

## **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do sensor Modis: aplicações para estudos de uso e cobertura da terra na Metade Sul do Rio Grande do Sul**

Ana Caroline Paim Benedetti<sup>1</sup>  
Rudiney Soares Pereira<sup>2</sup>  
Cláudia Maria de Almeida<sup>3</sup>  
Claire Delfini Viana Cardoso<sup>4</sup>  
Elvis Rabuske Hendges<sup>5</sup>  
Diogo Belmonte Lippert<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA  
Av. Antônio Trilha, 1847 – São Gabriel - RS, Brasil  
anabenedetti@unipampa.edu.br

<sup>2,4,6</sup> Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
Av. Roraima, s/n – Camobi, Santa Maria - RS, Brasil  
{rudiney,ccardoso}@smaail.ufsm.br; diogo\_b\_lippert@hotmail.com

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
almeida@dsr.inpe.br

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE  
Rua Maringá, 1200 CEP: 85605-010 – Francisco Beltrão - PR, Brasil  
elvis\_hendges@hotmail.com

**Abstract.** Thematic land cover maps from years 2000, 2004, and 2008 were generated using the product NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) from the MODIS sensor in a way to relate this index to the land cover classes, namely forest, regeneration, grasslands, and bare soil. In this context, this work aims to propose methodological guidelines to analyze the dynamics of these patterns in *Serras do Sudeste* and *Campanha Meridional*, which are micro regions located in the southern part of Rio Grande do Sul State. The methodology comprised the elaboration a spatial database, the processing of Landsat images and MODIS NDVI, the elaboration of Maps of Vegetation Index and the subsequent comparison with results obtained by the digital images classification. The NDVI monitoring during the period allowed to associate it with the considered thematic classes, since it is possible to assess digital number thresholds to discriminate land cover classes. The results demonstrate the processes of forest cover and forest regeneration expansion in two micro regions. Is possible to conclude that reference values of NDVI can be used to distinguish land cover classes in low spatial resolution images (250 m), however this task requires the adoption of independent values with respect to the time series.

**Palavras-chave:** MOD13Q1, NDVI, land use and land cover, uso e cobertura da terra.

### **1 Introdução**

A expansão da silvicultura na Metade Sul do Rio Grande do Sul impacta a situação ambiental de uma grande área do território gaúcho, o Bioma Pampa. Neste enfoque, uma das questões reside em elaborar metodologias capazes de monitorar processos de transição entre o bioma original campo e a cobertura florestal. A análise temporal da vegetação através de imagens de satélite permite explorar mudanças decorridas na área sob análise, em geral pelo registro de informações sob o formato de um mapa. Uma forma usual de se obter mapas temporais que denotam a paisagem constitui-se no emprego da técnica de classificação digital (VENTURIERE e SANTOS, 1998). Esse processo, no entanto, torna-se oneroso e mais susceptível ao erro quando nele forem utilizados produtos orbitais de média e baixa resolução espacial; como exemplo, citam-se os subprodutos do sensor Modis que, em contrapartida à baixa resolução espacial, disponibilizam informações de alta periodicidade em uma escala

global. É crescente o uso desse instrumento para mapear periodicamente atributos do meio ambiente, com notável destaque para o monitoramento da cobertura vegetal. O sensor Modis apresenta características que conferem capacidades superiores de descrição do comportamento espectral da vegetação (Rudorff et al., 2007) e, dentre as técnicas utilizadas para tal avaliação, o estudo dos índices de vegetação (IV) mostra-se como uma das mais eficientes. O maior benefício ao analista de imagens do sensor Modis é a disponibilidade do IV registrado diretamente em uma imagem digital, a qual possibilita a inferência sobre as condições da vegetação. O produto MOD13, do sensor MODIS, contém os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) produzidos em escala global nas resoluções 1km, 500m e 250m, em composições de imagens ou mosaicos de 16 dias. Os índices produzidos pelo MOD13 permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal, descrevendo e reconstituindo dados de variações fenológicas e discriminando variações interanuais na vegetação nas escalas global e regional (RUDORFF et al., 2007).

