

Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruaçu.

Thiago Alencar-Silva
Doutorando em Geografia - IGC/UFMG

Philippe Maillard
Professor Adjunto do Departamento de Geografia - IGC/UFMG

Resumo

A presença das veredas justificou a criação do Parque Estadual Veredas do Peruaçu – PEVP na região norte de Minas Gerais. Neste trabalho, uma metodologia é apresentada para delimitação do ambiente de vereda e classificação dos seus estratos fitofisionômicos. Uma nova chave de classificação dos diferentes tipos de veredas é também proposta, uma vez que as veredas do PEVP não são homogêneas. A abordagem metodológica baseia-se em técnicas de processamento digital de imagem de satélite (segmentação e classificação de imagem) e coleta de dados de campo. Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para a delimitação de 58,8% das veredas da região do PEVP e para um sucesso de classificação de seus estratos fitofisionômicos de 73,5%.

Abstract:

The presence of palm swamps has justified the creation of the Veredas do Peruaçu State Park - PEVP in northern Minas Gerais. In this work we present a methodology to delineate palm swamps and classify their vegetation strata. Moreover, a new key for the classification of different types of palm swamps is proposed, since they are not homogeneous in the PEVP. The methodology is based on techniques of digital processing of satellite images (segmentation and classification) and field data. The approach was able to delineate 58,8% of the palm swamp in the PEVP region and an overall classification success of 73,5% for the vegetation strata.

Recebido 09/2011
Aprovado 03/2012

Palavras-chave: Veredas, Imagens de Satélite, Dados de Campo, Classificação, Segmentação.

Key-words: *Palm swamps, Satellite Images, Field Data, Classification, Segmentation.*

thiago.alencar1@yahoo.com.br
philippe@cart.igc.ufmg.br

Introdução

A vereda é um importante ecossistema ribeirinho do bioma Cerrado. Considerada como área de terras úmidas, possui uma grande importância socioambiental na região norte de Minas Gerais. Esta importância deve-se ao fato de que a região apresenta déficit hídrico na maioria dos meses do ano (NIMER e BRANDÃO, 1989). As veredas são em muitos casos as únicas fontes de água para a maioria das comunidades rurais durante os meses de estiagem.

As veredas são protegidas por leis específicas e por leis que tratam da conservação das Áreas de Preservação Permanente - APP ao longo dos cursos hídricos (BRASIL, 1989; CONAMA, 2002). No entanto, elas apresentam um alto grau de degradação, devido à forte pressão sobre os seus recursos. Por este motivo, estudos que tratam de seu inventário são essenciais para que estratégias de preservação e recuperação possam ser elaboradas.

Por encobrir a maioria das nascentes da margem esquerda do São Francisco em Minas Gerais, as veredas cobrem grandes extensões territoriais. A delimitação destes ambientes através métodos tradicionais necessitaria de recursos humanos e financeiros de grande ordem. Técnicas de sensoriamento remoto representam uma alternativa para a execução destes levantamentos de campo, além de permitir um monitoramento contínuo.

Muitas técnicas de sensoriamento remoto baseiam-se no processamento digital de imagens. Os sensores de aquisição de imagens de satélite podem ser divididos em passivos e ativos (JENSEN, 2005). Os sensores passivos captam a radiação solar refletida pela superfície da terra e a transformam em imagens chamadas “ópticas”. Estes sensores são bastante sensíveis às condições atmosféricas, especialmente névoa e nuvens. Em regiões com freqüente e densa cobertura de nuvens, a aquisição de imagens ópticas podem ser difícil (JENSEN, 2009). Em contrapartida, os sensores ativos emitem seu próprio sinal e captam o seu retorno após a interação com os alvos na superfície da Terra. Entre os sensores ativos destacam-se o radar que emite impulsos de tipo “micro-onda” capazes de penetrar a cobertura de nuvens, até o dossel das florestas no caso dos comprimentos de onda maiores (até 1 m). Por este motivo, o imageamento radar pode ser realizado independente das condições atmosféricas ou de iluminação - dia ou noite (KASISCHKE *et al.*, 1997). Outra vantagem do radar na identificação das veredas no contexto do cerrado é que o sinal é muito sensível à umidade da superfície.

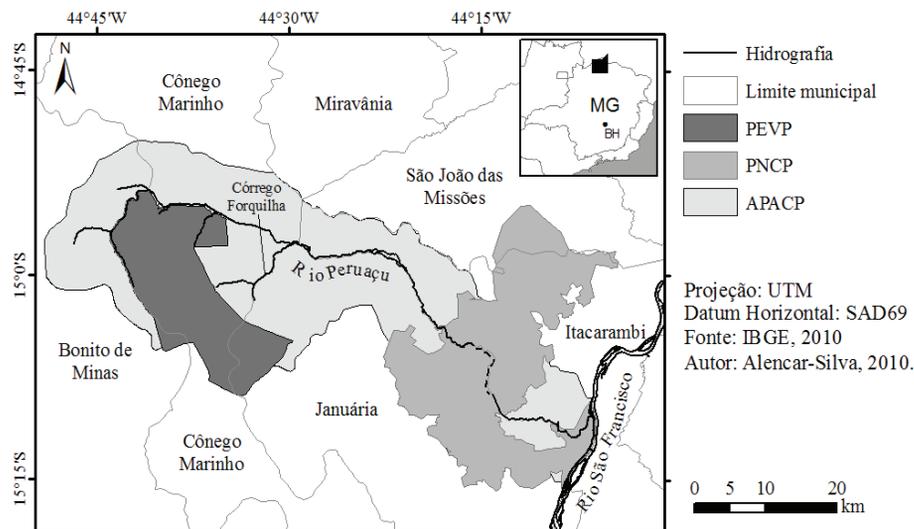
O primeiro objetivo deste artigo consiste em propor uma metodologia para o mapeamento do ambiente de vereda e a classificação dos seus diferentes estratos com base em técnicas de processamento de imagens ópticas e de radar. As veredas do Rio Peruaçu e um dos seus principais afluentes, o Córrego Forquilha, foram escolhidas como objeto de estudo, principalmente devido ao fato de ser uma unidade de conservação com pouca interferência humana. As veredas da área de estudo estão localizadas no Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP) e no seu entorno: a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP).

A constatação de variações fisionômicas nas veredas nos levou a estabelecer um segundo objetivo de propor uma nova chave de classificação das tipologias das veredas. Este objetivo foi encorajado pela falta de estudos que integrem aspectos fisiográficos (relevo, e solo entre outros) e florísticos no processo de identificação de diferentes tipos de veredas.

