

Variação espaço-temporal de NDVI em remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

Letícia Celise Ballejo de Oliveira¹
Laurindo Antonio Guasselli¹

¹Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500. Prédio 43113 -Sala 203 - Campus do Vale
CEP: 91501-900 - Porto Alegre/RS

leticelise@yahoo.com.br; laurindo.guasselli@ufrgs.br

Abstract. The application of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in forests enables the analysis of their seasonal behavior, the diagnosis of spatiotemporal changes and phenological monitoring. This study aims to analyze the spatial-temporal variation of NDVI in remaining areas of vegetation types that comprise the Atlantic Forest in river basin of the Sinos, RS, Brasil. For this we used a time series of 205 images dates of the MODIS NDVI, where through the TSA tool, generated a set of three Principal Components (CP1, CP2, CP3) for winter and for summer. After we analyzed the average values of pixels of three samples for each vegetation type that comprise the Atlantic Forest: Forest of Semideciduous Lowland, Lower Montane Semideciduous Forest, Forest Semideciduous Montana, Araucaria Forest and Steppe, totaling 15 samples for each CP per season. It is noteworthy that the brightness values related to CP1 winter and summer are different, which shows the seasonal pattern of vegetation, especially in Semideciduous Forest. It should be noted also that the CP3 were those that showed better discrimination between classes of vegetation types, from the difference in brightness values between samples. Therefore, it was concluded that the analysis of time series by CP, compared with the individual images of NDVI, become more efficient in discriminating the classes of vegetation types as well, evidenced most clearly the seasonal behavior of the Atlantic Forest.

Palavras-chave: remote sensing, forest, time series, principal components, sensoriamento remoto, florestas, séries temporais, componentes principais.

1. Introdução

Em estudos ambientais, a dinâmica das comunidades vegetais é um tema bastante explorado, pelo fato da vegetação se constituir em um importante recurso natural. Ela exerce um papel determinante no funcionamento dos ecossistemas terrestres através de sua produtividade primária e da disponibilização de recursos e abrigo às espécies (Townsend et al., 2010), atuando também no equilíbrio dos processos atmosféricos e na manutenção da temperatura devido a evapotranspiração que promove (Conti e Furlan, 2003 apud Rosembach et al, 2010).

São inúmeros os processos ambientais que envolvem dinâmicas das comunidades vegetais, tornando-se necessário a utilização de métodos capazes de produzir diagnósticos precisos a respeito dos recursos vegetais e capazes de subsidiar planos de conservação. Para isso torna-se importante entender a dinâmica espaço-temporal de formações vegetais, como as florestas, evidenciando seu comportamento sazonal, para assim, buscar revelar padrões na sua dinâmica.

Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para o mapeamento e avaliação das condições estruturais dos recursos florestais, além do monitoramento dos ciclos anuais da vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2009).

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, os sensores remotos orbitais, desenvolveram características capazes de fornecer parâmetros precisos para monitorar continuamente os recursos florestais. Um exemplo é o sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectrometer*) abordo do satélite Terra que tem se destacado como um importante recurso nos

estudos da dinâmica da vegetação. Um dos produtos fornecidos pelo MODIS é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Baptista e Munhoz (2009) ressaltam que o NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na fotossíntese. A aplicação do NDVI em florestas possibilita a análise do seu comportamento sazonal, o diagnóstico de mudanças espaço-temporais e o monitoramento de parâmetros fenológicos.

As fitofisionomias que compõem a Mata Atlântica, como a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista, podem constituir-se em fonte de estudo, visando a detecção das alterações antrópicas que o bioma vem sofrendo. De acordo com dados do SOS Mata Atlântica, hoje, restam 7,91 % de remanescentes florestais acima de 100 hectares do que existia originalmente. Somados todos os fragmentos de floresta nativa acima de três hectares, tem-se atualmente apenas 11%.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo analisar a variação espaço-temporal de NDVI em áreas remanescentes de fitofisionomias que compõem a Mata Atlântica na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos, pertencente à região hidrográfica do Guaíba, localiza-se na região nordeste do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29°20' a 30°10' de latitude Sul e 50°15' a 51°20' de longitude Oeste (Figura 01). Possui uma área de 3.746,68 km², abrangendo municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas. Os principais corpos de água são o rio Rolante, o rio da Ilha, o rio Paranhana e o rio dos Sinos.

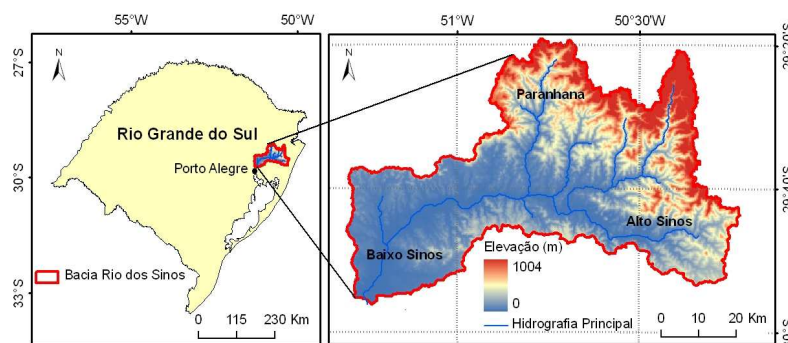


Figura 01: Localização da área de estudo - e relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS.
Fonte: Brubacher, et al. (2012).

Na bacia encontram-se remanescentes de Mata Atlântica representados pelas fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Ombrófila Mista e Estepe (Campo do Sul do Brasil) Figura 02. De acordo com os dados do projeto “SOS Mata Atlântica” (2008), desenvolvido em parceria com o INPE, esses remanescentes totalizam 692,03 km² na bacia dos Sinos.

Segundo os dados do RADAMBRASIL a Floresta Estacional Semidecidual Submontana englobava a maior parte da área, com 1720,55 km², correspondendo a 45,92% do total. Essa floresta se caracteriza pela dupla estacionalidade climática, representada no Estado, pela chamada seca fisiológica provocada pelo frio intenso do inverno, com temperaturas médias

inferiores a 15°C. A percentagem das árvores que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50%¹.

Na borda nordeste da bacia, encontram-se as áreas de Florestas Ombrófila Mista, caracterizada por apresentar o estrato superior dominado pela *Araucária angustifolia*, o estrato inferior é constituído por árvores mais baixas ou arbustos arborescentes. Floresta típica do Planalto Meridional, ocorrendo no RS em altitudes entre 500 m ao oeste a 1.000 m a leste². Na bacia dos Sinos ela abrangia 7,06% do total da área, cerca de 265,00 km².