O objetivo deste trabalho reside na utilização do produto MOD13 do sensor Modis para produzir mapas temporais que descrevam o comportamento espectral da vegetação a partir do NDVI e, com base nos limiares de referência desse IV, discriminar as tipologias: *floresta*, *regeneração*, *campo* e *solo sem vegetação* em microrregiões da Metade Sul do Rio Grande do Sul nos anos 2000, 2004 e 2008.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é composta pelas microrregiões Serras do Sudeste e Campanha Meridional, que integram parte do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul. Este bioma ocupa uma área de aproximadamente 700.000 km<sup>2</sup>, compartilhada pelo Brasil, Argentina e Uruguai. No território brasileiro, distribui-se na Metade Sul do estado, em cerca de 176.000 km<sup>2</sup>, o equivalente a 64% do território gaúcho.



Os limites microrregionais são definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009). A Figura 1 demonstra a localização das microrregiões no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 1. Localização das microrregiões de estudo no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

### 2.2 Elaboração do Banco de Dados Espaciais

Foram utilizadas imagens MODIS, produto MOD13Q1, quadrante h13v12, resolução espacial 250 metros, datadas de: 15/08/2000, 15/09/2000, 15/10/2000 e 15/11/2000; 15/08/2004, 15/09/2004, 15/10/2004 e 15/11/2004; 15/08/2008, 15/09/2008, 15/10/2008 e 15/11/2008. Seu processamento foi no SPRING versão 5.1.6, aplicativo no qual se criou um banco de dados espaciais e um projeto com o objetivo de definir a projeção cartográfica a ser utilizada (Policônica e Datum WGS 84 - *World Geodetic System 1984*).

### 2.3 Processamento de Imagens Landsat 5

As imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, resolução espacial de 30 m, dos anos 2000, 2004 e 2008, foram utilizadas como base para a tomada de amostras respectivas às classes temáticas analisadas. Compreenderam cinco diferentes cenas que recobrem as áreas de estudo, órbita – ponto 222-081, 222-082, 223-081, 223-082 e 224-081. As imagens em formato

\*.GeoTiff, foram convertidas e retificadas através da seleção de pontos de controle, para adequação entre os planos de informação, e sua posterior sobreposição às imagens Modis e aos limites vetoriais. Posteriormente, foram elaboradas composições falsa-cor RGB 432 e 543, às quais aplicou-se a técnica de contraste linear, utilizada como etapa de pré-processamento para interpretação e classificação de imagens digitais.

#### 2.4 Processamento de Imagens Modis

Dentre as cenas disponibilizadas pela NASA, foram escolhidas as bandas espectrais *Blue*, *Red*, *NIR*, *MIR* e *NDVI*. As áreas de interesse estão contidas em uma única cena Modis, de coordenadas centrais de 54° de longitude oeste e 35° de latitude sul, e para efetuar o *download* foi necessária escolha do quadrante h13v12 e das datas de interesse, conforme a resolução temporal definida (intervalo de 4 anos). As imagens Modis são disponibilizadas no formato original \*.hdf (*Hierarchical Data Format*), e para sua importação no SPRING, foi necessária a conversão para o formato \*.GeoTiff, procedimento este realizado através do MRT - *Modis Reprojection Tool*, versão 4.0. As cenas NDVI foram transformadas do formato matricial (*raster*) para o formato numérico MNT (Modelo Numérico do Terreno), contemplando valores de 0 a 255. As demais imagens foram usadas para a elaboração das composições falsa-cor NIR, MIR e Blue (NMB) e MIR, NIR e Blue (MNB). A primeira foi usada para discriminar tipologias de cobertura vegetal, enquanto a última composição, para melhor discriminar padrões de vegetação, solo e água.