As veredas no contexto do mosaico de unidades de conservação no norte mineiro

A preservação das veredas possui estreita relação com o mosaico de unidades de conservação existentes no norte de Minas Gerais que garante a preservação de fragmentos diante do avanço da indústria madeireira e da pecuária. As unidades de conservação existentes no vale do rio Peruaçu são: a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), o Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP) e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP) (FIG. 1).

Figura 1 Mosaico de unidades de conservação na região vale do rio Peruaçu



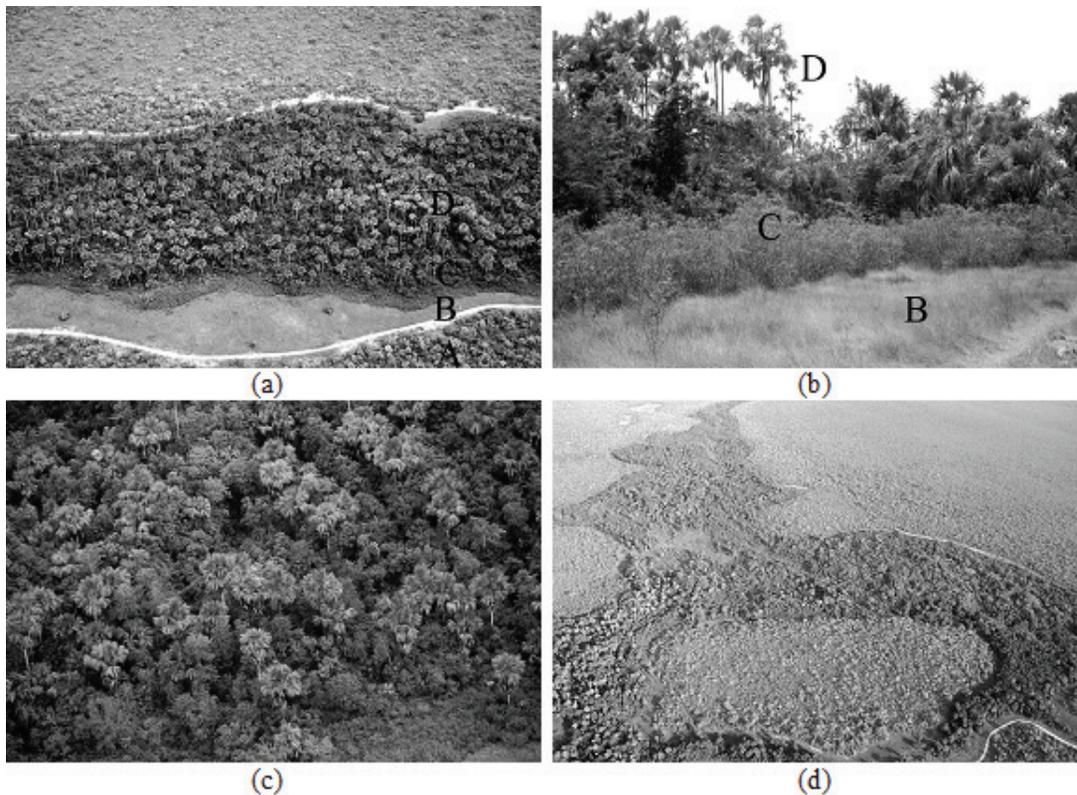
A Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP) tem como objetivo a proteção das cavernas existentes na região e ocupa uma área de 146.800 ha, que corresponde à totalidade da bacia do rio Peruaçu. Inseridas parcialmente na APA, encontram-se duas unidades de proteção integral, o PNCP e o PEVP. As sobreposições das áreas destas unidades em relação à área de APACP são de 50,4% e 85% respectivamente. Estas sobreposições são resultados da criação tardia das UCs de proteção integral. O PEVP foi criado por uma necessidade de preservar as nascentes do rio Peruaçu, constituídas por veredas em bom estado de conservação. Por sua vez, o PNCP foi criado para preservar as cavernas e o patrimônio arqueológico existentes na região. As nascentes do rio Peruaçu encontram-se na chapada arenítica chamada Chapadão das Gerais. Por outro lado, o médio curso está localizado em um ambiente cárstico, com formações calcárias do grupo Bambuí, conferindo uma diversidade geológica e geomorfológica abrangida por essas unidades.

O Parque Estadual Veredas do Peruaçu foi criado em 27 de setembro de 1994, através do decreto estadual nº 36.070/1994. No documento de criação destaca-se como objetivo dessa unidade proteger a fauna e flora das veredas e garantir a qualidade dos recursos hídricos da bacia. Inicialmente o parque apresentava uma área de 30.702,00 ha que foi alterada para 31.226,14 ha em 22 de dezembro de 2005, através do decreto estadual nº 36.070/2005.

As vereda e suas definições

A vereda é um importante ecossistema ribeirinho do bioma cerrado (EITEN, 1994), localizado principalmente no Brasil central, mais especificamente nas formações areníticas do Chapadão das Gerais (FIG. 2). Essa fitofisionomia é caracterizada pela presença da palmeira arbórea Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), com altura média entre 12 e 15 m e ocupando de 5% a 10% cobertura de dossel entre (FIG. 2c), em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivas e herbáceas (MELO, 2008; RIBEIRO e WALTER, 1998). Ao contrário de outras formações do cerrado, como o buritizal, nas veredas os Buritis não formam um dossel fechado. Esse tipo de formação vegetal encontra-se associado às zonas de maior umidade no solo, próximo às nascentes dos rios do Cerrado. Nas chapadas, a vereda constitui uma quebra fisionômica da “monotonia” da vegetação do cerrado.

FIGURA 2 Fotografias ilustrando a diferença entre os estratos das veredas: (a) vista aérea; (b) vista do chão; (c) vista aérea do dossel arbóreo de uma vereda; e (d) vista aérea de um complexo de várias veredas associadas no PEVP. Legenda: A) cerrado sentido restrito, B) estrato herbáceo, C) estrato arbustivo e arbóreo, D) palmeira buriti (fotografias: Thiago de Alencar Silva).



