

# Análise multi-resolução e modelagem do conhecimento na diferenciação de fisionomias de florestas em remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro

Raúl Sánchez Vicens<sup>1</sup>  
Felipe Mendes Cronemberger<sup>2</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografia  
<sup>2</sup>Programa de pos graduação em ciência ambiental(PGCA)  
Universidade Federal Fluminense – UFF  
Instituto de Geociências, Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem, Niterói, RJ, Brasil  
rcuba@vm.uff.br; felipecron@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Departamento de Geografia – Av. Athos da Silveira Ramos, 283, sala I-012  
Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJBrasil  
carlamad@gmail.com

**Abstract.** Products of MODerate Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor, climatic data with 1 km of spatial resolution and TM/Landsat spectral data, were used in a multiresolution object-based analysis to differentiate between pluvial and seasonal physiognomies of Atlantic forest remnants in the State of Rio de Janeiro. Compared with the other Brazilian biomes, the Atlantic forest have the highest number of vegetation types which are difficult to distinguish through remote sense images only. It were used 23 images of the MOD13Q1 product corresponding to vegetation indices, with 250 m of spatial resolution and 16-day composites of 2007. The monthly mean values of temperature and precipitation were collected from interpolated climate surfaces for global land areas at a spatial resolution of 30 arc sec (1 km). The classification was performed using fuzzy models in two step: a) based on the analysis of the seasonal variability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the mean annual precipitation, the total rainfall in the driest month and the extend of the dry period, to discriminate seasonal and perennial vegetation; b) based on spectral data of TM to differentiate between forest and other land covers. The results showed that automatic classification, using these features (descriptors) allowed mapping of forest physiognomies with good accuracy at 1:100.000 scale, validated by floristic surveys information from bibliography.

**Palavras-chave:** MODIS, object-based analyst, phytophysiological, NDVI, MODIS, análise orientada a objetos, fitofisionomias, NDVI.

## 1. Introdução

Com uma enorme diversidade de ambientes, a Mata Atlântica, dentre todos os biomas brasileiros, é o que possui maior número de fitofisionomias (IBGE, 1993). As fisionomias de floresta em particular não são facilmente distinguíveis com apenas dados espectrais, uma vez que as diferenças entre elas estão relacionadas à composição florística ou à estrutura funcional da vegetação (estratificação, área foliar, esclerofilia, caducidade, etc.). Por esta razão, a diferenciação de fitofisionomias de floresta, nos principais mapeamentos de vegetação do Brasil apóia-se na observação de dados abióticos e em intensas verificações de campo.

Análises da variação temporal de índices de vegetação vêm sendo sistematicamente utilizadas na tentativa de monitorar o comportamento sazonal da vegetação e a diferenciação de fitofisionomias (Rosembach et al., 2007; Liesenberg et al., 2007; Ribeiro et al., 2007). Segundo Huete et al. (2002) o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) permite comparações de

variações sazonais, inter anuais e de longo prazo da estrutura da vegetação, fenologia e parâmetros biofísicos.

Junto á utilização de dados espectrais, recentes implementações de análises orientada a objetos permitem o uso de muitas outras informações adicionais, tais como forma, textura topologia ou dados temáticos no processo de classificação (Shackelford & Davis, 2003). Por outro lado, a utilização de lógica *fuzzy* na configuração de limiares para identificação de diferentes fisionomias, baseada no nível de incerteza, se apresenta como a metodologia mais adequada uma vez que as transições fisionômicas acontecem na natureza geralmente de forma gradual, na ausência de perturbações.

O presente trabalho traz os resultados de uma tentativa de diferenciação automática de fisionomias florestais, através de uma análise orientada a objetos de imagens de diferentes resoluções. Observando a variação temporal do índice de vegetação e aplicando modelos de lógica *fuzzy* em dados espectrais e temáticos, buscou-se separar as florestas ombrófilas das estacionais no mosaico de fragmentos remanescentes no Estado do Rio de Janeiro.

