindo

apenas nos valores das intensidades, outros fatores influenciam as medidas de reflectância, dificultando uma correspondência direta de análise entre as curvas espectrais e a imagem formada nos sensores imageadores (Ponzoni, 2001).

As imagens multiespectrais tais como as do Landsat *Thematic Mapper* (TM) possuem bandas espectrais largas e que abrangem porções descontínuas do espectro, apresentando limitações para análise mais acurada das feições de absorção dos vegetais (**Figura 2**). Em imagens multiespectrais muitos esforços para compreender e distinguir os tipos vegetais vem sendo realizados principalmente pelo emprego de índices de vegetação (Asrar *et al.*, 1992; Carlson & Ripley, 1997, Chen & Cihlar, 1996; Galvão *et al.*, 1999, Gamon *et al.*, 1995; van Leeuwen & Huete, 1996; Huete, 1988). Esses índices consideram a subida do visível para o infravermelho presente na vegetação fotossinteticamente ativa. A absorção da clorofila ($\sim 0,68 - \sim 0,73\mu\text{m}$) consiste numa das mais pronunciadas inclinações encontradas nos espectros naturais (Clark *et al.*, 1995). No entanto, essa abordagem não considera de forma conjunta a relativa importância de cada banda na caracterização dos tipos vegetais. Outras faixas dos espectros mostram-se também importantes na distinção dos dosséis vegetais. Asner *et al.* (1999) observam uma significativa diferença espectral na faixa SWIR de pastos com idades diferentes. Moran *et al.* (1994) observaram similaridade de espectros na banda 4 entre pastos e florestas, os quais podem ser separados nas bandas 5 e 7.

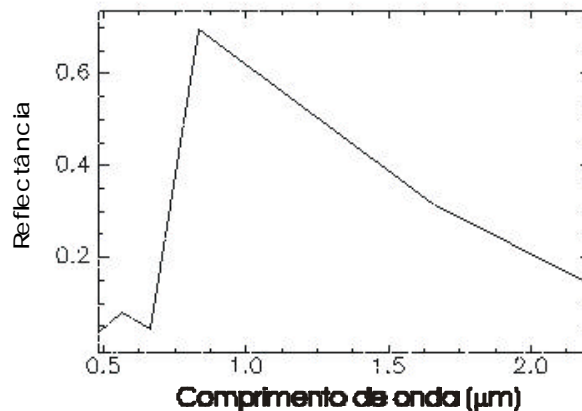


Figura 2 – Comportamento espectral da vegetação fotossinteticamente ativa em imagem Landsat ETM+ assinalando os pontos de subida e descida relativa.

3. Metodologia

Na classificação dos padrões de vegetação da imagem TM-Landsat foram utilizadas funções já disponíveis no programa ENVI bem como algoritmos desenvolvidos em linguagem IDL e implementados nesse programa. A metodologia utilizada pode ser subdividida em três etapas:

a) Pré – Processamento- Conversão dos números digitais para valores de reflectância aparente no topo da atmosfera. A realização da conversão minimiza as variações que ocorrem durante a aquisição das cenas (Bentz, 1990) e possibilita a comparação dos espectros da imagem com os espectros presentes em bibliotecas espectrais;

b) Algoritmo para compartimentação espectral - O algoritmo utilizado foi desenvolvido em linguagem IDL e implementado no programa ENVI com a finalidade de distinguir e agrupar de forma automatizada as curvas espectrais (Carvalho Júnior *et al.*, 2001). O programa avalia inicialmente o comportamento relativo de subida e descida de banda para banda ao longo da curva espectral. Todas as combinações possíveis ao longo do espectro são avaliadas e identificadas por um valor específico que caracteriza os diferentes alvos incluindo a vegetação. Cada grupo é isolado por confecção de máscaras e analisado estatisticamente.

Quando se considera uma cena, ou parte dela, as variações entre os espectros de vegetação são pouco perceptíveis. No entanto, quando os espectros são isolados em grupos, as pequenas diferenças tornam-se mais evidentes.

c) Identificação dos Membros Finais - Para cada grupo foi empregada a metodologia desenvolvida por Boardman & Kruse (1994), que consiste nas seguintes etapas: (a) redução da dimensão espectral utilizando a técnica de *Minimum Noise Fraction* (MNF); (b) redução da dimensão espacial utilizando o método *Pixel Purity Index* (PPI); e (c) identificação manual dos *pixels* utilizando o visualizador n-dimensional. Essa metodologia proporciona a identificação dos membros finais da imagem, mas não sua distribuição espacial.

4 - Resultados e Discussão

O emprego do algoritmo para compartimentação espectral na área de estudo detectou três grupos que variaram principalmente pela quantidade relativa de vegetação fotossinteticamente ativa (VFA) e vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA). O comportamento desses grupos é descrito a seguir.

Análise do grupo 1

No primeiro grupo ficaram os espectros com características de forte absorção na banda 3, alta reflectância na banda 4 e reflectância intermediária na banda 5 (com reflectância sempre mais baixa que a banda 4) (**Figura 3**). A distribuição espacial desse grupo pode ser visualizada por sua máscara (**Figura 4a**). As diferenças espectrais nesse grupo são realçadas pela composição colorida das 1^a, 2^a e 3^a componentes MNF (**Figura 4b**). A partir da geometria do *simplex* foram identificados os membros finais que compõem esse grupo: VFA, mistura de VFA e VNFA e VFA sobre água. A VFA apresenta bem demarcadas as feições de absorção da clorofila, na banda 3, e da água, na banda 5. No entanto, alguns espectros desse grupo apresentaram valores bastante altos na banda 5, indicando mais baixa quantidade de água nas folhas. Com o propósito de realçar o comportamento espectral na banda 5 foi estabelecido o seguinte índice (Carvalho Jr. *et al.*, 2001):

$$\text{Índice1} = \frac{((B4 + B7) / 2) - B5}{(B4 - B7) / 2} \quad (\text{equação 1})$$

A imagem resultante desse índice permite avaliar o comportamento da água foliar na vegetação (**Figura 4c**). Quanto maior o valor do índice maior é a presença da água foliar.

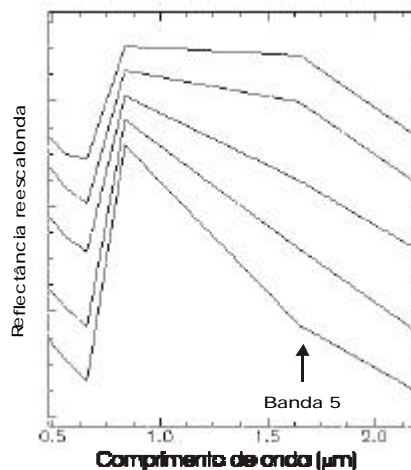


Figura 3 – Comportamento espectral da VFA no período seco assinalando os pontos relativos de subida e descida.

A mistura espectral da vegetação com a água gera espectros com características híbridas. Devido à interferência da água, observam-se valores na faixa do visível maiores que os da faixa do infravermelho e valores de reflectância inferiores a 0,14 para todo o espectro. Os espectros de vegetação apresentam altos valores de reflectância na banda 4, revelando alta quantidade de biomassa. Para alguns espectros desse grupo as diferenças entre as bandas 1 e 4 são bem pequenas em comparação aos demais, tornando-o bem distinto. O emprego do diagrama de dispersão entre as 1ª e 2ª componentes MNF evidencia uma maior variância dos espectros de mistura de vegetação e água (**Figura 5**). Os *pixels* demarcados no diagrama de dispersão (em vermelho) estão especializados na imagem junto às margens dos rios.

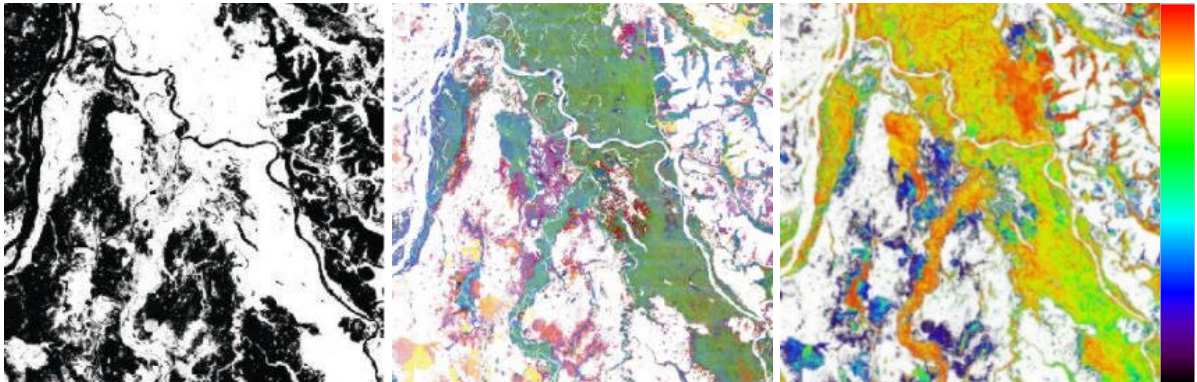


Figura 4 – Imagens referentes ao grupo 1 (a) máscara (áreas claras), (b) composição colorida das 1ª, 2ª e 3ª componentes MNF, e (c) imagem do índice espectral

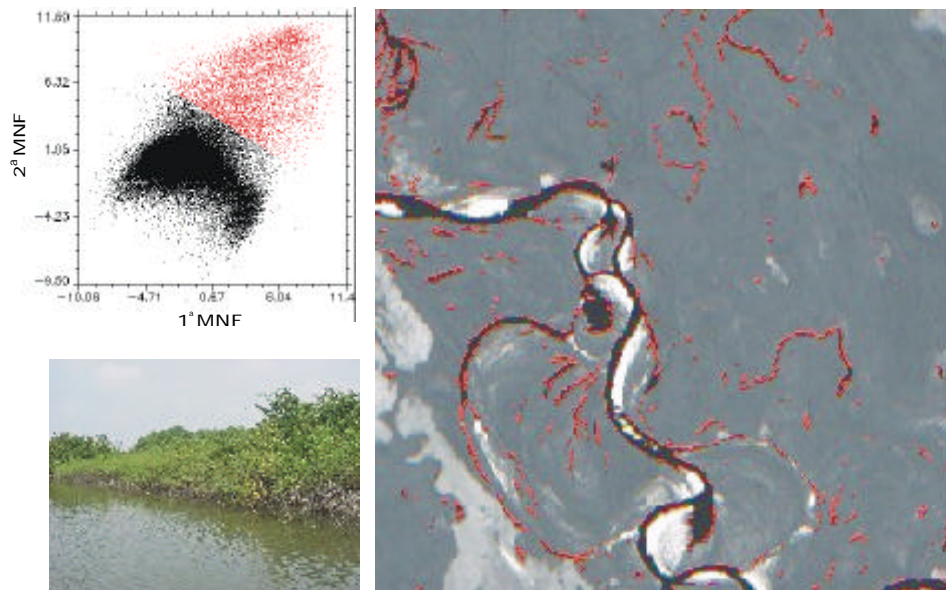


Figura 5 - Distribuição espacial dos *pixels* que apresentam mistura espectral de vegetação e água.

Análise do grupo 2

No grupo 2 ficaram os espectros cuja a principal característica é a reflectância da banda 5 maior que a da banda 4, sendo que a reflectância da banda 4 é um pouco mais baixa que a do grupo anterior, evidenciando menor biomassa (**Figura 6**). A área relativa a esse grupo foi individualizada por uma máscara (**Figura 7a**) e as variações existentes no grupo são realçadas pela composição colorida das componentes da transformação MNF (**Figura 7b**). Os espectros obtidos correspondem à vegetação com menor biomassa (em relação ao grupo anterior) e mais

sujeita a estresse hídrico (alta reflectância na banda 5): campo de murundu, cerrado e pasto. A presença de gramíneas secas e, em menor proporção, de solo ocasionam maior reflectância nas bandas 1, 2 e 5. Tal como para o grupo anterior foi estabelecido um índice que reflete o aumento da VNFA.

$$\text{Índice 2} = \frac{B4 - ((B5 + B3) / 2)}{(B5 - B3) / 2} \quad \text{equação 2}$$

Esse índice reflete a inclinação da banda 4 em relação às bandas 5 e 3. Quanto menor for o valor do índice, maior a proporção de vegetação seca (**Figura 7c**).

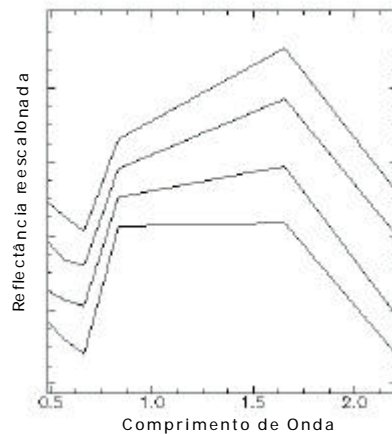


Figura 6 – Espectros relativos ao grupo 2.

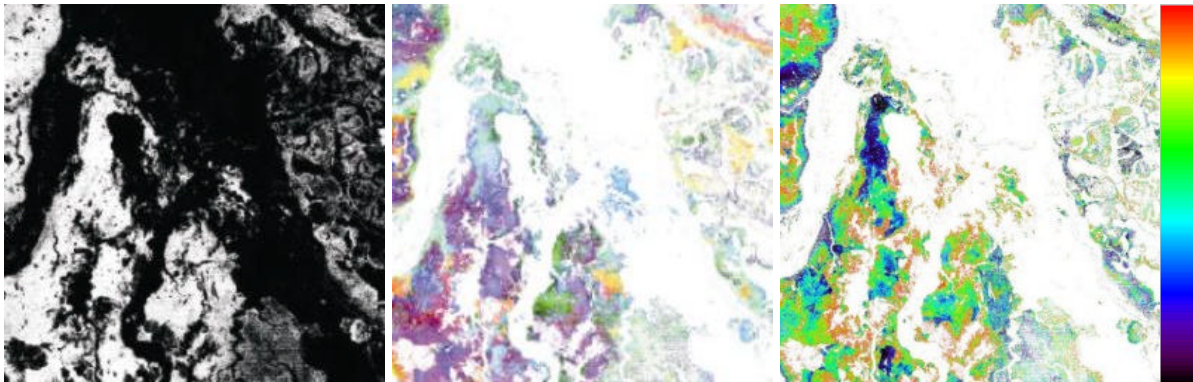


Figura 7 – Imagens do grupo 2: (a) máscara relativa às áreas pertencentes ao grupo 2 (áreas claras), (b) composição colorida das 1ª, 2ª e 3ª componentes MNF, e (c) imagem do índice do grupo 2

Análise do grupo 3

O terceiro grupo difere do grupo anterior devido à subida da banda 2 para a banda 3. Este grupo apresenta uma subida crescente da banda 2 até a banda 5 (**Figura 8**). A maior variância, como nos grupos anteriores, também se encontra na banda 5. Este grupo caracteriza-se pela VNFA. A demarcação da área desse grupo é apresentada na **Figura 9a**. O emprego do MNF permitiu salientar o comportamento diferenciado dentro desse grupo (**Figura 9b**). O índice espectral empregado foi o mesmo do grupo 1 (**Figura 9c**). Observa-se que as principais diferenças localizam-se entre a porção leste (mais alterada) e oeste (mais preservada), como também com relação à proximidade dos corpos d'água.

Classificação Final

Por fim, estabeleceu-se um mapa final composto pelos principais grupos (**Figura 10**). Devido à grande variância do grupo 1, optou-se por subdividi-lo em três sub-grupos: grupo 1a – VFA, grupo, 1b – mistura VFA/VNFA com predominância de VFA, e grupo 1c – VFA misturada com água. No grupo 2 estão a mistura VFA/VNFA, com predominância de VNFA (cerrado) e no grupo 3 está a VNFA (campo). As áreas sem vegetação ou com pequenas proporções de vegetação no *pixel* não foram classificadas, às quais foi atribuída a cor negra.

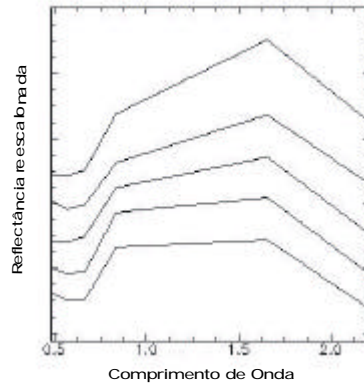


Figura 8 – Comportamento espectral do grupo 3



Figura 9 – Imagens do grupo 3: (a) máscara relativa às áreas pertencentes ao grupo 3.(b) composição colorida das 1ª 2ª e 3ª componentes MNF (c) imagem do índice do grupo 3.

Conclusões

O procedimento adotado utilizando o algoritmo para compartimentação espectral e a análise dos membros finais para cada grupo foi eficiente para discriminar padrões de vegetação em relação à densidade de biomassa e proporção de VFA/VNFA. A variância interna de cada grupo pode ser avaliada a partir do emprego de um índice específico. Desta forma, pode-se avaliar a distribuição dos principais tipos de vegetação da área de estudo.

