

Monitoramento da cobertura vegetal em áreas de Reservas de Desenvolvimento Sustentável na Amazônia Central através de Índices de Vegetação do Sensor MODIS

Gustavo Manzon Nunes^{1,2}
Carlos Roberto de Souza Filho¹
Laerte Guimarães Ferreira³

¹ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Instituto de Geociências
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas- SP, Brasil
{gustavon, beto}@ige.unicamp.br

² Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção a Amazônia – CENSIPAM
CTO-Porto Velho/RO – Av. Lauro Sodré, 6500 – 78903-711 – Porto Velho-RO, Brasil
gustavo.nunes@sipam.gov.br

³ Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA) - Universidade Federal de Goiás
Campus Samambaia, Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia – GO, Brasil
laerte@iesa.ufg.br

Abstract: The main goal of this study, based on the analysis of the MODIS vegetation indices (MOD13Q1 product), is the systematic monitoring of the vegetative cover of the Mamirauá and Amanã sustainable development protected areas. These reserves, of about 3,450,000 ha, comprise ecosystems of great biodiversity importance. Our results demonstrate the significant correlation between the EVI (Enhanced Vegetation Index) and the major physiognomies encountered in the area, particularly due to their observed seasonal variations.

Palavras-chave: MODIS vegetation indices, biophysical-environmental monitoring, sustainable development protected areas, Índices de Vegetação MODIS, monitoramento biofísico-ambiental, reservas de desenvolvimento sustentável.

1. Introdução

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

Nos últimos anos, estudos relacionados à fenologia tiveram um aumento na importância devido ao contexto de mudanças climáticas. Estas mudanças podem alterar o início das fases fenológicas, como o período de crescimento da vegetação, e a distribuição de plantas e animais. Por outro lado, mudanças fenológicas da vegetação, como as mudanças na amplitude da distribuição de espécies, podem ser utilizadas como parâmetros para se entender as mudanças climáticas (Menzel et al., 2001).

A distribuição da vegetação e sua fenologia estão largamente associadas com os fatores climáticos, as características fisiográficas do terreno e as atividades humanas. Assim como muitos dos fenômenos ecológicos, estas se apresentam fortemente relacionadas a expressão dos genes e ao ambiente, e vem sendo estudada tanto em nível de organismos individuais, quanto em modelos de escalas regionais e globais (Chuine et al., 2000; Huete et al., 2006).

Diversos estudos (ex. Novo et al., 2005) apontam correlações significativas entre diferentes medidas “in situ” de propriedades da vegetação fotossinteticamente ativa (porcentagem de cobertura verde na escala da paisagem), e índices derivados de imagens tais como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index) (Huete et al., 2002). Entretanto, parece haver influências secundárias importantes, a partir das quais as relações biofísicas da estação seca diferem das relações observadas para a estação chuvosa. Da mesma forma, pode-se observar que as relações biofísicas apresentam distintas inclinações, em função do domínio fitofisionômico analisado (i.e. gramíneo, arbustivo ou arborescente). Certamente, estudos fisionômicos adicionais, associados a modelos de transferência radiativa, são necessários para caracterizar a influência das características fisionômicas (estruturais) da cobertura vegetal sobre essas correlações.

Neste trabalho, buscamos avaliar e comparar a variação sazonal do nível de biomassa para quatro fitofisionomias encontradas nas RDS Mamirauá e Amanã, nos anos de 2004 e 2005, através da utilização dos Índices de Vegetação EVI e NDVI, obtidos através do Produto MOD13Q1 do Sensor MODIS. Especificamente, informações de pluviosidade mensal, obtidas em estações pluviométricas locais, foram relacionadas com os Índices de Vegetação extraídos das fitofisionomias de Floresta de Várzea, Floresta Aberta com Palmeiras, Floresta Secundária e Floresta de Terra Firme.

