

---

# RELACIÓN TEMPORAL NDVI-PRECIPITACIÓN DEL BOSQUE Y PASTIZAL NATURAL DE SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

Tiedemann, J. L.<sup>1</sup> y Zerda, H. R.

## RESUMEN

En la provincia de Santiago del Estero, Argentina, fueron analizadas las relaciones y tendencias mensuales entre muestras del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (*NDVI*) derivados del sensor *Vegetation*, del bosque nativo y pastizal natural, con datos de precipitaciones media mensual derivados de la base *WorldClim*. La curva del *NDVI*, del bosque y del pastizal natural, sigue el modelo regional de precipitaciones, alcanzando los mayores valores de *NDVI* en la estación húmeda estival (octubre-mayo) y menores valores de *NDVI* en la estación seca invernal (junio-septiembre). Se determinó fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,05$ ), con tendencia positiva entre el *NDVI* del bosque correspondiente a los doce meses del año con la precipitación media de septiembre, octubre, noviembre, marzo, abril y mayo, no siendo significativas las relaciones con las precipitaciones de enero y febrero. La curva del bosque muestra una mayor estabilidad que la del pastizal natural ante la variación estacional de la precipitación y temperatura.

Se determinó fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,05$ ), con tendencia positiva entre el *NDVI*, del pastizal natural de septiembre y octubre con la precipitación media de septiembre, octubre, noviembre, marzo, abril y mayo. El *NDVI*, del pastizal natural de noviembre y diciembre tuvo fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,01$ ), con tendencia negativa con la precipitación media de enero y febrero. La curva *NDVI* del pastizal natural, muestra grandes variaciones durante el verano debido a las elevadas temperaturas, evapotranspiración y sequía, respondiendo de manera inmediata ante las precipitaciones.

**Palabras clave:** *NDVI*, bosque, pastizal, precipitaciones, sequía.

---

<sup>1</sup> Ing. Zoot., M. Sc. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Av. Belgrano 1912, (cp 4200), Santiago del Estero, Argentina. Tel: 03854509550, Fax: 03854509555, E-mail: mann@unse.edu.ar

## TEMPORARY NDVI-PRECIPITATION RELATION OF NATURAL FOREST AND GRASSLAND IN SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

### SUMMARY

In the Santiago del Estero Province, Argentina, was analyzed the relations and tendency monthly between of samples the index of vegetation of normalized difference (*NDVI*) derived from Vegetation sensor, of forest and grassland y the precipitations average monthly date derived from *WorldClim*. The forest and the grassland *NDVI* curve, follows the regional precipitation pattern, reaching higher values from *NDVI*, during the summer humid season (October-May) and lower values of *NDVI*, during the winter dry season (June-September). Forts and significant relations were determined ( $p < 0,05$ ), with positive tendency between the *NDVI*, of Forest of the twelve months of the year with the average precipitation of September, October, November, December, March, April and May, except January and February. The Forest curve shows a greater stability than grassland before variations in the seasonal variation of precipitations and temperature.

Forts and significant relations were determined ( $p < 0,05$ ), with positive tendency between the *NDVI*, of grassland of September and October with the average precipitation of September, October, November, March, April and May. Forts and significant relations were determined ( $p < 0,01$ ), with negative tendency between the *NDVI*, of grassland of November and December with the average precipitation of January and February. The grassland *NDVI* curve, shows high effects of temperatures of the summer, evapotranspiration and droughts, responding of immediate way before events of precipitations.

**Key words:** *NDVI*, forest, grassland, precipitation, droughts.

## INTRODUCCIÓN

Los sensores remotos tuvieron y tienen un rol fundamental en el desarrollo de investigaciones sobre coberturas vegetales a diferentes escalas (Justice *et al.*, 1985). Éstos aportaron una visión integral, espacial y temporal de las coberturas, solucionando en gran parte los problemas operativos logísticos inherentes al muestreo, experimentación y pseudo-replicación, facilitando el análisis, la comprensión y predicción de atributos ecológicos de grandes superficies (Turner *et al.*, 2001). El nuevo sensor *Vegetation/Spot4 (Systeme Pour l'Observation de la Terre)*, fue desarrollado específicamente para realizar estudios de vegetación y obtener muestras temporalmente oportunas y espacialmente precisas de la vegetación (Mayaux *et al.*, 2000).