A vereda é um sistema controlado pela geomorfologia fluvial (AB'SABER, 2001) que, de acordo com BOAVENTURA (2007), apresenta a seguinte definição:

“As veredas são vales rasos, com vertentes côncavas e arenosas de caimento pouco pronunciado e fundo plano, preenchidos por argilas hidromórficas. A palmeira Buriti é também um elemento característico, ocorrendo tanto em alinhamentos que acompanham os pontos de maior umidade, como em formações e associações mais densas que se destacam no meio dos cerrados adjacentes. O escoamento é geralmente perene, notando-se, entretanto, nítida variação sazonal de vazão.”

Complementando esta definição e incorporando o aspecto hidrográfico, o IBGE (2002) define a vereda como:

“Zona deprimida, com forma que pode ser ovalada, linear ou dirigida dentro de uma área estruturalmente plana ou aplainada pela erosão. A vereda resulta de processos epidérmicos e exsudação do lençol freático, cujas águas geralmente convergem para um talvegue de drenagem concentrada, assinalada por um renque arbustivo e/ou arbóreo, caracterizado por palmeiras de diferentes espécies, particularmente os Buritis.”

As veredas desempenham papel de drenos naturais nas extensas chapadas areníticas que possuem uma drenagem superficial incipiente onde predominam os processos de infiltração. Os aquíferos que interceptam uma camada impermeável são conduzidos lateralmente até as veredas (vales) onde ocorre a exsudação hídrica e a conexão com a rede hidrográfica.

Do ponto de vista botânico, Achá-Panoso (1978) caracteriza as veredas como comunidades hidrófilas localizadas no planalto central do Brasil. Segundo ele, esta formação vegetal apresenta estratos diferenciados, sendo eles: (i) um campo herbáceo no contato direto com o cerrado, (ii) uma região arbustiva entre o campo herbáceo e o agrupamento arbustivo, onde é marcante a presença da palmeira Buriti.

De acordo com Ribeiro e Walter (1998), as famílias de vegetais que são freqüentemente encontradas nas veredas podem ser divididas por estratos. No estrato herbáceo são comuns espécies das famílias *Poaceae* e *Cyperaceae*.

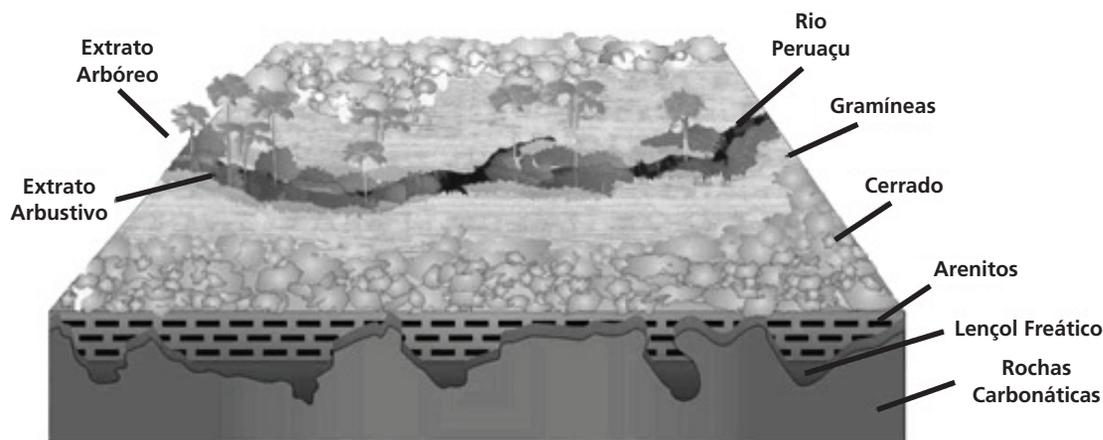
As espécies de gramíneas formam uma faixa característica nas bordas das veredas, que representam o limite entre essa fitofisionomia e outras espécies típicas do ambiente de cerrado. Observa-se que o estrato herbáceo possui raízes capazes de desenvolver em terrenos arenosos que sofrem drásticas variações hídricas entre os períodos de chuva e de seca (ELHAI, 1968). Além das gramíneas, também são comuns, na região das veredas, as espécies arbustivas da família das *Melastomataceae*. Em estágios mais avançados, nas formações de mata, podem ser encontradas espécies arbóreas que caracterizam a mata de galeria do cerrado.

A vereda é um ecossistema que possui um papel preponderante para a biodiversidade do cerrado, pois abriga diversas espécies da flora e fauna que não se encontram em outras partes (BIODIVERSITAS, 2005). Além disto, as veredas desempenham a função de corredores ecológicos que conectam os fragmentos de cerrado e permitem o fluxo de matéria e genes. Cabe destacar que a vereda possui importância desproporcional à área que ocupa, uma vez que desempenha a função de um manancial de água, especialmente no período de escassez hídrica. Devastar alguns quilômetros quadrados dessa fitofisionomia equivale à destruição do equilíbrio de centenas de quilômetros quadrado de cerrado.

As veredas são, muitas vezes, as únicas fontes perenes de água para utilização doméstica ou práticas agrícolas das populações locais o que as torna, historicamente, um fixador do homem na região, onde o principal fator restritivo é a disponibilidade de água (BOAVENTURA, 2007). A grande quantidade de produtos derivados da palmeira Buriti que são explorados pelas comunidades locais represente outro aspecto importante da preservação de veredas. Apesar da sua relevância, as veredas são vítimas de mudanças aceleradas causadas pelo processos de conversão em áreas de agricultura, especialmente monocultura de soja, e silvicultura, onde se destaca o eucalipto, e extensas áreas de pastagens (MELO, 2008).

As veredas têm a sua gênese condicionada por três fatores físicos principais (FIG. 3): 1) a presença de relevo plano, 2) um substrato geológico composto por camadas de permeabilidades diferenciadas, e 3) um clima caracterizado por duas estações bem definidas. Boaventura (2007) associa a formação das veredas à existência de superfície de aplainamento, a superposição de camadas geológicas litificadas e, ao nível de base local.

FIGURA 3 Bloco diagrama das características físicas das veredas do Peruaçu.



Metodologia

O trabalho pode ser dividido em duas fases representadas pela coletas em campo e o processamento da informação em laboratório. Enquanto as campanhas de campo tiveram o intuito de caracterizar a fitofisionomia vegetal e os solos associados, as imagens de satélite foram processadas a fim de avaliar o potencial de extração de informações sobre a localização e diferença de estratos fisionômicos das veredas.