#### 2.5 Estratégia Amostral para Obtenção dos Mapas de Vegetação

Esta etapa foi realizada para estabelecer uma correspondência entre o NDVI e as classes temáticas da paisagem nas microrregiões. Os valores médios do IV foram adquiridos com base em amostras relativas às classes avaliadas. Para isso, foi espacializada, sob as áreas de estudo, uma malha amostral de dimensão 3x3 *pixels*. Para cada tema, foram analisados os valores de 100 unidades poligonais. Essas amostras foram identificadas com base nas composições falsa-cor das imagens TM, R5G4B3 e R4G3B2 para as respectivas datas, de modo a selecionar as áreas de forma homogênea (Figura 2). As imagens TM serviram então como base para a definição das classes: **Floresta** (formações vegetais de porte arbóreo), **Regeneração** (formação vegetal sucessora, chamada popularmente de “capoeirão” e áreas de implantação florestal), **Campo** (paisagem predominante nas microrregiões e usado em toda a região para pecuária extensiva), e **Solo sem Vegetação** (áreas de agricultura em pousio, solo exposto e lâmina de água). Para cada classe, foi então gerada uma malha de amostragem poligonal, posteriormente sobreposta às grades numéricas NDVI, referentes ao período de análise (agosto a novembro) de cada ano. A extração dos valores médios para a unidade amostral foi realizada através da função “estatística da imagem por polígonos” do SPRING. Com base nos valores do NDVI, calculou-se a média aritmética simples entre as leituras de cada imagem mensal, para que então as mesmas fossem tomadas como referência para cada ano de avaliação (2000, 2004 e 2008).

Para avaliar a heterogeneidade dos valores médios de NDVI entre as classes de uma mesma data, aplicou-se o Teste *Tukey* HSD. As análises foram desenvolvidas no aplicativo “R” (REIS e RIBEIRO JÚNIOR, 2007). A partir das análises estatísticas das amostras de cada classe, estabeleceram-se os valores médios que indicaram os limiares para a operação de “fatiamento” das grades numéricas dos IV para toda a série temporal; os limiares foram definidos pelos valores máximos e mínimos obtidos na classe.

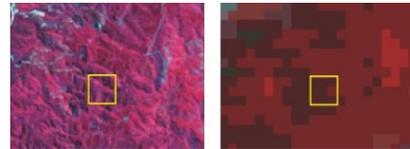
#### 2.6 Mapeamento Temático através de Classificação Digital

Mapas temáticos da paisagem das microrregiões foram gerados a partir da classificação digital no intuito de compará-los com os Mapas Índice de Vegetação, oriundos das imagens

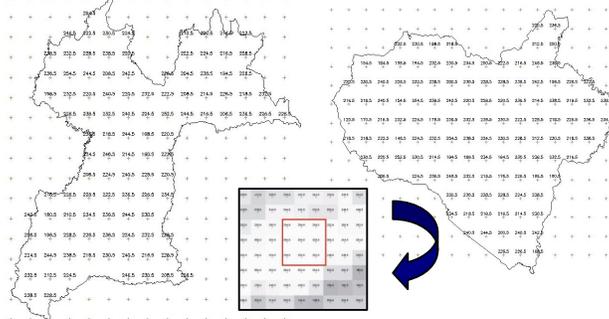
Modis datadas de 15/10/2000, 15/10/2004 e 15/10/2008. Essa etapa foi realizada de modo “supervisionado” e através do algoritmo classificador da máxima verossimilhança (*MaxVer*), que adota a função de densidade probabilística (VENTURIERE E SANTOS, 1998). A qualidade da classificação digital pode ser avaliada através do índice *Kappa* (LANDIS e KOCH, 1977).



a) Composição colorida R(5) G(4) B(3) do satélite Landsat TM e R(MIR) G(NIR) B(Blue) do Modis.



(b) Composição colorida R(4) G(3) B(2) do satélite Landsat TM e R(NIR) G(MIR) B(Blue) do Modis.



(c) Grade numérica do NDVI, produto MOD13Q1 nas microrregiões Serras do Sudeste e Campanha Meridional.

Figura 2. Unidade amostral espacializada sobre as imagens Landsat e Modis e sua posterior sobreposição às imagens-grade (MDT) para leitura do valor médio do NDVI.