2. Área de Estudo

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Amanã (RDSA) é uma unidade criada através do Decreto Estadual 19.021, de 4 de agosto de 1998, pelo Estado do Amazonas, cuja implementação está sendo realizada pela Sociedade Civil Mamirauá por meio de convênio de cooperação técnico-científica e de apoio celebrado com o IPAM (Instituto de Pesquisa do Amazonas). Cobrindo uma área de 2.350.000 ha da região Central do Estado do Amazonas (municípios de Barcelos, Coari, Codajás e Maraã), está localizada entre as águas escuras do Rio Negro e as águas claras dos rios Japurá e Solimões.

O acesso até a Reserva é feito por via fluvial a partir de embarcações que saem da cidade de Tefé. A cidade de Tefé é o portão de entrada de para as Reservas Mamirauá e Amanã (**Figura 1**).

Segundo Ayres (1992), parte da área é constituída por florestas de terra firme, cuja origem remonta à Era Terciária, enquanto que a outra parte são florestas alagadas ou de várzea, que surgiram em períodos mais recentes (i.e. Pleistoceno e Holoceno). O próprio Lago Amanã (com 45km de extensão e 3km de largura, situado a 70 km de Tefê) é um complexo misto de águas pretas nos seus ramos superiores, e águas claras próximas às florestas de várzea na porção sudoeste da Reserva. As áreas terciárias são influenciadas pelas águas brancas provenientes dos Andes e pelas águas pretas que se originam na bacia Amazônica. Por isso, a fauna inclui elementos pré-andinos, que vivem ao longo do Rio Negro, e elementos mais tipicamente andinos, ao longo do Rio Solimões. A diversidade biológica na área é determinada, principalmente, por essas influências hídricas.

A Reserva vincula a RDS Mamirauá com o Parque Nacional de Jaú, assim formando um corredor ecológico com mais de 5.766.000 ha, o qual representa a maior área protegida de mata tropical no mundo. Representa uma unidade de conservação de alto valor em termos da sua biodiversidade porque abrange florestas de várzea e terra firme. A administração de Amanã com base na categoria legal de Reserva de Desenvolvimento Sustentável, permite a residência da população local (~ 4000 pessoas) na área e sua participação no manejo sustentável dos recursos naturais.

