



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Uso do sensoriamento remoto para caracterização de veredas em diferentes estágios de conservação

Rodrigo Praes de Almeida <sup>1</sup>, Victor Hugo Silva Veloso <sup>2</sup>, César Vinícius Mendes Nery <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Ambiental, Professor *M.Sc.* da Universidade Federal de Minas Gerais, Autor correspondente: rodrigo.praes@yahoo.com.br; <sup>2</sup>Engenheiro Ambiental – Mestre em Biotecnologia e Recursos Genéticos – Universidade Estadual de Montes Claros, victorhugoveloso@gmail.com; <sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor *M.Sc.* das Faculdades Santo Agostinho, Doutorando em Geografia, PUC-Minas, cvmn@hotmail.com

Artigo recebido em 17/05/2016 e aceito em 03/08/2016

### RESUMO

Estudos de geoprocessamento aplicados às veredas, tipos florestais típicos do bioma Cerrado, apesar de ainda escassos, são necessários e de extrema importância, a fim de se expandir o conhecimento sobre essas formações tão frágeis e peculiares. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a conservação de duas veredas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros, no Norte de Minas Gerais, por meio do sensoriamento remoto. Para tanto, foi utilizada uma imagem do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5m, a fim de gerar um maior conteúdo de informações, permitindo, assim, a detecção e classificação das diferentes classes de cobertura do solo nas Veredas Almescla e Capivara. A metodologia utilizada foi baseada na classificação supervisionada, em que o algoritmo de computador (Sistema de Informações Geográficas-SIG) classifica uma cena com base em amostras da cobertura identificadas previamente pelo usuário. A Vereda Almescla apresentou bons resultados quanto a sua conservação, o que é evidenciado pela classificação bem sucedida das classes Buriti Arbóreo (10,24%) e Campo Graminoso (14,98%), bem como pelos valores superiores em relação à porcentagem de área se comparada à Vereda Capivara, a qual apresentou maior nível de degradação, com relações ecológicas fragilizadas. Esses resultados podem auxiliar na avaliação de aspectos que sugerem as condições de conservação das veredas estudadas, além de oferecer suporte a medidas e ações conservacionistas que objetivam sua proteção e recuperação, tendo em vista a grande importância ecológica, social, cultural e econômica desses ambientes.

Palavras-Chave: SIG, Classificação Supervisionada, RapidEye, Buriti.

## Using remote sensing to characterize paths at different stages of conservation

### ABSTRACT

Geoprocessing studies applied to paths, typical forest types of the Cerrado biome, although still rare, are necessary and extremely important, in order to expand the knowledge of these formations so fragile and peculiar. The objective of this study is to assess the conservation of two Paths in the Environmental Protection Area (APA) of Tambourines River in the North of Minas Gerais, through remote sensing. For this purpose, a satellite image was used RapidEye, with a spatial resolution of 5 m in order to generate a higher content of information to enable the detection and classification of different land cover classes in Almescla Footpaths and Capybara. The methodology used was based on supervised classification, where the computer algorithm (System of Geographical Information GIS) classifies a scene based on previously identified by the user coverage of samples. The Vereda Almescla showed good results as its conservation, which is evidenced by the successful classification of classes Arboreal Buriti (10.24%) and Campo grassy (14.98%) as well as by higher values than the area percentage compared to Vereda Capybara, which showed a higher level of degradation, with fragile ecological relationships. These results can help in the evaluation of aspects that suggest the conditions of conservation of such forests, as well as support measures and conservation actions aimed at their recovery once considered its great ecological, social, cultural and economic.

Keywords: SIG, Unsupervised Classification, RapidEye, Buriti.

## Introdução

O modelo de desenvolvimento capitalista e o avanço da globalização são alguns dos fatores que vêm contribuindo para a degradação ambiental. Em um modelo de desenvolvimento, seja ele sustentável ou não, há consumo de recursos naturais. A natureza do recurso, aliada à finalidade e a intensidade com que estes são explorados, pode gerar impactos positivos e/ou negativos, que por sua vez podem evoluir para uma degradação.

Em se tratando de recursos florestais no Brasil, a sua exploração tem se intensificado e enfrentado uma série de desafios. Minas Gerais é um dos estados mais ricos quando quanto à diversidade de formações florestais, sendo encontrados em seu território vegetação dos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga.

Dentro do domínio do Cerrado, uma formação florestal se destaca por suas características peculiares de dinâmica populacional, ocorrência, exigências e funções ecológicas: a Vereda. Trata-se de formações florestais frágeis e de baixa resiliência (Oliveira, 2005), que ao longo dos anos vêm sofrendo drasticamente com a ação antrópica (Ribeiro & Walter, 2008).

Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros tem a função de aliar a conservação ecológica e o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais e abrange os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho. Esta Unidade de Conservação abriga uma das maiores formações de Vereda do Brasil e vem sofrendo impactos de diversas naturezas desde a década de 1960. Nesse período, houve incentivo por parte do Estado para o plantio de eucalipto com a finalidade de produzir carvão vegetal para alimentar a indústria siderúrgica.

Apesar de sua grande importância ambiental, estudos que contemplam o nível de conservação das veredas são escassos, principalmente aqueles que abordam a utilização de ferramentas do geoprocessamento, que permitem a obtenção de informações de forma rápida e eficiente e que vêm sendo largamente utilizadas em estudos de vegetação.

Dada a distribuição das veredas no norte de Minas Gerais e a escassez de estudos acerca desta fitofisionomia do Cerrado, o sensoriamento remoto se apresenta como uma forma abrangente e eficiente na obtenção de informações sobre as intervenções ambientais que estas vêm sofrendo.

O sensoriamento remoto engloba técnicas de coleta, armazenamento, análise e representação de dados espaciais, permitindo que estes sejam referenciados geograficamente, ou seja, georeferenciados (Vettorazzi, 1996). Essa aquisição de dados se dá pela diferenciação de alvos através da intensidade de reflectância que a Radiação Eletromagnética (REM) sofre quando incide sobre os diferentes alvos (Teixeira, 2008).

É crescente o uso do sensoriamento em estudos ambientais que visam desde ao monitoramento florestal, urbano e epidemiológico até a análise de diversos tipos de usos do solo, vegetação, água, rochas, entre outros.

Dados do sensoriamento remoto podem ser obtidos através de sensores instalados em satélites artificiais (Florenzano, 2011), ao passo que as primeiras técnicas de obtenção de imagens se restringiam a fotografias aéreas tiradas de máquinas fotográficas comuns acopladas a balões de ar quente (Figueiredo, 2005; Florenzano, 2011).

O sensoriamento remoto vem conquistando um espaço cada vez maior em estudos ambientais, principalmente quando aliado às técnicas de processamento digital de imagens. As imagens de satélite auxiliam na visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) da superfície terrestre, o que permite analisar as transformações sofridas pelos ambientes, destacando os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação antrópica, além do uso e ocupação do solo (Fçorezano, 2011).

A aplicação de técnicas do sensoriamento remoto para estudos de vegetação no Brasil teve início na década de 1940, com os primeiros mapeamentos temáticos a partir de fotografias aéreas (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Para Barbosa *et al.* (2009), embora a classificação digital de imagens para análise multitemporal do uso e ocupação do solo não reflita a total realidade de certa área de estudo, ela tem se tornado uma ferramenta importante para estudos ambientais.

A identificação da vegetação por imagens de satélite é favorecida pelo seu comportamento espectral característico, sendo o primeiro alvo a interagir com a radiação eletromagnética (IBGE, 1999; Bernardi *et al.*, 2005). A fotossíntese realizada pelos vegetais é fundamentada na absorção desta radiação por parte dos pigmentos fotossintetizantes como a clorofila, a xantofila e o caroteno, sendo a folha o principal órgão que

viabiliza a interação com a radiação eletromagnética (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

De acordo com Rosendo & Rosa (2009, p. 25), “o que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação [...]”. A resposta espectral da vegetação, como produto do Sensoriamento Remoto, envolve uma série de parâmetros e fatores ambientais, podendo ser destacado a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características do dossel, o teor de umidade, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros (Bernardi *et al.*, 2005; Rosendo & Rosa, 2009).

Quanto às características intrínsecas, cada comunidade vegetal possui uma reflectância que a caracteriza, seja a nível de planta ou conjunto de plantas e folhas (Rosendo, 2005; Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Ponzoni (2001) ainda destaca que além dos parâmetros anteriormente abordados, deve-se levar em consideração aspectos que estão relacionados aos tipos de produtos de sensoriamento remoto como escala, resolução (espacial, espectral e temporal) e a metodologia aplicada à análise dos dados.

Para Ponzoni & Shimabukuro (2007), a fim de se caracterizar do comportamento espectral da vegetação é preciso entender o processo de interação da Radiação Eletromagnética (REM) através dos fenômenos físicos: absorvância, transmitância e reflectância, sendo este último, de acordo com Ponzoni (2001), o fenômeno mais analisado nos estudos do sensoriamento remoto. Desta forma, tem-se que a interação da REM depende, além dos fatores físicos citados, de fatores químicos (pigmentos fotossintetizantes e água) e estruturais (organização dos tecidos da folha), que por sua vez, são explicados através de estudos no campo da morfologia vegetal (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

A interação da REM e a vegetação, mais conhecida como comportamento espectral da vegetação, é frequentemente utilizada na representação das características de reflectância da REM pelas folhas, plantas individuais e dosséis (conjunto de plantas) (Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Essas propriedades, favorecidas pelo comportamento radiação-vegetação, vêm contribuindo largamente para o estudo da interação da vegetação com a radiação eletromagnética (Rosendo, 2005).

Ainda segundo Rosendo (2005), o uso de imagens para o monitoramento de áreas de vegetação apresenta uma série de vantagens,

podendo destacar: a rapidez na obtenção de dados em curto espaço de tempo, comparação das condições de área e do alvo imageado e o levantamento de informações de grandes áreas em uma única tomada de dados, o que possibilita ter uma visão geral da área de estudo.

Através de estudos envolvendo reflectância espectral ao longo dos anos, pôde-se compreender melhor a necessidade de se estudar as relações de causa e efeito que resultaram na obtenção de uma “aparência” espectral (níveis de cinza que definem padrões para diferenciação de tipos vegetais); uma vez que, quando utilizados para classificação de dosséis estes resultados se mostravam contraditórios por que não contemplavam uma série de outros fatores (Colwell, 1974 *apud* Ponzoni, 2001). À luz desta afirmação o autor ainda revela que tais “aparências” (dosséis) adquiriram uma conotação anômala ou contraditória por avaliarem somente a reflectância hemisférica de folhas isoladas como parâmetro de classificação.

Ponzoni & Shimabukuro (2007), explicam a influência de diversos fatores que interferem na captação da resposta espectral por sensores de satélites, dentre os quais se destacam:

- a fonte de radiação: trata-se do sol e contempla uma série de propriedades e parâmetros, como o conjunto  $\{a_i\}$  que inclui a irradiância espectral  $E\lambda$  e a localização dos ângulos zenital  $\theta_s$  e azimutal  $\phi_s$ ;
- atmosfera: contempla uma série de propriedades e parâmetros representados por  $\{b_i\}$ , que inclui as concentrações espacialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e espalhamento dos comprimentos de onda por parte de aerossóis, vapor d’água e ozônio;
- dossel: contempla uma série de propriedades e parâmetros representados por  $\{c_i\}$ , que inclui parâmetros ópticos (de reflectância e transmitância) e estruturais (formas geométricas e posicionamento), além dos componentes da vegetação como folhas, galhos e flores; da geometria de plantio e parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação);
- solo: contempla uma série de propriedades e parâmetros representados por  $\{d_i\}$ , como reflectância, absorvância, rugosidade superficial, textura e umidade;
- detetor: contempla uma série de propriedades e parâmetros representados por  $\{e_i\}$  que definem sua sensibilidade espectral, abertura, calibração e posicionamento espacial.

Segundo Ribeiro (2011), através dos parâmetros descritos acima, é possível se fazer uma diferenciação de fitofisionomias em estudos de vegetação. Assim, com a radiação solar incidindo no topo da atmosfera, parte é espalhada e/ou refletida pelas partículas atmosféricas; sendo que a porção da radiação que atravessa (a atmosfera) é espalhada e/ou refletida pelo dossel das árvores ou pelo solo (Ponzoni, 2001). Essa radiação, seja ela espalhada ou refletida, é detectada por um sensor (detetor), geralmente acoplado a aeronaves ou satélites. Tem-se, portanto, com o ajuntamento dos atributos (parâmetros descritos anteriormente) a função  $\{R_i\}$  daqueles subsistemas:

$$R_i = f(a_i, b_i, c_i, d_i, e_i) \quad (1)$$

Sabe-se que a interação entre a REM e a vegetação (a nível de folha) depende de fatores químicos (pigmentos fotossintetizantes e água), estruturais (disposição dos tecidos da folha) e dos fenômenos da absorção, transmissão e reflexão da radiação. Dessa forma, é necessário o conhecimento dos fatores inerentes a esta interação.

Pereira, Batista & Roberts (1996), destacam que as propriedades ópticas de dosséis florestais dependem, sobretudo, das folhas, sendo seu estudo necessário para o entendimento de sua interação com a reflectância espectral.

Em termos conceituais, reflectância “é uma propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente e é expressa através dos chamados Fatores de Reflectância [...]” (Ponzoni & Shimabukuro, 2007, p. 16).

Para Novo (2010), a reflectância é a grandeza radiométrica (que está relacionada à faixa de valores numéricos associados aos pixels) mais comumente utilizada para caracterizar as interações energia-matéria na região do visível e infravermelho do espectro, e depende primordialmente dos processos que envolvem esta interação.

A principal fonte de radiação eletromagnética para estudos de sensoriamento remoto que contemplam a superfície terrestre é o sol, sendo que a maior quantidade de energia disponível no topo da atmosfera encontra-se na região do visível (Novo, 2010). É nessa região do espectro (0,40 a 0,72  $\mu\text{m}$ ) que ocorre a principal interação entre a REM e as folhas de uma planta, pois corresponde à faixa em que a vegetação

absorve esta radiação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

A morfologia de uma folha pode auxiliar no entendimento do comportamento da REM com a vegetação e dos aspectos relacionados à sua reflexão. As folhas são constituídas de diferentes tecidos, sendo destacados por Ponzoni & Shimabukuro (2007):

- face ventral: é aquela que está voltada para cima, recebe maior quantidade de radiação solar e apresenta diferentes estruturas como pelos e camadas de cera (cutícula);
- epiderme: encontra-se logo abaixo da face ventral e é composta por células alongadas, além de outras, que desempenham funções específicas;
- mesófilo paliçádico ou parênquima paliçádico: encontra-se logo abaixo da epiderme e é composto por células ricas em cloroplastos, que por sua vez, abrigam os pigmentos fotossintetizantes (principalmente a clorofila);
- mesófilo esponjoso ou parênquima esponjoso: apresenta uma organização de células menos compactas que as do mesófilo paliçádico, o que permite maior quantidade de lacunas entre as células; tais lacunas são preenchidas com gases provenientes dos processos de respiração e transpiração;
- epiderme: com números de estômatos geralmente maior em relação a face ventral, seguida por nova camada de cera ou de cutícula, com a presença de ceras e pelos.

Ponzoni & Shimabukuro (2007) destacam que, ao incidir sobre uma folha, um feixe de radiação pode ser refletido ao encontrar com estruturas presentes na cutícula e na epiderme, podendo até penetrar esta camada e incidir sobre as células do mesófilo. Dentro das células de uma folha existe uma série de solutos e organelas fundamentais para a manutenção as atividades vitais da uma planta. Entre as células, que podem apresentar tamanhos diferenciados, existem espaços geralmente preenchidos por gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , além da água; assim, devido aos diferentes índices de refração dos meios, o feixe de luz incidente em uma folha terá diferentes trajetórias (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Os pigmentos fotossintetizantes, que são encontrados em grande quantidade abaixo da epiderme nas células do mesófilo paliçádico, são responsáveis pela absorção da radiação eletromagnética referente à região do visível, sendo que a água, presente no interior das células, bem como os espaços existentes entre estas, são responsáveis pela absorção da radiação eletromagnética referente ao infravermelho

próximo e médio (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Com isso, Ponzoni & Shimabukuro (2007) evidenciam que a quantidade de água no interior das células e a presença dos pigmentos fotossintetizantes estão diretamente relacionados à quantidade de radiação refletida pelas folhas. A maior quantidade destes constituintes no interior da estrutura foliar resultará na redução da radiação refletida.

A baixa reflectância na região do visível (na ordem de 10%) está relacionada, primordialmente, à função principal dos pigmentos que consiste na absorção da energia para realização da fotossíntese (Rosendo, 2005; Novo, 2010). Segundo os mesmos autores, para a região do infravermelho próximo à situação é bem diferente, uma vez que a energia nesta região, não sendo utilizada na fotossíntese, é dispersa na estrutura interna da folha, levando, portanto, a uma elevada reflectância nesta região (na ordem de 40%).

A reflectância espectral apresenta diminuição progressiva para a faixa do infravermelho médio, chegando a valores baixos devido à concentração de água no interior dos tecidos das folhas (Kniplig, 1970; Kumar, 1972 *apud* Pereira, Batista & Roberts, 1996).

Conforme Rosendo (2005, P. 33). “este forte contraste, mais particularmente entre uma quantidade de energia refletida no vermelho e infravermelho próximo, tem sido o foco da grande variedade de tentativas do descobrimento quantitativo de condições de índices de vegetação [...]”

Para Barbosa *et al.* (2009), a separação de grupos de pixel, que possuem características espectrais semelhantes, é uma das técnicas que facilitam a interpretação de uma imagem, podendo, assim, ser separadas diferentes classes de uso e cobertura do solo (vegetação, água, área construída, etc.). A classificação digital de imagens é uma técnica do sensoriamento remoto que vem sendo amplamente difundida em estudos ambientais e consiste na associação de cada pixel da imagem a uma categoria ou classe em função de suas propriedades espectrais ou espaciais, gerando assim uma nova imagem (Barbosa *et al.*, 2009; Novo, 2010).

Existem duas abordagens na classificação de imagens de sensoriamento remoto, que dependem do grau de intervenção de se tem do processo de classificação digital (Novo, 2010). Na classificação supervisionada o algoritmo de computador (Sistema de Informações

Geográficas-SIG), classifica uma cena com base em amostras da cobertura identificadas previamente pelo usuário (Araujo; Johann, Rocha, 2009). Já na classificação não supervisionada, de acordo com os mesmos autores, o SIG roda um algoritmo que classifica automaticamente a cobertura da cena de acordo com a resposta espectral.

Na classificação não supervisionada, os pixels da imagem são associados às classes (ou cenas) sem o conhecimento de sua existência, de forma automática. Neste contexto, a execução da classificação não supervisionada se mostra de grande importância para que seja possível a realização da classificação supervisionada, uma vez que permite o conhecimento do número de classes espectrais existentes (NOVO, 2010). De acordo com o referido autor existem diversas técnicas utilizadas para ambas as classificações e independente do método utilizado é imprescindível a adoção de procedimentos importantes, além de serem considerados alguns aspectos inerentes a cada tipo de classificação, a fim de se obter bons resultados.

O sistema alemão RapidEye é composto de cinco Satélites de Observação da Terra que foram lançados no dia 29 de agosto de 2008, capazes de fornecer imagens de alta resolução atualizadas diariamente de grandes áreas e com alta capacidade de revisita (Felix; Kazmierczak & Espindola, 2009).

#### As Veredas no bioma Cerrado

O Cerrado, localizado no planalto central brasileiro, é um bioma que ocupa cerca de 2.000.000 km<sup>2</sup> (23% do território brasileiro) e abrange os estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo (Ribeiro & Walter, 2008). Ainda segundo Ribeiro e Walter (2008), além das formações florestais e rupestres, o Cerrado possui uma formação savânica onde se destaca a ocorrência da Vereda, uma fitofisionomia marcada pela presença da palmeira arbórea Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) e espécies arbustivo-herbáceas.

O Buriti é uma espécie típica de áreas úmidas e sua ocorrência está fortemente associada ao interior da Vereda (Bahia et al., 2009). A partir do contato com o cerrado em direção ao fundo do seu vale, pouco profundo, situa-se um campo gramíneo, seguido por uma região de arbustos e, no meio, uma área de extratos arbóreos onde sobressai a palmeira buriti (*Mauritia*

flexuosa L.f.) (Eiten, 1993 apud Maillard, Pereira & Souza, 2009, p. 322). De acordo com Boaventura (2007), as Veredas se destacam pela ocorrência de densa vegetação arbóreo-arbustiva ao longo de seu eixo de umidade com a predominância do buriti e/ou pindaibas, não havendo uma separação clara entre estas formações.

A vegetação presente nesta fitofisionomia é responsável por proteger o sistema solo-planta-água que ocorre em áreas alagadas ou com a presença de solo turfoso e hidromórfico (Ribeiro & Walter, 2008). Além de exercerem um papel fundamental no sistema hidrológico e na manutenção da fauna e flora do Cerrado (Boaventura, 2007; Ribeiro & Walter, 2008), as Veredas apresentam grande valor social, uma vez que constituem fonte de subsistência para os chamados “veredeiros” e são ambientes formadores de belas paisagens (BAHIA et al., 2009).

Maillard, Pereira & Souza (2009), destacam a inclusão do Cerrado na lista dos “hotspots” em 2002, o que marca o reconhecimento a nível mundial a rica biodiversidade deste bioma e a necessidade de esforços para sua conservação e preservação. Apesar de apresentarem grande valor ecológico e serem protegidas por legislação as Veredas, que fazem parte do bioma Cerrado, vêm sofrendo com intensas ações antrópicas ao longo dos anos (Bahia et al., 2009).

Boaventura (2007), destaca a agricultura, pecuária, o corte de vegetação nativa (para produção de carvão e lenha), a drenagem de água e a mineração como sendo as principais atividades que tem contribuído para degradação das Veredas.

A respeito das Veredas, a vegetação presente nesta fitofisionomia é responsável por proteger o sistema solo-planta-água que ocorre em áreas alagadas ou com a presença de solo turfoso e hidromórfico (Ribeiro & Walter, 2008).

Além de exercerem um papel fundamental no sistema hidrológico e na manutenção da fauna e flora do cerrado (Boaventura, 2007; Ribeiro & Walter, 2008), as Veredas apresentam grande valor social, uma vez que, constituem fonte de subsistência para os chamados “veredeiros” e são ambientes formadores de belas paisagens (Bahia et al., 2009).

Maillard, Pereira & Souza (2009) destacam a inclusão do Cerrado na lista dos “hotspots” em 2002, o que marca o reconhecimento em nível mundial da rica

biodiversidade deste bioma e a necessidade de esforços para sua conservação e preservação.

Apesar de apresentarem grande valor ecológico e serem protegidas por legislação, as Veredas vêm sofrendo intensas ações antrópicas ao longo dos anos (Bahia et al., 2009). Nesse contexto, Boaventura (2007) destaca a agricultura, pecuária, o corte de vegetação nativa (para produção de carvão e lenha), a drenagem de água e a mineração como sendo as principais atividades que tem contribuído para degradação das Veredas. A preservação das áreas úmidas está estritamente ligada ao equilíbrio ecológico e à conservação dos recursos hídricos.

A atual situação desses ambientes requer o empreendimento de estudos que possam auxiliar no entendimento da dinâmica dos processos que estes vêm sofrendo, bem como subsidiar projetos para sua recuperação e conservação.

A preservação das áreas úmidas está estritamente ligada ao equilíbrio ecológico e a conservação dos recursos hídricos. Neste contexto, as veredas são formações de grande importância, no entanto, são poucos os estudos acerca da fauna, flora, ecologia, relevo e hidrologia (Bahia et al., 2009), assim como são escassos estudos que aplicam o sensoriamento remoto a tais formações (Maillard, Pereira & Souza, 2009).

A atual situação desses ambientes requer o empreendimento de estudos que possam auxiliar no entendimento da dinâmica dos processos que estes vêm sofrendo, bem como subsidiar projetos para sua recuperação e conservação.

Alguns estudos recentes se aplicaram no estudo de áreas úmidas por meio do uso de técnicas do sensoriamento remoto sendo realizados principalmente ao seu mapeamento, detecção, delimitação e monitoramento de queimadas (Maillard, Pereira & Souza, 2009; Ferreira, 2009; Alencar-Silva & Maillard, 2009).

Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros: Vereda Almescla e Capivara

Criada pela Lei 11.901, em 01/09/1995, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros possui 393.060 ha., onde se destacam diversas fitofisionomias do Cerrado, incluindo as Veredas (Nunes et al., 2009).

De acordo com o Atlas de Conservação da Biodiversidade em Minas Gerais, a APA abrange toda a bacia hidrográfica do rio Pandeiros, considerada área prioritária para conservação biológica (Drummond, 2005). O Cerrado, fisionomia dominante nesta área, está

estritamente ligado à vegetação ciliar do rio Pandeiros, sendo sua importância marcada em diversos aspectos biológicos (Azevedo *et al.*, 2009). Segundo os referidos autores, pelo fato de as Veredas ocorrerem em áreas úmidas, devido ao afloramento do lençol freático, elas atuam diretamente na manutenção dos afluentes do rio Pandeiros, além de funcionarem como refúgio para a fauna da região na estação seca.

A APA do Rio Pandeiros é a maior Unidade de Conservação (UC) do estado de Minas Gerais e sua administração é de competência do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG), órgão que regula as condições para a realização de pesquisa e visitação pública nas áreas pertencentes ao domínio do Estado, além de estabelecer restrições quanto às atividades a serem desenvolvidas em propriedades particulares (IEF, 2012).

Dentro do mosaico composto pelas diferentes fisionomias encontrados na APA do Rio Pandeiros, as Veredas se destacam como uma formação de extrema importância nos mais diferentes contextos. Duas dessas veredas foram selecionadas para este estudo: Almescla e Capivara. De acordo com a classificação geomorfológica proposta por Mattos (2011), estas Veredas apresentam superfície aplainada, caracterizada pela presença da nascente em solo argiloso, turfoso, com presença de matéria orgânica na área encharcada e solo arenoso na área menos úmida, com a presença da palmeira buriti e mata de galeria.

A vereda Almescla apresenta comunidade vegetal densa e fechada e forma de calha perene, evidências de fogo, pastagens e lavouras em alguns pontos. Já a vereda Capivara apresenta comunidade florestal aberta e calha intermitente, pastagens, evidências de fogo, lavouras e drenos em toda sua extensão (Mattos, 2011).

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o nível de conservação dessas veredas localizadas na APA do Rio Pandeiros, mediante a utilização do sensoriamento remoto.

## Material e métodos

O fluxograma simplificado (Figura 1) ilustra a metodologia aplicada para obtenção dos mapas de Uso e Ocupação das Veredas Almescla e Capivara.

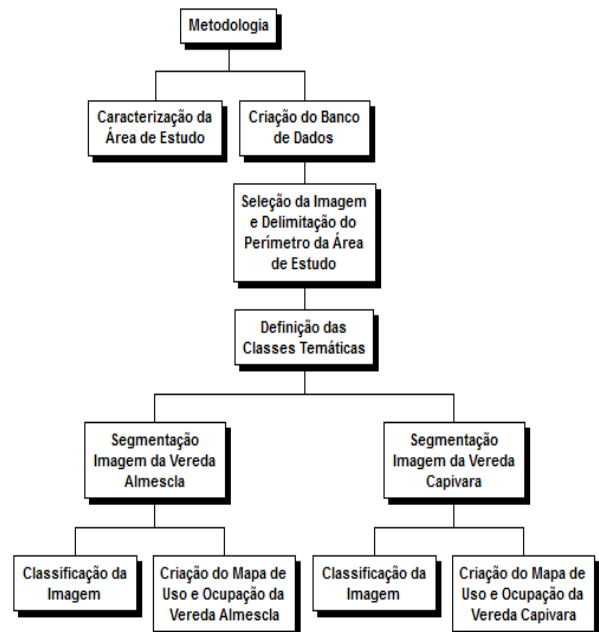


Figura 1. Fluxograma simplificado da metodologia.

## Área de estudo

As áreas de estudo estão localizadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros, norte de Minas Gerais, que abrange os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho, como demonstra a Figura 2.

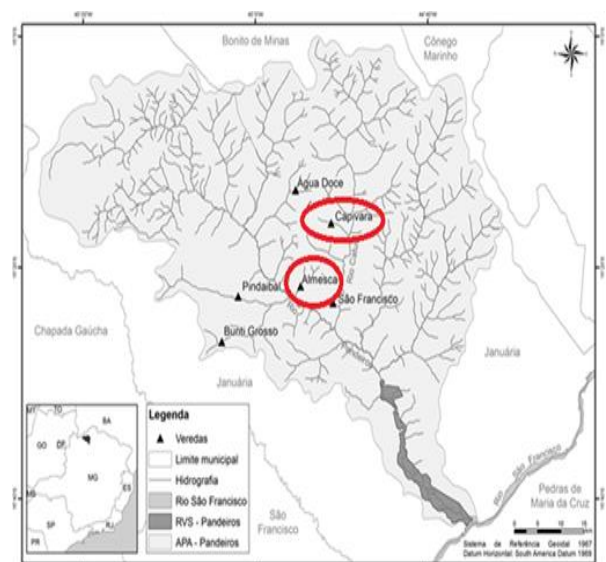


Figura 2. Localização da APA do rio Pandeiros, norte de Minas Gerais. Fonte: Mattos (2011).

As condições climáticas da APA refletem um clima semi-árido, com amplitudes térmicas que variam entre 9°C e 45°C (Nunes *et al.*, 2009). Apresenta solos essencialmente arenosos, não estruturados, profundos e com elevada drenagem. De acordo com o Mapa de Cobertura Vegetal do

Brasil (IBGE, 2004), os biomas predominantes na região são Cerrado e Caatinga, sendo o primeiro apresentando diversas variações (Fonseca, 2011).

A Vereda Almescla, que se encontra localizada a sudoeste da APA nas coordenadas 15° 21' 37,2" S e 44° 54' 45,9" W, se encontra a montante do Rio Pandeiros. Já a Vereda Capivara, que se encontra mais ao centro, sob as coordenadas 15° 16' 10,23" S e 44° 51' 13,6" W, está a montante do Rio Catolé, que por sua vez é afluente do Rio Pandeiros.

#### Criação do Banco de Dados

Para o banco de dados foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) (Câmara *et al.*, 1996), ferramenta disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. O banco de dados conta com um projeto para delimitação da APA do Pandeiros, no qual foi utilizada a projeção LATLONG e o DATUM: SIRGAS2000.

#### Seleção da imagem e delimitação do perímetro da área de estudo

Foi utilizada a delimitação do perímetro da APA, como proposto por Fonseca *et al.* (2011), por meio do SPRING (Câmara *et al.*, 1996). A partir dessa delimitação, foram identificadas as duas Veredas em estudo, Almescla e Capivara. A cena selecionada para o estudo foi a 2232015 do Satélite RapidEye com passagem na data de 13/07/2010. A imagem correspondente à área de estudo foi importada diretamente para o *software* SPRING, uma vez que as imagens RapidEye são ortorretificadas e com correção atmosférica, sendo, portanto, prontas para uso em Sistemas de Informações Geográficas (Felix; Kazmierczak & Espindola, 2009). Com a seleção da imagem, foi possível a identificação da calha das Veredas em estudo. A partir dessa identificação, foi gerado um *Buffer* de 500 metros partindo do centro (calha) de cada Vereda, a fim de se caracterizar, além destas, a área de transição delas com o Cerrado.

#### Classificação das imagens

Foi adotado o algoritmo de classificação supervisionada Bhattacharya. Foram definidas as classes a serem rotuladas e as amostras de treinamento das mesmas, através da interpretação visual das imagens e de conhecimento prévio da região. As classes definidas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes temáticas das Veredas em estudo.

Vereda Almescla	Vereda Capivara
Água e Sombra	Água e Sombra
Buriti Arbóreo	Área Antropizada
Campo Graminoso	Buriti Arbóreo
Cerrado	Campo Graminoso
Solo Exposto	Cerrado
Vegetação Arbóreo	Solo exposto
Arbustiva	Vegetação Arbóreo
	Arbustiva

#### Segmentação das Imagens

Foram utilizados os parâmetros de similaridade e área definidos como 35 e 100, respectivamente. Por meio de uma série de testes, foi definido o limiar de similaridade para a imagem, sendo esse valor que apresentou resultado mais favorável às classes existentes na imagem. No processo de segmentação das imagens pelo método de crescimento de regiões, pixels com similaridade que correspondem ao limiar pré-estabelecido são agrupados em regiões homogêneas (com pixels semelhantes), que se apresentam distribuídos aleatoriamente pela imagem (Santos *et al.* 2010 *apud* Caixeta *et al.*, 2012). A partir desse agrupamento, e tendo como base as amostras de cobertura coletadas, foi realizada a classificação automática da imagem.

#### Resultados e discussão

Como resultado da segmentação das cenas obtidos através dos parâmetros similaridade e área definida (35 e 100, respectivamente) e das amostras de imagem selecionadas, foi realizada a classificação automática das imagens, obtendo-se seis classes delimitadas pelo limite da Vereda Almescla e sete da Vereda Capivara.

No tocante à Vereda Capivara, pode-se observar que apenas esta apresentou a classe Área Antropizada, devido ao seu elevado grau de degradação. Esta classe é caracterizada pela presença de grandes áreas de pastagem ou culturas como milho, feijão ou cana-de-açúcar, que ocorrem conjuntamente com o Buriti. Essas culturas são em sua grande maioria abertas e com a presença de drenos em toda sua extensão.

#### Classificação da Vereda Almescla em relação à área

A Vereda Almescla apresentou uma área total classificada de 923,71 ha, sendo o Cerrado a classe predominante detectada no mapeamento, com 640,01 ha (69,29%). A fisionomia de



Cerrado não faz parte do complexo vegetacional da Vereda, no entanto, sua identificação foi necessária, uma vez que ele é sempre presente após o Campo Graminoso (que compreende a forma de vegetação mais externa das Veredas).

O Cerrado constitui a zona de infiltração e recarga para os lençóis subterrâneos que abastecem as Veredas (Boaventura, 2007). Através de sua identificação, foi possível obter um resultado visual claro da área de transição da Vereda para o Cerrado, uma vez que seu início se dá a partir da porção de solo arenoso (classe Solo Exposto), situado logo após o Campo Graminoso.

A segunda classe de maior ocorrência na vereda Almescla foi Campo Graminoso, compreendendo uma área total de 138,37 ha (14,98%), seguido pela classe Buriti Arbóreo, com 94,61 ha (10,24%). Tanto a formação gramínea quanto o Buriti Arbóreo fazem parte Vereda, sendo a primeira formação a mais externa e a segunda localizada mais ao centro da mesma (Boaventura, 2007).

A classe Vegetação Arbóreo Arbustiva compreende outra formação das Veredas e está sempre associada ao Buriti Arbóreo. Localiza-se em geral nas áreas mais externas em direção ao Campo Graminoso.

A classe Vegetação Arbóreo Arbustiva foi a que apresentou a menor área classificada, com 12,37 ha (1,34%). As classes Água e Sombra e Solo Exposto (que não faz parte da formação de Veredas) foram selecionadas e analisadas, a fim de se obter uma classificação mais completa das áreas, facilitando assim a sua compreensão. Os demais resultados são apresentados na Tabela 2, bem como a porcentagem de cobertura de cada classe analisada.

Tabela 2. Classes de cobertura do solo avaliadas da Vereda Almescla e respectivas áreas.

Classe Almescla	Área (ha)	Área (%)
Água e Sombra	4,28	0,46
Buriti Arbóreo	94,61	10,24
Campo Graminoso	138,37	14,98
Cerrado	640,01	69,29
Solo exposto	34,07	3,69
Vegetação Arbóreo Arbustiva	12,37	1,34
Área Total	923,71	100

A partir dos resultados de área por classe (em hectare) foi gerado um gráfico de porcentagem para melhor visualização dos dados, como se observa na Figura 3:

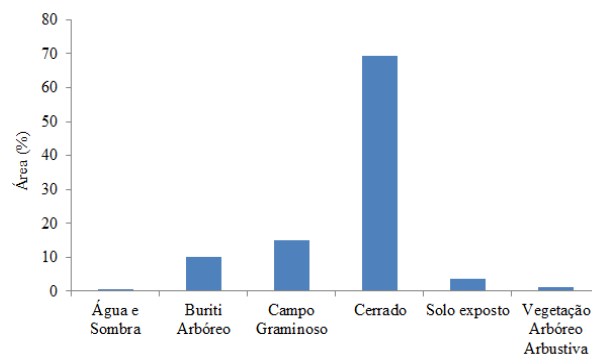


Figura 3. Gráfico de área em porcentagem por classe de cobertura do solo da Vereda Almescla.

Classificação da Vereda Capivara em relação à área

A Vereda Capivara apresentou uma área total de 784,86 ha, destacando-se também a fisionomia de Cerrado como classe predominante, com 605,92 ha (77,21%). Assim como na Vereda Almescla, a grande porção de Cerrado e a classe Solo Exposto, consideradas no recorte da área da Vereda Capivara, teve como objetivo possibilitar uma melhor visualização das áreas de transição Vereda-Cerrado.

A segunda classe de maior ocorrência na vereda Capivara foi Campo Graminoso, compreendendo uma área total de 64,53 ha (8,22%), seguido pelas classes Solo Exposto, com 54,50 ha (6,94), e Área Antropizada, com 32,56 ha (4,15%). O alto valor de área encontrado para esta última classe traduz o estado de conservação que esta Vereda apresenta.

Vale ressaltar que apenas a Vereda Capivara possui a classe Área Antropizada, caracterizada pela presença do Buriti associado a pastagens e culturas. Nesse contexto, Fonseca (2011) destaca que a APA do Rio Pandeiros sofre diversos tipos de pressões antrópicas, sendo as mais acentuadas a pecuária tradicional, o desmatamento clandestino, o corte de lenha e o uso de fogo de forma mal planejada.

A classe Buriti Arbóreo apresentou uma área de 19,32 ha (2,46%). Esse valor pode ser considerado baixo, se comparado às classes Cerrado, Solo Exposto e Área Antropizada citadas anteriormente, o que também reflete a condição de conservação que a Vereda Capivara apresenta. A classe Vegetação Arbóreo Arbustiva apresentou um baixo valor de área, sendo a menor entre as

classes de vegetação avaliadas. Esses resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de cobertura do solo avaliadas da Vereda Capivara e respectivas áreas.

Classe Capivara	Área (ha)	Área (%)
Água e Sombra	1,65	0,21
Área Antropizada	32,56	4,15
Buriti Arbóreo	19,32	2,46
Campo Graminoso	64,53	8,22
Cerrado	605,92	77,21
Solo exposto	54,50	6,94
Vegetação Arbóreo Arbustiva	6,38	0,81
Área Total	784,86	100

A partir dos resultados de área por classe (em hectare) foi gerado um gráfico de porcentagem para melhor visualização dos dados, como ilustra a Figura 4.

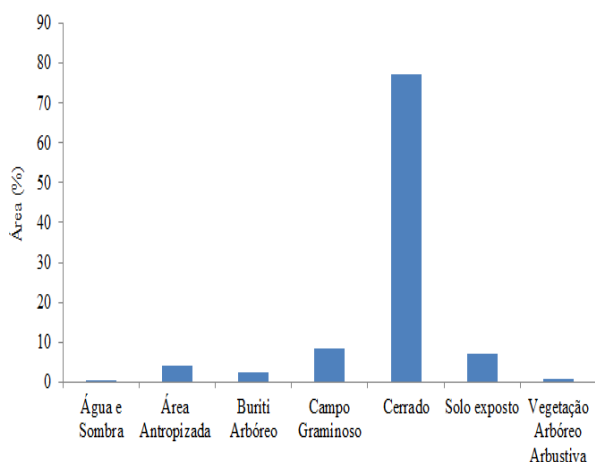


Figura 4. Gráfico de área em porcentagem por classe de cobertura do solo da Vereda Capivara.

#### Estrutura da Vereda Almescla

A Vereda Almescla possui uma estrutura bem definida, com as fisionomias Buriti (associado à vegetação arbórea), Vegetação Arbóreo Arbustiva e Campo Graminoso em boa parte de sua extensão, como se pode observar na Figura 5.



Figura 5. Fotografia com as diferenças fisionômicas da Vereda Almescla: A) Buriti Arbóreo, (B) Estrato Arbustivo e Arbóreo e (C) Campo Graminoso.

Com a classificação supervisionada da imagem (Figura 05) pode-se observar que houve uma confusão no que se refere à classe Vegetação Arbóreo Arbustiva. Apesar da Vereda Almescla apresentar a estrutura referida em grande parte de sua extensão, não foi possível a separação das classes Vegetação Arbóreo Arbustiva e Buriti Arbóreo, sendo em geral enquadrada como esta última. Isso se deve, provavelmente, ao fato dessas formações estarem fortemente associadas (Boaventura, 2007), apresentando, portanto, características espectrais muito próximas, o que gera uma “confusão” entre as classes, como é destacado por Cunha & Nogueira (2005).

Pode-se observar que houve grande sucesso na classificação do Campo Graminoso nas adjacências da formação da Vereda. Essa classe se encontra entre o Buriti (localizado na parte central) e a classe Solo Exposto, que por sua vez apresentou um bom resultado com classificação. Pode-se observar também que algumas áreas em meio ao Cerrado foram classificadas como Campo Graminoso. Estas provavelmente compreendem as áreas de pastagens e/ou áreas degradadas em estágio de sucessão primária (Boaventura, 2007), sendo confundidas com a classe de Campo Graminoso.

A classe intitulada Água e Sombra, em ambas as Veredas, foi definida primariamente para identificação de água, no entanto, devido à interferência de nuvens e do relevo montanhoso na Vereda Almescla, foi classificado juntamente com a água as áreas sombreadas. O alinhamento sol-terra-sensor pode impedir a reflexão da

radiação eletromagnética de alvos localizados em encostas de montanhas mais íngremes, sendo detectadas apenas sombras (Caixeta, 2012).

Apesar das classes Cerrado, Buriti Arbóreo e Vegetação Arbóreo Arbustiva não apresentarem uma distinção bem definida, pode-se observar que a calha dessa Vereda, bem como o Campo Graminoso que a circunda, se encontram bem preservados, o que é um bom indicativo quanto a sua conservação.

Segundo Boaventura (2007), dentre os elementos típicos associados a uma Vereda preservada pode-se destacar a palmeira Buriti associada a espécies arbóreas e/ou por vegetação rasteira (Campo Graminoso), recobrimdo os solos hidromórficos.

Segue a Carta Imagem da Vereda Almescla com a delimitação da sua área (Figura 6) seguida pelo seu Mapa de Uso e Ocupação (Figura 7), resultado da classificação supervisionada:

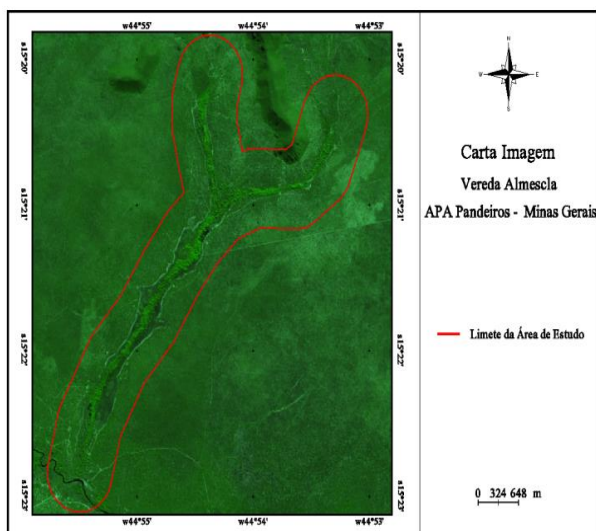


Figura 6. Carta Imagem da Vereda Almescla com o limite da área de estudo na APA do Rio Pandeiros.

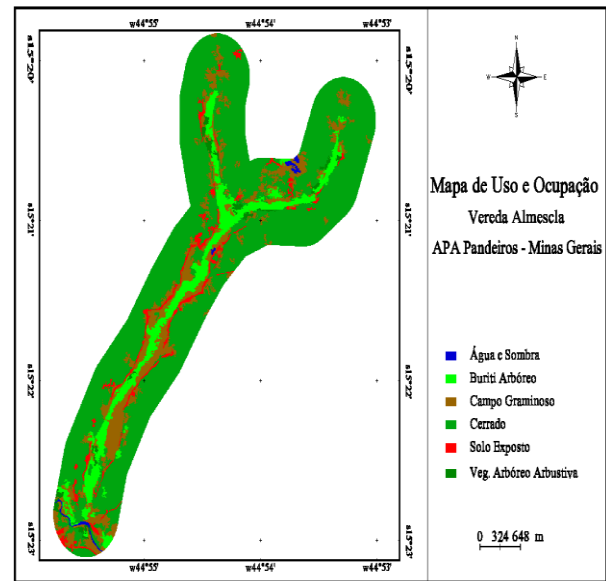


Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação da Vereda Almescla na APA do Rio Pandeiros.

#### Estrutura da Vereda Capivara

A Vereda Capivara apresentou resultados diferentes dos encontrados para a Vereda Almescla em relação à conservação. O resultado da classificação dessa Vereda permitiu a constatação de um ambiente degradado, que altera a paisagem e a estrutura natural. Tal fato pode ser atestado pela sobreposição da classe Área Antropizada sobre a classe Buriti Arbóreo em relação à porcentagem de área. A classe Área Antropizada encontrada na Vereda Capivara corresponde a áreas de pastagem e/ou plantações que ocorrem juntamente com a Palmeira Buriti, formando grandes áreas abertas. Segundo Fonseca (2011), a APA do Rio Pandeiros é impactada pela abertura de estradas que cortam os cursos hídricos e as veredas.

Veredas são áreas de nascentes susceptíveis à rápida degradação devido a intervenções humanas, como queimadas, desmatamentos, pastagens e drenagem (Boaventura, 2007; Nunes, 2009; Fonseca, 2011). Tais indícios são constatados em toda extensão da Vereda Capivara, o que corrobora o resultado obtido com a sua classificação. Mesmo sendo ambientes protegidos pela legislação, as Veredas vêm sofrendo diferentes impactos, o que tem abalado as relações ecológicas desses ambientes, devido a sua fragilidade aliada à baixa resiliência (Boaventura, 2007). A Figura 8 apresenta as áreas correspondentes às classes identificadas na Vereda Capivara.

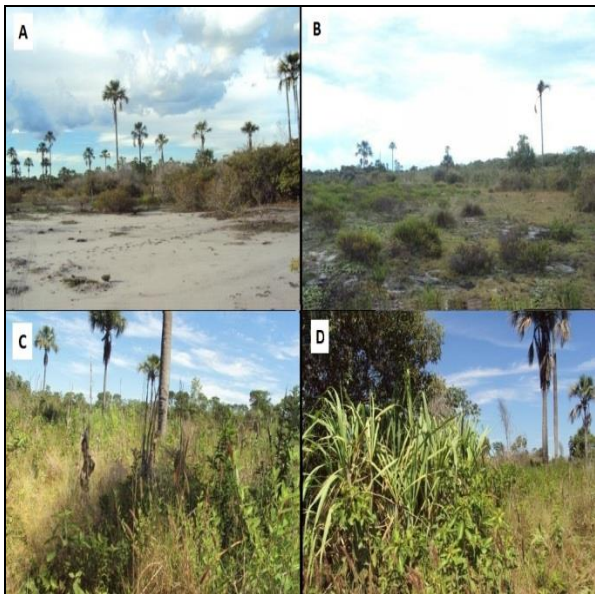


Figura 8. Áreas que correspondem às classes Solo Exposto (A), Área Antropizada, com presença pastagens (B), de cultura de milho (C) e cana-de-açúcar (D) em meio à palmeira buriti, na Vereda Capivara. Fonte: Marly Antoniele (2012).

Como resultado da classificação supervisionada foi criado o Mapa de Uso e Ocupação da Vereda Capivara. Pode-se inferir a dificuldade de distinguir as classes Buriti Arbóreo e Vegetação Arbóreo Arbustiva, assim como na Vereda Almescla. Obtiveram-se bons resultados na classificação do Campo Graminoso e do Solo Exposto ao longo da Vereda Capivara. Pode-se constatar tal resultado comparando o Mapa de Uso e Ocupação e Carta Imagem da referida Vereda, onde as áreas mais escuras correspondem ao Campo Graminoso e as mais claras ao Solo Exposto.

Algumas áreas em meio ao Cerrado foram classificadas como Campo Graminoso e área Antropizada, o que provavelmente se deve à presença de áreas de cultura e pastagens (Boaventura, 2007); outras classificadas como solo exposto provavelmente se deve à presença de áreas em processo avançado de erosão e voçorocas (Fonseca, 2011).

Não foi detectado erro na classificação de áreas com a presença de água, sendo identificado o curso do Rio Catolé à jusante da Vereda. No entanto, com a finalidade de padronizar a legenda em ambos os Mapas de Uso e Ocupação das Veredas estudadas, resultado da classificação supervisionada, a classe de água foi denominada Água e Sombra.

A Carta Imagem e o Mapa de Uso e Ocupação da Vereda Capivara podem ser visualizados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

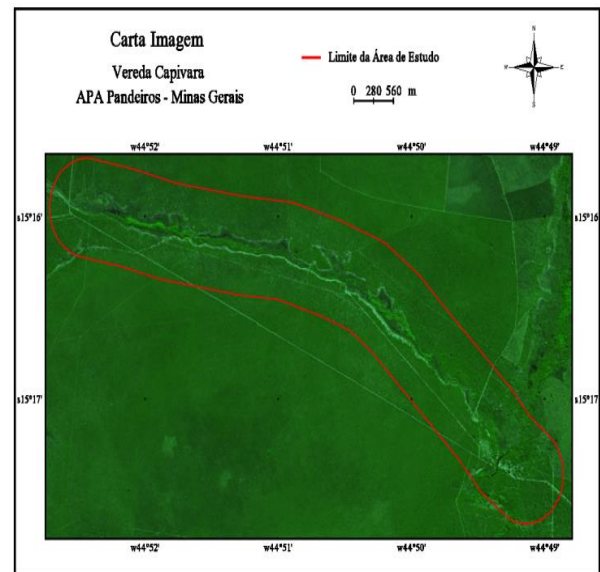


Figura 9. Carta Imagem da Vereda Capivara com o limite da área de estudo na APA do rio Pandeiros.

Análise comparativa de área das Veredas Almescla e Capivara

As classes Buriti Arbóreo, Campo Graminoso e Vegetação Arbóreo Arbustiva apresentaram valores superiores em relação a porcentagem de área na Vereda Almescla.

Vale ressaltar que tais classes são próprias das formações de veredas (Eiten, 1993 *apud* Maillard, Pereira & Souza), e sua maior porcentagem de ocorrência sugere, portanto, maior conservação se comparada com a Vereda Capivara.

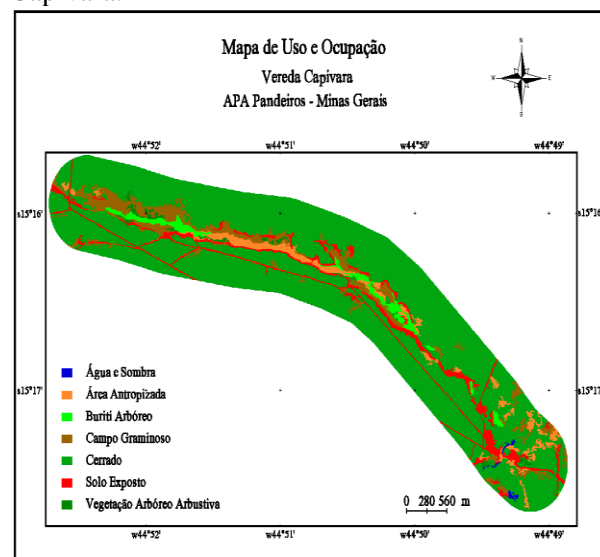


Figura 10. Mapa de Uso e Ocupação da Vereda Capivara na APA do rio Pandeiros.

Por outro lado, pode-se destacar maior porcentagem de área da classe Solo Exposto na Vereda Capivara, bem como a ocorrência de uma classe que só pode ser observada nesse ambiente: Área Antropizada. O elevado valor da porcentagem de área da classe Solo Exposto nessa Vereda, em relação à Vereda Almescla, está relacionado à ocorrência de estradas, que cortam tanto o Cerrado quanto as classes Área Antropizada, Buriti Arbóreo e Campo Graminoso. Tais resultados sugerem uma diferenciação dessa última Vereda em relação à conservação, sendo esse ambiente mais degradado e com suas relações ecológicas fragilizadas (Boaventura, 2007). Essa análise comparativa pode ser visualizada na Figura 11 a seguir:

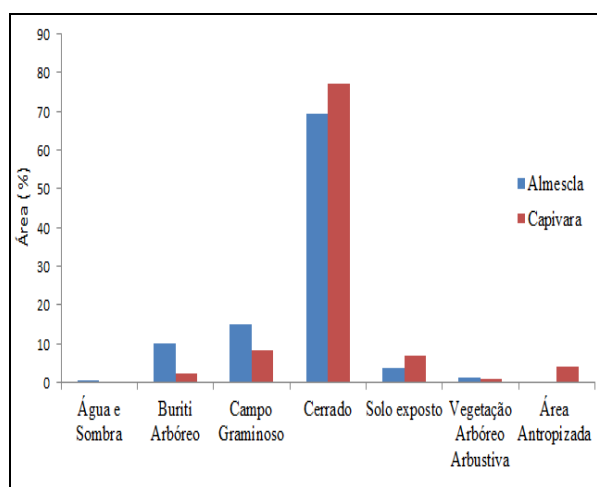


Figura 11. Gráfico comparativo de área das Veredas Almescla e Capivara na APA do Rio Pandeiros.

## Conclusão

A interpretação visual das imagens RapidEye permitiu observar realidades diferentes nos dois ambientes estudados.

Os resultados da classificação permitiram observar a grande capacidade da imagem RapidEye na discriminação de nuances da cobertura vegetal de maior separabilidade espectral. O *Buffer* de 500 metros, a partir do centro (calha) de cada Vereda, permitiu uma boa discriminação da área de transição Cerrado-Vereda.

Pode-se concluir que houve sucesso, principalmente, na discriminação das classes Buriti Arbóreo, Campo Graminoso e Cerrado. Além disso, deve-se destacar o sucesso na detecção e classificação da classe Solo Exposto,

ocorrendo nas adjacências tanto da Vereda Almescla quanto da Vereda Capivara.

As veredas apresentam uma importância biológica evidenciada pela diversidade de paisagens. A inter-relação entre Cerrado e outras formações florestais promove recarga do lençol freático que abastece o solo hidromórfico das veredas. Nesse contexto, a Vereda Almescla apresentou bons resultados quanto a sua conservação, o que é evidenciado pela classificação bem sucedida das classes Buriti Arbóreo e Campo Graminoso. Já a Vereda Capivara apresentou um mosaico diferente da Almescla. A classe Área Antropizada evidencia o estado degradado dessa Vereda, com ocorrência em toda sua parte central. Ainda no que concerne a essa classe, pode-se destacar sua sobreposição sobre a classe Buriti Arbóreo em relação à porcentagem de área, o que também evidencia seu maior estado de degradação.

Houve dificuldade para distinguir as classes Buriti Arbóreo e Vegetação Arbóreo Arbustiva, o que pode ser explicado pela forte associação entre essas duas classes, sendo suas respostas espectrais muito semelhantes. Portanto, a baixa detecção da classe Vegetação Arbóreo Arbustiva sugere que essa classe foi incluída na classe Buriti Arbóreo, tanto na Vereda Almescla quanto na Vereda Capivara.

Esses resultados podem auxiliar na avaliação de aspectos que sugerem as condições de conservação de tais formações florestais, além de subsidiarem medidas e ações conservacionistas que objetivam a recuperação dessas veredas, considerando sua grande importância ecológica, social, cultural e econômica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Santo Agostinho e a CNPq pelo apoio e incentivo à pesquisa científica.

## Referências

- ALENCAR-SILVA, T. Proposta Metodológica para Delimitação e Classificação do Ambiente de Vereda Utilizando Imagens Orbitais. 87 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- ARAÚJO, G. K. D.; JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V. Criação de mapa temático de uso da terra com diferentes classificadores. In: SIMPÓSIO

- BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 67-74.
- Azevedo, I. F. P.; Nunes, Y. R. F.; Veloso, M. D. M.; Neves, W. V.; Fernandes, G. W. 2009. Preservação estratégica para recuperar o São Francisco. *Scientific American Brasil*, São Paulo 83, 74-79.
- Bahia, T. O.; Luz, G. R. da; Veloso, M. D. M.; Nunes, Y. R. F.; Neves, W. V.; Braga, L. L.; Lima, P. C. V. de. 2009. Veredas na APA do Rio Pandeiros: importância, impactos ambientais e perspectivas. *MG. Biota*, Belo Horizonte 2, 3-13.
- Barbosa, L. A.; Garnés, S. L. A.; Sanabria, P. L. A.; Fernandez, V.; Santos, C. R. B. dos. 2009. Quantificação e identificação de vegetação arbórea de cordilheiras do Pantanal Negro, MS, por meio de amostragem em campo e classificação de imagem do satélite Quick Bird. *Anais... 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, p.720-729.
- Bernardi, J. V. E.; Landim, P. M. B.; Barreto, C. L.; Monteiro, R. C. 2005. Estudo espacial do gradiente de vegetação do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Holos Environment* 5, 1-22.
- Boaventura, R. S. 2007. Veredas: berço das águas. Belo Horizonte: *Ecodinâmica*, 264 p.
- Câmara, G.; Casanova, M. A.; Hemerly, A. S.; Magalhães, G. C.; Medeiros, C. M. B. 1996. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Rio de Janeiro.
- Caixeta, P. R. C.; Edmundo, I. S. B.; Rodrigues, A. F. S.; Moreira G. F.; Medeiros, N. C. 2012. Processamento de imagens de alta resolução RapidEye para mapeamento do meio físico. *Anais... IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, p. 01-08.
- Cunha, F.S.S.; Nogueira, J.F. 2005. Atualização Cartográfica e Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo da Folha Sobral (SA.24.X-D-IV) com Base no Processamento Digital de Imagens Landsat 7 ETM+. *Essentia*, Sobral 7. 75-94.
- Drummond, G. M.; Martins, C. S.; Machado, A. B. M.; Sebaio, F. A.; Antonini, Y. 2005. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Fundação Biodiversitas.
- Felix, I. M.; Kazmierczak, M. L.; Espíndola, G. 2009. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 7619-7622.
- Fernandes, V. Avaliação da perda da vegetação arbórea nativa da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil, por meio de sensoriamento remoto. 2008. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional). Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, Campo Grande.
- Ferreira, B. C. 2009. Detecção e delimitação de Veredas a partir de imagens ALOS PALSAR e ALOS AVNIR. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p.3761-3767.
- Figueiredo, D. 2005. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2012.
- Florenzano, T. G. 2011. Iniciação em sensoriamento remoto. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 128 p.
- Fonseca, D. S. R.; Nascimento, C. R.; Miranda, W. A.; Figueiredo, F. P. 2011. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental. *Revista eletrônica de Geografia* 1, 1-20.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Mapa de Vegetação do Brasil. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1999. Introdução ao processamento digital de imagens / IBGE, Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro.
- IEF - Instituto Estadual de Florestas (IEF). 2012. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/117?task=view>>. Acesso: 07 maio 2012.
- Liu, W. T. H. 2006. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Uniderp, 908p.
- Maillard, P.; Pereira, D. B.; Souza, C. G. 2009. Incêndios florestais em veredas: conceitos e estudo de caso no Peruaçu. *Revista Brasileira de Cartografia*, 61 (4): 321-330.
- Novo, E. M. L. M. 2011. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. São Paulo: Edgard. Blucher, 387 p.
- Nunes, Y. R. F.; Azevedo, I. F. P.; Neves, W. V.; Veloso, M. D. M.; Souza, R. A.; Fernandes, G. W. 2009. Pandeiros: o Pantanal Mineiro. *MG. Biota*, Belo Horizonte 2, 4-17.
- Oliveira, G. C. 2005. Perfil florístico e distribuição das espécies vegetais, em relação

- ao gradiente de umidade, do solo em seis veredas no Triângulo Mineiro. Dissertação de mestrado em ecologia e conservação de recursos naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- Oliveira, L. G. L. de; Ponzoni, F. J.; Moraes, E. C. Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. 2009. Revista Brasileira de Geofísica 27, 121-133.
- Pereira, J. L.G.; Batista, G.T.; Roberts, D. 1996. Reflectância de coberturas vegetais na Amazônia. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p.551-556.
- Ponzoni, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: Menezes, P. R., Netto, J. S. M. (org). 2001. Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p.157-199.
- Ponzoni, F. J.; Santos, S. B. 2008. Conversão de números digitais de imagens orbitais em valores de FRB de superfície. Bol. Ciênc. Geod. 14, 541-556.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y, E. 2007. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, SP: Parêntese Editora, 135 p.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T.2008. As Principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Cerrados, Embrapa Informação Tecnológica. p. 151-213.
- Rosendo, J. 2005. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Rosendo, J. S.; Rosa, R. 2009. A utilização de índices de vegetação em uma tentativa de mapear o uso da terra e a cobertura vegetal. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 6141-6148.
- Teixeira, C. V. 2008. Uso do sensoriamento remoto para delimitação e identificação de áreas inundáveis (várzea) na bacia Amazônica. Dissertação de Mestrado em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 84 p.
- Vettorazzi, C. A. 1996. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. Série Técnica IPEF, Piracicaba, 10, 45-51.