ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf

Identificação de Áreas Hidromórficas, por Meio de Análise Espectral de Dados de Sensoriamento Remoto, como Subsídio para a Elaboração de Laudos Periciais de Avaliação de Imóveis Rurais¹

Bruno Carramaschi Borges², Gustavo Macedo de Mello Baptista³, Paulo Roberto Meneses⁴

¹ Monografia de especialização, defendida pelo primeiro autor, no âmbito do II Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

² Especialista em Geoprocessamento Ambiental pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) e Analista Pericial/Engenharia Agrônoma do Ministério Público Federal.

³ Professor Adjunto II Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

⁴ Professor Titular do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Artigo submetido em 02/04/2014 aceite em 04/08/2014

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo identificar áreas hidromórficas de duas fazendas, localizadas no Município de Flores de Goiás/GO, desapropriadas para o Programa de Reforma Agrária. Para tal, utilizou-se a análise integrada de índices espectrais, bem como algoritmos de classificação de dados de sensoriamento remoto, visando desenvolver metodologia que auxilie nas suas caracterizações físicas e subsidiar a elaboração de laudos periciais de avaliação de imóveis rurais. Utilizou-se uma imagem ASTER, de 02 de maio de 2013, do produto sob demanda AST_07XT, que já vem com as correções atmosféricas e de *crosstalk*, além de ser um dado de reflectância de superfície. Para o processamento adotou-se a análise comparativa entre as ferramentas de PDI (Processamento Digital de Imagens) classificador hiperespectral SAM (*Spectral Angle Mapper*), e os índices espectrais EVI2 (*Enhanced Vegetation Index-2*) e IFe (Índice Férrico), bem como a utilização do modelo digital de elevação, com base em imagem SRTM, otimizada para 30 metros de resolução espacial. Foram analisados o relevo, solo, rede hidrográfica, clima e vegetação natural e exótica. Na sequência, quatro planos de informação temáticos foram produzidos, um para cada ferramenta de PDI, com o objetivo de identificar as terras úmidas, em face às variáveis apresentadas. Como resultado, a análise integrada demonstrou que, ainda que tenha sido possível separar as áreas úmidas das secas, individualmente, nenhum dos processamentos foi capaz de prover um resultado com precisão. Entende-se que trabalhos adicionais devem ser incentivados para que os laudos periciais relacionados à avaliação de imóveis rurais se tornem mais precisos e fundamentados tecnicamente.

Palavras-chave: Avaliação de imóveis rurais, áreas hidromórficas, SAM, EVI2, IFe, MDE.

Identification of Hydromorphic Areas by Means of Spectral Analysis of Remote Sensing Data, as Support for the Preparation of Forensic Reports Issued to Evaluation of Rural Properties

ABSTRACT

The aim of this study is to identify hydromorphic areas in two farms located in the city of Flores de Goiás, GO and inappropriate for the Land Reform Programme. To this, we used the integrated analysis of spectral indices and supervised classification algorithms of remote sensing data, to develop a methodology to assist in their physical characterization, as well as subsidizing forensic reports of rural properties. We used an ASTER image of May 2nd, 2013 on demand product AST_07XT that comes with the atmospheric and crosstalk corrections, besides being a surface reflectance data. For processing adopted the comparative analysis DIP tools (Digital Image Processing) hyperspectral classifier SAM (*Spectral Angle Mapper*), and spectral indices EVI - 2 (*Enhanced Vegetation Index - 2*) and IFe (*Ferric index*) as well as the use of digital elevation model, based on SRTM image, optimized for 30-meter spatial resolution. We analyzed topography, soil, river network, climate and natural and exotic vegetation. Following four thematic information plans were produced, one for each DIP tool, to identifying wet areas, due to the variables presented. As a

result, the integrated analysis demonstrated that, although it was possible to separate wet from dry areas individually, none of the processing was able to provide a result with precision. It is meant that additional work should be encouraged so that the forensic reports issued related to evaluation of rural properties become more technically accurate and justified.

Keywords: Evaluation of rural properties, hydromorphic areas, SAM, EVI2, IFe, DEM.

* E-mail para correspondência: gmbaptista@unb.br.

Introdução

O processo de obtenção de terras, para os diversos programas implementados pelo setor público federal, deve seguir premissas e regras complexas, que visam mensurar o valor de mercado dos imóveis a serem desapropriados, de modo a evitar a avaliação sobrevalorada das áreas, o enriquecimento ilícito das partes envolvidas no processo e um potencial dano ao erário (BRASIL. Lei nº 8629, de 25 de fevereiro de 1993, 1993; ABNT, 2004).

Precede à obtenção da propriedade rural, a necessidade de realização de um laudo de avaliação, que determine o valor a ser indenizado. Ocorre que para a confecção de uma peça tão complexa é necessário atender a uma série de procedimentos técnicos, que, em cadeia, permitem a apuração de um valor representativo e fidedigno do comportamento do mercado imobiliário local e regional (INCRA, 2006).

A caracterização física das terras é um passo imprescindível, visto que mesmo pequenos erros podem impactar de forma significativa a valoração das propriedades (CARVALHO, 2001).

A ocorrência solos hidromórficos tem papel relevante no desempenho agropecuário de um imóvel rural, pois restringe a gama de opções de exploração econômica das terras (LIMA, 2010), visto que os solos saturados com água permitem, apenas, o plantio de culturas próprias a essa condição.

Com base nessa proposição, assume-se que a proporção de áreas hidromórficas tem influência direta no valor das propriedades, denotando, nos casos de imóveis de pecuária, numa possível redução de seu valor de mercado, no sentido estrito de que quanto maior a sua proporção, menor o valor global das terras (LIMA, 2010). Essa característica acarreta em severas limitações ao uso agrícola da grande maioria das culturas e limita a exploração pecuária, pois restringe o plantio à cultura de arroz e de espécies de pastagens adaptadas ao excesso de água (LEPSCH, 2001).

