

DISCRIMINAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS NA AMAZÔNIA CENTRAL POR MEIO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DE IMAGENS COM RESOLUÇÃO ESPACIAL MODERADA

DISCRIMINATION OF PHYTOPHYSIOGNOMIES IN CENTRAL AMAZON USING VEGETATION INDICES OF IMAGES WITH MODERATE SPATIAL RESOLUTION

Gustavo Manzon Nunes
Professor Adjunto da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT-FENF, Cuiabá, MT
gustavomn@gmail.com

Carlos Roberto de Souza Filho
Professor Titular da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP-IGE, Campinas, SP
beto@ige.unicamp.br

Laerte Guimarães Ferreira
Professor Associado da Universidade Federal de Goiás, UFG-IESA, Goiânia, GO
laerte@iesa.ufg.br

RESUMO

Este estudo buscou avaliar a potencialidade de imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS)/Terra, para a discriminação de fitofisionomias existentes nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá. A partir de processamentos realizados com os dados do Produto MOD13 – Índices de Vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), foi avaliado o comportamento sazonal/temporal de quatro fitofisionomias existentes nas áreas, entre os anos de 2004 e 2005. Deste modo, foi possível concluir que os índices de vegetação foram sensíveis às características estruturais e fisionômicas da vegetação, sendo que o EVI apresentou a melhor resposta para a discriminação de fitofisionomias, possibilitando a geração de importantes referências para trabalhos envolvendo a dinâmica da paisagem.

Palavras-Chave: Fitofisionomias; mapeamento vegetacional; EVI e NDVI.

ABSTRACT

This study seeks to evaluate the capability of data generated by the *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS)/Terra in discriminating phytophysionomies found in the Amanã and Mamirauá Sustainable Development Reserves. Product MOD13, derived from MODIS data processing, comprising the Vegetation Indices EVI (*Enhanced Vegetation Index*) and NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), was used to evaluate the seasonal/temporal behavior of four existing phytophysionomies in the field between 2004 and 2005. Results showed that the vegetation indices were sensitive to the structural characteristics of the approached ecosystem and phytophysionomies, the EVI index best discerned among the phytophysionomies, enabling the generation of important references to work involving the dynamics of the landscape.

Keywords: Phytophysionomies; vegetation mapping; EVI and NDVI.

1. INTRODUÇÃO

Conhecer a distribuição das distintas coberturas vegetais e suas variações fenológicas são aspectos cruciais para a compreensão e avaliação dos componentes de um ecossistema. Estes aspectos são necessários para o planejamento de uma política eficiente em unidades de conservação.

A importância do clima na estrutura e função da vegetação é amplamente conhecida (Walter, 1973; Box, 1981). A distribuição espacial, a estrutura horizontal e a distribuição vertical da vegetação natural são determinadas pela interação de fatores ambientais abióticos e bióticos, tais como o clima, solo, geomorfologia e fauna associada a estes ambientes. Estas interações permitem, também, que a cobertura vegetal tenha um papel importante nos sistemas climáticos devido às trocas de energia, água e gases com a atmosfera e também como fonte de produção e seqüestro de gases no ciclo biogeoquímico (Sellers et al., 1997). Segundo Shukla et al. (1990), o equilíbrio dinâmico existente entre vegetação e clima regional pode ser alterado se um dos seus componentes variar.

As oscilações em uma população vegetal ocorrem, por vezes, sazonalmente e com determinada periodicidade em função de fatores bióticos e abióticos. Ocorrem, também individualmente, ao nível de comunidade e população. Há, assim, certa mudança fenológica sobre as características vegetais. A dinâmica da vegetação natural e agrícola é uma variável importante nos modelos regionais e globais destinados ao entendimento da variabilidade interanual de ecossistemas terrestres, quando se estudam as trocas de carbono e interações biosfera-clima (Zhang et al., 2003).

Segundo Potter et al. (2007), a capacidade da floresta de seqüestrar carbono vem se tornando um assunto de importância central para os empreendedores rurais e para a classe política. Áreas florestadas, que constantemente geram um incremento de carbono devido ao crescimento em produção do ecossistema, são potencialmente importantes para as atuais e futuras emissões de CO₂ industriais. Reciprocamente, áreas que não seqüestram o carbono da atmosfera, como locais onde ocorre a conversão da cobertura vegetal original em pastagens e culturas agrícolas, podem contribuir para o aumento do nível

de CO₂ na atmosfera e constituem importantes fontes emissoras globais. No entanto, com métodos rápidos já disponíveis, é possível entender e quantificar os fatores que controlam a produtividade da floresta.