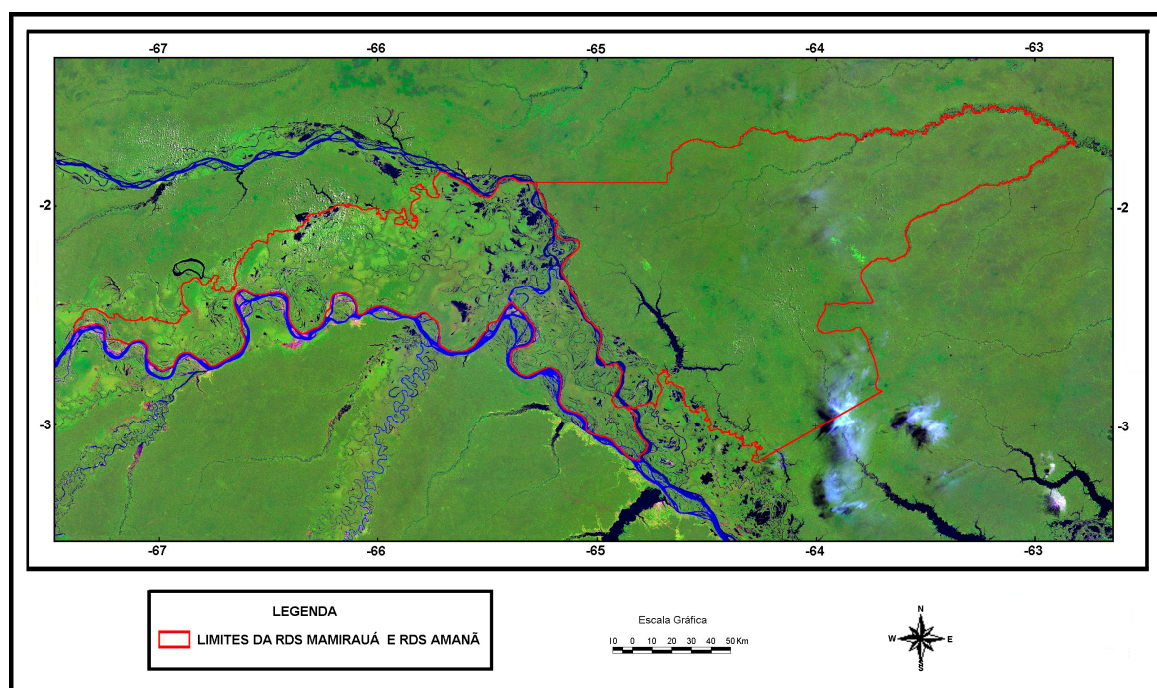


Figura 1: Localização da área de estudo.

A biodiversidade da área é fortemente determinada pelas influências dos tipos de água, e a RDSA oferece uma vasta gama de tipos de habitats no lago e nos igarapés. A flora e a fauna são um surpreendente resumo dos principais ecossistemas da Amazônia, e são conhecidos componentes de terra firme, de matas de igapó e de matas de várzea. Também foram descritos trechos de campinarana em locais de difícil acesso.

2.1. Imagens MODIS

Tendo em vista a sazonalidade do clima local, e suas prováveis influências sobre a vegetação, bem como as dimensões e características distintas das áreas de estudo (i.e. RDSA e RDSM), optou-se pela análise do *tile* h11v09 para os anos 2004 e 2005, i.e. 48 imagens *composited* do produto MOD13Q1 (plataforma Terra).

3. Resultados Obtidos

3.1. Processamento dos Dados MODIS

Após a obtenção dos dados, originalmente na projeção *Integerized Sinusoidal* (ISIN) e no formato HDF (*Hierarchical Data Format*), estes foram convertidos para o formato GEO-TIFF e para a projeção UTM/WSG84, sendo utilizado para estes objetivos o programa *MODIS Reprojection Tool*, (<http://edcwww.cr.usgs.gov/programs/sddm/modisdist/index.shtml>).

Após a reprojeção dos 48 *compositing* do ano de 2004 e 2005 foi necessário realizar o corte da área de interesse.

Em seguida, partiu-se para a realização das filtragens dos dados. Este método é necessário devido a existência de dados suspeitos, ou de baixa qualidade, como por exemplo, aerossol, nuvens e sombra.

Para isto, é necessária a utilização das imagens de metadados (*Quality Assurance - QA*), que estão presentes em cada *compositing*.

Esta filtragem foi realizada no programa *MODIS Gera QA*¹, versão 1.1.0, que é um *software* desenvolvido no ambiente computacional VB 6.0 com o intuito de possibilitar o uso do comando RECLASS, do ARCGIS Desktop, para gerar imagens de usabilidade a partir de imagens QA do produto MOD13Q1. A tabela gerada permite ao programa transformar a imagem QA original do produto MOD13Q1 em uma imagem de usabilidade, normalizada de 0 a 1.

Todos os 48 *compositing* foram filtrados quanto à presença de aerossóis, sombra e nuvens. A partir dos 48 *compositing* filtrados, geraram-se mosaicos bimensais, ou seja, agruparam-se os quatro *compositings* para cada dois meses (Jan-Fev, Mar-Abr, Mai-Jun, Jul-Ago, Set-Out, Nov-Dez). Este processamento, que selecionou os *pixels* com base no valor mais alto do NDVI entre as datas, teve como objetivo reduzir o número de dados utilizados, tamanho do banco e obter um mosaico sem áreas com valores de *pixels* nulos. Assim, obteve-se seis *compositings* para cada ano estudado.

Após todas estas filtragens, foi possível a aquisição de *endmembers* para a realização das análises temporais e verificar a variação sazonal nas distintas fitofisionomias da área.

