

Estimativa de propriedades biofísicas no mapeamento de pastagens utilizando espectroscopia de imageamento e dados do sensor EO1 – Hyperion

Luiz Eduardo Vicente¹
Daniel de Castro Victoria¹
Édson Luis Bolfe¹
Ricardo Guimarães Andrade¹

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/CNPM
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{vicente; daniel, bolfe; ricardo@cnpm.embrapa.br}

Abstract. Much attention has been devoted recently to the matter of pasture degradation and the identification of such areas. The main interests in degraded pastures are related to the fact that the recovery of such areas could be used to increase beef cattle production and thus reduce the need for the establishment of new agricultural fields, lowering deforestation pressure. Another topic of interest related to degraded pastures is the Brazilian National Climate Change Policy and the Low Carbon Agriculture Program (Programa ABC – Agricultura de Baixo Carbono) which aims to reduce national carbon dioxide emissions. The recovery of degraded pasture is one of the objectives of this program, which increases the amount of carbon stored in the soil, acting as a carbon sink. However, the identification of degraded pastures through the use of remote sensing is still in development. Here we present a method based on the use of hyperspectral classification and images from the EO1-Hyperion hyperspectral sensor in order to map the occurrence of pasture areas among the cerrado region. The method is based on a linear spectral unmixing model that can be linked to vegetation characteristics and was capable of discriminating the signals of natural savanna vegetation from pasture and bare soil. The procedure used was able to map pasture areas in the Brazilian Pantanal region and estimate biophysical parameters associated to non-photosynthetic vegetation (ANPV – dry matter). As future research, spectral mixture analysis approach similar to the ones obtained from Hyperion will be developed based on different orbital sensors, in order to evaluate pasture areas in larger regions.

Palavras-chave: imaging spectrometry, linear spectral unmixing, low Carbon agriculture, espectroscopia de imageamento, modelo linear de mistura, agricultura de baixo carbono.

1. Introdução

A comunidade científica mundial tem destacado nas últimas décadas a elevação das áreas degradadas no meio rural, a importância da recuperação dessas áreas e a busca do desenvolvimento agropecuário aliado ao uso sustentável dos recursos naturais. Salienta-se ainda, que as restrições ambientais em vigor no Brasil (manutenção de áreas de reserva legal e de preservação permanente) e esse crescimento de áreas degradadas, aliado à elevação da consciência sobre a temática da sustentabilidade, estão incorporando o meio ambiente como parte fundamental das estratégias de implantação dos sistemas de produção agropecuárias na região. Romeiro e Filho (1996) já destacam que, embora existam aspectos caricaturais e com muitas proposições alternativas e contraditórias sobre a formulação de problemas e a proposição de soluções (seja em âmbito planetário, nacional, regional ou local), a consciência ambiental assume proporções inéditas e tem caráter irreversível como um problema socialmente legitimado.

Nesse sentido, especial atenção tem sido focada no aumento das áreas de pastagem em detrimento a florestas nativas, consequência da elevação do consumo de carne bovina no mercado nacional e as crescentes exportações. Conforme o último censo agropecuário nacional, as áreas de pastagens (cultivada e nativa) ocupam em torno de 172 milhões de hectares (IBGE, 2006). Desse total, o MAPA (2010) estima que 40 milhões de hectares encontram-se em diferentes estágios de degradação. Este componente interfere negativamente na baixa lotação de cabeças bovinas por hectare e causa diminuição na produtividade em função de emagrecimento durante períodos baixa precipitação e mortes

por falta de alimento. Inúmeras são as definições apontadas na literatura sobre o termo “degradação de pastagens”. Macedo e Zimmer (1993) já definiam como sendo um processo evolutivo da perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, assim como, o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados.

Dessa forma, a recuperação de áreas degradadas torna-se imprescindível no contexto social, econômico e ambiental para a produção agropecuária brasileira, evitando assim, a pressão e incorporação de novas áreas de vegetação nativa, em especial nos Biomas Cerrados e Amazônia. Diante dessa questão, ações governamentais estão sendo conduzidas na tentativa de amenizar os efeitos adversos decorrentes do processo de mudança do uso e cobertura das terras, os quais tem colocado a agricultura brasileira como um dos principais responsáveis pela emissão dos gases de efeito estufa (GEE) da mudança do clima (McKinsey e Company, 2010). Dentre estes esforços, destaca-se a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que trata da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e o recente plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura, estabelecendo o Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono - Programa ABC (MAPA, 2010) o qual prevê a recuperação de 50 milhões de hectares de áreas degradadas no meio rural até 2020.