## 2. Materiais e Métodos

Para o ciclo anual de 2007, foram selecionadas 23 imagens do Sensor *MODerate Imaging Spectroradiometer* (MODIS) correspondentes ao produto MOD13Q1, que inclui as composições de 16 dias do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e do *Enhanced Vegetation Index* (EVI), com resolução espacial de 250 metros, resolução espectral que se estende do visível ao infravermelho termal (0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$ ) e resolução radiométrica de 12 bits (Huete et al., 1999). Foram necessárias duas cenas para recobrir todo o Estado do Rio de Janeiro (identificadas pelos códigos h13v11 e h14v11), fornecidas gratuitamente pelo *Distributed Active Archive Center* (DAAC) da NASA e ordenadas através do *Warehouse Inventory Search Tool* (WIST).

Através do programa *Modis Reprojection Tools 3.2* (MRT) as cenas foram mosaicadas e convertidas para sistema de coordenadas geográficas, datum WGS-84. Foram também convertidas de seu formato original (hdr) e gravadas na extensão tif, com nova resolução radiométrica de 16 bits. Os valores originais dos índices de vegetação foram mantidos nas análises, possuindo variações de -3000 a 10.000.

Para abranger todo o estado do Rio de Janeiro foram usadas ainda 7 cenas do satélite Landsat 5 (TM), datadas de agosto de 2007, cuja resolução espacial atende à escala 1:100.000. O fato das imagens terem sido obtidas em menos de um mês é uma vantagem rara que facilita a equalização entre cenas, minimizando diferenças entre datas que podem ser bastante significativas.

Foram coletadas as grades de dados climáticos a partir do set de layers globais (WorldClim) disponíveis para download em <http://www.worldclim.org/>. As grades contém valores médios calculados para uma série histórica de 50 anos (1950-2000), com resolução espacial de 30 arcos de segundo no sistema de coordenadas geográficas e datum WGS84 (Hijmans et al., 2005). As grades globais de temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C} * 10$ ) e precipitação média mensal (mm) foram recortadas no sistema *Global Mapper* de acordo com um sub-set abrangendo o Estado do Rio de Janeiro.

A análise dos dados foi feita por amostragem a partir de áreas experimentais, retiradas de Bohrer (1996), contendo levantamentos florísticos que permitiram a Oliveira-Filho & Ratter (1995) identificá-las segundo o sistema fisionômico-ecológico de classificação da vegetação de Veloso & Góes-Filho, (1982). Após localização, a coleta das amostras é feita por extração de valores em ambiente GIS (*ArcGIS 9.3*).

A classificação se inicia com a delimitação dos objetos através do processo de segmentação. O sistema adotado, o *Definiens Developer 7.0*, possibilita o uso de imagens de diferentes

resoluções no projeto, além da geração de vários níveis de segmentação, articulados de forma hierárquica. Na classificação das fisionomias florestais para o estado do Rio de Janeiro foram adotados três níveis de segmentação numa abordagem *top-down* (que vai do macro para o micro). Para o primeiro nível (acima) foram usadas duas imagens NDVI do MODIS, referentes aos meses mais úmido e seco do ano de 2007, respectivamente, fevereiro e setembro. Neste nível foram incorporados os produtos de resolução espacial mais baixa com o objetivo de modelar a estacionalidade da vegetação. O parâmetro de escala adotado foi 150. O segundo e terceiro níveis foram gerados através de bandas do Landsat TM, ambos com o parâmetro de escala 10. O segundo exclusivamente a partir das bandas do infravermelho 4 e 5, com o objetivo de separar corpos d'água e sombras das demais classes (outros). O terceiro foi gerado a partir das 6 bandas espectrais do sensor (excetuando a termal) a partir do qual definiu-se a áreas florestadas e, dentro destas, as florestas. A adoção da abordagem *top-down* garante que os objetos gerados abaixo de um determinado nível respeitem os limites do nível superior, subdividindo objetos ou simplesmente fazendo-os coincidirem com as unidades superiores, jamais agrupando.

Todo o processo de classificação seguiu a abordagem orientada a objetos, através de análise multi-resolução na qual uma estrutura hierárquica de classificação foi implementada no programa *Definiens Developer 7.0*.

### 3. Resultados e Discussão

#### *Descritores da Estacionalidade*

A diferenciação dos remanescentes de floresta em fisionomias ombrófilas e estacionais iniciou-se no primeiro nível de segmentação, onde os super-objetos foram classificados a partir da modelagem dos descritores que melhor caracterizaram condições de sazonalidade.

A análise do comportamento médio e da amplitude do composite mensal de NDVI gerado a partir das amostras de floresta ombrófila e estacional (figura 1), indica uma clara diferença na amplitude do índice entre ambas fisionomias, muito mais acentuada para as amostras de floresta estacional.