Nas condições de excesso de umidade, os solos apresentam coloração com variações de tons acinzentados, esverdeados ou azulados, com mosqueados vermelhos ou amarelos, devido à ausência de ferro oxidado (Fe^{+3}), com ou sem a presença Fe reduzido (Fe^{+2}), logo abaixo da camada superficial de matéria orgânica, acumulada em função da sua baixa taxa de decomposição, devido ao arejamento deficiente do solo (RESENDE, 2002).

Sua formação pode ocorrer em áreas abaciadas e depressões ou, eventualmente, em áreas inclinadas sob a influência da surgência de água subterrânea,

podendo ser permanente ou periodicamente saturados por água (EMBRAPA, 1999).

Valladares (2005) afirma que esses solos apresentam restrições, que devem ser avaliadas com cuidado, durante a definição do planejamento das atividades econômicas a serem desempenhadas nas propriedades rurais, assim como na decisão de compra e venda das fazendas.

Resende (2007) coaduna com essa posição, pois ao descrever as características de aptidão agrícola dos solos com excesso de umidade, afirma que o nível exploratório se reduz com o aumento da umidade no perfil, apresentando desvios nulos a muito fortes, em que nenhum tipo de melhoramento pode solucionar a limitação existente.

Meneses *et al.*, (2011) entendem que os solos existentes nos imóveis podem auxiliar, de forma complementar, no processo de identificação das áreas úmidas, dado que as características dos tipos existentes são muito diferentes entre si. Contudo, a identificação dos solos, via sensoriamento remoto, é dificultada em razão da incapacidade dos satélites promoverem a leitura precisa da reflectância dos alvos cobertos por vegetação ou outros tipos de substratos.

Por outro lado, a utilização de dados de sensoriamento remoto não é totalmente inviabilizada, visto que, em grandes áreas, a possibilidade de identificação de porções desnudas do terreno, seja na sua integralidade, seja nos espaços entremeados às plantas, permite a leitura e a extrapolação para outras porções da imagem. Assim, tal análise torna-se um instrumento de grande valia no exame global dos alvos (MENESES *et al.*, 2011).

A identificação visual no campo pode ser realizada, por meio da associação com a vegetação natural ou exótica, como no caso do capim *Brachiária humidicola*, adaptado a esse tipo de condição e amplamente utilizado em fazendas de pecuária extensiva (CRISPIM *et al.*, 2002).

Ainda, essa variedade de capim é apta ao desenvolvimento em solos encharcados e resistentes ao período de inundação, bem como uma das poucas gramíneas usadas para produção forrageira em áreas úmidas sujeitas a alagamento temporário (SIFERT, 1984; CRISPIM *et al.*, 2002).

Assume-se, então, em decorrência das respostas espectrais relacionadas à ocorrência de umidade no solo e às características vegetativas dos pastos (homogeneidade de distribuição, uniformidade de plantio e de cobertura de solo), que exista a possibilidade do uso de sensoriamento remoto para identificação desses locais, durante o início da época seca. Nesse contexto, a associação dos fatores do

relevo, vegetação e solo compõe uma gama de informações, que, se analisadas em conjunto, podem prover o analista de informações suficientes para a identificação e mensuração das terras úmidas em comento.

O presente estudo objetivou identificar áreas hidromórficas de duas fazendas localizadas no Município de Flores de Goiás, que foram desapropriadas para o Programa de Reforma Agrária, utilizando-se a análise integrada de índices espectrais, bem como algoritmos de classificação de dados de sensoriamento remoto.

Com isso, buscou-se desenvolver metodologia para a caracterização física das propriedades, bem

como subsidiar laudos periciais de avaliação de imóveis rurais.

Material e Métodos

Área de estudo

As Fazendas Juiz de Fora e Indiara (Figura 1), desapropriadas para fins de Reforma Agrária, apresentam área total de 5.513 hectares e estão localizadas entre a latitude 14°62'30" Sul e longitude 46°87'45" Oeste e latitude 14°75'58" Sul e longitude 46°75'10" Oeste respectivamente, no Município de Flores de Goiás, Goiás.

Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: IBGE, 2013.

As fases de relevo variam de plana a suave ondulado montanhosa (EMBRAPA, 2009), com altitudes entre 400 e 600m. A rede hidrográfica da área de estudos é constituída por pequenas nascentes e córregos temporários ou intermitentes. O Córrego Suçuarana é o principal afluente, cujo fluxo é interrompido em alguns locais, durante a época seca.

O clima regional, segundo a classificação de Köppen, pode ser descrito como Tropical Úmido do tipo Aw, com duas estações bem definidas, sendo que a estação fria e seca ocorre no período que compreende os meses de abril a setembro, e a quente e chuvosa, de outubro a março.

A total precipitado anualmente varia de 1.000 a 1.300mm e a temperatura média anual de 29,5°C. No momento de aquisição dos dados do sensor VNIR do ASTER, a área de estudo já estava seca há 12 dias (INMET, 2013).

De acordo com o Mapa de Reconhecimento de Média Intensidade dos solos da Margem Direita do Rio Paranã – Estado de Goiás, de escala de 1:300.000,

(EMBRAPA, 1983), ocorrem nos imóveis os seguintes tipos de solos: Ptd₃ – Plintossolo Distrófico indiscriminado, fase cerrado subcaducifólia, caducifólia e campo de várzea relevo plano e suave ondulado; Re₃ – Associação de Solos Litólicos Eutróficos, também A moderado, textura argilosa fase floresta caducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso, substrato rochas do Grupo bambuí + Afloramentos de Calcário; SCD₂ - Solos concrecionários distróficos indiscriminados, fase cerradão e cerrado caducifólio, relevo plano e suave ondulado.

Os Plintossolos tem sua gênese na ocorrência de acúmulo de água permanente ou variável, portanto, estando associados a solos hidromórficos, em muitos casos. A ocorrência de solos dessa classe está relacionada a terrenos de várzea, áreas com relevo plano ou suave ondulado, terços inferiores de encostas, sob condicionamento de oscilação de lençol freático, de alagamento ou encharcamento periódico por efeito da restrição à percolação ou escoamento da água

(EMBRAPA, 1999). Apresentam cores diferentes, variando do vermelho, com maior teor de hematita, a cores pálidas.