Portanto, paralelo aos incentivos governamentais para a recuperação de áreas degradadas, as geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, ocupa um relevante papel na identificação dessas áreas e no monitoramento de sua recuperação, seja em escala, local, regional ou nacional. Dessa forma, torna-se imprescindível o desenvolvimento de processos e métodos mais eficazes para a identificação e monitoramento de pastagens degradadas. Por meio da utilização de sensores remotos com diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais é possível identificar características relacionadas à degradação das pastagens. Índices que utilizam a reflectância na faixa do infravermelho de ondas curtas, ligados ao teor de água na vegetação, mostram boa correlação com parâmetros biofísicos de interesse como biomassa e conteúdo de água na vegetação (Numata et al., 2007; Szakács, 2003). Outros trabalhos se baseiam em modelos de mistura espectral para estimar a quantidade de vegetação não fotossinteticamente ativa presente (Numata et al., 2007; Asner et al., 2004), índice também relacionado à degradação de pastagens.

A utilização de sensores hiperespectrais e métodos de espectroscopia de imageamento podem contribuir significativamente para avaliar com maior precisão quais faixas espectrais estão relacionadas às características de interesse inerentes ao processo de degradação. A partir das imagens do sensor EO1-Hyperion, Guerschman et al. (2009) mostraram ser possível quantificar a fração da vegetação não fotossinteticamente ativa utilizando índices de vegetação (NDVI) e de absorção da celulose (CAI) em savanas Australianas. Os autores também demonstraram haver uma ligação entre os índices estimados pelo sensor hiperespectral e imagens do sensor MODIS, possibilitando avaliações em áreas mais extensas. Assim, esse trabalho objetiva contribuir com as recentes iniciativas de pesquisa e desenvolvimento no âmbito da identificação e monitoramento de pastagens degradadas por meio da avaliação de imagens hiperespectrais do sensor EO1-Hyperion em uma região com presença de pastagens em meio ao cerrado, localizada no Pantanal brasileiro.

2. Área de Estudo

A área de estudo se localiza no Pantanal brasileiro, no estado do Mato Grosso do Sul, dentro do quadrilátero formado pelas coordenadas Lat, 20° 2' 44.49"/Long, 55° 54' 58.62"S, 20° 8' 56.91"/Long, 55° 51' 29.40" (Figura 1).