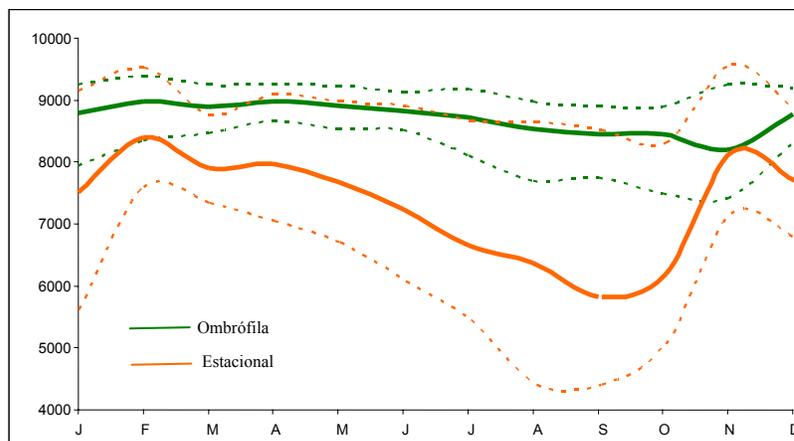


Figura 1. Comportamento mensal do NDVI (2007) das fisionomias ombrófila e estacional.

O registro da sazonalidade na variação mensal do NDVI da floresta estacional determinou a escolha da amplitude do índice como principal descritor para a diferenciação das duas fisionomias florestais, uma vez que realça as diferenças entre as classes, eliminando possíveis confusões associadas a valores extremos. A análise dos valores mensais de NDVI amostrados permitiu identificar os meses de fevereiro e setembro de 2007 como os meses de ocorrência dos

valores máximos e mínimos respectivamente naquele ano, a partir dos quais foi gerada a imagem de amplitude do NDVI, conforme apresentado na figura 2.

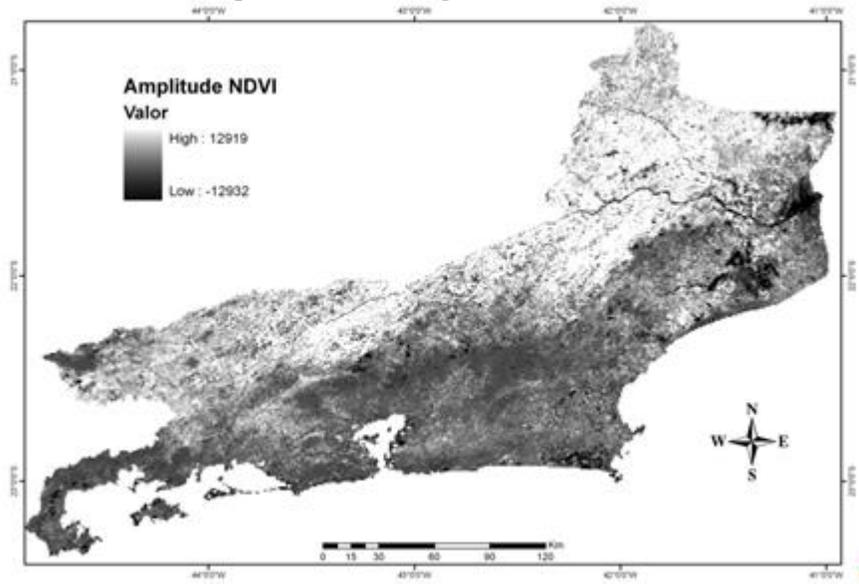


Figura 2. Amplitude anual do NDVI (ano 2007).

Os descritores restantes foram construídos a partir das variáveis climáticas que melhor caracterizaram a estacionalidade em resoluções moderadas, no nível de super-objetos. O número de dias secos tem sido comumente utilizado na diferenciação entre fisionomias ombrófilas e estacionais (Elleberg & Mueller-Dumbois, 1966; Veloso & Góes-Filho, 1982). No presente trabalho, foram comparados os valores médios mensais de precipitação com o dobro da temperatura (índice de Bagnouls & Gausson, 1957) e gerada uma imagem do número de meses secos (figura 3).

