

## **Tabulação cruzada entre índice de vegetação mensal e as variáveis climáticas precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul**

Luis Fernando Flenik Costa<sup>1</sup>

Tatiana Mora Kuplich<sup>1</sup>

Cassiane Ubessi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS, Campus da Universidade Federal de Santa Maria, 97105-970 – Santa Maria-RS, Brasil. luis.flenik@inpe.br; tatiana.kuplich@inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Av. Roraima nº1000 Cidade Universitária, 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. cassi.ubessi@yahoo.com.br

**Abstract.** Vegetation indexes are products obtained from remotely sensed images. Currently the vegetation indices EVI (Enhanced Vegetation Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), both products of the MODIS (Moderate Resolution Spectroradiometer) are much used in time series analyses. The study of the relationship between index of vegetation and climatic variables, such as temperature and precipitation can help to understand the dynamics between these factors and their answers. The aim of this study is to verify the relationship between precipitation, temperature and monthly vegetation index EVI data through cross-tabulation. The study was carried out with EVI MODIS sensor data between January 2000 and December 2013. Precipitation and temperature data were obtained through the website of the Worldclim. The grids of precipitation, temperature, and EVI data were imported into the software SPRING and classified. The monthly averaged EVI values, ranked by classification, were related to monthly precipitation and temperature through cross-tabulation. Most of the precipitation and temperature values were best related to EVI classes 0.3 and 0.5. Precipitation and temperature contributed to the changes in EVI/MODIS values throughout the year in the State of Rio Grande do Sul.

**Palavras-Chave:** vegetation index, hidric availability, time series, images; índice de vegetação, disponibilidade hídrica, série temporal, imagens.

## 1. Introdução

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007) e é cada vez mais utilizado para medir e monitorar importantes características ambientais, assim como atividades humanas (BLASCHKE e KUX, 2007). Os dados derivados de produtos de sensoriamento remoto podem ser transformados em mapas pluviométricos, agrícolas e de fenologia, entre outros. Os índices de vegetação são derivados de bandas de imagens de sensoriamento remoto e tem sido utilizados em análises temporais para detecção e monitoramento dos efeitos do tempo e clima na vegetação, buscando indicadores de mudanças climáticas (XU et al., 2014).

A partir de índices de vegetação podemos observar o comportamento da flora em relação aos diversos fatores climáticos. O índice de vegetação é composto por medidas radiométricas adimensionais (FLORENZANO, 2011) e indicam a atividade da vegetação verde, relacionando-se com o índice de área foliar (IAF), a porcentagem de cobertura verde, o teor de clorofila, a biomassa verde e a radiação fotossinteticamente ativa.

Entre os índices de vegetação mais usados atualmente encontram-se o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ambos podem ser obtidos a partir de produtos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Spectroradiometer*). O NDVI é uma relação das bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V). É muito utilizado em diversos estudos sobre a vegetação por sua fácil composição e, por ter uma boa relação com a clorofila e outros pigmentos de vegetação, responsáveis pela absorção da radiação solar na faixa do vermelho. O EVI é um índice de vegetação melhorado que aperfeiçoa o sinal de resposta da vegetação reduzindo a interferência atmosférica. Também minimiza a saturação do sinal na faixa do infravermelho e apresenta maior relação com a estrutura do dossel das plantas, (RUDORFF et al., 2007).