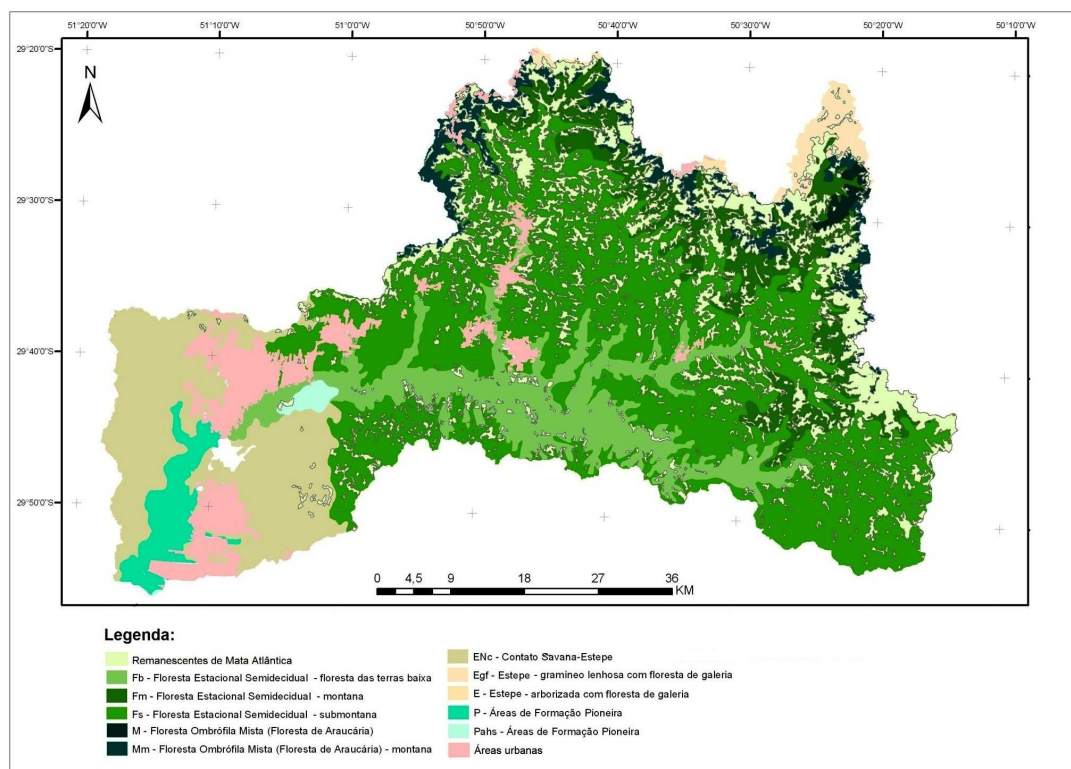


Figura 02: Mapa das fitofisionomias e remanescentes de Mata Atlântica da bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS. Fonte: RADAMBRASIL e SOS Mata Atlântica.

2.2 Aquisição das Imagens MODIS

Para analisar a variação espaço-temporal do NDVI foram utilizadas imagens MODIS. O MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA (formalmente conhecido como EOS-AM-1). Dados do sensor MODIS tem sido nos últimos anos, largamente utilizados em estudos envolvendo séries temporais de NDVI, onde o intuito é prever a dinâmica da variação da vegetação ao longo do tempo. As imagens foram adquiridas através do site da NASA, <https://wist.echo.nasa.gov/api/>.

As imagens do sensor MODIS são disponibilizadas com alguns processamentos já realizados como o georreferenciamento e a correção dos efeitos atmosféricos. Essas imagens possuem alta resolução temporal, que varia de 1 a 16 dias (Justice et al.,2002), e uma resolução espacial do sensor de 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir. Foi adquirida para esse estudo uma série temporal de imagens de NDVI já calculado, com uma resolução espacial de 250m e resolução temporal de 16 dias.

¹ Fonte: IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 1992.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inventário Florestal Nacional. Florestas Nativas RS. Brasília, 1983.

² Fonte: IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 1992.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inventário Florestal Nacional. Florestas Nativas RS. Brasília, 1983.

2.3 Geração de Série Temporal de NDVI

A série temporal de imagens de NDVI engloba um período de 12 anos, do ano 2000 até 2011. O procedimento para gerar as séries temporais foi realizado através do software IDRISI, que permite a utilização da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA). A TSA gera produtos de saída que incluem padrões espaciais e temporais, que podem ser analisados de forma conjunta. A série temporal de imagens foi dividida entre as estações inverno e verão, a fim de constatar sazonalidade no comportamento do NDVI.

Assim, os dados espaciais são representados por um conjunto de imagens de Componentes Principais (CP's), indicando o padrão espacial dos principais elementos de variabilidade da série de imagens. Para o presente trabalho foram analisadas as três primeiras CP's.

A ferramenta de TSA utiliza uma técnica de estatística multivariada que permite obter o menor número de fatores possível (CP's), que representem a maior variabilidade do conjunto dos dados.

2.4 Amostragem e Análise dos dados

Após gerar as CP's através da ferramenta TSA, selecionaram-se três amostras de remanescentes de Mata Atlântica para cada fitofisionomia: Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Ombrófila Mista e Estepe (Campo do Sul do Brasil), totalizando 15 amostras para cada CP por estação do ano.

Em seguida, foram calculados os valores médios dos pixels que compõem cada uma das amostras de Mata Atlântica, para a partir desses valores analisar o comportamento espaço-temporal de NDVI. A Tabela 01 apresenta a média desses valores para cada fitofisionomia calculada a partir da média das três amostras.