Para cada fitofisionomia foi adquirido 1 *endmember* compreendendo a área de 2 *pixels*. A partir daí, foi possível relacionar os Índices de Vegetação (NDVI e EVI), e estimar a biomassa existente na cobertura vegetal, que está expressa nos gráficos das **Figuras 2 e 3**. Também foi relacionado os índices de vegetação com a precipitação mensal (**Figura 4**) ao longo do ano.

¹ Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás.

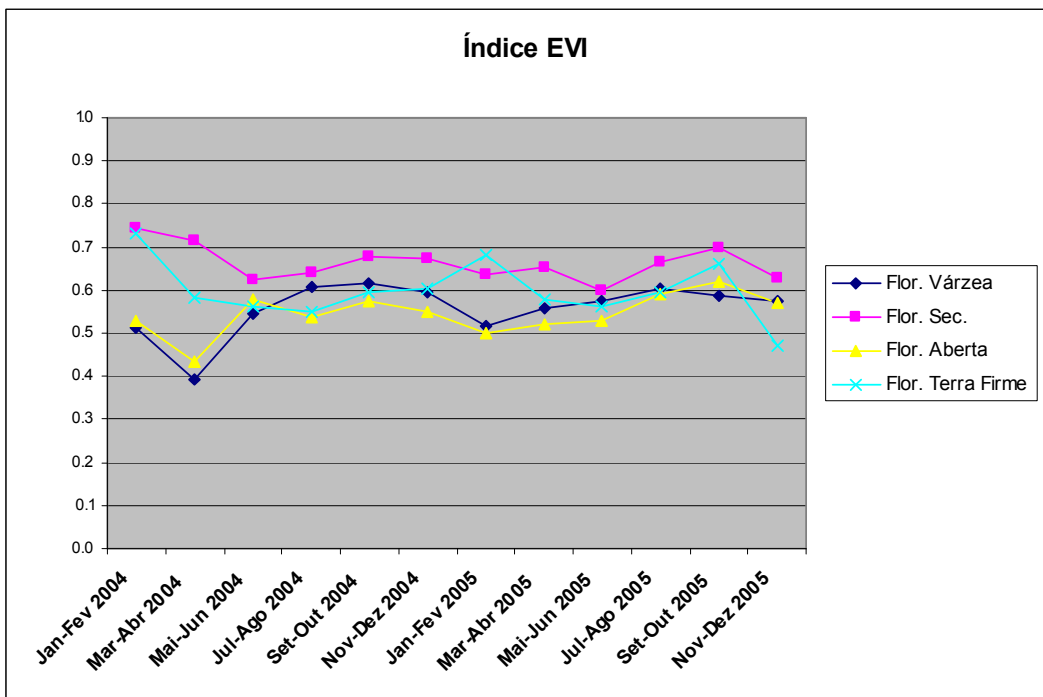


Figura 2: Índice EVI para as 4 fitofisionomias estudadas.