O Sensoriamento Remoto proporciona observação, análise e estudos de áreas extensas de uso/cobertura em uma visão sinótica e a custos financeiros e de tempo menos onerosos. Entretanto, a identificação e discriminação de alguns tipos de vegetação estão condicionadas à escala de estudo e resolução espacial dos dados de Sensoriamento Remoto utilizados. Em alguns casos, os tipos de vegetação (bem como alguns tipos de uso) necessitam de dados de resolução espacial maior e observações de campo, devido às características e porte do dossel, estratificação dos componentes do tipo de vegetação em estudo, etc. (MMA/PROBIO, 2006).

A eficácia da utilização de dados de sensoriamento remoto para a quantificação de biomassa vegetal depende da capacidade de relacionar medidas de reflectância às propriedades dos alvos, sendo necessário o conhecimento do comportamento espectral, bem como fatores que o influenciam, inclusive para a seleção de bandas a serem trabalhadas (Maciel, 2002).

As imagens de satélites proporcionam uma visão sinótica e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Registram os ambientes e suas transformações, destacam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem por meio do seu uso e ocupação do espaço. Os ambientes construídos ou transformados pela ação do homem ocupam a maior parte dos continentes. O aspecto multitemporal dessas imagens permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo (Florenzano, 2002).

Mapas globais e regionais da cobertura da terra são necessários para auxiliar as pesquisas em sistemas terrestres, como a modelagem de geossistemas e o monitoramento de queimadas, entre outros. Para atender a crescente necessidade de espacializar as comunidades vegetais, para sua posterior utilização em modelos climáticos e avaliação dos impactos antrópicos e /ou naturais, dados de sensoriamento remoto orbital têm sido utilizados (Coura, 2006).

O monitoramento da superfície terrestre em escala regional ou mesmo global é de suma relevância em diversas áreas de pesquisa. Em particular, e considerando-se as problemáticas atuais como as mudanças climáticas globais, é importante avaliar a possibilidade de imagens de resolução espacial moderada e frequência quase diária, como aquelas disponibilizadas pelo sensor MODIS, em relação à capacidade de monitorar sistematicamente áreas de floresta tropical, como os distintos geossistemas existentes na Floresta Amazônica.

Desde o início dos anos 80, dados de sensores com baixa resolução espacial são utilizados para o monitoramento global, como por exemplo, a série de satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Inicialmente, o objetivo principal dos satélites NOAA era a previsão das condições do tempo e outros propósitos meteorológicos. Contudo, após a implementação de uma nova geração de satélites, dotados dos sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), ocorreu uma grande motivação aos estudos da dinâmica do clima global e mapeamentos da superfície oceânica e da vegetação terrestre (Jensen, 2000).

No Brasil, o primeiro grande levantamento sistemático da cobertura vegetal remonta a década de 1970, quando, com o intuito de se conhecer principalmente a cartografia, a vegetação, a geologia e a natureza dos solos da Amazônia e Nordeste brasileiros, teve início o Projeto RADAM. Utilizando imagens de Radar, e outros documentos disponíveis, tais como imagens de satélite Landsat e fotografias aéreas, o projeto foi fundamental para o país e até hoje é a principal referência para algumas regiões onde o levantamento e sistematização de informações cartográficas é mais difícil de se obter (Allevato, 1979).

Diversos estudos (Potter, 2002; Potter et al. 2007) têm demonstrado a utilidade das informações regionais derivadas de satélites para o entendimento das teleconexões entre o clima global e os processos que respondem pelo funcionamento dos ecossistemas amazônicos. O termo teleconexão é utilizado em estudos meteorológicos para descrever variações simultâneas no clima e em processos a ele relacionados em regiões muito distantes entre si.

A obtenção de dados da superfície terrestre de

forma contínua e regular possibilita um monitoramento sistemático de biomas como a Amazônia Legal, podendo ser exemplificado por programas de monitoramento como o SIAD (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos) (Ferreira et al., 2007) e PRODES DIGITAL (Duarte et al., 2003).

Neste contexto de monitoramento e caracterização da cobertura vegetal, entre os sensores orbitais atualmente em uso pela comunidade científica, destaca-se o MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), concebido para fornecer informações sobre a biosfera terrestre com cobertura global a cada dois dias e resoluções espaciais variando de 250m a 1000m (Justice et al., 1998). Uma característica importante em relação ao MODIS é o fato dos dados serem disponibilizados prontos para o uso, i.e., georreferenciados e corrigidos para efeitos atmosféricos, na forma de produtos diferentes, entre os quais se destacam aqueles para aplicações em ecologia terrestre. (Ferreira et al., 2006).

As imagens MODIS e seus produtos têm sido utilizados em trabalhos para o estudo da fenologia da cobertura vegetal (Ferreira Júnior et al., 2003; Ferreira Júnior & Huete, 2004; Freitas & Shimabukuro, 2008), monitoramento da dinâmica espaço-temporal de biomas (Adami et al., 2008) e para a detecção das mudanças ocorridas no uso e na cobertura do solo (Galford et al., 2008; Hayes et al., 2008; Epiphany et al., 2010).