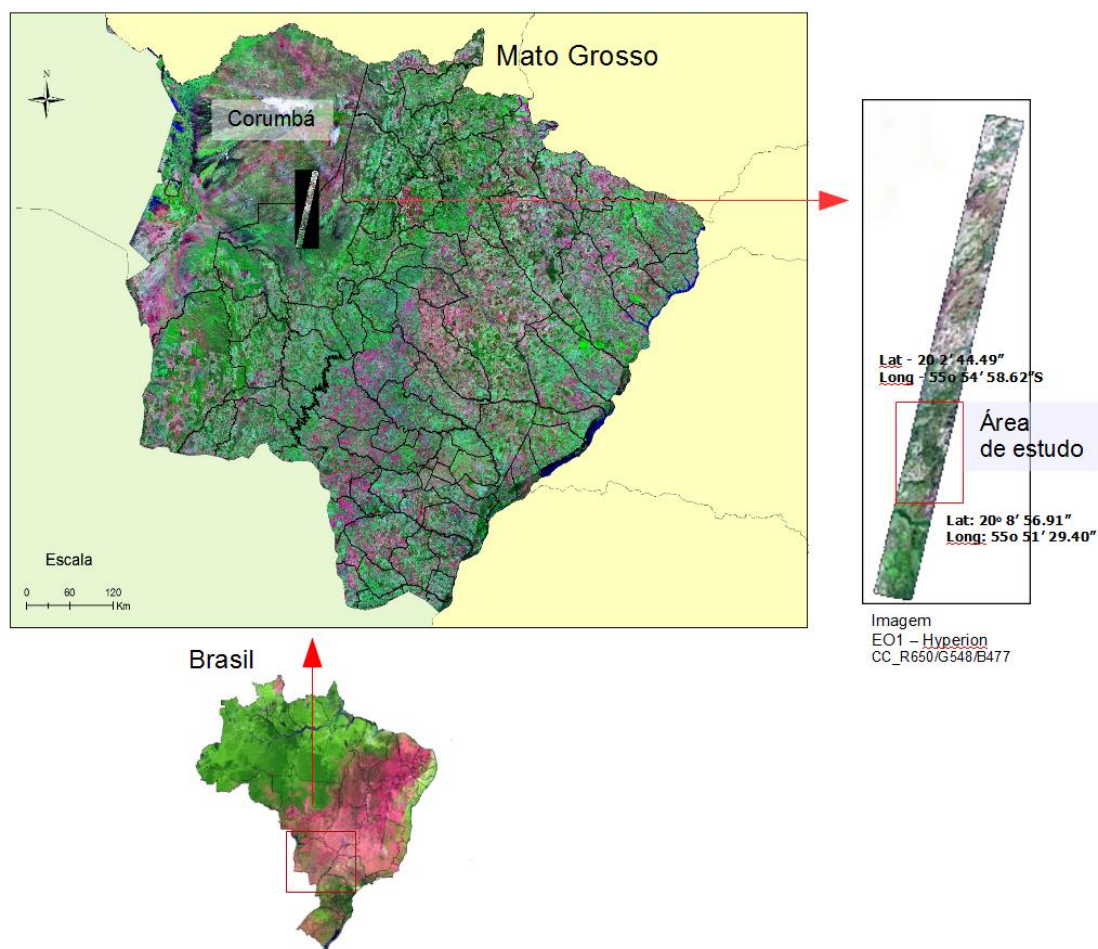


Figura 1. Área de estudo no Pantanal Brasileiro (MS)

3. Material e método

A imagem Hyperion foi adquirida no nível 1Gst, com data de passagem de 06 de Junho de 2004. Esse nível de dado apresenta vantagens sobre a tradicional versão 1R, visto que além da correção radiométrica, presente em ambas as versões, também possui correção geométrica através de ortoreificação realizada com base em modelos digitais de elevação (MDE), reduzindo erros de paralaxe devido a variações topográficas (Jupp et al., 2004). Das 242 bandas do Hyperion, algumas não podem ser calibradas e tem seus valores de radiância arbitrariamente ajustados para zero. Valores de radiância 0 são inconsistentes com os parâmetros de conversão à reflectância e, portanto, devem ser suprimidos. Isso ocorre em parte, devido à baixa resposta espectral de algumas bandas, principalmente nos comprimentos de onda iniciais no VIS, de 0.355 a 0.426 μm , e finais no SWIR entre 2.395 a 2.405 μm . Outro impeditivo encontra-se na sobreposição de bandas nos comprimentos de onda de 0.852 a 1.058 μm , cobertas respectivamente por espectroradiômetros distintos no VNIR e no SWIR. Assim, utilizaram-se as bandas 8 a 57 (0.436 -0.926 μm) no VNIR e 79 a 224 (0.892 – 2.406 μm) no SWIR, totalizando 196 bandas calibradas (Jupp et al., 2004; Barry, 2001). Deste conjunto, também foram excluídas as bandas de absorção atmosférica que nos dados Hyperion compreendem as bandas: 120 a 132; 165 a 182 e 185 a 187 (Barry, 2001), totalizando finalmente 162 bandas.

Para a minimização dos efeitos da atmosfera foi utilizado o aplicativo *FLAASH*, constante do programa ENVI, o qual utiliza o modelo de simulação da atmosfera *MODTRAN*. O

processo de correção gera artefatos na imagem próprios de sensores *pushbroom*, os quais foram minimizados pela ferramenta *Effort Polishing (Empirical Flat Field Optimal Reflectance Transformation – ENVI)*. Como referência de campo foi utilizada a base de dados digital do projeto PROBIO Pantanal (Abdon; Silva, 2006). Esse projeto mapeou o bioma Pantanal na escala 1: 250.000, e foi completado em período análogo aos dados Hyperion deste trabalho, se constituindo num robusto referencial da área de estudo.