Ao estudar a relação dos índices de vegetação com as variáveis climáticas, como a temperatura e a precipitação, fica evidente a dinâmica entre esses fatores dando um escopo diferente à vegetação, pois, a produção de biomassa vegetal é determinada entre outros fatores pela disponibilidade hídrica é influenciada pela temperatura do ambiente. Esses dois fatores influenciam diretamente no crescimento do vegetal, intervindo no gasto energético através da abertura estomática e processo fotossintético (PONZONI, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Com base no que foi supracitado, este trabalho tem como objetivo buscar as relações entre dados de EVI, temperatura e precipitação para o estado do Rio Grande do Sul em serie de 12 anos de dados. Especificamente, mapas de precipitação e temperatura médias do WorldClim foram comparados com o índice de vegetação EVI, derivado de dados MODIS, para o estado do Rio Grande do Sul através de tabulação cruzada.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área utilizada para o estudo apresenta as seguintes coordenadas sul 34° 00' 0.00"/ oeste 58° 30' 0.00" e sul 26° 55' 0.00"/ oeste 48° 00' 0.00" referente ao estado do Rio Grande do Sul. O primeiro passo foi a obtenção das imagens do sensor MODIS – Satélite TERRA, mais especificamente o produto MOD13A3, com resolução espacial de 1 km. Os dados foram obtidos para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013, totalizando 623 cenas para cobrir o Rio Grande do Sul. O segundo passo foi baixar as grades de precipitação acumulada e temperatura média do site Worldclim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)), apresentados a partir da interpolação de uma série histórica de 50 anos (dados de 1950 a 2000) para o mundo inteiro. A grade apresenta também apresenta resolução espacial de 1 km (30 arco segundos) para o Rio Grande do Sul (HIJMANS, et al. 2005).

Após o download dos produtos foi efetuado o mosaico e extraído o índice de vegetação – EVI dos produtos MODIS com a ferramenta Mrtools (*MODIS Reprojection Tools*) para todas as datas. Com o software ENVI 4.7, através da ferramenta de matemática de bandas, se obteve a média aritmética para cada mês, composta por 14 imagens entre os anos de 2000 a 2013 gerando 12 médias para os dados de EVI, correspondente aos doze meses do ano. As imagens médias apresentavam um número digital (ND) variando entre 3.000 a 10.000, mas para facilitar o processo de classificação o ND foi dividido por 10.000 e as classes passaram a variar entre -0.3 e 1, respectivamente.

A partir dos dados coletados foi criado um banco de dados no programa SPRING 5.2.6 (Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas) com as coordenadas anteriormente citadas. No programa foram importadas as médias de EVI e as grades do WorldClim e através da ferramenta de fatiamento classificou-se os índices de vegetação EVI e as grades de precipitação e temperatura de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Intervalos das classes do índice de vegetação - EVI, Precipitação e Temperatura utilizados na classificação do RS.

EVI (ND)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
0 a 0,1	0 a 40	0 a 10
0,1 a 0,2	40 a 70	10 a 12,5
0,2 a 0,3	70 a 100	12,5 a 15
0,3 a 0,4	100 a 120	15 a 17,5
0,4 a 0,5	120 a 140	17,5 a 20
0,5 a 0,6	140 a 160	20 a 22,5
0,6 a 0,7	160 a 180	22,5 a 25
0,7 a 0,8	180 a 200	25 a 27,5
0,8 a 0,9	200 a 220	27,5 a 30
0,9 a 1	220 a 300	---

EVI: *Enhanced Vegetation Index*; ND: número digital; mm: milímetros; °C: graus Celsius.

Os valores negativos das imagens de EVI não foram considerados, pois não representam valores de vegetação. Após a classificação, foram cruzados os mapas de precipitação e temperatura com os mapas de EVI para cada mês do ano, através da ferramenta de tabulação cruzada sendo obtido a quantidade de pixels dentro de cada classe de EVI. Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e teste de médias por Scott e Knott (1974), utilizando o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2000; FERREIRA, 2011). A análise de variância permite que vários grupos sejam comparados ao mesmo tempo e o teste de médias permite a comparação das variáveis respostas de cada grupo quanto a sua similaridade ou dissimilaridade. O método de separação de médias por Scott-Knott (Scott & Knott, 1974) possui a vantagem sobre outros os métodos de separar as médias em grupos discretos, sem sobreposição entre os grupos (CANTERI et al., 2001).

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam os percentuais de concordância das classes formadas. Devido à grande quantidade de dados apenas serão mostradas essas duas tabelas, com os maiores valores para cada classe. Na Tabela 2 se observou que as classes de precipitação ficaram entre 100 a 160 milímetros (mm), enquanto que as classes de EVI variaram entre 0,3 a 0,6. O percentual das classes mais significativas variou entre 12,43% a 32,88%. O maior percentual foi encontrado no mês de Fevereiro com precipitação entre 120 a 140 milímetros (mm) e na classe de EVI entre 0,4 a 0,5.