Os procedimentos de campo ocorreram em períodos de maior déficit hídrico visto que períodos de grande concentração pluviométrica dificultam o acesso às veredas por via terrestre. As campanhas foram realizadas em duas etapas: entre os dias 24 a 30 de setembro de 2005 e entre os dias 16 a 19 de julho de 2006.

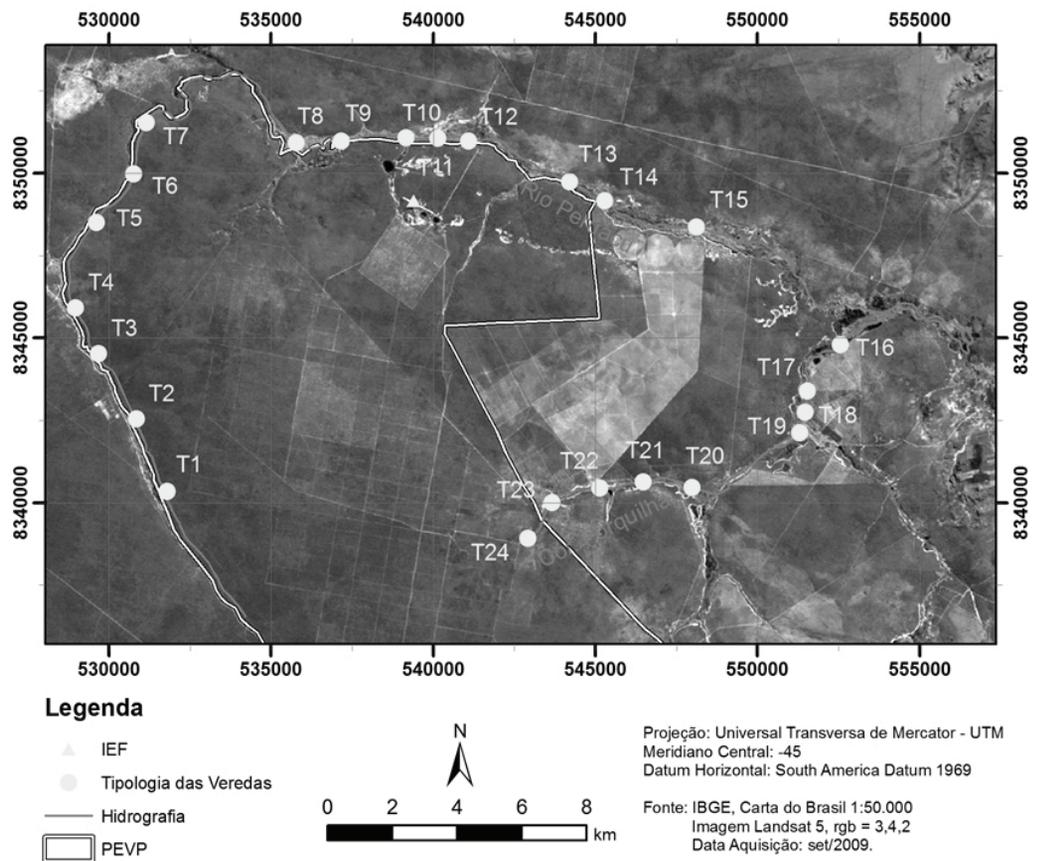
O primeiro trabalho de campo foi realizado com o objetivo de efetuar um reconhecimento da área de estudo e para o levantamento de 20 transectos fitofisionômicos nas veredas. Estes transectos foram utilizados para análises preliminares e para validação dos resultados. No segundo campo

outros 12 transectos fitofisionômicos foram realizados, o que proporcionou o aumento da acurácia dos resultados. Além dos transectos, amostras de solos foram coletadas em cada estrato fisionômico das veredas.

Os transectos consistem em secções transversais às fitofisionomias de vereda e tiveram um espaçamento mínimo de 500 m entre eles. O ponto de partida de cada transecto era o limite entre a vereda e a vegetação de cerrado. Para cada mudança fisionômica (vegetação herbácea, arbustiva e arbórea) um ponto de GPS foi adquirido. A união dos pontos ocorreu posteriormente com auxílio de um sistema de informação geográfica (SIG). O número de transectos reflete o objetivo em avaliar toda a extensão do alto Peruaçu e Córrego Forquilha (afluente da margem direita do Rio Peruaçu (FIG. 4)).

As coletas de solo objetivaram mensurar o teor de umidade a partir do método de umidade gravimétrica, que consiste em determinar a umidade do solo através da diferença de pesos entre as amostras úmidas e secas (EMBRAPA, 1997). Trinta e uma amostras foram coletadas durante a realização dos transectos fitofisionômicos. No laboratório, 50 gramas de cada amostra foram pesadas em seu estado natural, e a após a sua secagem em estufa, a mesma amostra foram pesadas novamente.

FIGURA 4 Carta imagem da localização dos 24 transectos no Rio Peruaçu e Córrego Forquilha.



Aquisição e processamento de imagem de satélite

As imagens de satélites óticas permitem uma boa qualidade visual do dossel vegetal, enquanto imagens radar têm a vantagem de penetrar parcialmente o dossel e são mais sensíveis à umidade da superfície. Nesse trabalho, essas duas características são combinadas usando uma imagem ótica do sensor ASTER (do satélite Terra/EOS AM-1) e uma imagem radar do satélite canadense RADARSAT-1.

O RADARSAT-1 é um satélite com um sensor radar que opera na banda C, com frequência de 5.3 GHz (comprimento de onda de 5,6 cm). Enquanto, o ASTER é o único sensor de alta resolução da plataforma Terra/EOS AM-1 que é composto por 3 subsistemas distintos: o VNIR (*Visible and Near Infrared*), o SWIR (*Short Wavelength Infrared*) e o TIR (*Thermal Infrared*). Uma cena do sensor VNIR, com três bandas no visível e uma no infra-vermelho próximo com resolução espacial de 15 m foi adquirida para este estudo.

As imagens passaram pelo processo de correção geométrica e adequação a um sistema de coordenadas. Esta etapa de pré-processamento é importante para a sobreposição espacial dos transectos obtidos em campo. Em uma segunda etapa, as áreas da imagem que não possuíam veredas foram eliminadas. Partindo do pressuposto que as veredas acompanham os cursos d'água, uma zona tampão de 500 m foi criada a partir de cada margem do rio vetorizado em um SIG. Os polígonos resultantes foram utilizados como máscara na imagem, eliminando assim as áreas onde não há ocorrência de veredas. O valor de 500 m foi arbitrário, sabendo-se que na área de estudo as veredas não excedem esta largura.