3.1 Processamento de dados Hyperion

Foi aplicado nos dados Hyperion o procedimento de seleção de *endmembers* (membros extremos) PPI (*Pixel Purity Index*) (Boardman *et al.*, 1995). De um grupo de 30 *endmembers* selecionados automaticamente pelo PPI, foram escolhidos 3 grupos de espectros para o estabelecimento do comportamento espectral médio de pixels sobre áreas de pastagem, formação savânica diversa (e.g. campo cerrado, campo limpo, campo sujo) e solo exposto. Para tanto foram utilizados os mapas PROBIO, além de análise das feições diagnósticas dos espectros (Figura 2a). A classificação da imagem foi realizada com base em modelo linear de mistura espectral utilizando o algoritmo de classificação hiperespectral SAM (*Spectral Angle Mapper*) (Kruse *et al.*, 1993), na qual os *endmembers* (e) são testados (t) par à par com todos os pixels da imagem num espaço n -dimensional após serem convertidos em vetores. Onde $n =$ número de bandas e i é o valor individual de cada banda, expressos na Equação 1.

$$\theta = \text{Cos}^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n t_i e_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n e_i^2}} \right] \quad (1)$$

Assim, quanto menor o ângulo (θ) entre os pixels da imagem e os *endmembers*, maior a similaridade entre eles e vice-versa, os quais são expressos em radianos nas imagens *rules* (Figuras 2c-d). Maiores detalhes sobre essas técnicas podem ser obtidos nos autores supracitados.

Cada grupo de assinaturas espectrais objetiva segregar um conjunto de características passíveis de detecção remota e que influenciam diretamente na estimativa das propriedades biofísicas das pastagens. Esses fatores somados a presença de solo exposto podem indicar diferentes estágios de senescência ou elementos de degradação neste tipo de formação. Os componentes bioquímicos como a lignina e a celulose, por exemplo, por estarem associados à matéria seca é um forte indicador da vegetação não-fotossinteticamente ativa (VNFA) com comportamento espectral característico na região do SWIR (*Short Wave Infrared*) (0.900 – 2.500 μm), e apresentam valores de reflectância maiores que a chamada vegetação verde ou fotossinteticamente ativa (VFA), as quais estão associadas ao comportamento espectral de pigmentos como as clorofilas (a,b), β -carotenos e xantofilas, com feições diagnósticas na região do visível entre 400 – 700 nm (VNIR – *Visible e Near Infrared*), como se observa na Figura 2a nos espectros da imagem Hyperion de gramínea de pastagem e vegetação verde.