O hidromorfismo deveu-se a presença de altos teores de silte no horizonte A e do leito endurecido de plintita na camada imediatamente inferior, justificando a baixa infiltração de água, a sua percolação lateral no perfil, o ambiente de oxi-redução, a alteração das cores e lixiviação do ferro (EMBRAPA, 1983).

Para Resende (2007), a ocorrência dos campos de murundus (Figura 3, e, f, g e h), ou localmente chamados de campos de covaais, valida a tese de que essas terras são nitidamente úmidas, devido à variação sazonal do lençol freático ou por inundações temporárias, como no caso dos imóveis, onde se

formam depressões fechadas e até pequenas planícies de inundação (EMBRAPA, 2001).

Campanhas de campo

Com o objetivo de identificar *in loco* as áreas secas e úmidas (Figuras 2 e 3), foram realizadas viagens em três épocas distintas, nas estações de plena chuva, intermediária e plena seca (04/02/2011, 05/04/2013 e 01/10/2013), e observadas as fitofisionomias das duas propriedades, nas quais foram avaliados os diferentes componentes da paisagem, como a rede hidrográfica, o relevo, a vegetação, os solos e os limites físicos que os separavam.

Figura 2. Plintossolos: a) Perfil de solo; b) Detalhe do solo; c) Concreção ferruginosa; d) Relevo ondulado, com afloramento de concreções ferruginosas e pastagem degradada.

Figura 3. Solos Hidromórficos: a) perfil de solo hidromórfico com profundidade de 2,47m até a linha d'água.; b) detalhe de solo úmido; c) detalhe de perfil de solo em época chuvosa; d) pastagem em época de chuva; e) pastagem em época seca; f) solo exposto (covoal típico); g) detalhe de cor do solo; h) formações de covoal.

Para Florenzano (2011), essa operação de campo é necessária e muito importante, pois torna a análise dos dados mais confiável.

Durante o percurso no interior das propriedades e nas suas divisas, foram coletados, por meio do GPS Garmin, modelo GPSMAP® 76CSx, 153 (cento e cinquenta e três) pontos de controle. Como resultados, foram marcados 103 (cento e três) em locais

úmidos e 50 (cinquenta) secos, ilustrados no Mapa de Pontos de Controle (Figura 4).

Figura 4. Pontos de controle e coleta de dados.

Pré-Processamento dos Dados

A imagem do sensor VNIR do ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) utilizada no presente estudo (Figura 3) é um produto obtido sob demanda do tipo

AST_07XT, que já vem corrigida para os efeitos atmosféricos de absorção e espalhamento, bem como com correção de *crosstalk*, que é um problema de “vazamento” de sinal no sensor SWIR.

Além disso, o produto AST_07XT é disponibilizado em 16 bits que pode ser convertidos para reflectância de superfície.

A cena selecionada é de 02/05/2013, escolhida por ser de período de seca, sem cobertura de nuvens.

Os dados também já são disponibilizados georreferenciados. Todavia, foi necessário realizar o registro da imagem com outros planos de informação para permitir a superposição de polígonos disponibilizados gratuitamente pelo INCRA.

O software ArcGis 10.2 foi utilizado para o registro e o Envi 4.7 para a adequação dos dados para valores de reflectância de superfície. Ambas licenças foram adquiridas pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Processamento dos Dados

Partiu-se do princípio que o uso de ferramentas diversas poderia, de forma multivariada, contribuir para uma análise mais ampla e complexa, de modo que cada passo dado contribuísse para validar o anterior e somasse esforços para a obtenção de um resultado final satisfatório.

Decidiu-se, então, pela utilização de um modelo digital de elevação, dos índices espectrais EVI2 e IFe e da classificação supervisionada obtida a partir do algoritmo hiperespectral *Spectral Angle Mapper* - SAM.

Modelo Digital de Elevação-MDE

Utilizaram-se dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A confecção do mapa de declividade objetivou a visualização tridimensional dos imóveis rurais, por meio de um modelo digital de terreno, bem como compreender os diversos compartimentos existentes na área e condicionantes das áreas hidromórficas.

Da imagem SRTM, foram extraídas as curvas de nível, com espaçamento de 5 metros, e criado um TIN (*Triangulated Irregular Network*) para a elaboração do Mapa Clinográfico. Contudo, cabe ressaltar que a declividade, ainda que de grande relevância, não foi o único fator responsável pelo acúmulo da água no terreno, e que a diferenciação visual fina das áreas limítrofes de cada uma não foi possível por meio do uso exclusivo dessa ferramenta.

Os limiares de diferenciação dos solos foram estudados por meio do MDE, que mostra as variações pedológicas influenciadas pelo relevo e pelo excesso de umidade. As cores e teores de hematita estudados nas imagens, por meio dos processamentos de índice férrico, EVI2 e SAM. A interpretação conjunta dos dados subsidiou a busca pretendida nesse estudo.

Índice IFe

A hematita e a goethita são minerais férricos muito comuns nos solos do cerrado. A sua ocorrência influencia de forma direta a coloração das terras (MADEIRA NETTO & BAPTISTA, 2000).

A cor vermelha associa-se a solos com teores de óxidos de ferro elevados e boa drenagem (LEPSCH,

2002). Assim, ao passo que a predominância de hematita dá ao solo tons avermelhados, a de goethita acarreta em cores amareladas. E essa é uma relação direta, que ocorre em função do caráter pedohídrico e de processos químicos de oxirredução nos solos, decorrentes da influência da estagnação da água nos perfis. Característica que pôde ser observada nos solos plínticos existentes na área de estudo (Figura 2).

No intuito de estimar espectralmente essa relação de hematita/(hematita+goethita) foi desenvolvido o índice espectral IFe ou férrico (MADEIRA NETTO *et al.*, 1997) (Equação 1):

$$IFe = \frac{(R_2 - R_1)}{(R_2 + R_1)}$$

(1)

Onde,

R₂ = Reflectância relativa à banda 2 do ASTER;

R₁ = Reflectância relativa à banda 1 do ASTER.