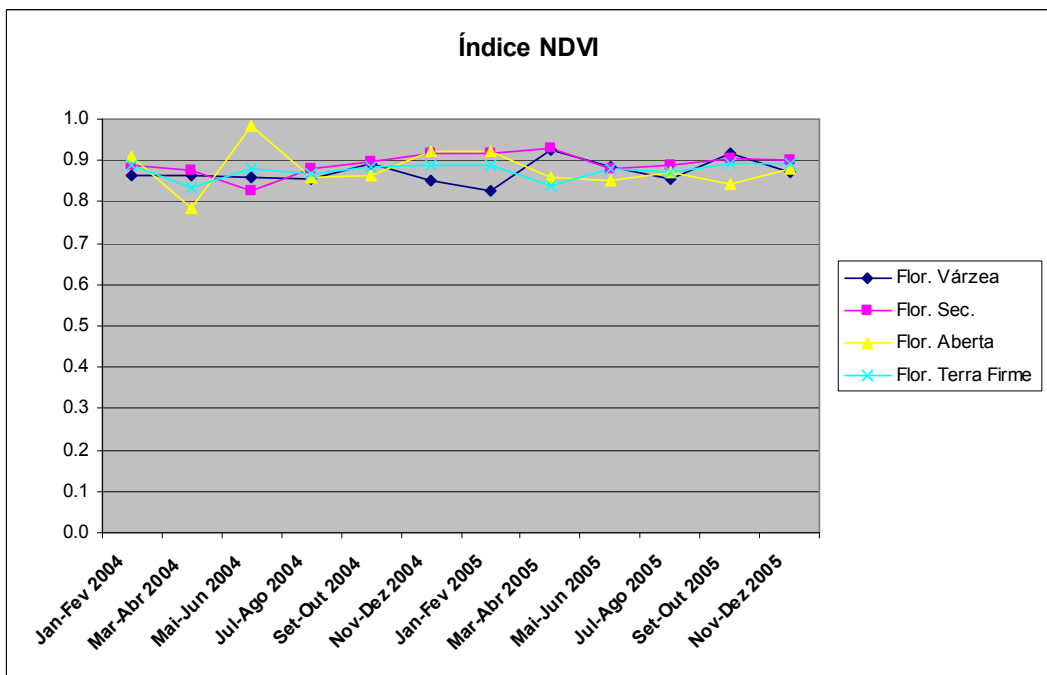


Figura 3: Índice NDVI para as 4 fitofisionomias estudadas.

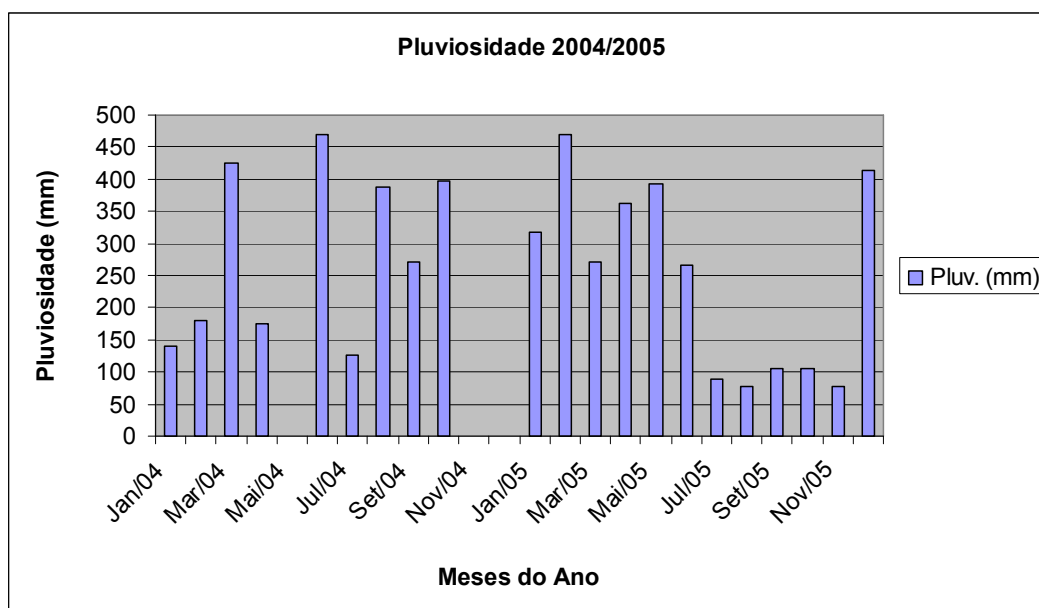


Figura 4: Pluviosidade mensal para os anos de 2004 e 2005.

Fonte: IDSM - Programa de Monitoramento.