Los índices de vegetación, han sido ampliamente utilizados para derivar atributos funcionales y biofísicos de la canopia de las plantas (Tucker, 1979). El índice más utilizado para el monitoreo de vegetación, es el índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI*) (Tucker, 1979). Este índice fue utilizado para monitoreo de la respuesta de la vegetación a las fluctuaciones climáticas a escalas continentales (Justice *et al.*, 1985), y regionales (Nicholson *et al.*, 1990; Wang *et al.*, 2001, 2003). Su gran utilidad para el monitoreo de sequías y sus relaciones con las precipitaciones se debe a la fuerte relación que existe entre el vigor de la vegetación verde y la disponibilidad de humedad del suelo, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Nicholson *et al.*, 1990).

La relación *NDVI*-precipitaciones esta influenciada por el modelo regional de precipitaciones, por la humedad edáfica disponible, por el tipo de suelo (Nicholson *et al.*, 1990), y por la escala espacial y temporal de los datos utilizados (Wang *et al.*, 2003). De esta manera, para determinar las relaciones entre el *NDVI* y las variables climáticas, en especial las precipitaciones, debe tomarse en cuenta la estacionalidad de la vegetación, debido a que el impacto de la disponibilidad de agua sobre la vegetación cambia considerablemente entre sus diferentes periodos fenológicos (Wang *et al.*, 2001).

Por cuanto, existe una gran necesidad de contar con información integral, espacialmente precisa y temporalmente amplia y oportuna, sobre las relaciones existentes entre dos de las principales coberturas de esta provincia, el bosque y el pastizal natural y las precipitaciones, la disponibilidad de datos precisos cuantitativos, obtenidos empíricamente, permitirá, detectar y predecir sus cambios, generar modelos predictivos y confeccionar planes de manejo, regionales y locales, de los recursos naturales de la provincia de Santiago del Estero, Argentina.

Bajo este contexto, y con la disponibilidad de una gran base de datos multitemporales, integrados mediante sistemas de información geográfica, se plantea como objetivo de este trabajo determinar la fuerza y dirección de las relaciones entre el *NDVI* del bosque y del pastizal natural con las precipitaciones en la provincia de Santiago del Estero, Argentina, durante el periodo 1999-2002.

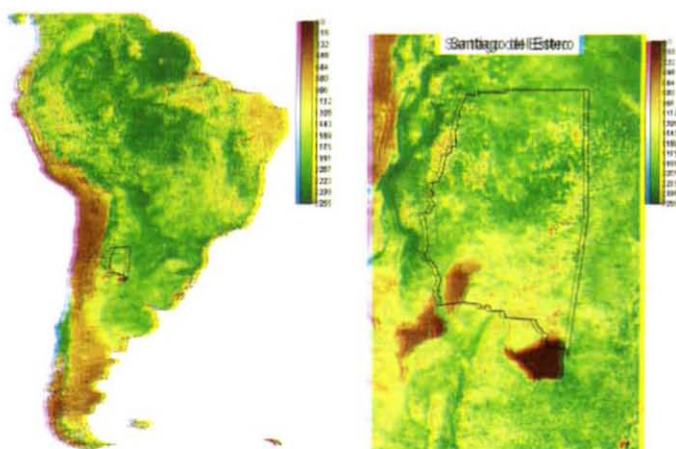




## METODOLOGÍA

La provincia de Santiago del Estero (Figura N°1), esta incluida en el Distrito Chaqueño Occidental (Cabrera, 1976), posee una superficie de 145.758 km<sup>2</sup>, y pertenece al tipo Climático Semiárido BShw, según la Clasificación Climática de Köepen. La precipitación media anual de 550 mm y la temperatura media anual de 27,7 °C. (De Fina, 1976).