3. Resultados e Discussão

A análise das CP's foi realizada através da TSA do conjunto de 205 imagens de NDVI, que mostram o padrão espaço-temporal de distribuição de NDVI para toda a série de imagens.

Buscando analisar se há um padrão sazonal em relação as fitofissionomias da Mata Atlântica, foram geradas CP's por meio da TSA para as estações de inverno e verão (Figura 03).

A tabela 01 apresenta os valores médios das CP's para as amostras das áreas remanescentes de Mata Atlântica, para cada fitofisionomia. Esses valores correspondem as informações de brilho associadas aos padrões gerais de NDVI das amostras utilizadas.

Tabela 1. Valores médios de brilho das CP's para as amostras das áreas remanescentes de Mata Atlântica, para cada fitofisionomia.

Fitofissionomias	Valores médios					
	Inverno			Verão		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3
F. Semidecidual de Terras Baixas	867,13	1,33	-7,5	747,83	13,8	0,083
F. Semidecidual Sub-Montana	915,54	14,88	-11,6	763,86	18,58	1,44
F. Semidecidual Montana	926,77	15,88	-13,94	766	17,22	2,16
F. Ombrófila Mista	862,66	6,33	-6,66	737	16	-0,16
Estepe	807	17,75	-13,4	704	8,7	0,22

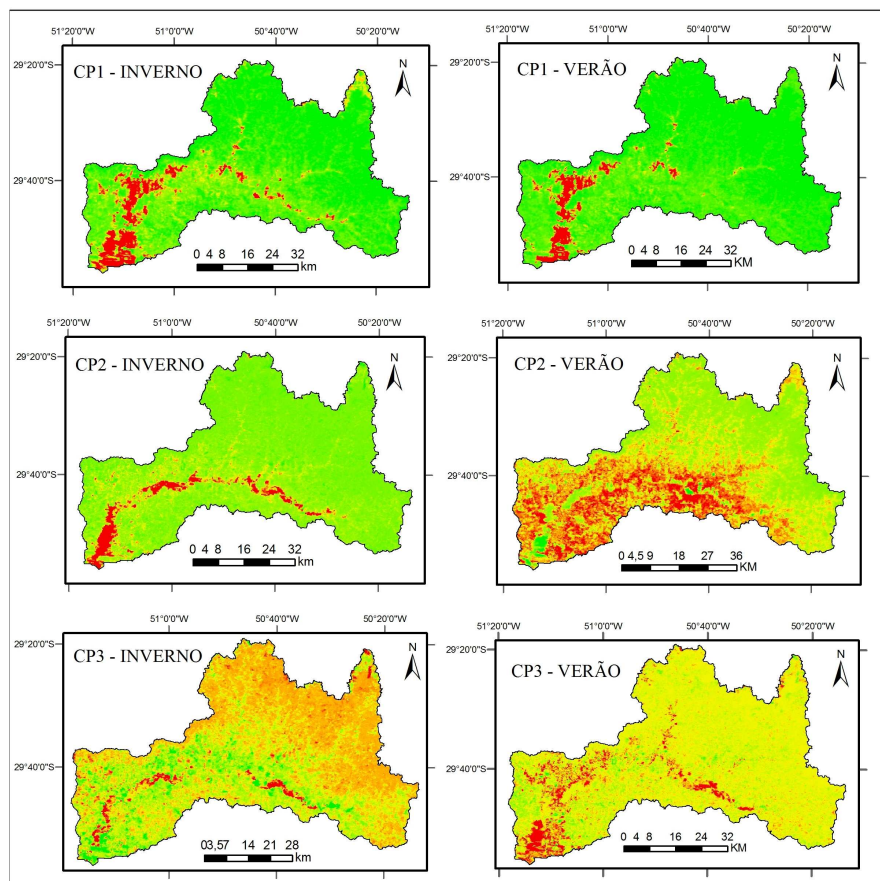


Figura 03: Componentes Principais 1, 2, 3 das estações inverno e verão.

A CP1 representa os padrões mais comuns da série de imagens analisadas, ou seja, o comportamento típico das amostras das fitofisionomias. Na tabela 01, destaca-se que os valores de brilho relacionados às CP1 de inverno e verão se diferenciam, o que evidencia o comportamento sazonal da vegetação, principalmente da Floresta Estacional Semidecidual, diferenciando de acordo com a estação do ano.

As componentes principais CP2 e CP3 representam a maior variabilidade dos valores de NDVI, ou seja, as mudanças ocorridas nas fitofisionomias. Assim, os valores de brilho da CP3 do verão apresentam-se maiores do que a CP3 do inverno. De acordo com Roseback *et al.*, (2010) durante os meses de primavera ocorrem maiores índices pluviométricos, o que explica os valores de NDVI mais altos nos meses de verão. Nesta estação, como a vegetação encontra-se no auge do vigor, os valores de NDVI são altos. (Tabela 01)

A fitofisionomia que abrange a maior parte da bacia dos Sinos, é a Floresta Estacional Semidecidual que, de acordo com o IBGE (2004), possui de 20% a 50% das espécies caducifólias, ou seja, perdem as folhas no período do inverno. Essa floresta tem como subclasses, de acordo com a altimetria, as florestas de Terras Baixas, Sub-Montana e Montana. Ao gerar as CP's de inverno e verão, procurou-se evidenciar a existência de separabilidade entre as fitofisionomias. Na Tabela 01, destaca-se que a CP3, tanto do inverno como a do verão, foram as que melhor apresentaram discriminação entre as classes dessa fitofisionomia, a partir da diferença de valores de brilho entre as amostras.

A ferramenta TSA gera uma tabela que apresenta as contribuições (autovetores) relativas as 205 datas de imagens para cada uma das três CP's. A partir dessa tabela foram selecionadas as imagens que mais contribuíram para cada CP. A Tabela 02 apresenta os valores médios de NDVI para cada amostra das imagens com maior contribuição para cada CP.

As imagens de NDVI são geradas em uma escala de tons de cinza, numa variação de -1 a 1, onde -1 é o menor valor de NDVI representado pelo preto e 1 o maior valor de NDVI em branco. Para melhor visualização da variação de NDVI na imagem, foi utilizada uma paleta de cores em verde para a opção “NDVI 256” (Figura 04).

Tabela 1. valores médios de NDVI para cada amostra de fitofisionomias das imagens com maior contribuição para cada CP.

Fitofisionomias	Valores médios					
	NDVI – Inverno			Verão		
	12/07/2004 (CP1)	12/07/2011 (CP 2)	14/09/2000 (CP 3)	22/03/2003 (CP 1)	02/02/2005 (CP 2)	19/12/2009 (CP 3)
F. Semidecidual de Terras Baixas	0,8	0,71	0,76	0,85	0,78	0,82
F. Semidecidual Sub-Montana	0,85	0,82	0,83	0,87	0,82	0,86
F. Semidecidual Montana	0,84	0,83	0,81	0,88	0,81	0,87
F. Ombrófila Mista	0,81	0,74	0,71	0,83	0,8	0,8
Estepe	0,73	0,73	0,65	0,8	0,69	0,77