Como resultado, as áreas com maior abundância de hematita são destacadas na cena em tons mais claros de cinza, ao passo que o restante tende a se apresentar mais escuros.

Por analogia, assume-se que as áreas com menor quantidade de hematita, sofreram uma maior influência da água e, por conseguinte, devem se mostrar com tons mais escuros. Fator de análise importante, pois a ausência de hematita é exacerbada nos solos hidromórficos estudados (Figura 3).

O cálculo do índice férrico foi realizado por meio do módulo *Band Math* do Envi 4.7. Para a diferenciação dos alvos foi realizado o fatiamento da imagem, a partir do módulo *Density Slice*, do mesmo software.

Índice EVI2

O índice EVI ou *Enhanced Vegetation Index* (Índice de Vegetação Melhorado ou Realçado - HUETE *et al.*, 1997) foi elaborado com o objetivo de detectar, com maior sensibilidade, as regiões com massa vegetal mais intensa, com a redução da influência da resposta espectral do *background* de solo e da atmosfera sobre a resposta da própria vegetação em estudo.

Seguindo a mesma lógica que o índice EVI, o EVI2 (JIANG *et al.*, 2008) foi desenvolvido para sistemas sensores que não adquirem bandas na região espectral do azul, como é o caso do sensor SWIR do ASTER.

A fórmula matemática do índice está descrita na equação:

$$EVI_2 = 2,5 \times \frac{(R_2 - R_3)}{(R_2 + 2,4 \times R_3 + 1)}$$

(2)

Onde,

R₂ = Reflectância relativa à banda 2 do ASTER;

R₃ = Reflectância relativa à banda 3 do ASTER.

A imagem resultante apresenta-se em tons de cinza, na qual as áreas com cobertura vegetal mais densa e fotossinteticamente ativas são ressaltadas em tons mais claros e as áreas com menor atividade em tons mais escuros.

Albuquerque (2010) afirma que o EVI2 evidenciou as diferenças entre gramíneas localizadas em várzeas e em área florestada. Em adição, também permitiu a diferenciação das terras com gramíneas, localizadas nas porções em que a resposta do solo se apresentava entremeadada à das plantas, devido ao estresse hídrico, daquelas com o solo exposto. Ressalta-se, porém, que para as respostas serem positivas e representativas, a correção atmosférica é necessária (ZULLO, 1996).

Albuquerque (2010) salienta, também, que a distinção entre pastagens, mata galeria e área agrícola é viabilizada em razão das primeiras se apresentarem em tons de cinza mais escuros. No caso de vegetação sob estresse hídrico e/ou localizadas em áreas de baixa fertilidade e solos mais rasos e pedregosos, esse comportamento espectral é ressaltado e pode ser mais bem caracterizado.

Anjos (2010) pesquisou a capacidade do método em separar as pastagens cultivadas das áreas com outro tipo de cobertura vegetal e descobriu que, por meio da somatória de valores de EVI-2 de uma série temporal de 10 anos, a capacidade de discriminação é aumentada, em razão do fato de que as assinaturas espectro-temporais da maioria das pastagens são distintas.

A identificação de diferentes nuances da vegetação é possível e, portanto, vislumbra-se a possibilidade de ocorrência de uma correlação positiva entre as áreas com pastagens adaptadas ao encharcamento e os ambientes hidromórficos existentes, visto que as plantas turgidas e saudáveis apresentam respostas espectrais diferenciadas daquelas sob forte estresse hídrico (Figura 3).

Os mesmos procedimentos utilizados para a aplicação do índice IFe foram aplicados para o EVI2.

Spectral Angle Mapper - SAM

A classificação supervisionada, segundo Meneses e Sano (2011), é realizada após a vistoria de campo com a identificação precisa dos alvos que serão trabalhados na imagem. Essa metodologia é de grande valia, pois direciona o estudo para resultados mais precisos e reduz a subjetividade da análise, permitindo, assim, a identificação mais exata dos alvos.

O classificador *Spectral Angle Mapper* determina, por meio de um algoritmo que calcula entre os pixels existentes na imagem e os espectros de referência, o ângulo espectral em todas as bandas espectrais, tratando-os como vetores n-dimensionais onde n é igual ao número de bandas (BAPTISTA, 2011).

Esse classificador fornece uma abordagem inicial para o mapeamento de alvos com espectros predominantes, que se encontram presentes nos pixels da imagem. Todavia, as superfícies naturais imageadas

nem sempre apresentam idênticas ou uniformes respostas espectrais, dificultando, assim, a extrapolação de resultados e a determinação exata das características desejadas (DUCART, 2004).

Nesse processo são produzidas duas imagens distintas, a imagem SAM, que ilustra o ajuste mais adequado para cada pixel na imagem, segundo uma tolerância angular pré-definida; e a imagem RULE, que mostra, em tons de cinza, o valor angular em radianos do pixel da imagem em relação aos *endmembers* ou referências utilizadas para a classificação. Os pixels mais escuros representam menores valores angulares e, portanto, mais próximos dos *endmembers*.

A classificação da imagem pretendeu verificar se os dados coletados no campo poderiam ser identificados na imagem. Para tal, os *endmembers* foram extraídos diretamente da imagem, por meio de regiões de interesse (ROI) ou amostras de pixels, obtidas nas áreas nas quais se conheciam com exatidão os alvos desejados.

Os alvos escolhidos foram as pastagens em áreas úmidas, pastagens e vegetação de capoeira em área seca, solos desnudos, as matas de galeria e locais com vegetação densa.

Resultados e Discussão

Os procedimentos utilizados para esse estudo visaram identificar a localização das áreas hidromórficas, em nível de fazenda, correlacionando à existência de pastagens, adaptadas a terrenos saturados por água, com outros fatores como solo, vegetação, relevo e clima.

Os solos hidromórficos, existentes nos imóveis em análise, no início da época seca, ainda se apresentavam úmidos e em condição próxima àquela verificada na época chuvosa, permitindo, em tese, diferenciar as áreas secas, mesmo à distância.

Meller (2011) considera a declividade entre 0 a 3% como um parâmetro pertinente para a identificação de áreas planas e úmidas. Proposição também aceita por Lepsch (2001), que cita essa declividade como a mais adequada para a determinação das limitações agronômicas das terras. Posição também compartilhada pelo INCRA (2010).

O relevo predominante para as áreas associadas à umidade, em conformidade com os solos existentes em ambos os imóveis estudados, com ocorrência de campos de murundus ou covaais, varia de 0 a 3% de declividade, assentada sob cerrado mal drenado (EMBRAPA, 2001).

O MDE (Figura 4) demonstrou o que foi observado no campo, pois ilustrou a relação entre a declividade do terreno e a ocorrência de áreas hidromórficas nessa composição de declividade.

A modelagem mostrou que os córregos se encontram em declividades ligeiramente superiores (3 a 5%) a das áreas mais baixas do terreno (até 3%). Tal característica facilita o derramamento hídrico, que aliado aos solos de drenagem reduzida, acaba por acumular a água nas bacias existentes no terreno.

As áreas em azul representam as porções mais baixas do terreno (Figura 5) e estão localizadas ao lado das áreas marrons, que correspondem às regiões movimentadas do terreno e alguns porções da rede de drenagem. Em alguns locais as bacias de acumulação são bem delineadas, confirmando a tese apresentada e o que foi visualizado em campo.

Ressalta-se que vários pontos de controle estão localizados na linha de divisa entre as

declividades do terreno, validando, também, o que foi discutido.

Entretanto, o fato do relevo ser plano, não necessariamente corresponde a áreas abaciadas. Ao contrário, o hidromorfismo também se deve às características intrínsecas dos próprios solos.

Figura 5. Modelo digital de elevação - MDE.
Fonte: SRTM.

A aplicação do Índice IFe (Figura 6) diferenciou os solos expostos, com maior teor de hematita, dos solos com maior teor de goethita ou com muito baixa presença de ferro. Essas características são proeminentes e facilmente visualizadas nos solos dos imóveis, como destacadas nas Figuras 2 e 3.

A hematita, no espectro do visível, apresenta coloração avermelhada. A goethita mostrou uma variação do amarelo ao cinza, devido à lixiviação do ferro no perfil do solo (BAPTISTA, 2009; MENESES et. al., 2001; JENSEN, 2011; NETTO et. al., 2001).

Constatou-se, na análise visual da imagem IFe (Figura 6), que ocorreu alguma confusão nas áreas com teor de hematita mais elevado, possivelmente por

apresentam palhada em cobertura sobre o solo ou sobre o maciço vegetal.

Figura 6. Índice Férrico – IFe

Essa constatação era, em parte, esperada, pois a análise da reflectância direta dos solos é dificultada em razão da interferência, que outros alvos apresentam ao cobrir a superfície do solo e impedir a reflexão da radiação eletromagnética de seus constituintes (MENESES et al. 2001).

Em outra vertente, o Índice conseguiu identificar com exatidão uma pequena área de extração de piçarra de apenas 0,5 hectare (coordenada plana: 304.502E; 8377.707N) utilizada para o encascalhamento das estradas internas (Figura 7). Fato que valida a sua capacidade de identificar os alvos desejados, quando o solo está exposto.

Figura 7. Local de extração de piçarra.

Baptista (2009) demonstrou com base em informações coletadas do sensor AVNIR2 do sistema ALOS, via método de decomposição espectral *Linear Spectral Unmixing*, que a diferenciação entre hematita e goethita nos solos é possível, pois ocorre uma diferença marcante entre os espectros dos minerais na banda centrada em $0,56\mu\text{m}$, que possibilita a sua segregação nas imagens.

Proposição validada por Genu (2010), que ao analisar os espectros dos solos da Região de Mogi-Guaçu/SP, concluiu que é possível determinar a mineralogia dos solos em relação à presença de óxidos ferrosos, dado que a goethita e a hematita, apresentam leituras espectrais entre $0,476\mu\text{m}$ e $0,493\mu\text{m}$ e $0,521\mu\text{m}$ a $0,565\mu\text{m}$, respectivamente, e estão ligadas diretamente a cor do solo.

Breuning (2008) constatou que a reflectância da palhada, ou da vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV), causa confusão de interpretação, pois essa, em cobertura do solo, resulta em grande variação

de cores nas composições coloridas do ASTER, dificultando a sua interpretação. Reforça essa ideia, o fato de que a diferenciação entre caulinita e gibbsita é dificultada pelo efeito de mistura de solo, vegetação verde e NPV, influenciando na coleta de informações pelo sensor, que acaba por receber contribuições de todos os alvos, causando, inclusive, grande influência nos solos arenosos.

O mesmo autor verificou que as variações das espécies vegetais e dos tipos de cerrado produzem diferenças espectrais nas bandas do SWIR. Por outro lado, constatou, também, que é possível separar solos escuros argilosos de NPV.

Ainda que existam dificuldades de separação das características físicas dos solos recobertos por vegetação seca, visualmente, o índice forneceu uma boa noção de separação entre os solos e permitiu a associação indireta entre a ocorrência de áreas secas e úmidas.

A imagem EVI 2 (Figura 8) mostrou que é possível separar as áreas de maior atividade fotossintética, ou mais densamente vegetadas, das áreas

com solos expostos e pastagens, tanto nas porções mais úmidas, como nas mais secas.

Figura 8. Imagem EVI2

A diferenciação entre os tipos de vegetação, com diferentes potenciais fotossintéticos (mata galeria, pastagem e culturas agrícolas), pôde ser realizada de forma satisfatória, posição congruente à de Albuquerque (2010).

Uma diferença marcante entre as áreas secas e de solo exposto (cores marrom e amarela) e as terras com vegetação um pouco mais exuberante (tons verdes e azuis) foi percebida, indicando que a vegetação localizada nas terras, com maior percentual de umidade no solo, encontrava-se com uma resposta espectral semelhante àquelas das áreas mais secas.

Tal fato pode decorrer da modificação do conteúdo de pigmentos fotossintetizantes, ocorrência de necroses, que modificam as reflectâncias nas regiões do visível e infravermelho próximo (POZONI, 2010), ambas utilizadas no cálculo do índice.

A discriminação das áreas úmidas e secas visava dissociar a qualidade fisiológica das pastagens nas áreas em que a umidade ainda se fazia presente, e denotava em um maciço vegetal mais saudável (Figura 3-d), daquelas onde o solo estava seco e sem reserva de água na superfície, que permitisse a manutenção do estado sadio das plantas (Figura 2-d).

A data de captura da imagem correspondeu a um período, em que essa diferenciação não era mais tão pronunciada, dado que as pastagens já estavam passando por um período de seca, apresentavam folhagem senescente e a consequente redução da sua capacidade fotossintética, influenciando significativamente na leitura espectral, assim como proposto por Ponzoni (2010).

O estudo do ciclo fenológico auxilia na determinação dos diferentes estágios fisiológicos das plantas e na identificação da melhor época para a coleta das imagens, a fim de se identificar com maior precisão os alvos desejados. Com base em informações detalhadas acerca do ciclo vegetativo das culturas agrícolas e vegetação natural, é possível determinar a época mais adequada para verificar a fase de desenvolvimento que as plantas se encontram, seja no ponto de fechamento dos dosséis, seja na fase de senescência (JENSEN, 2011).

Diversas inferências acerca do motivo dessa leitura podem ser tecidas, contudo, entende-se que, na data de captura da imagem, a vegetação natural de cerrado, que tende a possuir raízes mais profundas e ser mais resistente à seca (RIBEIRO, 2013), apresentou uma capacidade fotossintética e densidade de dossel muito próxima a das pastagens adaptadas ao alagamento.

Como o índice EVI2 avalia a existência de vegetação e a sua densidade na área, ainda que entremeada a espaços vazios de solo (JIANG *et al.*, 2008), o tipo de solo, localização no relevo e o clima devem ser analisados de forma complementar, para que o analista possa ter uma noção mais apurada das respostas espectrais lidas.

O uso de apenas uma imagem pode ter contribuído para o resultado, dado que uma série temporal poderia amenizar essas diferenças na leitura (ANJOS, 2010).

Conclui-se que, mesmo que o EVI 2 objetive reduzir o efeito da reflectância do solo nas áreas de pastagens degradadas, outros fatores influenciaram a sua capacidade de discriminação dos alvos em áreas mais extensas e com características físicas diversas.

Por outro lado, cabe ressaltar que visualmente as áreas efetivamente úmidas foram detectadas e corresponderam com o que foi verificado nos levantamentos de campo.

A classificação SAM (Figura 9) mostrou que, com base nas leituras espectrais selecionadas diretamente na imagem, por meio das regiões de interesse, não foi possível separar com exatidão os diferentes tipos de vegetação, pois as pastagens existentes nas áreas úmidas se confundiram com diversos tipos de vegetação, localizados em áreas secas.

Figura 9. Imagem SAM.

O mesmo pode ser dito das áreas com solo exposto, que se confundiram com as áreas de vegetação sob forte estresse hídrico e com as pastagens, que nas áreas hidromórficas se encontravam com o solo seco na superfície, ainda que em subsuperfície essa condição não ocorresse.

A imagem SAM mostrou uma extensa área classificada como úmida que estava localizada em porções mais secas. Entretanto, ainda que a separação entre as áreas não tenha obtido um resultado apurado, a identificação visual das áreas encharcadas na imagem foi satisfatória, pois foram detectadas em consonância com o que foi visto no levantamento de campo.

Machado (2007) obteve resultados satisfatórios ao separar as vegetações com maior ou menor intensidade fotossintética, diferenciando as florestas das demais formações vegetais. Contudo, a classificação não foi eficiente ao tentar diferenciar formações savânicas e campestres naturais das pastagens.

Chaves (2007), após a aplicação do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – ROUSE et al., 1973) visando classificar os diferentes tipos de vegetação no complexo de Cana Brava, região norte de Goiás, com base na variação do dossel dos alvos, verificou que pastagens, áreas degradadas e formações campestres não foram distinguidas, devido à similaridade dos espectros de reflectância.

Pedreira (2011), em imagens de alta resolução, verificou a ocorrência de confusão, ao tentar diferenciar áreas em dois estágios diferentes de regeneração (inicial e médio), assim como ao cruzar classes de vegetação e pasto sujo. Em adição, o mesmo padrão de confusão entre solo exposto e pastagem foi percebido.

Entende-se que a confusão entre a leitura dos espectros deva-se à data de coleta da imagem, que por corresponder a uma época de transição, em que as características da vegetação, associadas à umidade do solo, não mais se faziam marcantes, fazendo com que o maciço vegetal apresentasse uma elevada quantidade de palhada.

A diferenciação dos vários tipos de vegetação nas imagens, por meio do classificador *Spectral Angle Mapper*, apresentou certa dificuldade de individualização dos alvos, dado que as respostas espectrais de cada um variaram em função de parâmetros fisiológicos, varietais e temporais.

Os resultados podem ser melhor entendidos se individualizados em áreas menores. A Fazenda Indiara (Figura 10) apresenta características físicas marcantes e de fácil visualização, sendo, portanto, uma área adequada para exemplificar a hipótese testada.

Figura 10. Apresentação dos resultados, com destaque para a área de transição entre o relevo mais baixo e o mais alto. a) Modelo digital de elevação; b) SAM; c) IFe; e d) EVI2.

Nota-se que na imagem MDE (Figura 10a) a diferenciação entre as áreas mais baixas e aquelas com relevo movimentado é bem clara. Na área em azul encontram-se, delineadas as pastagens em terras úmidas.

O SAM (Figura 10b) classificou as imagens com base na exposição do solo e nas características fisiológicas da vegetação sob estresse hídrico. No entanto, a ocorrência de solo exposto pode ser verificada em áreas lindeiras ao imóvel, que, de acordo com o MDE, são de baixada.

O índice Ife (Figura 10c) mostrou que essas áreas podem apresentar baixas quantidades de ferro, corroborando com a premissa de que existe influência de umidade nas terras.

O EVI2 (Figura 10d) indicou que as pastagens (cores azuis) apresentam boa capacidade fotossintética, em razão da umidade ainda se fazer presente em subsuperfície. Por outro lado, as áreas altas se encontram mais degradadas e com o solo mais exposto. Todavia, o índice não separou com precisão a pastagem de área úmida da vegetação de área seca, apresentando, assim, uma baixa capacidade de diferenciação das áreas hidromórficas.

Todavia, visualmente, percebe-se que o classificador conseguiu diferenciar as áreas de pastagem em bom estado e em diferentes níveis de degradação. Soma-se a isso, o fato de que promoveu uma boa associação entre as áreas hematíticas expostas nas regiões secas, caracterizadas pelo Ife, com o tipo de vegetação degradada que ali se encontra.

Percebe-se, por meio da análise das variáveis, que diferentes leituras podem ser extraídas dos planos de informação temáticos e que várias opções de ação podem vir a ser tomadas, na sequência, para que as áreas hidromórficas possam vir a ser caracterizadas.

Entretanto, vale salientar, que o estudo mostrou que existe uma gama maior de possibilidades de análises, que podem vir a ser aplicadas no gerenciamento das propriedades rurais como um todo.

Considerações Finais

O objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que a identificação de áreas hidromórficas, em nível de fazenda, por meio da análise conjunta de diferentes variáveis seria possível. Com base nos resultados, esperava-se desenvolver uma ferramenta útil, que pudesse subsidiar o procedimento de avaliação de imóveis rurais, de forma a facilitar a identificação das características físicas das propriedades rurais.

Identificar os aspectos físicos das fazendas via sensoriamento remoto é uma tarefa desafiadora, pois diversas variáveis devem ser analisadas ao mesmo tempo, a fim de que todos os aspectos relevantes sejam considerados.

Realizar toda essa operação por meio do uso de apenas uma ferramenta, pode não ser viável. Nesse sentido, pretendeu-se o uso integrado de quatro processamentos, que pudessem, de forma

complementar, somar esforços para a obtenção de um resultado satisfatório.

A discriminação das áreas hidromórficas em um imóvel rural deve considerar vários fatores como vegetação, relevo, solo, clima e hidrografia. Aspectos, esses, que foram analisados durante a consecução deste trabalho.

Os resultados obtidos, ainda que não definitivos para o desenvolvimento de um protocolo de ação, foram positivos, pois mostraram que a análise conjunta de mecanismos de análise é viável e relevante para o processo de identificação das áreas estudadas.

O MDE indicou com clareza as zonas de possível acúmulo de água ou inundação, facilitando a tomada de decisão acerca de onde poderiam estar localizadas as áreas hidromórficas. Seu uso mostrou-se importante, pois deu um primeiro parâmetro para a realização das outras análises.

O Ife mostrou que a delimitação das áreas úmidas, por meio da separação dos tipos de solos e da sua coloração nas imagens, é uma aproximação interessante. Mesmo que boa parte das terras não tenha sido classificada em razão da cobertura dos solos pela vegetação e outros materiais.

O EVI2 identificou com precisão as pastagens e a vegetação natural adaptada ao encharcamento. Contudo, não conseguiu a precisão necessária para que fosse determinante no processo de segregação dos alvos. Ainda que a vegetação nas áreas hidromórficas fosse de fácil visualização no campo. Percebeu-se que a influência da vegetação nativa de cerrado, nas áreas secas, apresentou respostas espectrais semelhantes aos pastos em área úmida, assim como a presença marcante da palhada em ambos os locais.

O SAM, utilizado com base em pixels coletados na própria imagem, que representavam fielmente os alvos desejados, não apresentou a diferenciação esperada, provavelmente em razão da influência dos solos, da palhada e da época de coleta da imagem. Todavia, conseguiu, assim como os outros métodos, individualizar as áreas hidromórficas.

O fator de maior influência talvez seja a época de coleta da imagem e o número reduzido de bandas multispectrais do sensor ASTER. Nesse sentido, uma análise temporal que contemple as várias épocas do ano, objetivando detectar o momento ideal de diferenciação das respostas espectrais dadas pelas pastagens e pela reflectância dos solos, seja uma estratégia que possa solucionar essa questão. Ou a adoção de outros sistemas sensores que apresentem maior quantidade de bandas espectrais.

Em adição, o aumento da área física de pesquisa, com uma coleta de pontos de controle maior, pode facilitar o entendimento do comportamento fisiológico da vegetação no decorrer do ano e sirva como um subsídio adicional às análises.