La vegetación de esta región está formada principalmente, por bosques xerófitos con diversos estratos, estepas halófilas y sabanas edáficas o inducidas por incendios y desmontes (Cabrera, 1976). El estrato arbóreo superior es acompañado por otro estrato medio, siguiéndole un estrato arbustivo, con mayoría de especies espinosas, característicos de estos ambientes semiáridos. Los pastizales, en general están dominados por gramíneas (Cabrera, 1976).



**Figura N°1**  
**Ubicación Geográfica de la Provincia de Santiago del Estero en el Continente Sudamericano**

El NDVI es una combinación aritmética que permite resaltar los contrastes en la respuesta de los patrones espectrales de la vegetación en las porciones roja ( $\lambda^{RED} = 0,58 - 0,68 \mu\text{m}$ ) e infrarroja cercano ( $\lambda^{NIR} = 0,725 - 1,1 \mu\text{m}$ ) y se deriva mediante la siguiente ecuación:  $NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$ . Los mapas de NDVI, utilizados en este estudio provienen del *Flemish Institute for Technological Development (VITO)*, perteneciente al *Global Vegetation Monitoring Project (GLOVEG)*, y están disponibles en: <http://free.vgt.vito.be/>. Debido a la gran variación diaria que puede sufrir el NDVI, (Stöckli y Vidale, 2004), se utilizaron composiciones decádicas del índice de vegetación de diferencia normalizada (VGTS-10 NDVI), estandarizados a 8 bits, captados mediante el sensor *Vegetation/Spot-4 (Systeme Pour l'Observation de la Terre)*. Este sensor posee una baja resolución espacial (1 km x 1 km), y una resolución temporal decádica, la que permite estudiar variaciones climáticas mensuales e interanuales (Lhermitte *et al.*, 2004). Su ancho de cobertura es de 2250 km, su resolución geométrica (IFOV), de 1,15 in nadir, con

una superposición de píxeles menor a 0,5 km, (Mayaux *et al.*, 2000).

Los datos de precipitación media mensual (pp), derivaron de la base de datos *WorldClim*, desarrollada por Hijmans *et al.* (2005). Se cotejó la consistencia de los datos de precipitación media de *WorldClim*, mediante regresión lineal simple, relacionándolos con datos de precipitación media derivados de la estación meteorológica de Santiago del Estero del Servicio Meteorológico Nacional correspondientes al período 1999-2002, se obtuvieron fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,0001$ ), con un coeficiente de correlación ( $r$ ) de 0,87, y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,79.

El Sistema de información Geográfica utilizado en este estudio es el *IDRISI-Andes*, versión 15.0, adquirido en el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN), bajo licencia de CLARK LABS – *University Clark, USA*. El análisis estadístico se realizó mediante el *Software Infostat* (2004), desarrollado por la cátedra de estadística de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

El área de estudio se delimitó mediante una máscara binaria de la Provincia de Santiago del Estero. Si bien, en la etapa del procesamiento de síntesis de los datos originales se elimina la mayoría de los *píxeles* con nubes, algunos mapas tuvieron contaminación residual y fallas en la calibración de los detectores en sentido de las columnas. Para evitar este último efecto, todos los mapas de la serie fueron controlados visualmente.

Para captar la dinámica temporal de las coberturas bosque y pastizal natural, se determinaron áreas que mantuvieron el mismo tipo de cobertura durante el período analizado. La validación de cada cobertura, se realizó mediante análisis visuales de imágenes TM-LANDSAT de diversas fechas, y la base satelital del *Google Earth*. En el Cuadro N°1 se resume las características y ubicación de las áreas invariantes utilizadas.