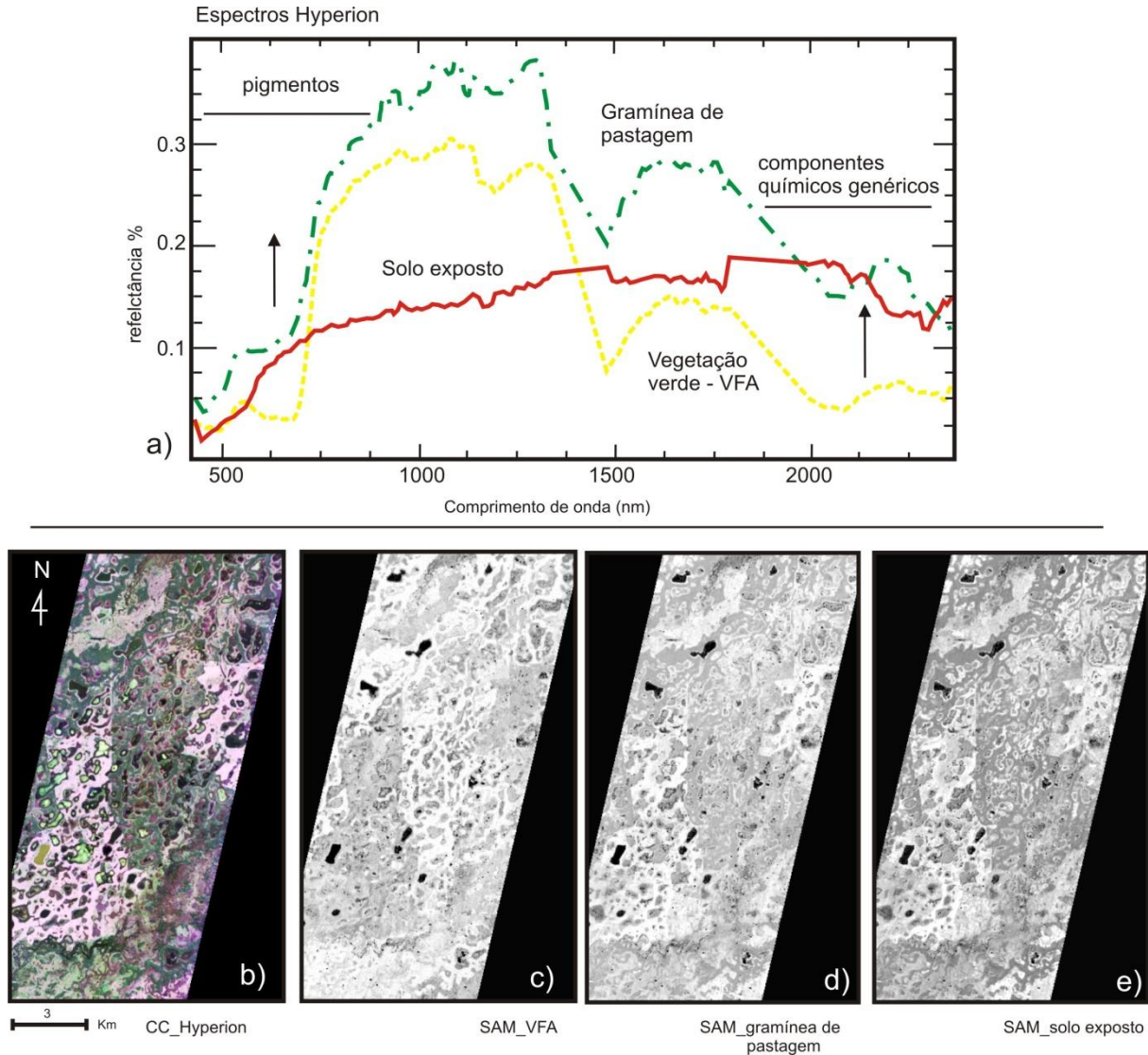


Figura 2. *Endmembers* da imagem Hyperion (a). Composição colorida R650/G548/B477 da imagem Hyperion, e o resultado da classificação SAM *rules* (θ) para vegetação verde (c), gramínea de pastagem (d) e solo exposto (e).

4. Resultados e discussão

Como classificação final cada resultado do modelo linear usando o SAM foi agregado num *triplet* para os canais vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*), respectivamente, para solo exposto, vegetação verde (VFA) e gramínea de pastagem. Verifica-se a coincidência entre os mapeamentos realizados pelo PROBIO e dos resultados SAM, destacados em detalhe da figura 3b, com uma nítida divisão antrópica resultado de pastagem cultivada em tons de magenta, oriunda da mistura entre solo e gramínea de pastagem, em relação ao verde da formação savânica do lado direito, indicado na seta 1.