Conclui-se, então, que o uso das ferramentas aqui trabalhadas é uma estratégia promissora, que pode gerar bons resultados, dado que nas áreas foco, elas conseguiram identificar com fidedignidade os alvos.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.653-3: 2004. Avaliação de bens. Parte-3: imóveis rurais. Rio de Janeiro, 27p.
- Albuquerque, C.K.; Cruz, C.B.M.; Barros, R.S. (2010). Comparação do comportamento do NDVI e do EVI2: um novo índice de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, Recife, PE. Anais, Recife, PE, p. 1 – 4.
- Anjos, V.S. 2012. Caracterização espectro-temporal das pastagens cultivadas do Triângulo Mineiro por meio de séries temporais (2000-2010) do MODIS EVI2. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- BRASIL. 1993. Lei nº 8629, de 25 de fevereiro.
- Baptista, G.M.M.; Meneses, P.R. 2009. Identificação de sesquióxidos de ferro da fração argila de solos tropicais por meio de decomposição espectral linear dos dados do sensor AVNIR-2 do Sistema ALOS, In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8 p. Natal. Anais... Brasília: UNB, 2009. p. 7655-7662p.
- Baptista, G.M.M. (2011). Processamento de Dados Hiperespectrais. In: Meneses, P.R.; Almeida, T. (Org). (2011). Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UnB e CNPq. Brasília.
- Breunig, F.B. 2008. Dados de Reflectância e emissividade do Sensor ASTER/TERRA aplicados ao estudo de solos quartzosos. 2008. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Carvalho; F.E. , 2008. Perícia Agrônômica: Elementos Básicos. Goiânia: Ed GEV, 433p.
- Convênio EMBRAPA/SNLCS – SUDECO, (1983) - Mapa de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Margem Direita do Rio Paraná – Estado de Goiás, 2002. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/327958> Acesso em: 01 mar 2012.
- Chaves, T. 2007. A. Análise da paisagem do Maciço de Cana Brava pelo emprego de imagens de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. Espaço & Geografia, v.10, n. 1, 191:214. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/artic/e/view/120/118>. Acesso em: 09 nov 2013.
- Ducart, F. D. 2004. Caracterização da alteração hidrotermal associada às ocorrências auríferas de Los Menucos, Argentina, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e estereoscopia de reflectância. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- EMBRAPA. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p.
- EMBRAPA. 2001. Caracterização de Ambientes na Chapada dos Veadeiros/Vale do Rio Paraná: uma contribuição para a Classificação Brasileira de Solos. Planaltina, DF, ISSN 1517-5111.
- ENVI. 2013. Classification tutorial. Disponível em <http://www.exelisvis.com/portals0/pdfs/envi/ClassificationTutorial.pdf.> Acesso em: 13 de set.2013.
- Fonseca, D. M.; Martuscello, A. A. 2011. Plantas Forrageiras. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV,. 537p.
- Florenzano G.T. Iniciação em sensoriamento remoto. 3.ed. Oficina de Textos. São Paulo-SP. 128p.
- Genu, A. M. 2006. Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos. 2006. 121 f. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- Genu, A. M. 2010. Análise espectral de solos da Região de Mogi-Guaçu. Anais Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1235-1244.
- Huete, A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X.; Ferreira Júnior, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, v. 83, p. 195–213, 2002.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2007/. Acesso em: 13 nov 2013.
- INCRA. 2006. Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial, 140p. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/index.php/servicos/publicacoes/manuais-e-procedimentos/file/652-manual-de-obtencao>. Acesso em: 08 out 2013.
- INCRA. Instituto Nacional de Reforma Agrária. 2013. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 03 out 2013.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf Acesso em: 07 ago 2013.
- INPE. 2013. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/. Acesso em: 05 set.
- Jensen J.R. 2011. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. 2.ed. São José dos Campos: Parêntese, 598p.
- Jiang, Z.; Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. Remote Sensing of Environment, v.112, p. 3833-3845.
- Lepsch, I.F. 2007. Formação e Conservação dos Solos. 2.ed. São Paulo-SP. Oficina de textos.
- Lima, M.R.C. 2010. Avaliação de propriedades rurais. Manual Básico. 2.ed. São Paulo-SP, Leud.
- Machado. P.W. 2007. Identificação e análise dos fragmentos florestais em imagens ASTER no

- município de Cromínia-GO. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. pp. 5895-5902.
- Madeira Netto, J.S.; Bedidi, A.; Cerville, B.; Pouget, M.; Flay, N. 1997. Visible spectrometric indices of hematite (Hm) and goethite (Gt) content in lateritic soils: the application of a Thematic Mapper (TM) image for soil-mapping in Brasília, Brazil. *Int. J. Remote Sensing*. 18:2835-2852.
- Madeira Netto, J.S. 2001. Comportamento espectral dos solos. In: Meneses, P.R.; Madeira Netto, J.S. Sensoriamento remoto - reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UnB; Planaltina: EMBRAPA Cerrados, p.127-157.
- Madeira Netto, J.S.; Baptista, G.M.M. 2001. Reflectância Espectral de Solos. Brasília, DF: UnB; Planaltina: EMBRAPA Cerrados, p.127-157.
- Meller, J. 2011. Mapeamento de áreas úmidas e banhados na microbacia do Rio Amandaú, Região Noroeste do Rio Grande do Sul. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- Meneses, P.R.; Sano, E.E. 2011. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: Meneses, P.R.; Almeida, T. (Org). (2011). Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UnB e CNPq. Brasília.
- Miranda, E. E. de. et. al. 2013. 2013. Sistema de Gestão Territorial para a ABAG/RP. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.abagr.cnpq.embrapa.br>>. Acesso em: 11 setembro.
- Pedreira, B. C. C. 2011. Classificação digital de imagens de satélite de alta resolução espacial para o mapeamento de uso e cobertura da terra na área do complexo petroquímico do Rio de Janeiro. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, Brasil, p.7340.
- Ponzoni, F.J; Shimabukuro. Y.E. 2010. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 136p.
- Resende, M; Curi, N; Santana, D.P. 2007. Pedologia: Base para a distinção de Ambientes. 5ed. Lavras: Editora UFLA, 322p.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B.M.T.W. 2013. Cerrado Sentido Restrito. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_52_911200585234.html Acesso em: 01 dez.
- Rouse, J. W.; Haas, R.H., Schell, J.A.; Deering, D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceeding of ERTS-1 Symposium, NASA, United States, n. 3. pp. 309-317.
- Seiffert. N.F., 2013. Gramíneas forrageiras do gênero Braquiária, 1984. Disponível em <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/ct/c/t01/>>. Acesso em: 10 set.
- Vivaldi, D.D.; Baptista, G.M.M.; Meneses, P.R. (2013). Avaliação dos processamentos de crosstalk e de correção atmosférica em dados ASTER para identificação da relação mineralógica caulinita/(caulinita + gibbsita) em solos no município de São João d'Alança (GO). *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, p. 571-582.
- USGS. US Geological Survey:2013. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/Aster_products_table/ast_07xt>. Acesso em: 10 nov. 2013.
- Zullo-Jr, J., Bezerra, P.C., Guyot, G. & Gu, X. , 1996. Importância Prática da Correção Atmosférica. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, PP.977-978