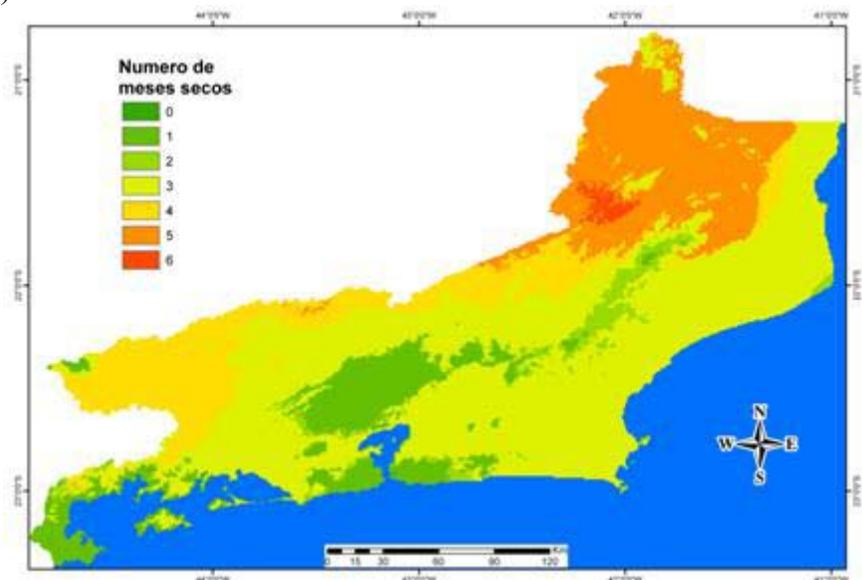


Figura 3. Número de meses secos no ano.

Como a utilização de médias mensais pode mascarar o total de dias secos, utilizado na classificação fisionômico-ecológica, optou-se por utilizar o total pluviométrico anual, no intuito

de delimitar áreas com períodos de seca não identificados pela curva ombrotérmica. A análise das médias mensais mostrou uma diferenciação entre as fisionomias para os meses de março a outubro (figura 4), de forma que foi adotado como descritor o parâmetro de precipitação média do mês mais seco (Agosto).

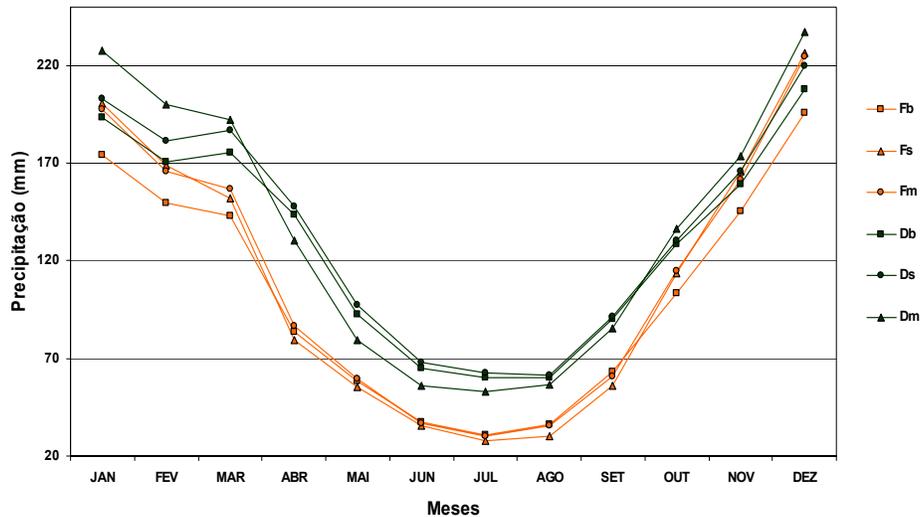


Figura 4. Médias pluviométricas mensais amostradas para fisionomias estacionais e ombrófilas. Fb: Estacional semidecidual das terras baixas; Fs: Estacional semidecidual submontana; Fm: Estacional semidecidual montana; Db: Ombrófila densa das terras baixas; Ds: Ombrófila densa submontana; Dm: Ombrófila densa montana

### Modelagem do conhecimento

A hierarquia da classificação seguiu uma abordagem *top-down*, onde no primeiro nível (super-objetos) foram criadas as classes “Ombrófila” e “Estacional”. No segundo nível (objetos) foram diferenciados os diferentes tipos de cobertura vegetal, onde a classe “Floresta” foi dividida em “Floresta estacional” e “Floresta ombrófila” através de uma relação hereditária com os super-objetos.