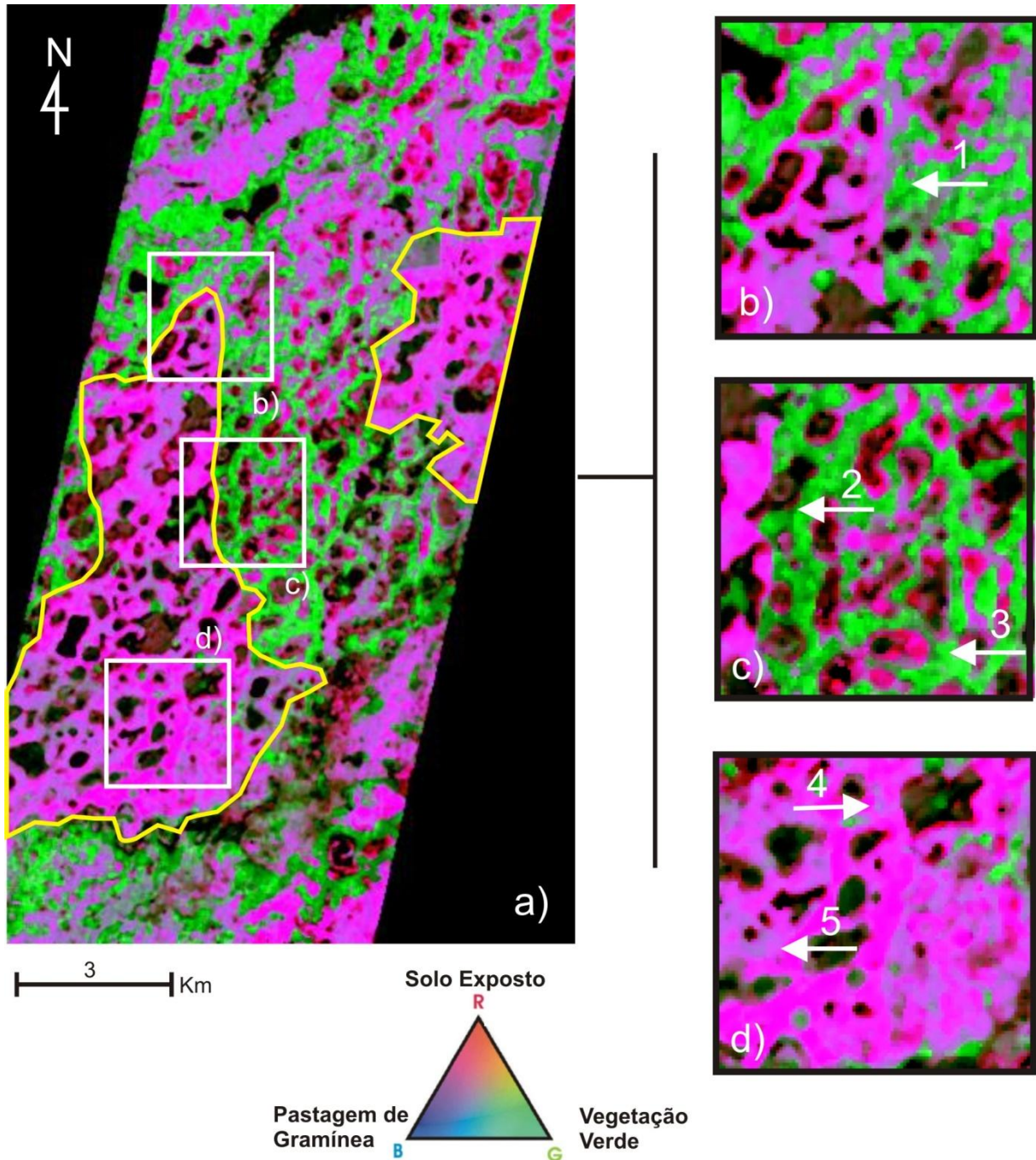


Figura 3. Classificação da imagem Hyperion utilizando *triplet* das imagens SAM *rules* (θ), onde os resultados para solo exposto são apresentados no canal vermelho (Red), da vegetação verde no canal verde (Green) e da gramínea de pastagem no canal azul (Blue) (a). Nos detalhes das figuras b, c, d, encontram-se as áreas ampliadas da imagem principal com apontamentos discutidos no texto. A área destacada na figura 'a' corresponde a área coincidente mapeada como pastagem em referência de campo e nos resultados SAM.

Mesmo em meio a formação de Cerrado houve um relevante ganho informacional, visto que na imagem original não é possível a identificação de formações de gramíneas, essas por sua vez apresentam-se agora em uma distribuição natural e nítida (Figura 3c, setas 2 e 3). Observa-se também que na área de pastagem a mistura de cores denota maior ou menor presença de solo, vegetação verde ou matéria seca como resultado da presença da pastagem de gramínea (Figura 3d, seta 5). Como se trata de uma região do pantanal os baixos valores de

albedo relacionados a locais alagados são um dificultador para o mapeamento remoto, porém, observa-se que a identificação dos corpos d'água mostrou-se plenamente satisfatória, indicados pela ausência de cor e eventual presença de vegetação em verde e solos na forma de material carreado (Figura 3d, seta 4).