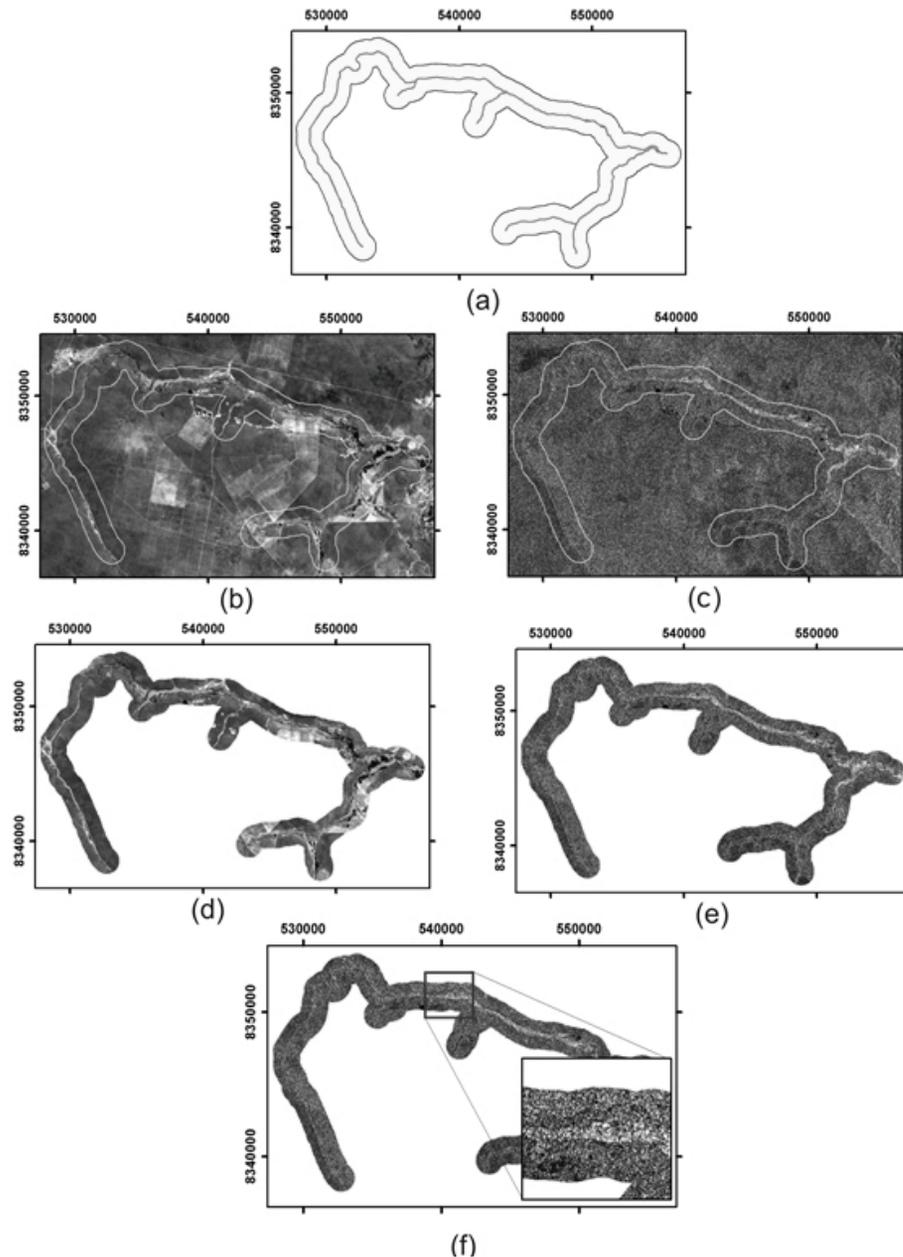
Na etapa seguinte a imagem RADARSAT-1 foi segmentada com a finalidade de obter duas feições: áreas de veredas e áreas de não-veredas. A segmentação é um processo que consiste em dividir as imagens em segmentos homogêneos (GONZALEZ e WOODS, 1992). A delimitação semi-automática, sem a necessidade de amostras de campo, foi utilizada na etapa de segmentação da imagem. Para esta tarefa, utilizou-se o algoritmo MAMSEG (*Modified Adaptive Markov Random Fields Segmentation*) desenvolvido na Universidade de Waterloo - Ontário/Canadá (DENG e CLAUSI, 2003; MAILLARD et al., 2005).

Em paralelo, a imagem ASTER foi classificada para obter os estratos fitofisionômicos. O processo de classificação consiste em atribuir uma categoria pré-definida a um conjunto de pixels a partir de uma série de regras, frequentemente, relacionadas com valores espectrais nas imagens. Este método é denominado de classificação supervisionada e é um dos procedimentos mais utilizados para a extração de informações temáticas em imagens de satélite (RICHARDS, 1995). A metodologia consiste na definição de áreas de treinamento que são estabelecidas para as diferentes feições representativas nas imagens. Essas áreas informam que os dados contidos em um determinado grupo de pixels relacionam-se com uma classe e que repetições daquele padrão devem ser classificadas como pertencente ao mesmo grupo.

Nessa pesquisa, utilizou-se o critério de Fisher do *software* Multispec (©2006 Purdue Research Foundation, West Lafayette, IN), para classificar a imagem ASTER. Definiu-se um total de seis classes, onde cinco são relacionadas aos estratos fisionômicos das veredas e vegetação associada – (i) cerrado *strictu sensu*, (ii) gramíneas, (iii) arbustivo, (iv) arbóreo e (v) Buriti. A última classe está relacionada ao uso do solo – (vi) solo exposto.

Os mesmos transectos fitofisionômicos utilizados para classificar a imagem ASTER foram úteis para validar a segmentação da imagem de RADARSAT (Fig. 05).

FIGURA 5 Etapas metodológicas da preparação dos dados: (a) construção da zona tampão, (b) aplicação da zona tampão na imagem ASTER, (c) e na imagem RADARSAT, (d) máscara na imagem ASTER, (e) e imagem RADARSAT e (f) detalhe dos transectos fitofisionômico na imagem RADARSAT.



Resultados

Os resultados são divididos em duas partes. Primeiro, os procedimentos de delimitação e classificação dos ambientes de veredas usando as imagens ASTER e RADARSAT-1 são avaliados. Em seguida, são apresentados os aspectos fisionômicos das veredas no PEVP e a definição de uma nova tipologia dessas formações.