Para modelar a amplitude do NDVI foram observados os valores extraídos por amostragem das diferentes fisionomias de floresta. Embora as variações do índice são sempre positivas, adotou-se para a floresta ombrófila um limiar variando de -300 a 2000, com baixos valores de pertinência nos extremos do modelo fuzzy. Para a floresta estacional, os limiares que melhor definiram a classe foram 500 e 10.000, embora o modelo ultrapasse o da floresta ombrófila num valor próximo a 1500 de amplitude NDVI (figura 5). Os corpos de água foram modelados ao redor da amplitude zero, enquanto que os valores negativos foram modelados como áreas sazonalmente inundadas uma vez que a existência de valores inferiores de NDVI no período úmido indicam probabilidade de alagamento nesse período. A determinação de áreas prováveis de alagamento através de valores negativos de amplitude de NDVI foi também sugerida por Goltz et al. (2007) para o Pantanal sul matogrossense.

A característica ombrotérmica fundamental da floresta ombrófila, relacionada a grandes alturas pluviométricas bem distribuídas durante todo o ano, definiu o limiar de separação com a floresta estacional na ocorrência de dois meses secos no ano. Para os valores de precipitação, a análise amostral dos totais anuais e totais médios do mês mais seco, indicaram limiares de 1000 mm e 20 mm respectivamente.

Os modelos utilizados na diferenciação das fisionomias e demais coberturas (água e áreas alagáveis) e a classificação resultante são mostrados na tabela 2. As áreas não classificadas foram modeladas apenas por critério booleano de não-similaridade às outras classes (opção *not*).

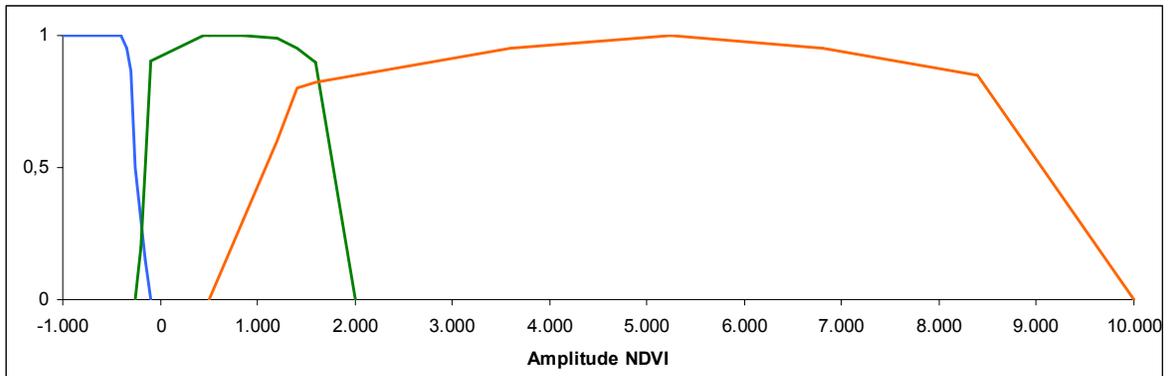


Figura 5. Modelagem da amplitude anual do NDVI para diferenciação de fisionomias ombrófilas (verde), fisionomias estacionais (laranja) e áreas sazonalmente alagadas (azul).

Tabela 2 Descritores e modelos utilizados na diferenciação das fitofisionomias

	Ombrófila	Estacional	Áreas sazonalmente alagadas	Água
NDVI mês seco				
Amplitude NDVI				
Nº de meses secos				
Precipitação do mês mais seco				
Total de precipitação anual				

A classificação neste nível delimitou razoavelmente áreas inundáveis na planície deltaica do Paraíba do Sul e nas várzeas de alguns rios de maior porte, o qual poderia ser utilizado na identificação posterior de fisionomias aluviais, mas que no momento escapa ao escopo do presente trabalho. As áreas não classificadas corresponderam principalmente a valores extremos de amplitude de NDVI, possivelmente relacionados à mudanças drásticas na cobertura vegetal e pela falta de informação das variáveis climáticas na linha de costa, ocasionada pela baixa resolução dos grids.