4. Conclusões

A utilização de imagens do sensor remoto hiperespectral Hyperion, aliada ao modelo linear de mistura espectral foi capaz de discriminar áreas de pastagens antrópicas em meio as formações de cerrado do Pantanal brasileiro, demonstrando a viabilidade da estimativa de parâmetros biofísicos do alvo, com vias a determinação de sua abundância relativa na área de estudo.

Este trabalho mostra que a metodologia proposta possui potencial para contribuir na identificação de áreas de pastagens degradadas e monitorar possíveis intervenções antrópicas de recuperação desses locais. Destacam-se também os aspectos funcionais e de baixo custo relevantes a espectroscopia de imageamento na identificação/validação de feições espectrais diagnósticas relacionadas aos alvos sob investigação.

Referências Bibliográficas

Abdon, M.M.; Silva, J.S.V. **Fisionomias da Vegetação nas Sub-regiões do Pantanal Brasileiro**. São José dos Campos: INPE; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2006.

Asner, G. P.; Townsend, A. R.; Bustamante, M. M. C.; Nardoto, G. B.; Olander, L. P. Pasture degradation in the central Amazon: linking changes in carbon and nutrient cycling with remote sensing. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 844-862, 2004.

Barry, P. **EO-1/ Hyperion Science Data User's Guide, Level 1_B**. TRW Space, Defense & Information Systems, 60 p. 2001.

Berry, B. J. L. Approaches to regional analyses: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, v. 54, n.1, p. 1-11, 1964.

Boardman, J. W.; Kruse, F. A.; Green, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: **Summaries**, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1, 1, 23-26. 1995.

Guerschman, J. P.; Hill, M. J.; Renzullo, L. J.; Barret, D.J.; Marks, A. S.; Botha, E. L. Estimating fractional cover of photosynthetic vegetation, non-photosynthetic vegetation and bare soil in the Australian tropical savanna region upscaling the EO-1 Hyperion and MODIS sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 5, p. 928-945, 2009.

Ibge (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Agropecuário do Brasil, 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15. set. 2010.

Jupp, D. L. B.; Datt, B.; Lovell, J.; Campbell, S.; King, E. **Discussions around Hyperion Data: Background Notes for the Hyperion Data Users Workshop**. CSIRO, Office of Space Science and Applications Earth Observation Centre, 46 p. 2004.

Kruse, F. A.; Lefkof, A. B.; Boardman, J. W.; Heiedbrechet, K. B.; Shapiro, A.T., Barloon, P. J.; Goetz, A. F. H. The spectral image processing system (SIPS) – Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing Environment**, 44,145-163. 1993.

Macedo, M.C.M.; Zimmer, A.H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In Favoretto, V.; Rodrigues, L.R.A.; Reis, R.A. (eds.). Simpósio sobre ecossistemas de pastagens, 2, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1993. p.216-245.

Mapa (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Programa ABC**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/images/MAPA/camaras_setorias/floresta/programaABC.pdf. Acesso em: 10. out. 2010.

Mckinsey e Company. **Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil**. Relatório. 45p. Disponível em: <http://www.mckinsey.com.br/sao_paulo/carbono.pdf>. Acesso em: 23. out. 2010.

Numata, I.; Roberts, D. A.; Chadwick, O. A.; Schimel, J.; Sampaio, F. R.; Leonidas, F. C.; Soares, J.V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 3, p. 314-327, 2007.

Romeiro, A. R.; Filho, S. S. Dinâmica de inovações sob restrição ambiental. In.: Romeiro, A. R.; Reydon, B. P.; Leonardi, M. L. A. (Org.) **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas: UNICAMP-IE, 1997. p. 83 - 122.

Szakács, G. G. J. Seqüestro de carbono nos solos - Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi - Piracicaba – SP. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Ciências), Piracicaba, SP: Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo.