Influência do solo e da elevação na estimativa de distribuição de campinarana em uma área transicional do Parque Nacional do Viruá – RR

Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro [1]
Felipe Augusto Ventura da Silva Alfaya[1]
Dilce de Fátima Rossetti [1]
[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{carlolo, alfaya, rossetti}@dsr.inpe.br

Abstract. The Amazon campinaranas forests are associated with oligotrophic sandy soils. The campinarana can be divided in three classes related to their structure, Campinarana Forest, Campinarana woodland and Campinarana Grassland. The distributions these vegetation types and structural variation are linked to soil, topography and flooding. The aim of this study was to analyze the influence of soil and elevation in the distribution of campinarana using remote sensing techniques. Data were collected in a transect grid (5x5km) in the Viruá National Park (RR). The vegetation and soil, were classified with basis on 476 points, and 30 points, respectively. Data derived from the digital elevation model (DEM) and Landsat 5 TM image were used. Data interpolation resulted in three classification schemes for the study area, based on the following data sets: soil, Landsat image and DEM; Landsat image and soil; and Landsat image and DEM. These classifications were made with basis on decision trees, with the results being validated with field data. The DEM was more effective to distinguish between rainforest and campinaranas, indicating that the altitude can be a driving force in vegetation control in this area. The introduction of soil data resulted in erroneous data interpretations and classifications of the vegetation types.

Palavras-chave: vegetation types, decision tree, digital elevation model, Landsat image, árvore de decisão, modelo digital de elevação, imagem Landsat, soil.

1. Introdução

O estabelecimento e a permanência de uma espécie vegetal em um local requer adaptações morfológicas e fisiológicas. Seu nicho ecológico pode ser determinado por parâmetros ambientais, como umidade, temperatura, topografia e nutrientes do solo (Gotelli, 2007). Essa demanda ecológica causa variação na composição florística e na distribuição de classes fitofisionômicas (Ricklefs, 2003). Diferenciar essas classes pode auxiliar em estudos de dinâmicas florestais e dos processos que as determinam.

Campinaranas na região Amazônica são exemplos de tipologias florestais comumente associadas às características específicas do solo, sendo associadas a ambientes oligotróficos de solos arenosos (Prance, 1996; Vicentini, 2004). A distribuição de campinaranas em diferentes regiões tem sido, também, relacionada ao regime hidrológico (Schaefer et al., 2009). Campinaranas podem ser subdivididas em classes ligadas à sua estrutura, variando de Campinarana Florestada, para Campinarana Arborizada e Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Veloso et al., 1991). Apesar de ser uma vegetação clímax (Schaefer et al., 2009), as campinaranas abrigam um número reduzido de espécies florestais, porém possuem alto endemismo (Prance, 1975; Vicentini, 2004).

Estudos geológicos e geomorfológicos na Amazônia tem demonstrado que a dinâmica sedimentar pode ser fundamental no controle da biodiversidade atual (Rossetti et al., 2005, 2012). A distribuição de espécies de plantas do oeste da Amazônia foi relacionada com formações geológicas distintas (Higgins et al., 2011). Por ser uma vegetação que ocupa áreas abertas e de solos não consolidados, as campinaranas podem ser utilizadas em estudos que visam compreender a relação entre a dinâmica florestal atual e eventos geológicos pretéritos. Avaliar como o processo sucessional da vegetação ocorreu em áreas que sofreram distúrbios naturais pode auxiliar em discussões sobre a origem das florestas em algumas regiões amazônicas. A avaliação da interação entre os padrões da paisagem e os processos ecológicos

tem proporcionado indicadores para a modelagem ambiental (Jensen, 2009). Porém, a complexidade e abrangência da floresta amazônica dificultam estudos deste tipo.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta importante na extração de informações em áreas inacessíveis da Amazônia (Tuomisto et al., 1995). Esse tipo de dado tem auxiliado estudos em áreas de florestas tropicais, possibilitando entender como e quais fatores influenciam a distribuição das espécies vegetais (Noss, 1996; Tuomisto et al., 1995), particularmente em nível regional (Nagendra, 2001). O objetivo do presente estudo foi utilizar técnicas de sensoriamento remoto para analisar a influência do solo e da elevação nas estimativas de distribuição de campinaranas, bem como proceder com sua diferenciação da floresta em uma área de transição no Parque Nacional do Viruá (PNV). Recentemente, estudos geomorfológicos regionais sugeriram que a evolução do ambiente físico foi um fator determinante da distribuição da vegetação nessa área (Rossetti et al., 2012; Zani e Rossetti, 2012).

2. Material e métodos

O Parque Nacional do Viruá (PNV) está localizado no município de Caracaraí, região centro-sul do Estado de Roraima (01°46’34” N, 61°02’06” O). O PNV abrange aproximadamente 227.011 ha e suas limitações são dadas: a oeste pelo rio Branco; a nordeste pela BR-174; a leste pelo antigo e abandonado traçado da BR – 174; e ao sul pelo rio Anauá-Barauana. A área é caracterizada por curta estação seca, com as menores taxas pluviométricas ocorrendo nos meses de janeiro e fevereiro. O relevo é plano na sua maior parte, com predomínio de solos arenosos mal drenados. Na região norte e leste do PVN ocorre relevo ondulado sobre rochas cristalinas pré-cambrianas do Escudo das Guianas, coberto por vegetação de floresta ombrófila, e a oeste e sul ocorrem áreas planas alagáveis sobre sedimentação quaternária, em sua maioria caracterizada por campinaras (Gribel et al., 2009).

A coleta de dados de vegetação em campo foi realizada em grade no âmbito do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), que cobre uma área de 25 km^2 (5 x 5 km) formado por 12 transectos lineares. São 6 linhas paralelas na direção norte-sul e outras 6 paralelas na direção leste-oeste, fazendo um sistema de 25 quadrados de 1 km^2 cada (figura 1). Todas as trilhas no sistema de grade são marcadas com tubos de PVC em intervalos de 50 m e a cada 1 km das trilhas sentido leste-oeste estão dispostos pontos de coletas de dados padronizados.

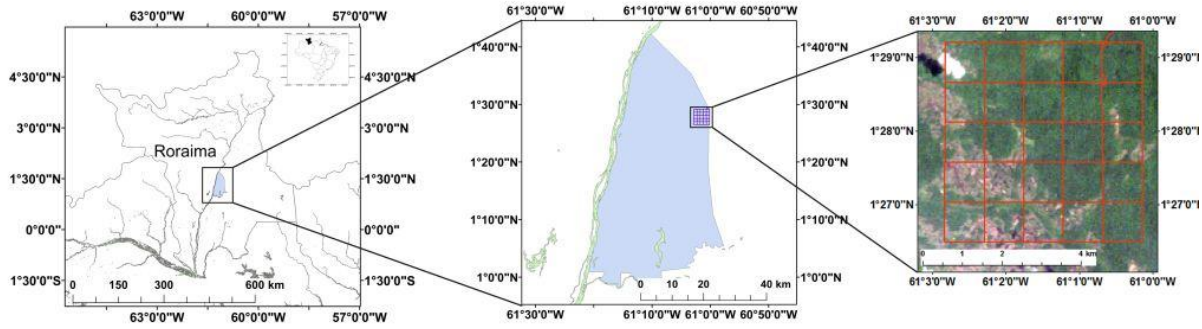

Figura 1. Localização da grade do PPBio na área do Parque Nacional do Viruá-RR.

Nos anos de 2006 e 2007 foram coletados dados de vegetação cada ponto distante a 100 m um do outro em toda a grade. A vegetação foi classificada quanto ao tipo florestal de forma descritiva, em quatro classes: Floresta ombrófila, Campinarana florestada, Campinarana arborizada e Campinarana gramíneo-lenhosa ou arbustiva (figura 2).

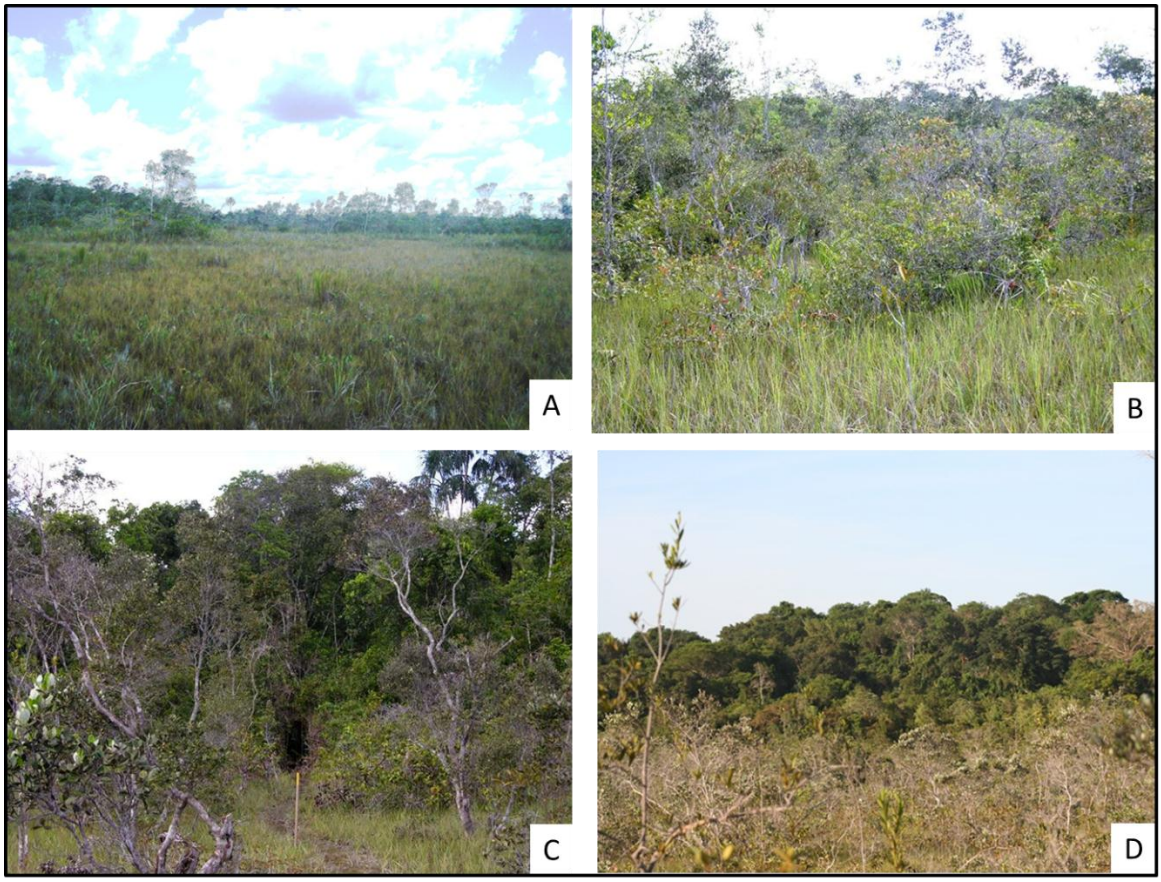

Figura 2. Tipos de vegetações presentes na área de estudo. A – Campinarana gramíneo-lenhosa; B – Campinarana arborizada; C – Campinarana Florestal; e D – Floresta ombrófila.

O total de pontos classificados foi de 600, porém para a aleatoriedade dos dados, nas análises do presente estudo foram utilizados 289 pontos classificados ao longo da grade. Os pontos foram separados em dois conjuntos, um deles para realizar as classificações e outro para validá-las (Tabela 1). Os dados de solo derivam do banco de dados do PPBio, sendo que os 30 pontos selecionados para este estudo acham-se dispostos a cada 1 km (mais informações disponíveis em http://ppbio.inpa.gov.br). As variáveis de solo incluem teor de argila, areia, sódio, potássio, fósforo, magnésio e manganês.

Tabela 1: Tipos de vegetação, números de amostras de treinamento e validação da classificação.

Classe	**Amostras de treinamento**	**Amostras de validação**
Floresta ombrófila	50	49
Campinaranas florestadas	29	28
Campinaranas arborizadas	40	40
Campinaranas gramíneo-lenhosas	27	26
Total	146	143

Além dos dados de campo, foram utilizados dados de elevação e declividade. Os dados topográficos derivam de MDE obtido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com os dados reamostrados para 30 m do Topodata (Valeriano, 2008). Adicionalmente, utilizou-se imagem Landsat 5 TM de 04/07/2008, registrada com base no *geocover* da NASA 2005. Para a realização das classificações, foram geradas imagens dos componentes do solo, utilizando o método de interpolação por krigagem, com os valores padrão do programa Surfer 6.01. Foram

realizadas três classificações da área de estudo baseadas nos seguintes conjuntos de dados: solo, imagem Landsat e MDE-SRTM/Topodata; imagem Landsat e solo; e imagem Landsat e MDE-SRTM/Topodata. Essas classificações foram realizadas utilizando o algoritmo para a criação de árvores de decisão C4.5, em sua implementação no programa WEKA 3.7.7, conhecida como J48. A partir dos conjuntos de pontos de validação, foram criadas as matrizes de confusão das classificações e calculados os valores do índice kappa correspondentes no programa ENVI 4.5.

3. Resultados e discussão

A altitude, quando presente nos modelos, apresentou maior influência na classificação da vegetação. Utilizando as bandas espectrais e a elevação, obteve-se o maior índice Kappa (0,67; $p<0,001$), porém não houve diferença significativa ($p=0,41$) quando a classificação foi gerada a partir das bandas espectrais, solo e elevação (Kappa = 0,66; $p<0,001$). A classificação somente com os dados de bandas espectrais e solo mostrou o pior desempenho (Kappa = 0,50; $p<0,001$) e sua estimativa de distribuição dos tipos florestais (Figura 3A) distinguiu-se do mapa com bandas espectrais, solo e elevação (Figura 3B) e com somente bandas espectrais e elevação (Figura 3C).

Apesar dos valores relativamente baixos de exatidão dos mapas classificados foi possível perceber a importância de dados de altitude na estimativa de distribuição da vegetação nessa região. A região está sujeita a inundação durante vários meses do ano e esse estresse hídrico interfere na distribuição das Campinaranas florestadas e Florestas ombrófilas em áreas mais baixas, porém favorece a ocorrência das campinaranas gramíneo-lenhosa onde o lençol freático é mais superficial e os períodos de inundação mais longos (Schaefer et al., 2009). Damasco et al. (2012) encontraram forte relação de alguns tipos de campinarana na região com caracteríticas fisico-químicas, como nutrientes e estrutura do solo, porém sugerem que a influência da inundação é um fator importante para a distribuição das Campinaranas florestadas no PNV. Com a técnica utilizada, foi possível observar que a altitude pode ser um fator limitante para a ocorrência de alguns tipos florestais.

A importância da altitude na classificação pode estar ligada, também, ao efeito dossel encontrado no modelo digital de elevação (MDE). Mesmo que esse efeito seja atenuado no MDE (Valeriano e Rossetti, 2010), sua utilização em áreas planas pode ser uma informação importante, já que nessas áreas a contribuição do efeito de dossel é mais expressiva (Valeriano e Albuquerque, 2010). No sítio de coleta, há um gradiente altitudinal que varia de aproximadamente 250 a 45 m, porém as maiores altitudes estão ligadas a morros residuais pouco representativos e grande parte está em regiões baixas, com altitude média de 50,1 m. Esse efeito do dossel, para a área de estudo, já foi descrito por Schietti et al. (2007) com dados do MDE-SRTM. Esses autores perceberam 90% de congruência dos dados de campo com esses dados de elevação, porém apontaram subestimativas em algumas áreas baixas, onde a vegetação é dominada por Campinarana gramíneo-lenhosa. Os mesmos autores consideraram que as melhores estimativas do MDE são para áreas com altitude acima de 55 m. O que se observou foi que para a área de estudo, o MDE foi um dado fundamental para classificar e estimar a distribuição dos vários tipos de campinarana e proceder com sua separação da floresta ombrófila.

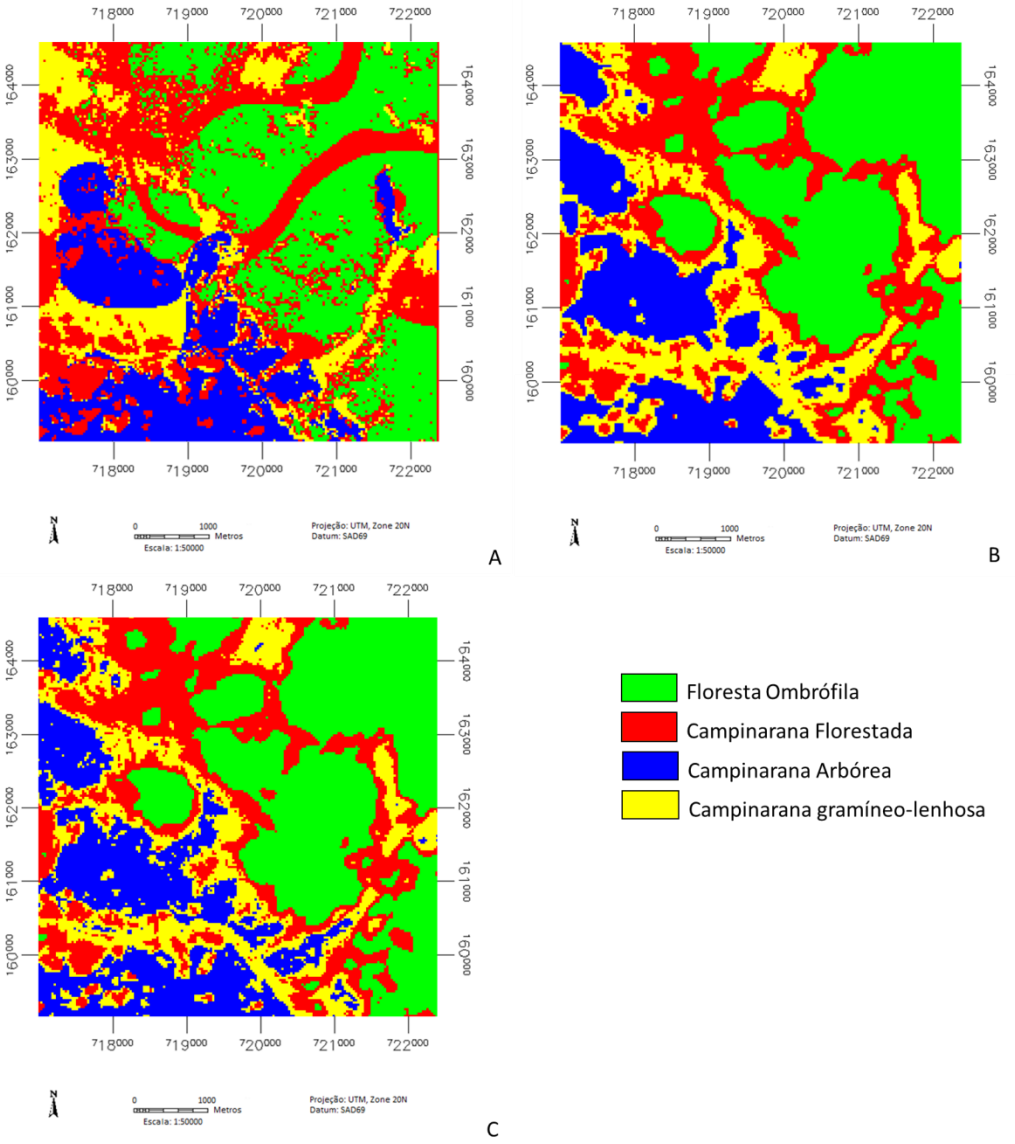

Figura 3: Estimativas de distribuição dos quatros tipos de vegetação encontrados na área de estudo. Classificação gerada a partir dos dados de (A) solo e de bandas espectrais; (B) solo, bandas espectrais e altitude; e (C) bandas espectrais e altitude.