### 3 Resultados

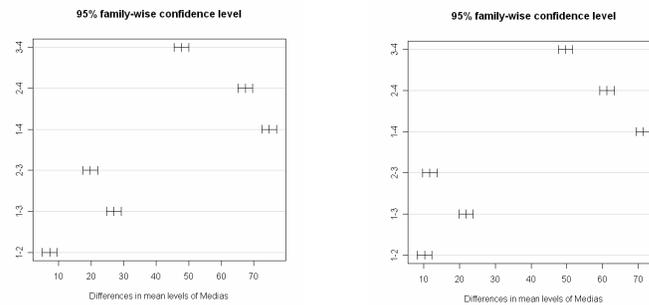
#### 3.1 Análise Amostral

Para a definição dos valores de referência anual, foi adotada a média aritmética obtida entre as imagens da série temporal. Os parâmetros de avaliação sobre o comportamento dos valores de NDVI encontram-se na Tabela 1.

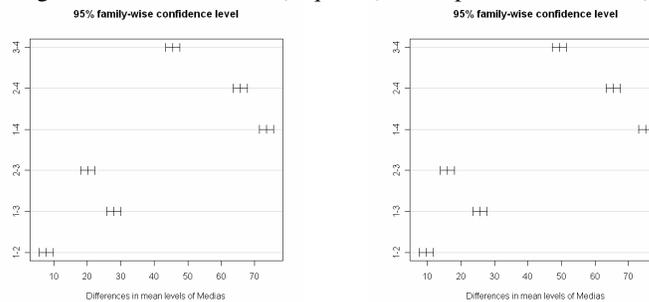
Tabela 1. Parâmetros calculados para o conjunto amostral dos valores do NDVI nas microrregiões Serras do Sudeste (SS) e Campanha Meridional (CM).

Parâmetros	Produto MOD13Q1: NDVI do ano 2000								
	Floresta		Regeneração		Campo		Solo sem Vegetação		
	SS	CM	SS	CM	SS	CM	SS	CM	
Média	250,015	247,444	242,770	237,350	223,075	225,700	175,635	175,99	
Variância	11,759	17,735	1,219	2,361	13,618	8,787	103,348	88,230	
Desvio Padrão	3,429	4,211	1,104	1,536	3,690	2,964	10,166	9,393	
CV%	4,704	7,167	0,502	0,981	6,107	3,893	58,842	50,133	
Parâmetros	Produto MOD13Q1: NDVI do ano 2004								
	Média	250,803	248,09	243,010	238,36	222,900	222,38	177,360	173,03
	Variância	8,177	15,748	1,550	4,042	12,500	16,381	109,172	96,908
	Desvio Padrão	2,859	3,968	1,245	2,010	3,535	4,047	10,497	9,844
	CV%	3,280	6,347	0,628	1,696	5,621	7,366	61,864	56,006
Parâmetros	Produto MOD13Q1: NDVI do ano 2008								
	Média	250,355	250,515	242,21	242,85	222,04	223,27	174,19	171,72
	Variância	8,981	6,168	1,882	2,523	15,392	15,894	86,825	73,888
	Desvio Padrão	2,997	2,483	1,372	1,588	3,923	3,986	9,318	8,595
	CV%	3,587	2,462	0,777	1,038	6,932	7,119	49,845	43,028