Na análise temporal das classes de cobertura vegetal, observou-se no gráfico do EVI, que a fitofisionomia de Floresta Aberta e Floresta de Várzea seguem um mesmo perfil, provavelmente devido as duas se encontrarem em áreas periodicamente alagadas. Os menores índices EVI foram verificados para os períodos de Jan-Fev e Mar-Abr. Em fato, comparativamente ao período de Jan-Fev de 2005, nos meses de Jan-Fev do ano de 2004 ocorreram os menores índices EVI, juntamente com os menores níveis pluviométricos. A fitofisionomia de Floresta Secundária representou o maior vigor do índice EVI, por se tratar de uma floresta em regeneração. Para a Floresta de Terra Firme, nos meses de Jan-Fev de ambos os anos o índice foi 0,7, próximo a valores encontrado para Floresta Secundária.

No gráfico do Índice NDVI, os valores observados para todas as fitofisionomias variaram de 0.8 a 0.98, sendo que a fitofisionomia de Floresta Secundária apresentou em geral os valores mais altos. Os menores índices de NDVI foram detectados nos meses de Mar-Abr.

No ano de 2005, o oeste da Amazônia, registrou o menor índice pluviométrico dos últimos 60 anos, enquanto a parte leste viveu a pior fase desde 1925. O Rio Negro, um dos principais da região, chegou a atingir seu nível mais baixo desde 1902, ano em que foram iniciadas as medições de vazão. Os baixos níveis de precipitação podem ser verificados de Julho a Novembro de 2005. Entre as possíveis causas estão pontos de aquecimento no Oceano Atlântico e o efeito estufa acelerado pelo desmatamento.

A variação sazonal da precipitação parece não ter sido um fator de grande influência na variação do índice de vegetação NDVI. Já o índice de vegetação EVI demonstrou possuir correlação com os meses de seca, sendo que a resposta fenológica da vegetação começou a ser evidenciada após 4 meses do início da estação seca.

4. Conclusões

O EVI mostrou maior sensibilidade na detecção de mudanças sazonais entre as varias formações de Floresta Tropical, bem como na discriminação destas formações. Esta maior

variabilidade na resposta do EVI pode significar maior correlação com os parâmetros biofísicos da vegetação, independente das propriedades espectrais dos solos.

Já o NDVI apresentou um desempenho pouco satisfatório, representado pela pequena variação sazonal dos valores de biomassa deste índice. Em fato, esperava-se que devido a duradoura estação seca que afetou a Amazônia no ano de 2005, o índice NDVI sofresse uma maior variação, principalmente para as fitofisionomias de Floresta Aberta com Palmeiras e Floresta de Várzea.

O sensor MODIS é capaz de fornecer informações úteis relacionadas a mudanças fenológicas da vegetação, subsidiando a modelagem da biomassa em ecossistemas de Floresta Tropical e geração de modelos ambientais de predição de mudanças climáticas.

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. O obtenção e utilização dos dados pluviométricos foram possíveis devido a colaboração do Programa de Monitoramento do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.

5. Referências Bibliográficas

Ayres, J.M.; Lima-Ayres, D.M.; Bodmer, R. & Polshak, 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.

Chuine, I.; Cambon, G.; Comtois, P. 2000. Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. **Global Change Biology**, 6: 934-952.

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.

Huete, A. R., K. Didan, Y. E. Shimabukuro, P. Ratana, S. R. Saleska, L. R. Huttyra, W. Yang, R. R. Nemani, and R. Myneni (2006), Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06405.

Menzel, A.; Estrella, N.; Peter, F. 2001. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. **Global Change Biology**, v.7, p.657-666.

Novo, E. M. L. M.; Ferreira, L. G.; Barbosa, C.; Carvalho, C.; Sano, E. E.; Shimabukuro, Y.; Huete, A.; Potter, C.; Roberts, D. A.; Hess, L. L.; Melack, J. J.; Yoshioka, H.; Klooster, S.; Kumar, V.; Myneni, R.; Ratana, P.; Didan, K.; Miura, T. 2005. Técnicas avançadas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos, **Acta Amazônica**, Vol. 35(2): 259 – 272