A segmentação da imagem RADARSAT-1 obteve sucesso geral de 58,8% após validação com os transectos de campo. O sucesso geral corresponde à porcentagem de correspondência entre a segmentação feita pelo MAMSEG e os dados de campo. Apesar de ser um resultado mediano, devemos ressaltar que o procedimento a forma semi-automática da metodologia. A segmentação apresentou um bom resultado nas áreas mais largas das veredas, onde a umidade do solo é maior, especialmente em veredas com extensão transversal superior à 50 m. Todavia, em áreas de cabeceiras, os resultados apresentam uma vereda fragmentada, que não corresponde às observações de campo. Esta fragmentação é causada pela menor extensão transversal e mais baixa umidade dessas áreas que dificultam a delimitação do ambiente de vereda mesmo em processo de interpretação visual.

Os resultados mostram a capacidade do MAMSEG em delimitar e identificar de maneira fácil e rápida os ecossistemas úmidos como as veredas. Um ponto a destacar é que no processo de segmentação fez-se necessário a escolha dos parâmetros corretos para a aquisição de imagens radar, em particular o ângulo de incidência e a época do ano. Vários testes, utilizando parâmetros diferentes para as imagens RADARSAT-1 foram realizados. Os melhores resultados foram obtidos para a imagem do período úmido (FIG. 6).

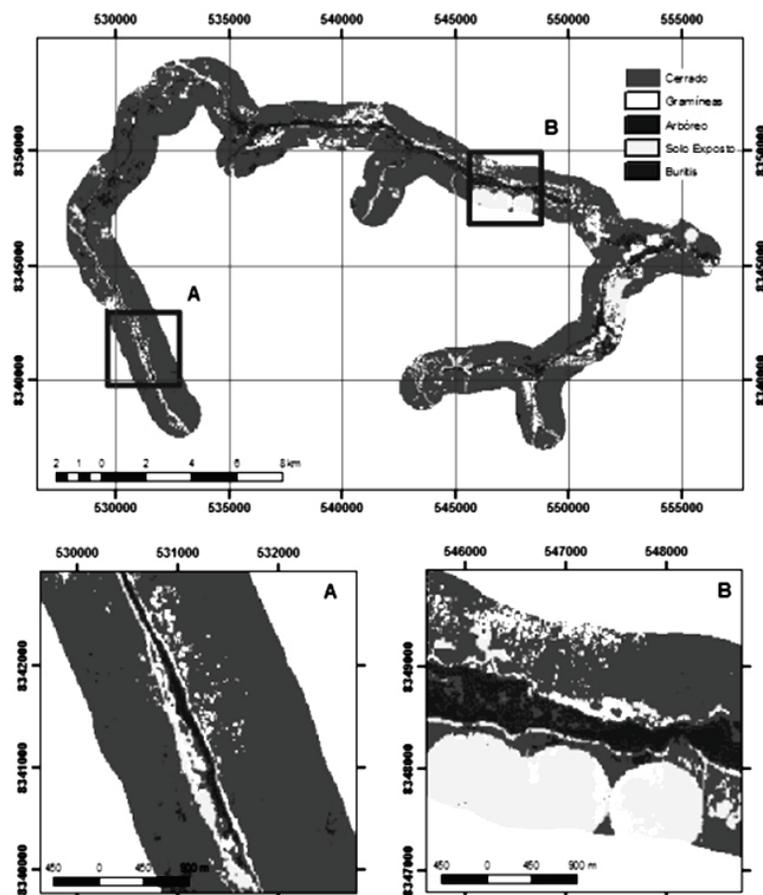
FIGURA 6 Resultado da segmentação MAMSEG para a imagem RADARSAT-1. As áreas de não-veredas são representadas em branco. As áreas de veredas estão representadas em cinza.



A classificação da imagem ASTER permitiu extrair 73,5% da área total de veredas (FIG. 7). Este resultado é considerado razoável considerando a resolução espacial do sensor VNIR de 15 m. Cabe ressaltar que as veredas possuem uma extensão transversal pequena (não superior a 300 m no PEVP), e as fisionomias que a compõem têm uma largura inferior a 50 m, o que representa apenas três pixels da imagem ASTER. Mesmo com esta limitação a classificação separou as classes “buritis” e “arbóreo”, o que representa um avanço em relação à interpretação visual da imagem ASTER. Entretanto, as classes “arbustivo” e a classe “cerrado” não foram bem separadas. A confusão entre classes na classificação de imagem corresponde ao erro inerente ao processo, onde uma classe é atribuída a certo grupo de pixels, que na verdade pertence à outra classe (JENSEN, 2005). Isto ocorre em muitos casos, devido à resposta espectral dos alvos que apresentarem comportamento semelhante.

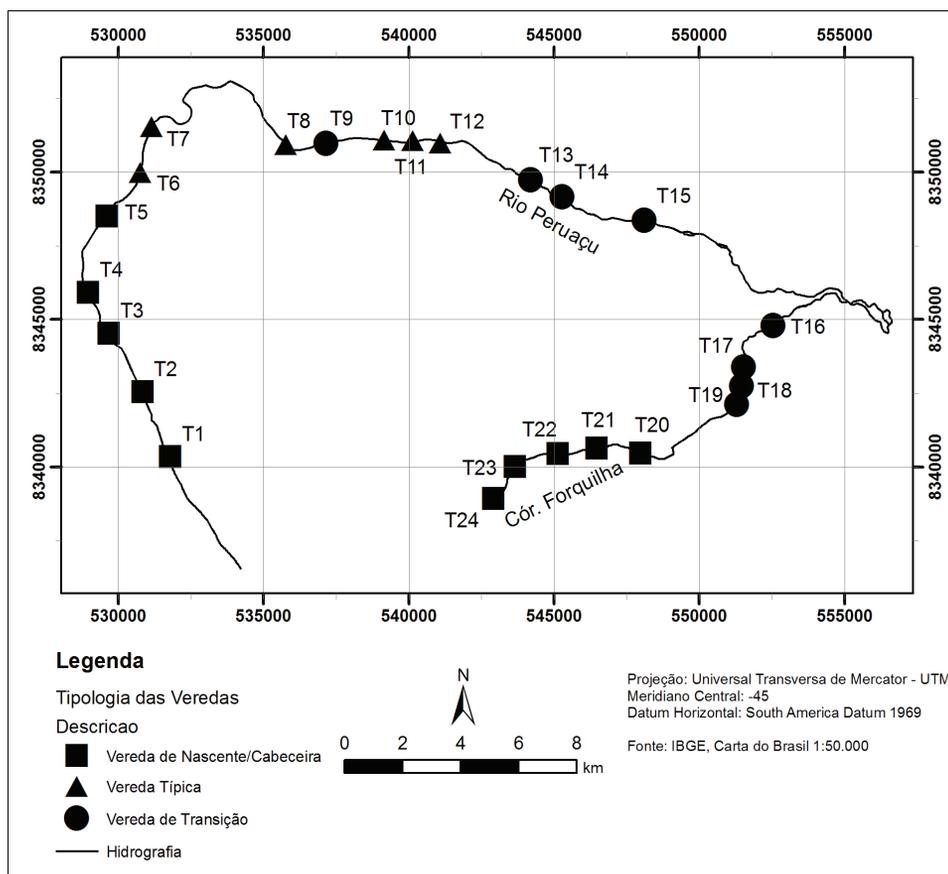
Por este motivo optou-se por excluir a classe “arbustivo” da chave de classificação final. Trabalhos futuros devem utilizar imagens de alta resolução, contendo um maior nível de detalhes, a fim de aprimorar esses resultados.