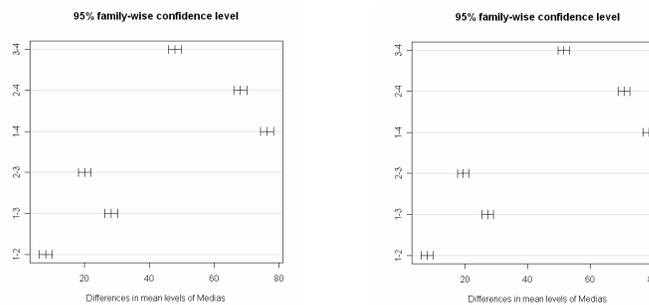
A definição dos IV indicativos de cada classe requer a comprovação da heterogeneidade entre as amostras e, para tal, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) sobre os respectivos valores do NDVI para as unidades amostrais. As análises consideram o NDVI médio observado para os anos 2000, 2004 e 2008, respectivamente. Os resultados da ANOVA aplicada aos valores médios do NDVI em 2000, 2004 e 2008 na microrregião Serras do Sudeste indicaram um  $F_{value} 2977,9 > F_{Pr} 2,2e-16$ ;  $F_{value} 3278,3 > F_{Pr} 2,2e-16$ ; e  $F_{value} 3940,3 > F_{Pr} 2,2e-16$  para  $gl=396$ , respectivamente. Para a microrregião Campanha Meridional, os resultados obtidos foram de  $F_{value} 3290,5 > F_{Pr} 2,2e-16$ ;  $F_{value} 3338,9 > F_{Pr} 2,2e-16$  e  $F_{value} 4891,8 > F_{Pr} 2,2e-16$  para  $gl=396$  em nível  $\alpha 0,001\%$  de significância. O teste de *Tukey HSD* foi aplicado posteriormente para verificar entre quais classes ocorrem as diferenças significativas detectadas na ANOVA. Na Figura 3, é possível comprovar, devido ao limite inferior positivo demonstrado no gráfico, que entre todas as classes ocorrem diferenças significativas em nível  $\alpha \leq 5\%$ . Os maiores valores, quanto ao limite inferior e superior, indicam maior distinção entre as classes em nível  $\alpha \leq 5\%$ . Para a interpretação dos resultados, deve-se considerar (1) floresta, (2) regeneração, (3) campo e (4) solo sem vegetação. Os resultados indicam que, para as duas microrregiões, as observações encontradas são distintas em relação ao comportamento espectral de cada classe, sendo, portanto, passível seu uso como indicadores da respectiva classe em toda a imagem.



(a) Ano 2000, microrregiões Serras do Sudeste (esquerda) e Campanha Meridional (direita).



(b) Ano 2004, microrregiões Serras do Sudeste (esquerda) e Campanha Meridional (direita).



(c) Ano 2008, microrregiões Serras do Sudeste (esquerda) e Campanha Meridional (direita).

Figura 3. Plotagem da comparação pareada entre as classes, obtida pelo teste *Tukey HSD*, para as microrregiões Serras do Sudeste e Campanha Meridional.

### 3.2 Mapeamento através da Classificação Digital de Imagens

Para a classificação digital, optou-se pelo uso da imagem de 15 de outubro como representativa do período anual considerado (agosto a novembro). Os resultados obtidos possibilitaram a quantificação das classes, sendo a confiabilidade de tais informações avaliada pelo índice *Kappa*, calculado a partir dos dados de referência da matriz de erros gerada no processo de classificação digital. Para todas as avaliações, foram obtidos resultados considerados excelentes (CONGALTON e GREEN, 1999). Os coeficientes determinados para as Serras do Sudeste nos anos 2000, 2004 e 2008 constituem 0,967; 0,974 e 0,958. A análise de exatidão dos resultados da classificação digital para a Campanha Meridional nos anos 2000, 2004 e 2008 foram 0,994; 0,954 e 0,987.

### 3.3 Mapas Índice de Vegetação

Os Mapas Índice de Vegetação, visualizados na Figura 4, foram gerados pelo processo de “fatiamento” das grades numéricas do tipo MDT correspondentes às respectivas imagens NDVI. Os limiares usados para essa operação foram calculados em função dos limites mínimos e máximos observados para o conjunto amostral representativo de cada classe nos períodos analisados (Tabela 2). O coeficiente calculado para este IV, no entanto, deve variar em uma escala compreendida entre -1 e +1, sendo que para a adequação do resultado final quanto a esse índice, foi necessário normalizar as leituras obtidas na imagem (de valores aleatórios entre 0 e 255 níveis de cinza).

A relação de equivalência, calculada através de uma planilha eletrônica, define que o valor de reflectância 0 equivale a um NDVI igual a -1, e o valor de reflectância 255 equivale a um NDVI igual a +1, sendo os demais valores distribuídos linearmente nesse intervalo.