As bandas espectrais 3 e 4 do Landsat 5 TM também foram parâmetros importantes para a classificação, principalmente a banda 4 que foi utilizada como parâmetro de seleção dos tipos florestais em todas as árvores de decisão (Figuras 4, 5 e 6). Na modelagem em que só a altitude e as bandas espectrais foram utilizadas (Figura 4), a banda 3 foi utilizada como parâmetro para distinguir as vegetações de menores portes, onde a Campinarana Gramíneo-Lenhosa foi separada da Campinarana Arbórea pelos menores valores de níveis de cinza. Provavelmente pela diferença entre Campinarana Gramíneo-Lenhosa e Campinarana Arbórea, a primeira é uma vegetação rasteira, com menor biomassa, menos atividade fotossintética e, consequentemente, menos absorção no comprimento de onda na faixa do vermelho. Os maiores valores de níveis de cinza da banda 4 relaciona-se com Campinarana Florestada, o que pode ter ocorrido por essa vegetação ter o dossel mais denso, provocando maior retroespalhamento dos raios infravermelhos do que o dossel da Campinarana Arbórea (Ponzzoni e Shimabukuro, 2010)

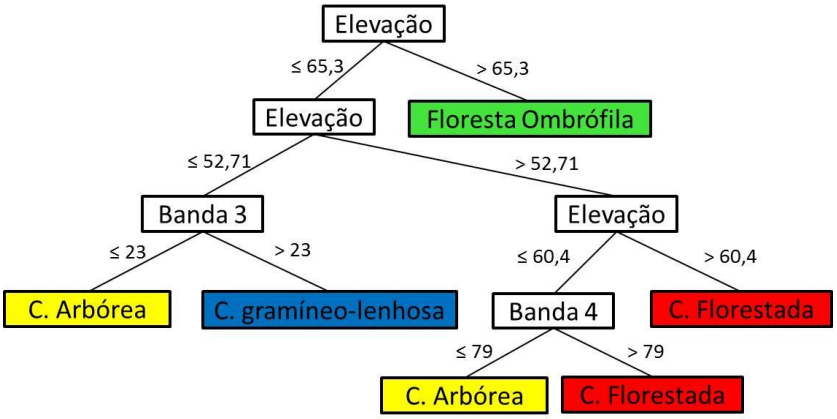

Figura 4: Árvore de decisão com elevação e bandas espectrais do Landast 5 TM utilizada para classificação da vegetação.

Era esperado que a elevação e o solo fossem complementares na classificação desses tipos vegetais, porém, a inclusão dos dados de solo não aumentou a exatidão na classificação. Quando dados do solo foram incluídos, o magnésio foi o parâmetro mais importante na distinção da vegetação, especialmente para Campinarana gramínea-lenhosa agrupada nos menores valores desse nutriente. Segundo Damasco (2011), diferente das outras classes, este tipo de campinara se estabelece em áreas com restrições nutricionais.