Dentre os produtos do sensor MODIS, encontra-se o Produto MOD13Q1, que inclui o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação realçado (EVI), mais sensível às variações na atividade fotossintética e estrutura do dossel vegetal, ao mesmo tempo em que é mais resistente à contaminação atmosférica e menos suscetível à saturação (Huete, 2006).

Este artigo tem por objetivo principal avaliar o uso dos índices de vegetação MODIS para a discriminação e monitoramento das tipologias florestais encontradas nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) e Amanã (RDSA).

Como objetivos específicos, pretende-se: i) determinar o potencial de imagens de resolução moderada para discriminar tipologias florestais; ii) avaliar o comportamento fitofisionômico da vegetação no que diz respeito à sazonalidade anual,

em ambientes de Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Secundária e Campinarana; iii) verificar a existência de “*endmembers*” florestais, que sirvam tanto para determinar diferentes fitofisionomias, quanto para definirem referências consistentes relativas à detecção de áreas desmatadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área em Estudo

As Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá (Figura 1), juntamente com o Parque Nacional de Jaú, formam um corredor ecológico com mais de 5.766.000 ha, o qual representa a maior área protegida de floresta tropical no mundo.

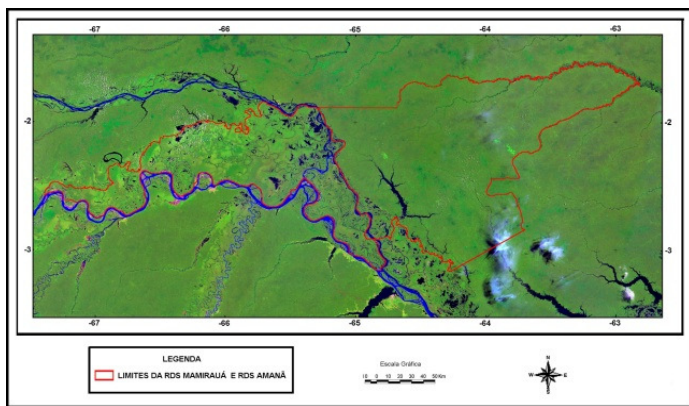


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), com uma área de 1.124.000 ha, foi a primeira Unidade de Conservação desta categoria implantada no Brasil (Decreto Estadual nº 12.836 de 09 de março de 1990). Inserida em um geossistema de várzea e localizada na confluência dos rios Solimões e Japurá, a Reserva encontra-se próxima à cidade de Tefé, sendo coberta por florestas e outras formações vegetais sazonalmente alagadas. Mamirauá é a maior unidade de conservação em áreas alagadas do Brasil e a única do país em área de várzea.

Já a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA) é uma unidade de conservação que hospeda uma vasta biodiversidade, abrangendo florestas de várzea e terra firme. Segundo Ayres (1992), a área compreende florestas de terra firme

(origem remonta à Era Terciária) e florestas alagadas ou de várzea (surgidas no Pleistoceno e Holoceno).

A biodiversidade das reservas é fortemente determinada pelas influências dos tipos de água, que apresentam uma vasta gama de tipos de habitats nos lagos e nos igarapés. Os principais ecossistemas da Amazônia compreendem a terra firme, as matas de igapó e as matas de várzea e trechos de campinarana em locais de difícil acesso.

2.2. Base de Dados Utilizada

Tendo em vista a sazonalidade do clima local e suas prováveis influências sobre a vegetação, neste estudo foram considerados duas séries temporais completas do produto MOD13Q1 (coleção 4), obtidas a partir do sensor Terra – MODIS, para os anos de 2004 e 2005. Ao todo, foram utilizadas 46 imagens NDVI e EVI (i.e. 23 *composites* de 16 dias para 2004 e 2005, respectivamente) relativas ao *tile* h11v09, acompanhadas dos respectivos metadados (*Quality Assurance Images*).

Para apoiar o trabalho, na coleta das amostras para análise dos índices de vegetação, foram utilizados os mapas e cartas: (i) Cartas da Cobertura Vegetal do Bioma Amazônico / PROBIO, – Escala 1:250.000 (2006); (ii) Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo do IBGE, – Escala 1:1.000.000 (2004); (iii) Base cartográfica do SIPAM - Escala 1: 250.000 (2004).

2.3. Processamento dos Dados MODIS

A RDSM se diferencia da sua vizinha, a RDSA, por localizar-se em uma área de abundância de água. Dessa forma, foi observado o comportamento da vegetação em ambas as reservas com os índices de vegetação EVI e NDVI, ao longo de dois anos consecutivos, verificando-se como foram afetadas as coberturas vegetais de áreas com Floresta de Várzea, Floresta de Terra Firme, Campinarana e Floresta Secundária.