A modelagem dos dois níveis subseqüentes considerou, para a separação dos corpos d'água, valores médios de NDVI gerados através das bandas do Landsat, enquanto que para a floresta teve-se que adotar uma estrutura hierárquica de classes, que separou, em um primeiro momento áreas verdes de áreas rosas. As “Áreas Verdes” incluíram as Áreas Florestadas – que agrupou as classes “Floresta”, “Mangue”, “Mata de Restinga” e “Reflorestamento” e as Áreas Não Florestadas – que agrupou as classes com predomínio de gramíneas. Os descritores adotados para a caracterização das áreas florestadas ainda variam muito, mas se mantêm em torno das médias obtidas para as bandas do visível e infravermelho médio (banda 5). O processo de modelagem resultou em um alto grau de automatização, garantindo mais de 92% de acertos para a classe floresta. A separação nas classes florestas ombrófilas e estacionais foi efetuada a partir da relação de super-objetos, fazendo com que objetos que apresentassem o padrão da floresta e estivessem relacionados a uma das classes referentes à estacionalidade, determinada no nível superior, fossem reclassificados, gerando o mapa apresentado na figura 6.

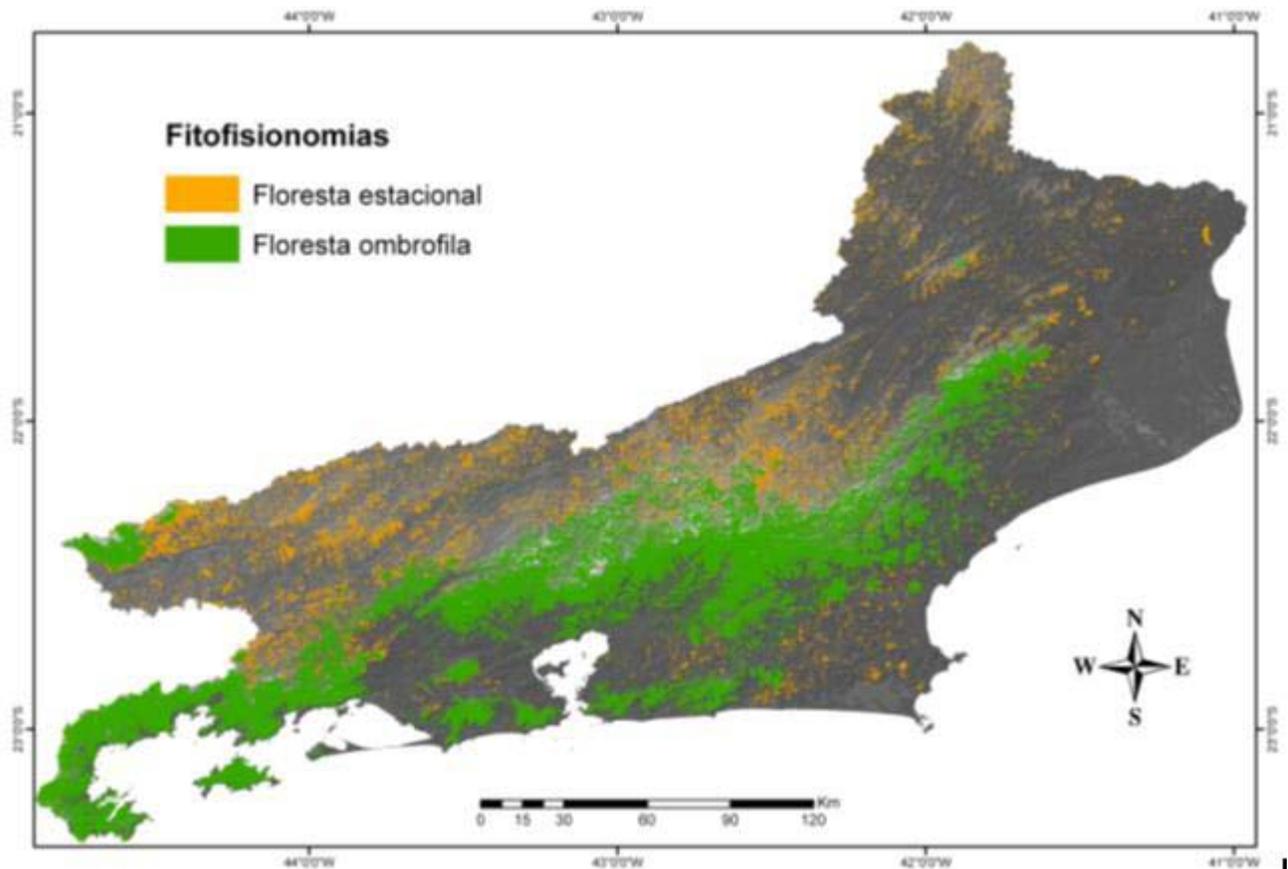


Figura 6. Classificação final dos remanescentes florestais discriminando as fisionomias ombrófilas e estacionais.