**Cuadro N°1**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE CONTROL**

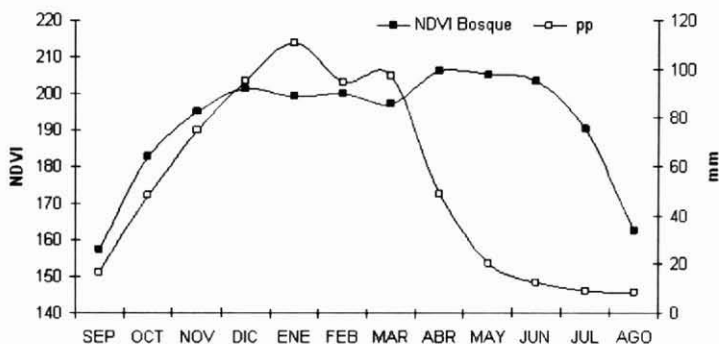
Cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )	N°. píxeles	Coordenadas (Longitud, Latitud)
Bosque	12	8	-61.751958, -25.686871
Bosque	28	8	-62.164156, -27.012787
Bosque	16	8	-63.970065, -28.540999
Bosque	18	8	-64.169540, -28.623799
Bosque	17	8	-63.717310, -28.988532
Pastizal	12	8	-61.758799, -28.988533
Pastizal	12	8	-63.816591, -25.974630
Pastizal	20	8	-62.108206, -26.978829
Pastizal	16	8	-62.371403, -29.529340

La fuerza y dirección de las relaciones temporales entre el NDVI del bosque y pastizal natural, con la precipitación media, se determinaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson's, ( $r$ ) y su tendencia mediante regresión lineal simple. El ajuste de los modelos lineales fue evaluado, a través de los valores porcentuales del coeficiente de determinación ( $r^2$ ), se consideró como variable dependiente  $y$ , el NDVI y como variable independiente  $x$ , la precipitación media mensual. La variación no explicada por los modelos fue evaluada mediante el análisis de residuos (observado vs. predicho) (Lee y Wong, 2001). El número de muestras  $n$ , de cada mapa, se obtuvo mediante la metodología propuesta por (Fitzpatrick-Lins, 1981). Mediante la  $I$  de Moran, se determinaron correlaciones espaciales en los mapas de NDVI y de precipitaciones ( $I > 0,95$ ), por cuanto la información de referencia se obtuvo de cada área y para cada cobertura mediante muestreo aleatorio simple (Eastman *et al.*, 1995).

## RESULTADOS

### Relaciones NDVI Boque - Precipitaciones

La curva del NDVI del bosque (Figura N°2), sigue el modelo estacional regional de precipitaciones, definida en una estación húmeda estival, con predominio de valores elevados de NDVI, y una estación seca invernal, con predominio de valores bajos de NDVI. Similares patrones estacionales fueron detectados sobre importantes coberturas vegetales de zonas semiáridas de Brasil, en la Caatinga (Espig *et al.*, 2006) y en cinco coberturas vegetales del noroeste de Minas Gerais (Liesenberg *et al.*, 2006).



**Figura N°2**  
**DINÁMICA MENSUAL DEL NDVI DEL BOSQUE Y LAS PRECIPITACIONES**

Se determinaron fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,05$ ), con tendencia positiva entre el NDVI, del bosque correspondiente a los doce meses del año con las precipitaciones de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, marzo, abril y mayo, con un coeficiente de correlación medio ( $r$ ), de 0,90 y un coeficiente de determinación medio ( $r^2$ ), de 0,77. La precipitación de octubre es la que tuvo la relación más fuerte ( $p < 0,001$ ), con tendencia positiva,



con el *NDVI*, del bosque de todo el año, con un coeficiente de correlación medio ( $r$ ), de 0,98 y un coeficiente de determinación medio ( $r^2$ ), de 0,96. Nicholson *et al.* (1990), determinaron fuertes relaciones lineales y mejores relaciones log-lineales entre el *NDVI* y las precipitaciones, a su vez Wang *et al.* (2003), demostraron que el *NDVI*, tiene una fuerte relación lineal con las precipitaciones durante la estación de crecimiento. Sin embargo, el *NDVI*, del bosque no tuvo relaciones significativas con las precipitaciones de enero, febrero, debido a la falta de humedad disponible en el suelo, por las elevadas temperaturas, evapotranspiración y sequía.