Tabela 2. Percentual de classes resultante da tabulação cruzada entre EVI e Precipitação.

Mês	Classe Precipitação (mm)	Classe EVI (ND)	%
Janeiro	140 a 160	0,5 a 0,6	17,17
Fevereiro	120 a 140	0,4 a 0,5	32,88
Março	120 a 140	0,4 a 0,5	23,66
Abril	100 a 120	0,4 a 0,5	15,40
Maió	100 a 120	0,3 a 0,4	19,05
Junho	120 a 140	0,3 a 0,4	22,29
Julho	120 a 140	0,3 a 0,4	30,11
Agosto	120 a 140	0,3 a 0,4	25,33
Setembro	120 a 140	0,3 a 0,4	21,55
Outubro	100 a 120	0,4 a 0,5	12,43
Novembro	100 a 120	0,4 a 0,5	13,62
Dezembro	140 a 160	0,4 a 0,5	13,97

EVI: *Enhanced Vegetation Index*; ND: número digital; mm: milímetros.

Na Tabela 3 estão apresentados os dados referentes à tabulação cruzada entre temperatura e EVI. A os dados de temperatura variaram entre 12,5°C e 25°C. Os valores das classes de EVI variaram entre 0,3 e 0,5 e o percentual das classes mais significativas entre 23,76% e 57,87%. O maior percentual foi encontrado no mês de Junho entre as temperaturas de 12,5 a 15 °C e na classe de EVI entre 0,3 a 0,4.

Tabela 3. Percentual de classes resultante da tabulação cruzada entre EVI e Temperatura

Mês	Classe Temperatura (°C)	Classe EVI (ND)	%
Janeiro	22,5 a 25	0,4 a 0,5	36,09
Fevereiro	20 a 22,5	0,4 a 0,5	24,60
Março	20 a 22,5	0,4 a 0,5	41,05
Abril	17,5 a 20	0,3 a 0,4	35,49
Maió	15 a 17,5	0,3 a 0,4	31,08
Junho	12,5 a 15	0,3 a 0,4	57,87

Continuação...

Julho	12,5 a 15	0,3 a 0,4	46,43
Agosto	12,5 a 15	0,3 a 0,4	30,08
Setembro	15 a 17,5	0,3 a 0,4	40,53
Outubro	17,5 a 20	0,3 a 0,4	30,37
Novembro	20 a 22,5	0,4 a 0,5	23,76
Dezembro	20 a 22,5	0,4 a 0,5	24,22

EVI: *Enhanced Vegetation Index*; ND: número digital; °C: graus Celsius.

A maior porcentagem de concordância entre classes de temperatura e EVI corrobora outros estudos (DENG et al., 2007) que apontam o maior controle exercido pela temperatura em relação a precipitação no desenvolvimento e fenologia da vegetação,

Nas Tabelas 4 e 5 está apresentado a quebra da interação entre EVI e precipitação e EVI e temperatura, respectivamente. Ambas, também apresentam a média dos pixels encontrados em cada classe das variáveis estudadas. O estudo das interações entre os fatores exige a comparação dos níveis de um fator dentro dos níveis do outro fator, assim, procede-se o teste de comparação de médias entre os fatores analisados, para evidenciar a relação entre eles, ou seja, em qual classe há maior/menos interação.

Com a realização da análise de variância (dados não apresentados) para precipitação e EVI foi observado que a precipitação mostra efeito significativo em promover alterações no EVI nos doze meses do ano, ou seja, há correlação entre precipitação e EVI. O baixo coeficiente de variação (CV) no período analisado demonstrou a estabilidade dos dados. Na Tabela 4 é observado que o maior número médio de pixels é encontrado nas classes de EVI entre 0,3 a 0,5 e na classe de precipitação entre 120 a 140 mm. A mediada em que há um aumento no volume precipitado ocorre também, um aumento no número médio de pixels na classe de EVI ressaltada.