As classes definidas para o estudo são caracterizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação entre classes utilizadas neste estudo e a Classificação da Vegetação Brasileira, definida conforme IBGE (1991).

CLASSES UTILIZADAS NO ESTUDO	CLASSES DE VEGETAÇÃO DO IBGE (1991)
Floresta de Terra Firme (FTF)	Dbe+Abp = Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Emergente + Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com Palmeiras
Floresta de Várzea (FV)	Dae+Aap+Pahs = Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Emergente + Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Palmeiras + Formação Pioneiras com influência fluvial e / ou lacustre - herbácea sem palmeiras
Campinarana (C)	LOc/Lds+Dbe = Contato Campinarana / Floresta Ombrófila - encrave / Campinarana Florestada sem Palmeiras + Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Emergente
Floresta Secundária (FS)	Vss+Acc.D = Vegetação Secundária sem Palmeiras + Culturas Cíclicas, Floresta Ombrófila Densa

Os dados originais das 46 imagens *composites*, correspondentes aos Índices de Vegetação NDVI e EVI (e metadados), originalmente na projeção *Integerized Sinusoidal* (ISIN) e formato HDF (*Hierarchical Data Format*), foram convertidos para o formato GEO-TIFF e para a projeção UTM/WSG84, com base no programa *MRT- MODIS Reprojection Tool*.

Conforme Ferreira (2006), com base nos *bitfields* 4, 6, 7, 10 e 14 dos metadados (*QA images*), as 46 imagens relativas às duas séries temporais completas foram filtradas para nuvens, sombras e aerossóis.

As fases desenvolvidas neste estudo, compreendendo os métodos e análises realizadas podem ser observadas na Figura 2.

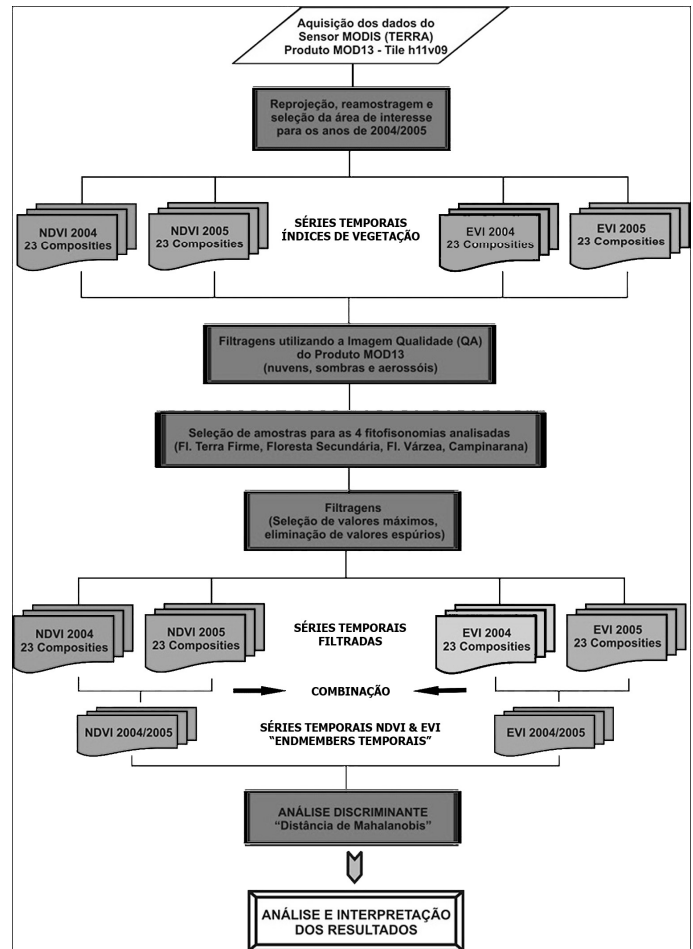


Figura 2 - Fluxograma representando as etapas de trabalho desenvolvidas.

Após a filtragem, foi possível a aquisição de *endmembers* “temporais” (membros finais temporais) para a análise do comportamento radiométrico-sazonal de cada uma das classes de vegetação.

Assim, para cada fitofisionomia foram amostrados de 10 a 11 polígonos representados por uma matriz de 3x3 *pixels*, especialmente bem distribuídos ao longo da imagem que compreende as RDS Mamirauá e Amanã.

Assim, para cada fitofisionomia foram amostrados de 10 a 11 polígonos representados por uma matriz de 3x3 *pixels*, especialmente bem distribuídos ao longo da imagem que compreende as RDS Mamirauá e Amanã.

Objetivando uma seleção mais rigorosa dos dados, do total de amostras NDVI e EVI para cada classe (i.e. 90 ou 109 *pixels*), e tendo por base os valores de média e desvio padrão, foram eliminadas todas as observações com valores acima ou abaixo de 1 desvio padrão.