Se determinó que la respuesta del *NDVI* del bosque, está relacionado con las precipitaciones del mes actual y con las producidas durante la primavera y otoño. Wang *et al.* (2001), obtuvieron las mejores correlaciones entre el *NDVI* del bosque y las precipitaciones producidas con un período de retraso de un mes a un mes y medio a principios del verano y de dos meses a la salida del verano. A su vez, Wang *et al.* (2003), encontraron elevadas correlaciones en la respuesta del *NDVI*, ante las precipitaciones ocurridas durante la corriente estación de crecimiento y la de quince, cinco y siete meses previos. Nicholson *et al.* (1990), determinaron que las mejores relaciones y efectos de retrasos en la respuesta del *NDVI*, con las precipitaciones producidas durante dos y tres meses previos, y relacionaron el retraso en la respuesta del *NDVI*, con la acumulación de humedad en el suelo, más que con las precipitaciones. De manera general, el modelo espacial de *NDVI*, presenta mayores relaciones con la precipitación media de prolongada temporalidad, que con eventos recientes de precipitaciones (Wang *et al.*, 2001), estos autores encontraron relaciones verdaderamente fuertes entre el *NDVI*, con el promedio de nueve años de precipitaciones locales. Así mismo, Farrar *et al.* (1994) determinaron que mientras las correlaciones entre el *NDVI* y las precipitaciones son elevadas para un promedio multitemporal mensual, el *NDVI* es controlado por la humedad del suelo del mes actual.

## Relaciones *NDVI* Pastizal Natural - Precipitaciones

La curva del *NDVI* del pastizal natural (Figura N°3), sigue el modelo estacional regional de precipitaciones, definida en una estación húmeda estival, con predominio de valores elevados de *NDVI*, y una estación seca invernal, con predominio de valores bajos de *NDVI*.

Se determinaron fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,05$ ), con tendencia positiva entre el *NDVI*, del pastizal de septiembre con un coeficiente de correlación medio ( $r$ ), de 0,95, y un ( $r^2$ ), de 0,79, con las precipitaciones de septiembre, octubre, noviembre, marzo, abril y mayo, y entre el *NDVI*, del pastizal de octubre, con coeficiente de correlación medio de 0,95, y coeficiente de determinación medio ( $r^2$ ), de 0,88, con las precipitaciones de septiembre, octubre, noviembre, marzo, abril y mayo. La relación significativa ( $p < 0,001$ ), más fuerte con tendencia positiva, se dio entre el *NDVI*, del pastizal de octubre con la precipitación de octubre, con un coeficiente de correlación ( $r$ ), de 0,98 y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ), de 0,93.



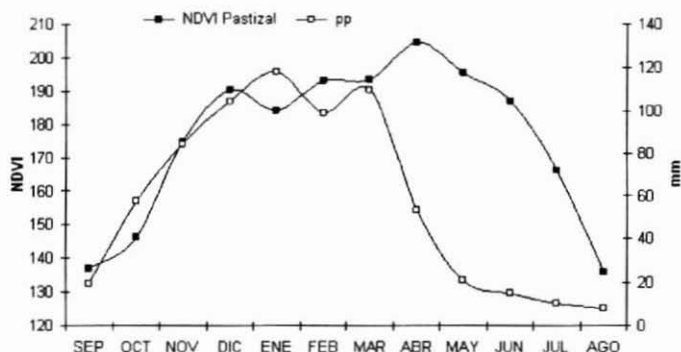


Figura N°3

### DINÁMICA MENSUAL DEL NDVI DEL PASTIZAL NATURAL Y LAS PRECIPITACIONES

Se determinaron fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,01$ ), con tendencia negativa entre el de *NDVI*, del pastizal natural de noviembre con un coeficiente de correlación medio ( $r$ ), de  $-0,93$ , y un coeficiente de determinación medio ( $r^2$ ), de  $0,81$ , con las precipitaciones de enero. Así mismo, fuertes y significativas relaciones ( $p < 0,01$ ), con tendencia negativa fueron encontradas entre el de *NDVI*, del pastizal de diciembre, con un coeficiente de correlación medio ( $r$ ), de  $-0,96$ , y un coeficiente de determinación medio ( $r^2$ ), de  $0,90$ , con las precipitaciones de enero y febrero. Estas fuertes relaciones con tendencias negativas se relacionan con las elevadas temperaturas, la evapotranspiración y el consecuente déficit hídrico, que afecta la tasa de crecimiento del pastizal natural, esto concuerdan con resultados obtenidos por Wang *et al.* (2003), quienes determinaron que el *NDVI*, está negativamente correlacionado con las temperaturas máximas del verano, a su vez, Nicholson *et al.* (1990), determinaron que pastizales de ambientes áridos, tienen una respuesta clara e inmediata ante eventos de precipitaciones. Wang *et al.* (2001), obtuvieron fuertes coeficientes de correlación asociados con discretos eventos de precipitaciones que fueron precedidos por períodos de sequía, mostrando claramente, a través de mapas, que las relaciones con tendencia negativa con *NDVI* bajos, se dan en zonas con déficit hídricos.

### CONCLUSIONES

El índice de vegetación de diferencia normalizada derivado del sensor *Vegetation/spot4*, es un sensible y preciso indicador, que posibilita la detección y monitoreo de la dinámica temporal de las principales coberturas vegetales de la provincia Santiago del Estero.

La dinámica mensual del *NDVI*, del bosque y del pastizal natural se corresponde directamente con el modelo estacional de precipitaciones de la región

Las precipitaciones producidas durante la primavera y el otoño tienen fuertes y significativas relaciones con el *NDVI*, de todos los meses del año del bosque.

Las precipitaciones de primavera y otoño tienen fuertes y significativas relaciones con el



NDVI, del pastizal natural de septiembre y octubre.

Existen fuertes y significativas relaciones con tendencia negativa entre el NDVI del pastizal natural de noviembre y diciembre con las precipitaciones de enero y febrero. Durante el verano, el pastizal natural, sufre los efectos de las condiciones locales, con elevadas intensidades de radiación, evapotranspiración y efecto de sequías, que afectan su actividad fotosintética y productividad de biomasa verde, este responde de manera inmediata a las precipitaciones, esperable por la gran eficiencia de los sistemas radicales de las especies que lo conforman.

El bosque, según la curva del NDVI, presenta una mayor estabilidad, con respecto al pastizal natural, ante las variaciones estacionales de precipitaciones y temperatura, posiblemente debido a la amplia diversidad de especies que lo componen (efecto *buffer*).

Ambas coberturas respondieron con una elevada tasa incremental de NDVI, ante el comienzo de las precipitaciones en septiembre, debido a la sequía característica de la salida del invierno de esta región. La respuesta de ambas coberturas es consistente con las adaptativas estrategias de las plantas de zonas áridas y semiáridas para el uso eficiente del agua.

Las fuertes y significativas relaciones mensuales determinadas entre el NDVI y las precipitaciones, proveen las bases que permitirán predecir la productividad a escala de paisajes bajo el efecto de diferentes regímenes climáticos.

El índice de vegetación de diferencia normalizada derivado del sensor *Vegetation/spot4*, es un sensible y preciso indicador de las precipitaciones y en especial de la humedad disponible en el suelo, convirtiéndose en una invaluable herramienta para la provincia Santiago del Estero y para la macroregión en general, debido a que no se dispone del número adecuado de estaciones meteorológicas necesarias para el monitoreo de las precipitaciones y variables climáticas en general.



## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el asesoramiento para el análisis estadístico del Dr. Ing. Ftal. Carlos López, Profesor de Mejoramiento Genético Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

## REFERENCIAS

**Cabrera L. A., 1976.** Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería 2ª Ed. Tomo II, Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires, Argentina.

**De Fina A. L., 1976.** Datos climatológicos de la república Argentina. IDIA, 337-342:177-180.

**Eastman J. R., McKendry J. E. and Fulk M. A., 1995.** Change and times series analysis. Explorations in Geographic Information Systems Technology. UNITAR, Second Edition, Palais des Nations, Geneva, Suiza, 116 p.

**Espig S. A., Soares J. V. y Dos Santos R. J., 2006.** Variacoes Sazonais do EVI e NDVI Em Areas do Semi-Arido Brasileiro. VII Seminário de atualizacao em sensoriamento remoto e sistemas de informacoes geográficas aplicados a Engenharia Florestal, 17 a 19 de Outubro, Curitiba-Parana, Brasil, pp. 234-239.

**Farrar T. J., Nicholson S. E. and Lare A. R., 1994.** The influence of type on the relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response a soil moisture. Remote Sensing of Environment 50:121-133.

**Fitzpatrick-Lins K., 1981.** Comparison of Sampling Procedures and Data Analysis for a Land-use and land-cover map. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 47:343-351.

**Hijmans J. R., Cameron S. E., Parra L. J., Jones G. P. and Jarvis A., 2005.** Very high resolution Interpolated climate surface for global land areas. Int. J. Climatol 25:1965-1978.

**Justice C. O., Townshend J. R. G., Holben B. N. and Tucker C. J., 1985.** Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing, 6:1271-1318.

**Lee J. and Wong D. W., 2001.** Statistical Analysis with ArcView GIS. John Wiley & Sons, INC. New York, USA, 192 p.

**Lhermitte S., Verbesslet J., Nackaerts K, y Coppin P., 2004.** Segmentation of vegetation-soil-climate complexes for south Africa based on SPOT Vegetation time series. In Proceedings of Vegetation-Antwerp 2004 International Users Conference. 24-26 March, Belgium, 2004. Disponible en: <<http://www.vgt.vito.be/vgtapen/pages/home.htm>>. Acceso: 17.12.2007.

**Liesenberg V., Ponzoni J. F. y Galvão L. S., 2006.** Análise da dinâmica sazonal de índices de vegetação do sensor Modis em algumas fitofisionomias do bioma cerrado. VII Seminário

de atualizacao em sensoriamento remoto e sistemas de informacoes geográficas aplicados a Engenharia Florestal, 17 a 19 de Outubro, Curitiba-Parana, Brasil, pp. 234-239.

**Mayaux P., Gond V. and Bartholomé E., 2000.** Mapping the Forest-Cover of Madagascar with SPOT-4 VEGETATION data. In:VEGETATION 2000 PROCEEDINGS.Ed. Gilbert Saint, VEGETATION programme Scientist; Centre National Détudes Spatiales. Lake Maggiore, Italy.

**Nicholson S.E., Davenport L. M. and Malo A. R., 1990.** A comparison of the vegetation response to rainfall in the Shael and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR, Climatic Change 17:209-241.

**Stockli R., Vidale P. L., 2004.** European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR landsurface parameter dataset". International Journal of Remote Sensing, 17:3303-3330.

**Tucker J. C., 1979.** Red and Photographic infrared lineal combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, 8:127-150.

**Turner G. M., Gardner H. R. and O'Neill V. R., 2001.** Landscape Ecology in Theory and Practice, Ed. Springer, New York, USA, 401 p.

**Wang J., Price K. P., and Rich P. M., 2001.** Spatial paterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. Int. J. Remote Sensing, 18:3827-3844.

**Wang J., Price K. P. and Rich P. M., 2003.** Spatial paterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. Int. J. Remote Sensing, 11:2345-2364.