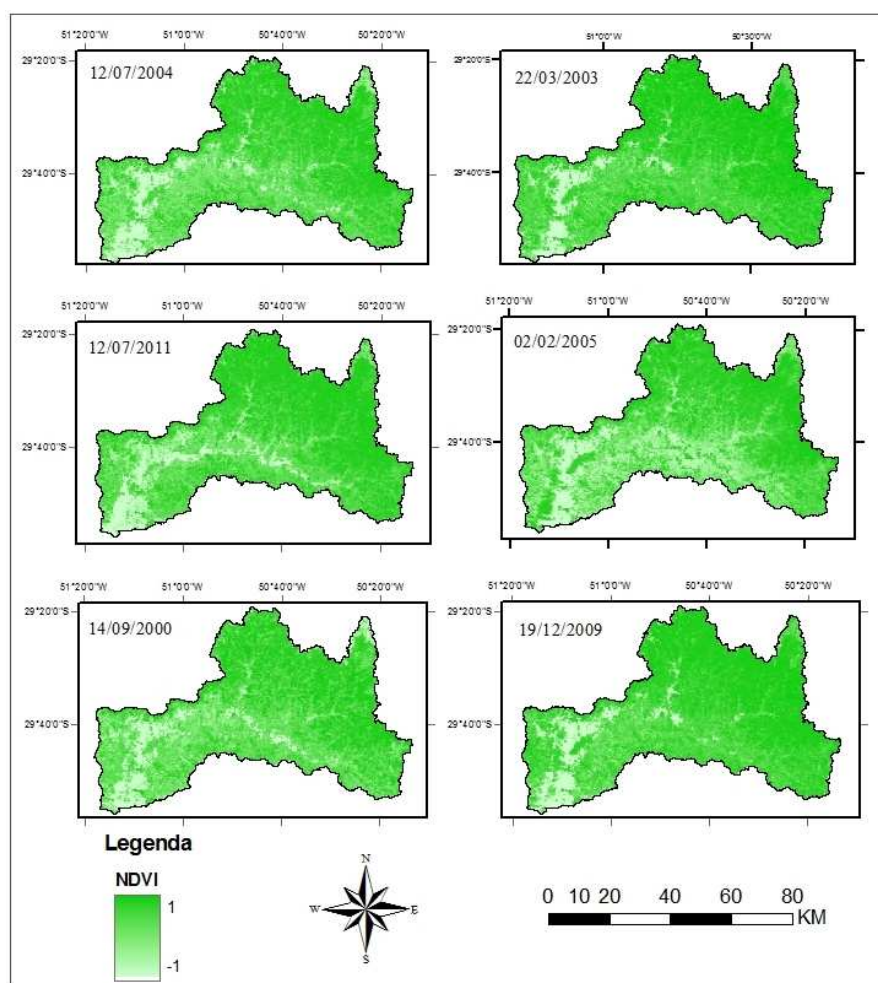


Figura 04: Variação de NDVI na Bacia Hidrográfica dos Sinos, RS.

Ao analisar a Tabela 02, percebe-se que os valores de NDVI das imagens de verão são ligeiramente maiores do que o das imagens de inverno, sendo compatível com o resultado encontrado por Rosembach *et al.*, (2010), onde Floresta Estacional Semidecidual apresentou valores altos de NDVI em todas as estações (entre 0,7 e 0,8), com pequena queda nos meses de julho a setembro (0,55 a 0,7). Mas no geral, destaca-se que os valores de NDVI apresentam-se mais homogêneos, entre às estações do ano e entre as fitofisionomias do que em relação à tabela das CP's.

4. Conclusões

O NDVI é um índice de vegetação indicado para o monitoramento e construção de perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). A utilização desse índice em estudos da vegetação produz resultados ainda mais satisfatórios quando aliados a análise de séries temporais de imagens.

Dessa forma, a ferramenta TSA que gera Componentes Principais, que apresentaram as variações espaço-temporais das 205 datas de imagens NDVI/MODIS de fitofisionomias de Mata Atlântica apresentou-se satisfatória no presente trabalho.

Portanto, conclui-se que a análise de série temporal por CP, quando comparada com as imagens individuais de NDVI, se tornaram mais eficiente na discriminação entre as classes de fitofisionomias, bem como, evidenciaram mais nitidamente o comportamento sazonal das amostras de Mata Atlântica.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, G. M. M.; MUNHOZ, C. B. R. **Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009, INPE, p. 1071-1078. **Anais...** Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1071-1078.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S., SILVA, N. C., COUTO JUNIOR A. F., GOMES, R. A. T., CARVALHO, A. P. F., SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(4): 505-517. 2008.

GINCIENE, B.R.; BITENCOURT, M.D. **Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Brasil: **Mapa de vegetação do Brasil.** Rio de Janeiro, 2004. Escala 1 : 5 000 000.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2009.

ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia.** Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

TOWNSEND, C. R. et al. **Fundamentos em Ecologia.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 576 p.