Tabela 4. Teste de comparação de médias dos pixels amostrados para as classes de precipitação e EVI.

EVI	Precipitação (mm)				
	0_40	40_70	70_100	100_120	120_140
0_0,1	0,00 Aa*	29,42 Aa	630,08 Ab	871,00 Ab	597,17 Ad
0,1_0,2	0,00 Aa	95,33 Aa	956,25 Ab	1659,33 Ab	1431,25 Ad
0,2_0,3	0,00 Ba	716,83 Ba	6378,75 Aa	10709,50 Ab	13087,17 Ac
0,3_0,4	0,17 Da	1130,58 Da	14527,33 Ca	34928,08 Ba	53669,67 Aa
0,4_0,5	0,08 Ea	359,25 Ea	11582,08 Da	33945,50 Ba	43843,58 Ab
0,5_0,6	0,00 Ba	0,67 Ba	272,67 Bb	4314,08 Bb	15702,83 Ac
0,6_0,7	0,00 Aa	0,00 Aa	0,67 Ab	2152,08 Ab	10065,58 Ac
0,7_0,8	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ab	2128,50 Ab	9872,17 Ac
0,8_0,9	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ad
0,9_1	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ad

\* Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade de erro. EVI: *Enhanced Vegetation Index*; mm: milímetros.

Continuação...

Tabela 4. Teste de comparação de médias dos pixels amostrados para as classes de precipitação e EVI.

EVI	Precipitação (mm)				
	140_160	160_180	180_200	200_220	220(+)
0_0,1	169,00 Ad*	16,08 Ab	14,25 Aa	0,33 Aa	0,00 Aa
0,1_0,2	577,83 Ad	59,83 Ab	38,33 Aa	1,58 Aa	0,00 Aa
0,2_0,3	8601,00 Ac	2861,75 Bb	781,58 Ba	37,83 Ba	0,00 Ba
0,3_0,4	37496,92 Ba	13196,75 Ca	5463,58 Da	294,00 Da	0,00 Da
0,4_0,5	23653,75 Cb	6852,92 Da	1957,58 Ea	147,08 Ea	0,00 Ea
0,5_0,6	10860,58 Ac	2711,50 Bb	273,42 Ba	0,08 Ba	0,00 Ba
0,6_0,7	3301,42 Ad	949,17 Ab	135,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
0,7_0,8	2154,92 Ad	798,92 Ab	103,92 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
0,8_0,9	0,00 Ad	0,00 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
0,9_1	0,00 Ad	0,00 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa

\* Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade de erro. EVI: *Enhanced Vegetation Index*; mm: milímetros.

Para a variável temperatura também foi realizado análise de variância (dados não apresentados), na qual se observou interação significativa entre temperatura e EVI, ou seja, a temperatura promove alterações no EVI ao longo do ano. Para esta análise também foram observados baixos coeficientes de variação (CV).

Na Tabela 5 está apresentada a quebra da interação entre temperatura e EVI através do teste de média. Assim como na precipitação, na temperatura também é observado o maior número médio de pixels nas classes de EVI entre 0,3 a 0,5, combinando com as classes de temperatura entre 12,5 °C a 17,5 °C para a primeira classe de EVI citada e, entre 20 °C a 22,5 °C para a segunda classe citada. Nas demais classes de EVI não houve diferença significativa entre o número de pixels.

Tabela 5. Teste de comparação de médias dos pixels amostrados para as classes de temperatura e EVI.

EVI	Temperatura (°C)				
	0_10	10_12,5	12,5_15	15_17,5	17,5_20
0_0,1	0,00 Aa*	25,58 Aa	647,58 Ac	542,42 Ac	476,58 Ab
0,1_0,2	0,00 Aa	29,50 Aa	1298,33 Ac	1288,25 Ac	890,75 Ab
0,2_0,3	0,00 Aa	114,17 Aa	11897,50 Ab	11957,58 Ab	5052,83 Ab
0,3_0,4	0,00 Da	4212,33 Da	48323,92 Aa	42073,75 Aa	29709,08 Ba
0,4_0,5	0,00 Ca	574,08 Ca	12093,42 Cb	18948,67 Bb	27335,67 Ba
0,5_0,6	0,00 Aa	21,42 Aa	293,00 Ac	938,25 Ac	3706,67 Ab
0,6_0,7	0,00 Aa	0,25 Aa	5,33 Ac	35,00 Ac	219,50 Ab
0,7_0,8	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ac	0,00 Ac	0,08 Ab
0,8_0,9	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ac	0,00 Ac	0,00 Ab
0,9_1	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Ac	0,00 Ac	0,00 Ab