Da mesma forma, para cada um dos 23 *composites*, optou-se pela seleção dos valores máximos dos índices em cada classe, eliminando-se, assim, eventuais valores espúrios persistentes à filtragem dos dados (ex. pixels adjacentes à nuvens residuais). Finalmente, tendo por base uma distribuição equilibrada de valores em 2004 e 2005, as duas séries temporais foram combinadas, de tal forma que para cada amostra e para cada *composite* foi selecionado o maior valor NDVI ou EVI.

Quanto ao potencial de discriminação das tipologias florestais consideradas neste estudo, este foi avaliado através de uma análise de discriminante baseada na Distância de Mahalanobis (Schowengerdt, 1997), calculada conforme a expressão 1:

$$D^2 = (X_i - X_j)' \cdot \Sigma^{-1} (X_i - X_j) \quad (1)$$

onde
 Σ^{-1} é o inverso da matriz de co-variância residual de X,
 X_i é o vetor referente à parcela i,
 X_j é o vetor referente à parcela j,
 $(X_i - X_j)'$ é o vetor transposto da diferença entre X_i e X_j e
 D^2 tem a característica de ser invariante para qualquer transformação linear não-singular.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O índice EVI dos anos 2004 e 2005, indica que o ano de 2004 apresenta valores ligeiramente mais elevados, com predominância de pixels abaixo da linha de referência 1:1 (Figura 3). Contudo, não há uma tendência temporal aparente. O índice NDVI mostra que há uma distribuição equilibrada de valores entre 2004 e 2005, com valores mais elevados ocorrendo aleatoriamente (Figura 3).

Através da combinação dos dados dos anos de 2004 e 2005, foi possível gerar perfis NDVI (Figura 4) e EVI (Figura 5) radiometricamente mais precisos e acurados, bem como, mais consistentes quanto ao comportamento sazonal de cada fitofisionomia. Comparando-se os perfis NDVI com aqueles obtidos para o EVI, observa-se claramente a menor separabilidade das classes vegetacionais ao longo dos meses do ano, tanto pela pequena variação nos

valores NDVI para uma mesma classe ao longo do ano, quanto em função da maior confusão entre as classes.

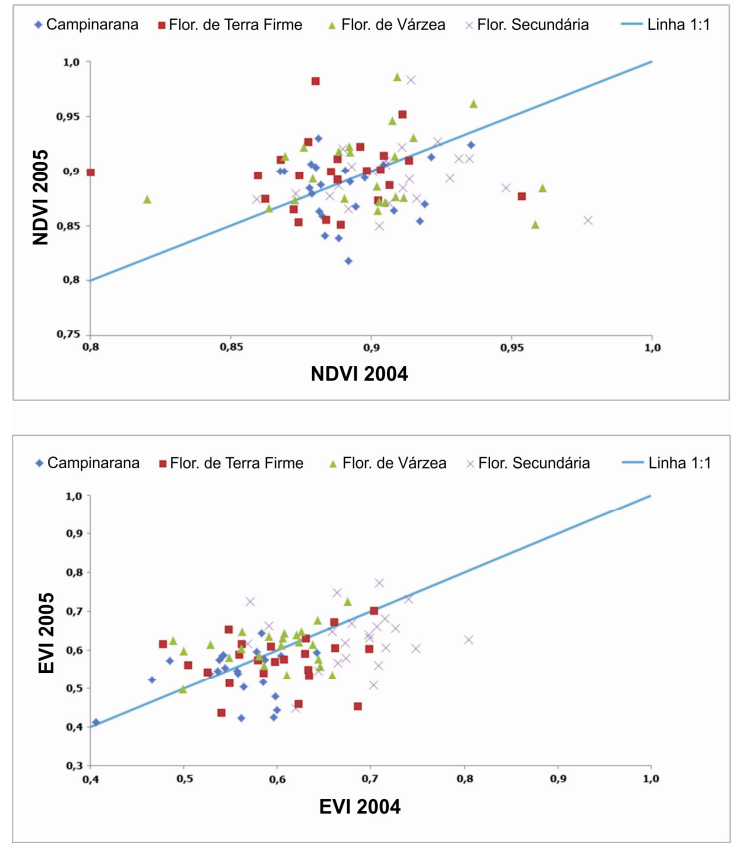


Figura 3 - Relação entre os dados 2004 e 2005 para NDVI e EVI, para as quatro fitofisionomias investigadas nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá e de Amanã.