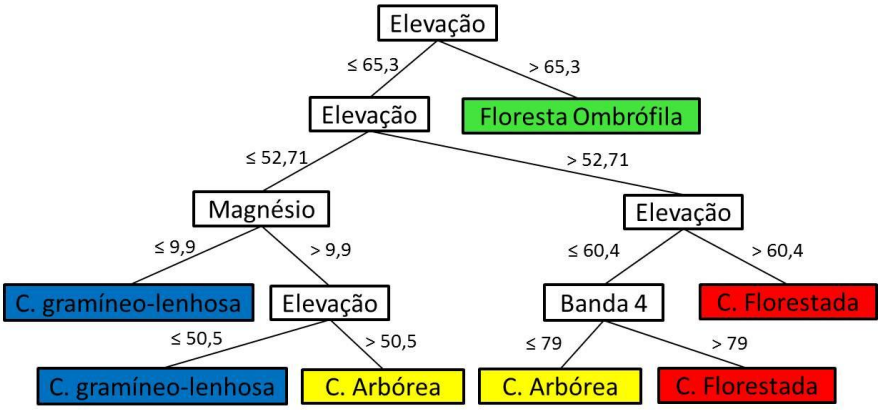

Figura 5: Árvore de decisão com solo, elevação e bandas espectrais do Landast 5 TM utilizada para classificação da vegetação.

Apesar dos dados de solo não terem acrescido informação na classificação, foi possível observar que o magnésio foi o parâmetro mais apontado pelas análises considerando o solo (Figura 5 e 6) para estimar principalmente a distribuição dos tipos de vegetação não florestas como a Campinarana gramíneo-lenhosa e Campinarana arbórea. Porém, o magnésio em outros estudos não foi apontado como uma variável de solo a limitar a vegetação, ao contrário do fósforo e da argila (Mendonça, 2011; Damasco, 2011). Isso provavelmente ocorreu pela alta correlação do magnésio com outros elementos nutricionais e estruturais do solo, como argila (r=0,68), fósforo (r=0,81) e manganês (r=0,71), o que mascarou a influência desses outros dados na árvore de decisão. Esse resultado indicou que apesar do método empregado ter auxiliado na classificação, sua interpretação tem que ser cuidadosa, pois o desconhecimento do fenômeno pode levar a conclusões equivocadas.

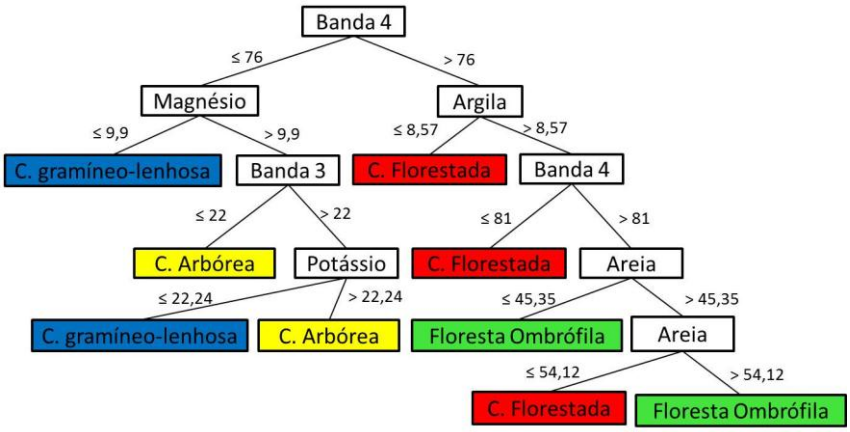

Figura 6: Árvore de decisão com solo e bandas espectrais do Landast 5 TM utilizada para classificação da vegetação.

4. Considerações Finais e Recomendações

O MDE-SRTM/Topodata foi um fator mais determinante na classificação da floresta ombrófila e Campinaranas que o solo, indicando que a altitude pode ser a força motriz no controle da vegetação nessa área. Porém, os dados de solo foram importantes na identificação de variáveis que podem influenciar essa classificação. É importante que estudos futuros incluam uma análise dos fatores que controlam as variações topográficas no PNV. Neste existe uma série de paleomorfologias relacionadas com a evolução do ambiente físico, relacionado com sistema de megaleque (Rossetti et al., 2012; Zani e Rossetti, 2012), que determinam, por conseguinte, diferenciações topográficas de significado para o desenvolvimento da vegetação. Além disto, com os dados de solo, foi possível observar que os dados fornecidos pela metodologia de mineração de dados necessitam de avaliações para minimizar interpretações errôneas dos fenômenos. Sugere-se que próximos estudos incluam novos atributos, como índice de vegetação, variáveis estruturais da vegetação e tempo de alagamento para melhorar a exatidão na classificação dos tipos vegetacionais no PNV.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) pela disponibilidade dos dados. Ao ARPA/IBAMA, IEB, Fundação Morre, INPA e PPBio pelo apoio logístico e financeiro na coleta dos dados. Este estudo faz parte de projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-Projeto # 2010/09484-2).