de 5% de probabilidade de erro. EVI: *Enhanced Vegetation Index*; mm: milímetros.

*Continuação...*

Tabela 5. Teste de comparação de médias dos pixels amostrados para as classes de temperatura e EVI.

EVI	Temperatura (°C)			
	20_22,5	22,5_25	25_27,5	27,5_30
0_0,1	422,17 Ab*	194,67 Ab	18,33 Aa	0,00 Aa
0,1_0,2	925,17 Ab	341,08 Ab	46,67 Aa	0,00 Aa
0,2_0,3	6248,58 Ac	2326,17 Ab	210,50 Aa	0,00 Aa
0,3_0,4	20152,92 Cb	12936,58 Ca	3298,50 Da	0,00 Da
0,4_0,5	37366,17 Aa	21391,50 Ba	4632,33 Ca	0,00 Ca
0,5_0,6	12164,33 Ac	9626,75 Aa	507,92 Aa	0,00 Aa
0,6_0,7	1270,17 Ab	2454,17 Ab	7,08 Aa	0,00 Aa
0,7_0,8	12,67 Ab	36,75 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa
0,8_0,9	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa
0,9_1	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa

\* Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade de erro. EVI: *Enhanced Vegetation Index*; mm: milímetros.

A partir da interação da precipitação e da temperatura com o EVI observamos o quanto o desenvolvimento vegetal é dependente destas duas variáveis climáticas. A ocorrência de alterações nestas variáveis proveniente de mudanças climáticas acaba influenciando a formação vegetal predominante e isso implica no desenvolvimento de densas áreas vegetais, como as florestas, como também nas práticas agrícolas (PONTES et al., 2005).

#### 4. Conclusões

Os valores de precipitação e temperatura exerceram influência nos dados de EVI, evidenciado pelos testes de média e análise de variância.

As relações existentes entre precipitação, temperatura e índices de vegetação, comprovadas através de tabulação cruzada para o RS em série de 12 anos de dados, oferecem a possibilidade de monitoramento destas variáveis para estudos de efeitos de eventuais mudanças climáticas.

As relações poderiam ser diferentes caso os dados de precipitação e temperatura fossem coincidentes com as datas de aquisição dos dados usados para geração do EVI. Estudos futuros no detalhamento dos meses de maior relação entre as variáveis ajudariam a esclarecer os padrões fenológicos em face das variações climáticas.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e ao INPE pela concessão da bolsa de pesquisa e desenvolvimento e o incentivo ao estudo. Processo 301000/2014-0.

#### Referências Bibliográficas

Blaschke, T.; Kux, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 303p.

Canteri, M. C. ASM-AGRI - sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1, n.2, p.18-24, Dez. 2001.

Deng, F.; Su G.; Liu C. Seasonal Variation o MODIS Vegetation Indexes and their Statiscal Relationship with climate over the subtropic evergreen forest in Zhejiang, China. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, Vol. 4, N° 2, 2007.

Ferreira, D. F. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciências Exatas, Lavras – MG, 2000. 66p.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

Florenzano, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Hijmans, R. J.; et al. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. **International Journal of Climatology**. DOI: 10.002/joc.1276, 2005.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127 p.

Pontes, P. P. B.; et al. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. **Anais... Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO, p. 217-224, 2005.

Ponzoni, F. J.; et al. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160p.

Rudorff, B. F. T.; et al. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423p.

Scott, A. J.; Knott, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

Xu D.; et al. Measuring the dead component of mixed grassland with landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 142, 2014.