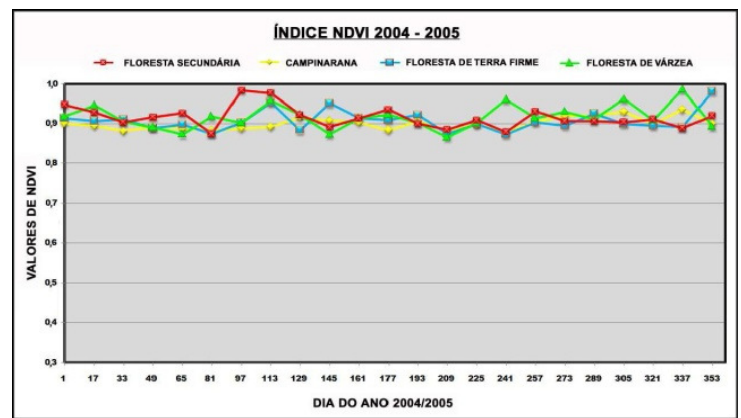


Figura 4 - Comportamento sazonal do NDVI em relação às quatro fitofisionomias.

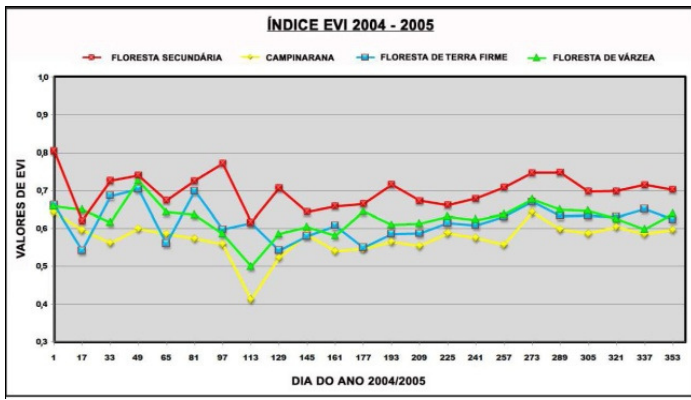


Figura 5 - Comportamento sazonal do EVI em relação às quatro fitofisionomias.

É interessante observar, principalmente em relação ao EVI, que a Floresta Secundária apresenta maior separabilidade em relação às demais fitofisionomias ao longo das 23 composições de imagens (2004/2005). Uma possível explicação pode estar relacionada à menor complexidade estrutural existente nesta fitofisionomia (por se tratar de uma floresta em regeneração), além do predomínio de folhagem mais nova, ou seja, fotossinteticamente mais ativa.

Em relação aos valores NDVI, para todas as fitofisionomias, estes variaram de 0,8 a 0,98, sendo que a fitofisionomia de Floresta Secundária apresentou, em geral, os valores mais altos.

Em relação aos perfis temporais EVI, observa-se que as fitofisionomias de Floresta de Várzea e Campinarana seguem um padrão bastante semelhante, devido as duas se encontrarem em áreas alagadas, conforme observado em campanha de campo. De acordo com os valores EVI, ambas registraram os menores valores de biomassa durante quase todo o período. Os menores valores EVI para as quatro fitofisionomias foram verificados nos meses de abril e maio, juntamente com os maiores níveis pluviométricos de acordo com estimativas existentes para a área.

Para a classe de Floresta de Terra Firme, caracterizada por possuir um dossel alto, elevada biomassa e sub-bosque denso com vários estratos, o índice EVI apresentou variação de 0,54 a 0,7, enquanto o NDVI variou de 0,87 a 0,98. Esta fisionomia ocupa uma posição intermediária em relação às outras, podendo ser justificada por possuir grande parte de suas espécies no estágio clímax.

O EVI, por ser mais sensível a pequenas variações de biomassa em áreas de floresta, demonstrou maior correlação com os parâmetros biofísicos da vegetação considerando a interpretação que pode ser realizada na Figura 5.

Nos primeiros cinco meses dos anos de 2004/2005, que são compatíveis com a estação chuvosa (entre os dias 1 até 145), verificou-se uma maior variação na amplitude dos valores do índice EVI para as quatro fitofisionomias.

O comportamento sazonal dos tipos de fitofisionomias demonstra, assim, que a variação da atividade fotossintética e fitomassa foliar possuem alta correlação com a variação da precipitação. Observa-se que o comportamento das fitofisionomias tende a se estabilizar na época seca (a partir de meados de junho).

Por outro lado, é interessante observar que os valores EVI e NDVI, para as quatro fitofisionomias investigadas, não variam de forma significativa durante a estação seca. Esta aparente “estabilidade” dos índices de vegetação pode ser explicada pela disponibilidade hídrica durante todo o ano, tanto em função da proximidade dos cursos hídricos, quanto pela profundidade das raízes, as quais chegam até o lençol freático. Segundo Huete et al. (2006), esta disponibilidade hídrica das áreas de floresta propicia uma estabilidade na atividade fotossintética, e conseqüente produção de fitomassa foliar, mesmo durante a época seca.

Os dados combinados de NDVI 2004/2005 atingiram níveis de concordância muito baixos para três das quatro classes, classificando corretamente somente 29% do total dos *pixels* considerados (Tabela 1).