Tabela 2. Limiares calculados para o fatiamento das imagens MOD13Q1 produto NDVI, microrregião Serras do Sudeste (SS) e microrregião Campanha Meridional (CM) em 2000, 2004 e 2008.

Limiares	Classes Temáticas							
	Florestas		Regeneração		Campo		Solo	
	SS	CM	SS	CM	SS	CM	SS	CM
<b>NDVI 2000</b>	255 a 245	255 a 240	244 a 241	239 a 235	229 a 216	231 a 221	190 a 160	189 a 163
<i>Normalizado</i>	<b>1,0 a 0,91</b>	<b>1,0 a 0,87</b>	<b>0,90 a 0,88</b>	<b>0,86 a 0,83</b>	<b>0,79 a 0,69</b>	<b>0,80 a 0,73</b>	<b>0,48 a 0,25</b>	<b>0,48 a 0,27</b>
<b>NDVI 2004</b>	255 a 246	255 a 241	245 a 241	241 a 235	229 a 217	229 a 216	191 a 160	187 a 160
<i>Normalizado</i>	<b>1,0 a 0,92</b>	<b>1,0 a 0,89</b>	<b>0,91 a 0,88</b>	<b>0,88 a 0,83</b>	<b>0,79 a 0,69</b>	<b>0,79 a 0,69</b>	<b>0,49 a 0,25</b>	<b>0,46 a 0,25</b>
<b>NDVI 2008</b>	255 a 245	255 a 245	244 a 240	244 a 240	229 a 216	230 a 216	188 a 159	185 a 159
<i>Normalizado</i>	<b>1,0 a 0,91</b>	<b>1,0 a 0,91</b>	<b>0,90 a 0,87</b>	<b>0,90 a 0,87</b>	<b>0,79 a 0,69</b>	<b>0,79 a 0,69</b>	<b>0,47 a 0,24</b>	<b>0,44 a 0,24</b>

Os IV definidos para as classes são distintos e podem ser usados para caracterizar diferentes tipologias de vegetação. Trabalhos de Anderson e Shimabukuro (2007) relatam um NDVI de 0,86 para áreas florestais. Os valores encontrados neste trabalho são elevados e denotam a atividade fotossintética da vegetação. Ressalta-se que os limiares de fatiamento são definidos pelo valor médio resultante da observação das imagens referentes a um período anual e que não expressam uma única resposta espectral da célula referente à imagem de uma única data. É possível comprovar que o comportamento de uma mesma classe é semelhante em todas as datas, e que o fatiamento das grades deu-se praticamente pelos mesmos limiares ao longo do tempo. Uma consideração pertinente é a sensível diferença entre os limiares de fatiamento dos temas floresta e regeneração. Embora distintos estatisticamente, esses intervalos se sobrepuseram em dado momento na Campanha Meridional (0,87 para floresta em 2000 e para regeneração em 2004), o que justifica a escolha de limiares independentes para cada ano, não sendo possível a adoção de um NDVI genérico para uma dada classe. Com base nesse procedimento, foram elaborados os mapas temáticos para as áreas de estudo. Os

resultados quantificados são apresentados nas Tabelas 3 e 4, as quais comparam, por meio da diferença em hectares, tais valores com os resultados obtidos por meio da classificação digital.

Tabela 3. Área total (ha) das classes de vegetação na microrregião Serras do Sudeste.

Classe	Área 2000	Diferença	Área 2004	Diferença	Área 2008	Diferença
<i>Solo s/ Veget.</i>	276.643,75	-450	256.781,25	675	249.631,25	600
<i>Campo</i>	1.180.112,5	-925	1.083.706,3	500	991.193,75	-825
<i>Regeneração</i>	53.193,75	725	120.625,0	-325	174.593,75	-550
<i>Floresta</i>	142.331,25	650	191.168,75	-850	236.862,5	775
<b>Total</b>	<b>1.652.281,25</b>		<b>1.652.281,25</b>		<b>1.652.281,25</b>	

Tabela 4. Área total (ha) das classes de vegetação na microrregião Campanha Meridional.