6. Referências bibliográficas

Damasco, G. **O efeito do solo, inundação e topografia sobre as campinaranas inundáveis na Amazônia**. 2011. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus. 2011.

Damasco, G.; Vicentini, A.; Castilho, C.V.; Pimentel, T.P.; Nascimento, H.E.M. Disentangling the role of edaphic variability, flooding regime and topography of Amazonian white-sand vegetation. **Journal of Vegetation Science**, Doi, 2012.

Gotelli, N.J. **Ecologia**. 3.ed. Londrina: Editora Planta, 2007.

Gribel, R.; Ferreira, C.A.C.; Coelho, L.S.; Santos, J.L.; Ramos, J.F.; Silva, K.A.F. **Vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR**. Relatório Técnico/ICMBio. 2009. 58p.

Higgins, M.A.; Ruokolainen, K.; Tuomisto, H.; Llerena, N.; Cardenas, G.; Phillips, O. L.; Vasquez, R.; Rasanen, M. Geological control of floristic composition in Amazonian forests. **Journal of Biogeography**, v. 38, p. 2136–2149, 2011.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Mendonça, B.A.F. **As campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação**. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

Nagendra, H. Using remote sensing to assess biodiversity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n.12, p. 2377-2400, 2001.

Noss, R.F. Ecosystems as conservation targets. **Trends in Ecology and Evolution**, v.11, p. 351, 1996.

Prance, G.T. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas I – Introdução a uma série de publicações sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 5, n. 3, p. 207- 209, 1975.

Prance G.T. Islands in Amazonia. **Phil. Trans. of the Royal Society of London**, v. 351, p. 823–833, 1996.

Rossetti, D.F.; Toledo, P.M.; Góes, A.M. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. **Quaternary Research**, v. 63, p. 78-89, 2005.

Rossetti, D. F; Bertani, T.C.; Zani, H.; Cremon, E. H.; Hayakawa, E.H. Late Quaternary sedimentary dynamics in Western Amazonia: Implications for the origin of open vegetation/forest contrasts. **Geomorphology**, Doi, 2012.

Ricklefs, R.E. **A economia da natureza**. 5.ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2003.

Schaefer, C.E.G.R.; Mendonça, B.A.F.; Fernandes Filho, E. I. **Geoambientes e Paisagens do Parque Nacional do Viruá – RR: Esboço de Integração da Geomorfologia, Climatologia, Solos, Hidrologia e Ecologia**. Relatório técnico, Boa Vista, 2009. 59 p.

Schietti, J.; Drucker, D.; Keizer, E.; Carneiro Filho, A.; Magnusson, W. Avaliação do uso de dados SRTM para estudos ecológicos na Amazônia central. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) , 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6949-6955. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.01.41>. Acesso em: 17 nov. 2012

Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Kalliola, R.; Linna, A.; Danjoy, W.; Rodriguez, Z. Dissecting Amazonian diversity. **Science,** v. 269, p. 63, 1995.

Veloso, H.P.; Rangel-Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal.** Rio de Janeiro, IBGE, 1991.

Valeriano, M.M. TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf>. Acesso em: 15/11/2012.

Valeriano, M.M.; Rossetti, D.F. **TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamentounificado de dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16701-RPQ/853). 74p., 2010.

Valeriano, M.M.; Albuquerque, P.C.G. **TOPODATA: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. 79 p. INPE-16702-RPQ/854.

Vicentini, A. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú. In: Borges S. H.; Iwanaga S.; Durigan C. C.; Pinheiro M. R. (Org.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: Uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica, Manaus. 2004. p. 105-125.

Zani, H.; Rossetti, D.F. Multitemporal Landsat data applied for deciphering a megafan in northern Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, p. 6060-6075, 2012.