Coincidindo com mapeamentos tradicionais da vegetação, as florestas ombrófilas apresentaram uma distribuição predominante no centro, sul e sudoeste do estado, acompanhando a morfologia do relevo, em função dos maiores valores hipsométricos, e a vertente meridional da Serra do Mar, coincidindo assim com as zonas de maior umedecimento devido a ocorrência de chuvas frontais e orográficas. Já as áreas estacionais se estendem por todo o norte e nordeste fluminense, onde a queda das precipitações e o aumento do período seco caracterizam uma estacionalidade climática que induz a necessidade de adaptações funcionais na vegetação, como a caducidade, o que apresenta reflexo na amplitude anual do NDVI.

## Conclusões

Os resultados preliminares evidenciam um elevado potencial das técnicas de análise multiresolução e a modelagem de conhecimento, utilizando dados temáticos e espectrais, na diferenciação das fito-fisionomias ombrófilas e estacionais no mosaico de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. No entanto, verificações de campo se fazem necessárias para determinar a acurácia do mapeamento. A utilização de novos descritores se apresentam como um caminho a seguir na diferenciação das fisionomias em níveis de sub-formações da vegetação. Propõe-se também a extensão da metodologia a mapeamentos em meso-escala de detalhamento, abrangendo a totalidade do bioma.

## Referencias bibliográficas

- Bagnouls, F. e Gaussen, F. Lês climats biologiques et leur classification. *Ann. Géogr. Paris*, 1957, **66** (335):193-222.
- Bohrer, C.B.A. Ecology and Biogeography of a Atlantic Montane Forest in Southeastern Brazil. Phd. thesis, University of Edinburgh. Edinburgh, 1998.
- Elleberg, H. e Mueller-Dumbois, D.A. Tentative physiognomic-ecological classifications of the earth. *Separata de Ber. Geobot. Inst. ETH, Zurich*, 1966, **37**: 21-55
- Goltz, E.; Brandão, D.; Tomás, L.; Mantelli, L.R.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E.; Formaggio, A. R. Utilização de índices espectrais do sensor MODIS na determinação de áreas susceptíveis a alagamento no Pantanal Sulmatogossense. *Rer. Bras. de Cartografia*, 2007, 59 (1): 35-44
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. e Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *Int. J. of Climatol.* 2005, **25**: 1965-1978
- Huete, A.; Justice, C. e Leeuwen, W. MODIS Vegetation Index (MOD13). Algorithm Theoretical Basis Document. V3. University of Virginia. 1999, 131 p.
- HUETE, A.R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 2002, v. 83, n. 1-2, pp. 195-213.
- IBGE Manual Técnico de Vegetação. **Manuais Técnicos em Geociências**. 1991, 92p.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 1993.
- Liesenberg, V.; Ponzoni, F.J. e Galvão, L.S. Discriminação espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado brasileiro através de dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE*, 2007, pp. 1703-1710
- Ribero, C.A.D.; Abrahão, C.P.; Xavier, A.C.; Ferreira, D.S. e Paiva, Y.G. Análise fenológica de dados multitemporais EVI do sensor MODIS com variáveis climáticas. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE*, 2007, pp.1817-1822
- Roseback, R.; Conforte, J.C.; Shimabukuro, Y.E. e Ferreira, N.J. Análise da variabilidade temporal do NDVI/MODIS na Região Sul do Brasil. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE*, 2007, pp. 1823-1829
- Shackelford A. K., and Davis C. H. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas. *IEEE Transac. on Geosc. and Remote Sensing*, 2003, **41**: 2354-2364c
- Veloso, H.P. e Góes-Filho, L. Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. B. Téc. Projeto RADAMBRASIL, Série Vegetação, 1. Salvador. 1982, 80p.