FIGURA 7 Resultados da classificação da imagem ASTER. O quadro “A” mostra detalhes da região de cabeceira e o quadro “B” de uma região de maior umidade.



Nossas observações de campo deixaram claro que existe mais de um tipo de veredas e que o critério geomorfológico escolhido por Boaventura e outros autores não é suficiente para capturar a diversidade inerente a esse tipo de formação. Observamos uma série de características que variam principalmente com a disponibilidade hídrica e as propriedades hidrológicas do curso. Observando essas diferenças, propusemos a existência de três tipos de veredas no Peruaçu: “veredas de nascentes” ou “cabeceiras”, “veredas típicas” e “veredas de transição” ou “transição vereda/mata ciliar”. Os 24 transectos de veredas do rio Peruaçu foram agrupados nas três tipologias baseado nas observações fisiográficas (extensão, densidade e porte da vegetação), umidade do solo e características hidrológicas do curso d’ água (Fig. 8).

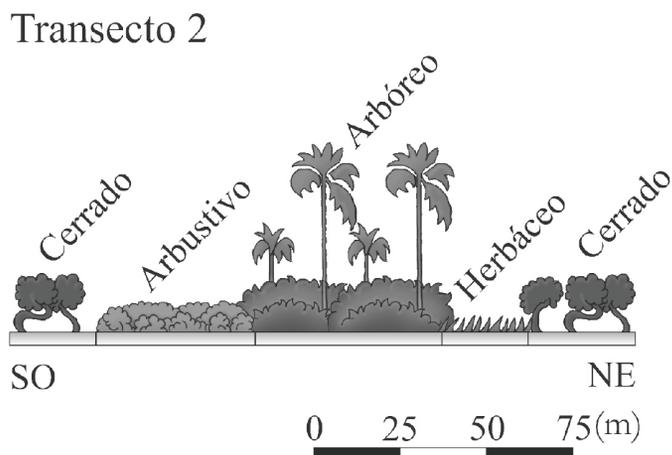
FIGURA 8 Mapa de localização das tipologias de vereda identificadas no Peruaçu, por transecto.



Dez transectos (1, 2, 3, 4, 5, 20, 21, 22, 23 e 24) foram inseridos na tipologia “veredas de nascentes” ou “cabeceiras” e correspondem às áreas de nascentes do Rio Peruaçu e Córrego Forquilha (FIG. 9). Essas são caracterizadas por serem estreitas (<100 m), apresentarem poucas áreas de exsudação do lençol freático e corresponderem ao estágio inicial de evolução de uma vereda. Em relação aos

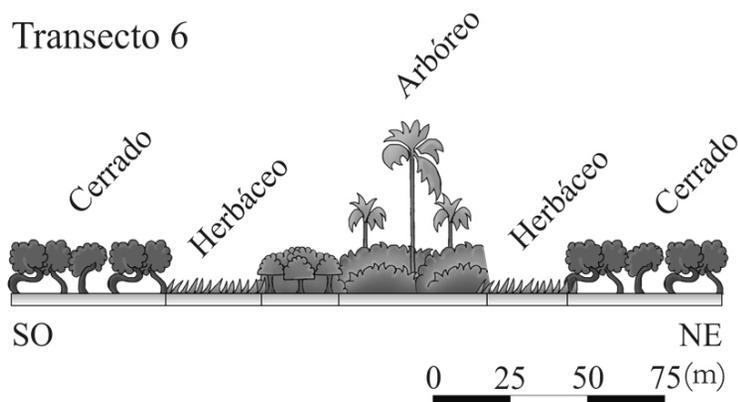
outros dois tipos, elas apresentam um estrato arbóreo estreito e solos com menor teor de umidade e de matéria orgânica. Os Buritis são menores e alinhados em fileira estreita e a faixa de arbustos é mais larga do que nos outros tipos.

FIGURA 9 Representação esquemática de uma vereda de nascente. O transecto 2 foi tomado como referência. As proporções dos segmentos estão mantidas de acordo com o dado coletado em campo.



O segundo grupo de transectos (6, 7, 8, 10, 11 e 12) foi classificado como “veredas típicas” e possuem um estágio de evolução mais avançado que o primeiro tipo. As veredas típicas apresentam uma faixa arbustiva e arbórea mais larga, um curso d’água definido nos períodos úmidos e vários pontos de exsudação do lençol freático durante todo o ano. A faixa contendo os buritis é caracterizada por solos de umidade constante e elevado teor de matéria orgânica. O Buriti é a árvore com maior ocorrência no interior do estrato arbustivo e são mais altos que no tipo anterior e são alinhados no centro da vereda com extensão superior a 20 m (FIG. 10).