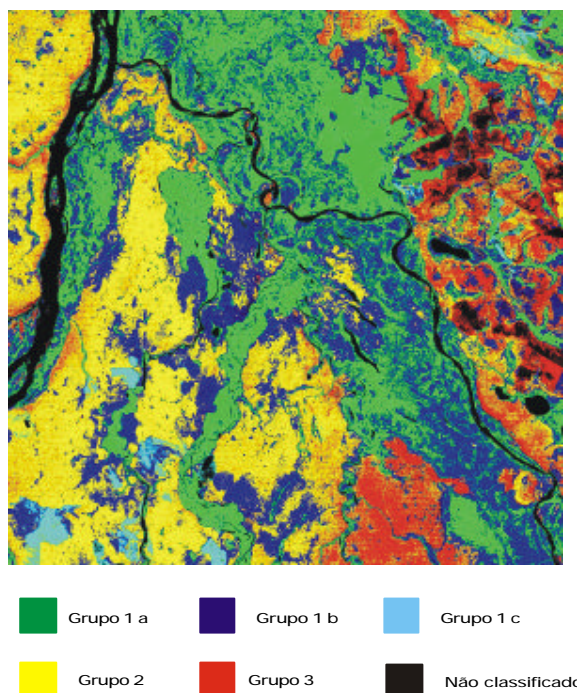


Figura 10 - Classificação pelos principais grupos

Referências

- Asner, G. P.; Townsend, A. R. & Bustamante, M. C. Spectrometry of pasture Condition and Biogeochemistry in the Central Amazon, *Geophysical Research Letter*, VOL.26, NO.17, pp.2769-2772. 1999.
- Asrar, G. F., Myneni, R. B. & Choudbury, B. J. Spatial heterogeneity in vegetation canopies and remote sensing of absorbed photosynthetically active radiation: a modeling study. *Remote Sens. Environ.*, 41:85-103. 1992.
- Bentz, C. M. Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM Landsat-5. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE, 142pp. 1990.
- Boardman, J. W & Kruse, F. A. Automated Spectral Analysis: a geologic example using AVIRIS data. In: ERIM tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Harbor, MI: 407-418. 1994.
- Carlson, T. N. and Ripley. D. A. On relation between NDVI, fraction vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62:241-252. 1997
- Carvalho Jr., O. A.; Guimarães, R. F.; Rocha, V. M. S. & Carvalho, A. P. F. Desenvolvimento de Algoritmo Para Classificação de Vegetação Considerando O Comportamento Espectral Das Imagens LANDSAT7/ETM+. In: CD-ROOM do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre (RS). 2001.
- Carvalho, A. P. F; Guimarães, R. F; Carvalho Júnior, O. A & Bustamante, M. M. C. Metodologia para Análise de Mistura Espectral em Imagens TM-Landsat. IN: CD-ROOM do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu (PR). 2001.
- Chen, J. M. & Cihlar J. Retrieving Leaf Area Index of Boreal Conifer Forest Using Landsat TM Images. *Remote Sens. Environ.* 55:153-162. 1996.
- Clark, R. N; King, T. V. V.; Ager, C; Swayze, G. A. Initial Vegetation Species and Senescence/Stress Indicator Mapping in the San Luis Valley, Colorado, Using Imaging Spectrometer Data Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1 v.1, p.35-38. 1995.
- Curran, P. J. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sens. Environ.* 30:271-278. 1989.
- Dank, S. M., Evans, E. H. & Whittaker, P. A. *Photosynthetic Systems: Structure, Function and Assembly*. Willey, New York. 1984.

- Fourty, T.H.; Baret, F.; Jacquemoud, S.; Schmuck, G. & Verdebout, J. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. *Remote Sens. Environ.* 56:104-117. 1996.
- Galvão, L. S., Vitorello, I. & Almeida Filho, R. Effects of bands positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. *Remote Sens. Environ.*, 67:181-193. 1999.
- Gamon, J. A., Field C. B., Field, C. B., Goulden, M. L. Relationships between NDVI canopy structure and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecol Apply* 5:28-41. 1995.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Envir.* 25:295-309. 1988.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Plano Emergencial, Parque Nacional do Araguaia. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília, DF. 104pp. 1995.
- Jacquemoud, S. & Baret, F. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Rem. Sens. Envir.* 34:75-91. 1990
- Jacquemoud, S., Ustin, S. L. Verdebout, J.; Schmuck., G.; Andreoli, G. & Hosgood, B. Estimating leaf biochemistry using the PROSPECT leaf optical properties model. *Rem. Sens. Environ.* 56:194-202. 1996.
- Kokaly, R.; Clark, R. N. & Livo, K. E. Mapping the biology and mineralogy of Yellowstone National Park using imaging spectroscopy. Summaries of the 4th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 97-21, v.1, p.235-244. 1998.
- Moran, E. F; Brondizio, E; Mausel, P. & Wu, Y. Integrating Amazonian Vegetation, Land-Use, and Satellite Data. *BioScience.* 44:329-338, 1994.
- Nelson, R. F. Reducing Landsat MSS scene variability. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 51 (5):583-593. 1985
- Ponzoni, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: P. R. Meneses e J. S. Madeira Netto (Org.), Sensoriamento Remoto – Reflectância de Alvos Naturais. Brasília, DF: Ed. UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 262pp. 2001.
- Ustin, S. L.; Smith, M. O. & Adams, J. B. Remote sensing of ecological models using spectral mixture analysis. In: *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. J. R. Ehleringer and C. B. Field (eds.), Academic Press, Inc. pp.339-357. 1993.
- Van Leeuwen, W. J. D. & Huete, A. R. Effects of standing litter on the biophysical interpretation of plant canopies with spectral indices, *Remote Sens. Environ.* 55:123-134. 1996.