Segundo Ponzoni (2001), as limitações de uso principalmente relacionado ao NDVI, reside no fenômeno de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação. Tanto na região do visível, quanto na do infravermelho próximo, a reflectância exibe um caráter assintótico em face do aumento contínuo de um parâmetro biofísico da vegetação (por exemplo o Índice de Área Foliar), o que caracteriza os pontos de saturação. Sendo assim, as relações entre valores de reflectância na região do visível e do infravermelho próximo, passam a não apresentar relações coerentes com os parâmetros biofísicos de interesse gerando baixos valores de

NDVI para as fitofisionomias analisadas.

Para os valores NDVI, a maior confusão ocorreram respectivamente entre as classes vegetacionais da Floresta Secundária, Floresta de Terra Firme e Floresta de Várzea, sendo que para a Várzea o erro da classificação foi 100%. A porcentagem de exatidão na classificação da fitofisionomia de Campinarana, que chegou a 70%, teve grande contribuição para elevar a acurácia total da classificação.

Tabela 1 - Relação de separabilidade das amostras com base nos dados NDVI.

R E F	CLASSIFICAÇÃO					
	Fitofis.	FS	FTF	FV	C	% Acerto
E	FS	4	1	4	1	40
R	FTF	2	1	6	2	9
Ê	FV	2	6	0	3	0
N	C	0	1	2	7	70
C						
I	Total	8	9	12	13	29
A						

Na discriminação das fitofisionomias, a maior capacidade do EVI em separar estas classes é confirmada através da matriz de confusão (Tabela 2), que mostram os resultados das análises de discriminantes baseadas na Distância de Mahalanobis. Observa-se que os dados combinados de EVI 2004/2005 classificam corretamente 76% dos *pixels*.

Para o índice EVI, a classe de Campinarana também demonstrou grande porcentagem de acerto na classificação, chegando a 90%, seguida da Floresta Secundária (80%), Floresta de Terra Firme(73%) e Floresta de Várzea (64%). Segundo os intervalos de eficiência estabelecidos por Landis e Koch (1977), esta classificação possui o conceito de “Muito Boa”, provando o alto potencial deste índice para a identificação e discriminação de tipologias florestais em ambientes tropicais.

Tabela 2 – Relação de separabilidade das amostras com base nos dados EVI.

R E F	CLASSIFICAÇÃO					
	Fitofis.	FS	FTF	FV	C	% Acerto
E	FS	8	0	2	0	80
R	FTF	0	8	2	1	73
Ê	FV	0	3	7	1	64
N	C	0	0	1	9	90
C						
I	Total	8	11	12	11	76
A						

Huete et al. (2002) argumentaram que o EVI foi desenvolvido para realçar o sinal da vegetação com melhorias na sensibilidade em regiões de biomassa elevadas e onde existem influências da resposta do sinal dos elementos do fundo de cena. O seu ponto de saturação é retardado, pois a sua sensibilidade é maior com o aumento da biomassa. É importante ressaltar que a essência do EVI está relacionada ao conceito de resistência à atmosfera, utilizando o comprimento de onda da faixa do azul.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo, foi possível determinar: a) a sensibilidade dos índices de vegetação às características estruturais e fisionômicas da Floresta Tropical, demonstrando assim, o grande potencial de imagens de resolução moderada (ex. MODIS) e algoritmos (ex. índice de vegetação realçado – EVI) para o monitoramento da cobertura vegetal Amazônica; b) a existência de “*endmembers*” temporais para as distintas classes florestais, os quais poderão vir a ser importantes referências para trabalhos futuros envolvendo a dinâmica de geossistemas tropicais, bem como a sua modificação antrópica.

O EVI, comparativamente ao NDVI, mostrou maior sensibilidade quanto à detecção de mudanças sazonais entre as várias formações de Floresta Tropical estudadas, bem como na discriminação destas formações a partir da análise das respectivas séries temporais.

5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de doutorado, vinculada ao processo 04/06071-8. Os autores também reconhecem o apoio do Programa FEPIM 2004 financiado pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - Projeto N° 063-2004.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adami, M.; Freitas, R.M. De; Padovani, C. R.; Shimabukuro, Y. E.; Moreira, M. A. 2008. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1371-1378.

Allevato, S. R. 1979. Memória central do projeto Radambrasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, n. 25, p. 31-36.

Ayres, J. M.; Lima-Ayres, D. M.; Bodmer, R. & Polshek, P. M. 1992. Projeto Mamirauá. Proposal for the preparation of a management plan for the Estação Ecológica do Lago Mamirauá, Amazonas, Brazil. Manuscrito não-publicado.

Box, O. 1981. *Macroclimate and plant forms : an introduction to predictive modelling in phytogeography*, Junk, The Hague.

Coura, S. M. C. 2006. Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS, São José dos Campos: INPE, 129p.

Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E. & Aulicino, L. C. M. 2003. Metodologia para padronizar e atualizar o banco de dados do Projeto "PRODES Digital". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte, MG. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 2705-2712, Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.15.45/doc/19_314.pdf>. Acesso em: abril/2012.

Epiphanyo, R. D. V.; Formaggio, A. R.; Rudorff, B. F. T.; Maeda, E. E.; Luiz, A. J. B. 2010. Estimating soybean crop areas using spectral-temporal surfaces derived from MODIS images in Mato Grosso, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.72-80.

Ferreira, L. A.; Teotia, H. S.; Costa Filho, J. F.; Santos, J. R. 2001. Levantamento e classificação da vegetação nativa do município de Patos, através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Anais X SBSR*, Foz do Iguaçu, INPE, p. 1609-1616.

Ferreira, N. C.; Ferreira, L.G.; Huete, A. R.; Ferreira, M. E. 2007. An operational deforestation mapping system using MODIS data

and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, Reino Unido, v.28(1), p.47-62.

Ferreira, M. E.; Ferreira, L. G.; Huete, A. R.; Peccinini, A. A. 2006. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do Bioma Cerrado, *Revista Brasileira de Geofísica*. 24(2): 251-260.

Ferreira, L. G.; Ferreira, N. C.; Ferreira, M. E. 2008. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n 4, p. 379-390.

Ferreira Júnior, L. G.; Huete, A.R. 2004. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, v.25, p.1837-1860.

Ferreira Júnior, L. G.; Yoshioka, H.; Huete, A. R.; Sano, E. E. 2003. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: an analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere experiment in Amazônia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, v.87, p.534-550.

Freitas, R. M.; Shimabukuro, Y. E. 2008. Combining wavelets and linear spectral mixture model for MODIS satellite sensor timeseries analysis. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v.1, p.33-38.

Florenzano, T. G. 2002. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos. 97 p.

Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. 2008. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.576-587.

Huete, A. R.; Didan, K.; Shimabukuro, Y.; Ratana, P.; Saleska, S. R.; Hutyrá, L. R.; Yang, W.; Nemani, R. R.; Myneni, R. 2006. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, v.33.

Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X. & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p. 195-213.

IBGE. 1991. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro, IBGE. Manuais técnicos em Geociências n° 1, 91 pp.

Jensen, J. 2000. *Remote Sensing of Environment: an earth resource perspective*. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River. 544p.

Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; Defries, R.; Roy, D. P.; Hall, D.K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Running, S. W.; Nemani, R. R.; Wan, Z.; Huete, A.R.; Van

Leeuwen, W.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, P. L.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. 1998. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 36, n. 4, p. 1228-1249.

Kuchler, A. W. A 1988. Physiognomic and structural analysis of vegetation. In: Kuchler, A W.; Zonneveld, I. S. ed. *Vegetation mapping*. Dordrecht: Kluwer, p.37-50.

Landis, J. R.; Koch, G. G. 1977. The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, p. 159-174.

Maciel, M. N. M. 2002. Estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária na Amazônia Oriental através de dados orbitais. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Curitiba: UFPR.

MMA/PROBIO. 2006. Subprojeto 106/2004 do PROBIO “Uso e Cobertura da Terra na Floresta Amazônica”, FUNCATE, Disponível em: <http://sistemas.mma.gov.br/sigepro/pub/display_bibliografias.php?%20vId_Gerenciamento=1418&Destaque=7>, Acesso em junho/2012.

Potter, C. 2002. Understanding global teleconnections of climate to regional satellite observations for Amazon ecosystem processes. 2nd International LBA Scientific Conference Manaus, Amazonas, Brazil.

Potter, C.; Genovese, V.; Gross, P.; Boriah, S.; Steinbach, M.; Kumar, V. 2007. Revealing Land Cover Change in California With Satellite Data, *EOS Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 88, Number 26.

Sellers, P. J.; Heiser, M. D.; Hall, F. G.; Verma, S.B.; Desjardins, R. L.; Schuepp, P. M.; Macpherson, J. I. 1997. The impact of using area-averaged land surface properties topography, vegetation condition, soil wetness - In calculations of intermediate scale (approximately 10 km²) surface-atmosphere heat and moisture fluxes. *Journal of Hydrology*, v.190, 3-4, , p. 269-301.

Schowengerdt, R. A. 1997. *Remote Sensing: models and methods for image processing*. San Diego: Academic Press, 2nd ed., 522 p.

Shukla, J., Nobre, C. & Sellers, P. 1990. Amazon deforestation and climate change, *Science*, v. 247, p. 1322-1325.

Walter, H. 1973. *Vegetation of earth, in relation of climate and the ecophysiological conditions*, English University Press, London.

Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Hodges, J. C. F.; Gao, F.; Reed, B. C.; Huete, A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 84, p. 471-475,