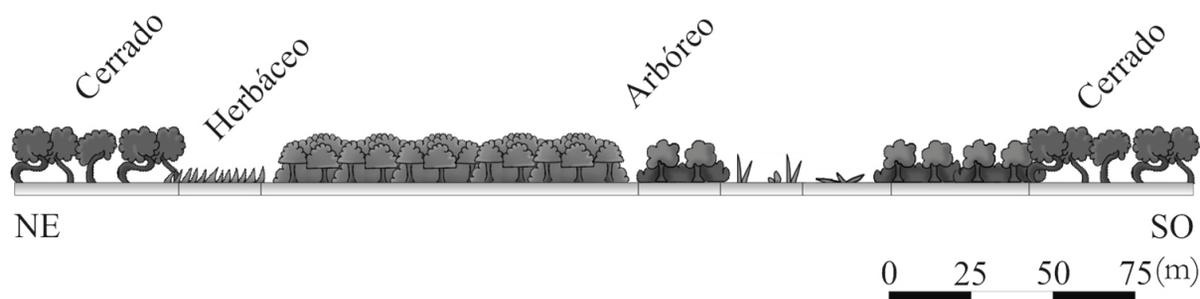
FIGURA 10 Representação esquemática de uma vereda típica.



O terceiro e último grupo de transectos (9, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19) corresponde às “veredas de transição” ou “transição vereda/mata ciliar”, e apresentam um estágio evolutivo mais avançado. Caracteriza-se pela presença de faixa arbustiva mais estreita, quando comparada às veredas típicas, porém contém a faixa arbórea bastante larga. Nesta tipologia, a densidade relativa dos buritis é menor que nos outros tipos de veredas. Os buritis são proporcionalmente mais raros, não são alinhados e podem até ser ausentes. Nas veredas do Rio Peruaçu do tipo transição predominam o indivíduo arbóreo Pindaíba (*Xylopia sp.*). O dossel é fechado formando galerias, o entalhe do leito do rio é nítido durante todo o ano e o apresenta alto grau de umidade e matéria orgânica (FIG. 11).

FIGURA 11 Representação esquemática de uma vereda de transição.

Transecto 14



Conclusão

O artigo apresenta uma metodologia que une o processo de segmentação de imagem RADARSAT-1 e classificação da imagem ASTER com o objetivo de delimitação e classificação do ambiente de vereda. O processo conseguiu delimitar de forma semi-automática cerca de 60% das veredas no Parque Estadual Veredas do Peruaçu e entorno. Em particular, a metodologia demonstrou que as imagens Radarsat apresentam um potencial certo para a delimitação de veredas bem desenvolvidas (“típicas” e “de transição”). Em contrapartida, o processo de classificação conseguiu extrair corretamente 73,5% dos estratos fitofisionômicos (herbáceo, arbustivo, arbóreo e buritis) o que demonstram um potencial das imagens ASTER para inventariar os ambientes de veredas. Esta abordagem abre a possibilidade de se delimitar e classificar extensas regiões de veredas, de forma contínua e menos dispendiosa.

Observou-se que, ao longo do curso do rio Peruaçu e córrego Forquilha, as veredas do PEVP não são homogêneas. As observações e os dados de campo permitiram caracterizá-las em três tipos: “veredas de cabeceiras”, “veredas típicas” e “veredas de transição”. Esta classificação agrega os parâmetros físicos e botânicos das veredas. Estudos específicos permitirão de refinar e estender esta nova chave de classificação para outros tipos.

Trabalhos futuros deveriam envolver o uso de imagens de alta resolução espacial (na ordem de um metro) e novas abordagens de classificação, como a utilização de parâmetro de textura de imagem, para aprimorar o desempenho de identificação das fisionomias da vegetação e os tipos de veredas.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem ao IEF por todo suporte logístico de campo. Os autores também gostariam de agradecer à Agência Espacial Canadense pelo fornecimento da imagem radar.

Referências bibliográficas

- AB'SABER, A. N. *O suporte geocológico das florestas beiradeiras*. In: Matas Ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 193p.
- ACHÁ-PANOSO, L. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da área sob influência do reservatório de Três Marias*. Minas Gerais: EMBRAPA/EPAMIG, 1978. 45p.
- ALENCAR-SILVA, T.; MAILLARD, P. Delineation of palm swamps using Radarsat data and spatial knowledge, In: *ISPRS Annual Conference*, Anais, Enschede, Holanda: ITC, 2006, CD-ROM.
- ALENCAR-SILVA, T. *Proposta metodológica para delimitação e classificação do ambiente de vereda utilizando imagens orbitais*, Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, 93 p. 2007.
- BIODIVERSITAS. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 256 p.
- BOAVENTURA, R. S. *Vereda berço das águas*. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 2007. 264 p.
- BRASIL. *Lei nº 7803, de 18 de julho de 1989*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1989.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n. 303/2002*. Brasília/DF: Diário Oficial da União – DOU, 2002.
- DENG, H. W.; CLAUSI D. Advanced Gaussian MRF rotation-invariant texture features for classification of remote sensing imagery. In: *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Anais, Madison, USA, 2003, 5 p.
- ELHAI, H. *Biogéographie*. Série U. Paris: Ed. Armand Colin, 1968. 404p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p.
- EITEN, G. 1994. *Vegetação do cerrado*. In: *Cerrado - caracterização, ocupação e perspectivas* (M.N. Pinto, org.). Editora da Universidade de Brasília, Brasília, p.17-73. (2ª edição). Brasília: 198 p.
- GONZALEZ, R. C. e WOODS, R. E. (1992). *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1992, 509p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente*. Brasília: IBGE, 2002. 146 p.
- JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing*. 3a edição New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 526 p.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Trad. José Carlos Neves Epiphânio (coord.) São José dos Campos/SP: Parêntese, 2009. 598p.
- KASISCHKE, E. S.; MELACK, J. M. e DOBSON, M. G. *The use of imaging radars for ecological applications – a review*. Remote Sensing of Environment 59(2),1997, p.141–156.
- MAILLARD, P.; CLAUSI, D.; DENG, H. *Operational map-guided classification of SAR sea ice imagery*. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, v.43, n.12, p. 2940 – 2951, 2005.
- MELO, D. R., *As veredas nos planaltos do noroeste mineiro: caracterização pedológica e os aspectos morfológicos e evolutivos*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Rio Claro. 1992. 218 p.

MELO, D. R., *Evolução das veredas sob impactos ambientais nos geossistemas Planaltos de Buritizzeiro/ MG*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais. 2008. 341 p.

NIMER, E. e BRANDÃO, A. M. P. *M. Balanço Hídrico e Clima da Região dos Cerrados*. Brasília/DF. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1989, 94p.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: *Cerrado: ambiente e flora* (1a edição), Editado por S.M. Sano, e S.P. Almeida, Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, p. 89–166, 1998.

RICHARDS, J. A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 2 ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995, 375p.