Classe	Área 2000	Diferença	Área 2004	Diferença	Área 2008	Diferença
<i>Solo s/ Veget.</i>	550.875,0	775	377.150,0	475	349.237,5	-550
<i>Campo</i>	586.075,0	-825	724.906,25	-625	708.250,0	725
<i>Regeneração</i>	130.618,75	-675	164.150,0	-650	203.962,5	475
<i>Floresta</i>	158.537,5	725	159.900,0	800	164.656,25	-650
<b>Total</b>	<b>1.426.106,25</b>		<b>1.426.106,25</b>		<b>1.426.106,25</b>	

A quantificação das áreas, calculadas pelo processo de “fatiamento”, apresenta valores muito próximos àqueles calculados por meio da classificação digital, se for considerada a dimensão das áreas de estudo e a baixa resolução espacial do *pixel*, que representa 6,25 hectares de área no terreno. Os resultados demonstram processos de expansão na cobertura florestal bem como nas áreas de regeneração das Serras do Sudeste e Campanha Meridional. Na primeira microrregião, observa-se um acréscimo mais expressivo na regeneração e na floresta, provavelmente, devido à maior influência das atividades agropecuárias na microrregião da Campanha. A quantificação das classes permite inferir sobre a redução das áreas de solo sem vegetação e campo ao longo do período.

#### 4. Conclusão

A metodologia empregada possibilitou utilizar o produto MOD13Q1 para obter mapas de vegetação referentes às microrregiões de estudo. Desse modo, o monitoramento do NDVI, na série temporal, permitiu efetuar a respectiva associação às classes de cobertura da terra.

Embora os limiares indicativos das classes de vegetação tenham sido variáveis ao longo do tempo, se comparados sob uma mesma data de análise, apresentaram valores estatisticamente distintos. Dessa forma, é possível afirmar que valores de referência quanto ao NDVI podem ser usados para distinguir temas de cobertura da terra em imagens de baixa resolução espacial (250 m), no entanto, é necessária a adoção de valores distintos e independentes com relação à base temporal.

#### Referências Bibliográficas

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J.C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423 p.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 136 p.

LANDIS, J.R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. New York, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.

MATSUMOTO, M. H.; BITTENCOURT, M. D. Correlação entre algumas fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba e classes de índices de vegetação obtidos espectralmente. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais....** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p 1665 - 1672.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2005. 307p.

REIS, G. M.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Ferramentas estatísticas básicas da qualidade - guia prático do R**. 2007. Disponível em: <http://www.estatisticador.xpg.com.br>. Acesso em: 15 jan. 2010.

ROUSE, J. W.; HARRS, R. W.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of natural vegetation. NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J.C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423 p.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de vegetação do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no Cerrado**: investigação de parâmetros e estratégias. 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.



Figura 4a. Mapas Índice de Vegetação das Serras do Sudeste em 2000, 2004 e 2008.

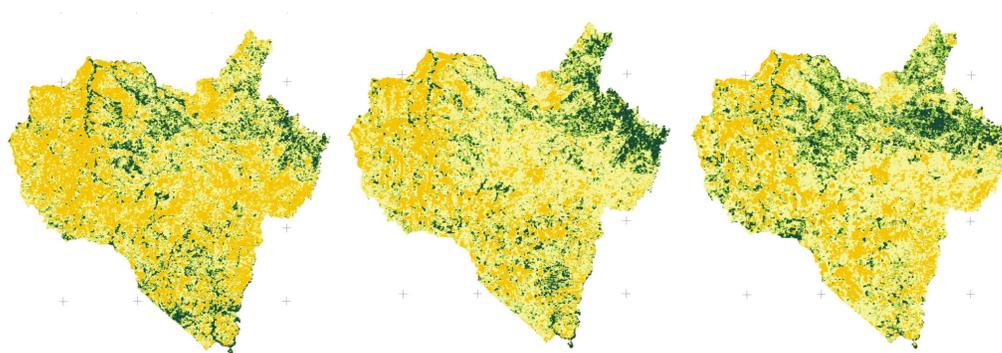


Figura 4b. Mapas Índice de Vegetação da Campanha Meridional em 2000, 2004 e 2008.