

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO PARA LA ESTIMATIVA DE EMISIVIDAD Y RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Eduardo Jorge de Brito Bastos
Universidade do Vale do Paraíba, Rua Paraíba nº 75, Centro, São José dos Campos, SP.
E-mail: ebastos@univap.br.

Hubert A. de la Soledad
Instituto de la Meio Ambiente, Havana, Cuba

Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP. E-mail: rodrigo@met.inpe.br

RESUMO

Foram aplicadas técnicas de geoprocessamento para a estimativa da emissividade e da rugosidade da superfície continental. Foram utilizados imagens do SSM/I que opera a bordo do satélite F14/DMSF, canal 85 GHz. Também se utilizaram dados de temperatura da superfície continental (T_s) obtidas a partir do sistema TOVS, canal 8 da unidade HIRS-2, a bordo dos satélites NOAA-12 e NOAA-14. Aplicaram-se técnicas de geoestatística (interpolador kriging) para gerar grades com resolução espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. A emissividade foi calculada para cada polarização e foram gerados os campos de diferença de polarização (rugosidade). Finalmente, se gerou uma máscara da região de estudo para representar os resultados. Pode-se observar a qualidade das estimativas para os pontos de grade sem informação utilizando técnicas de krigeagem.

INTRODUCCION

Los diferentes fenómenos geográficos, al distribuirse sobre la superficie, establecen patrones de ocupación. Para representar tales fenómenos, el Geoprociamiento (disciplina del conocimiento que utiliza técnicas matemáticas y computacionales para el tratamiento de la información geográfica) procura determinar y esquematizar los mecanismos implícitos y explícitos de interrelación entre ellos.

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) es una representación matemática computacional de la distribución de un fenómeno espacial que ocurre dentro de una región de la superficie terrestre. Datos de relieve, informaciones geológicas, meteorológicas, así como datos geofísicos y geoquímicos son ejemplos típicos de fenómenos que pueden ser representados por un MNT (Felgueiras, 1987).

Para la representación de datos de una superficie real en el computador es indispensable la elaboración de un modelo digital que puede ser representado por ecuaciones analíticas o, más comúnmente, mediante una red de puntos (grade). A partir de este modelo se podrán entonces calcular directamente áreas, volúmenes, diseñar perfiles y secciones transversales, generar imágenes sombreadas o en niveles de gris, generar mapas de declividad, perspectivas tridimensionales, etc.

Los modelos digitales de terreno más utilizados en la práctica son: los modelos de grade regular rectangular y los modelos de grade irregular triangular. Un grade regular rectangular mantiene una regularidad de distribución de los puntos de la grade en las dos direcciones espaciales x e y . El proceso de generación de un grade regular consiste en estimar los valores de cota de cada uno de los puntos de la grade a partir del conjunto de muestras de entrada. Este conjunto de muestras puede estar regularmente espaciados o no.

El proceso de generación de un grade regular rectangular a partir de otro grade también regular rectangular, con el objetivo de obtener una mejoría en la resolución de la grade, es conocido como refinamiento de la grade.

Para generar grades regulares rectangulares a partir de muestras irregularmente espaciadas (de manera general) es común definir funciones interpolantes simples (diferentes tipos de medias ponderadas, splines, etc) y utilizarlas localmente. Cuando las muestras disponibles son abundantes, la mayoría de estos métodos de interpolación producen valores semejantes, no siendo el mismo caso cuando estas muestras están más dispersas y son escasas.

Dichos métodos tradicionales de interpolación poseen claras limitaciones en la representación de la variabilidad espacial, pues desconsideran la anisotropía y la continuidad del fenómeno observado.

Interpoladores geoestadísticos en ambiente de geoprocésamiento basados en técnicas de kriging vienen siendo propuestos para responder a cuestiones tales como el tamaño ideal del dominio de estimación, la anisotropía, la continuidad espacial del fenómeno, así como a la forma y orientación de selección de las muestras, de forma tal que se obtenga una estimación óptima.

El kriging está fundamentado en la Teoría de las Variables Regionalizadas formalizada por Matheron (1971). Lo que diferencia este procedimiento de otros métodos de interpolación es la estimación de una matriz de covarianza espacial que determina los pesos atribuidos a las diferentes muestras, el tratamiento de la redundancia de datos, la vecinanza a ser considerada en el procedimiento inferencial y el error asociado al valor estimado. Además de esto, el kriging también ofrece estimadores exactos con propiedades de no tendenciosidad y eficiencia.

El propósito del presente trabajo consiste en aplicar este procedimiento geoestadístico en la metodología desarrollada por Souza (1999) con vista a obtener un refinamiento de la grade regular rectangular generada como estimativa de la emisividad de la superficie continental para todo el territorio brasileiro a partir de datos de satélites en microondas de los meses de julio y diciembre de 1997. Dicha metodología permite obtener los campos de emisividad de la superficie y rugosidad con una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Se pretende entonces alcanzar una resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ y realizar una comparación de los campos obtenidos.

DATOS Y METODOLOGIA

En este trabajo se utilizaron datos de temperaturas de brillo (Tb) del instrumento SSM/I (Hollinger et al., 1987 y 1990) que opera a bordo del satélite F14/DMSP, específicamente del canal en 85 GHz, cedidos por el Global Hydrology Resource Center (GHRC) perteneciente al Global Hydrology and Climate Center de los Estados Unidos de América. Así mismo, se utilizaron datos de temperatura de la superficie (surface skin temperature) del sistema TOVS (canal 8 del HIRS-2) a bordo de los satélites NOAA-12 y NOAA-14 de la serie TIROS-N, colectados por la antena de la Divisão de Satélite Ambiental (DSA) del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) en Cachoeira Paulista en el Estado de São Paulo. Todos los datos se tomaron de los meses julio y diciembre de 1997 sobre el territorio brasileiro.

Primeramente se realizó un preprocesamiento tanto de los datos TOVS como de las imágenes del sensor SSM/I.

Los datos TOVS fueron tomados de acuerdo a los horarios de pasada del satélite F14/DMSP sobre la región de estudio. Se utilizó el software ITPP5.12 (International TOVS Processing Package) para efectuar el procesamiento de los sondages TOVS y se generó un archivo de datos de temperaturas de la superficie para áreas de cielo abierto (sin nubes) en puntos de grados para los datos del canal 8 del HIRS-2, según la metodología desarrollada por Souza (1999).

A su vez, con el auxilio del software que acompaña el conjunto de datos del F14/DMSP se realizó la navegación de las imágenes para seleccionar los pasajes de interés (imágenes comprendidas entre las latitudes 10°N y 40°S ; y las longitudes 30°W y 75°W , referidas al territorio brasileiro). Seguidamente se elaboró un programa para la lectura de los archivos de temperatura de brillo (a partir de los datos del SSM/I) y la transformación de estos datos de proyección de satélite a puntos de grados en la resolución espacial correspondiente a 85 GHz.

A continuación se realizó la estimativa de emisividad de la superficie continental, así como de la rugosidad utilizando las Ecuaciones (4.17) y (4.18), también aplicadas por Souza (1999). A la metodología propuesta por Souza (1999) sólo se le añadió el refinamiento de la grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.

Una vez realizado todo este proceso, fue propuesta una pequeña modificación en la metodología. La eliminación de las nubes presentes en los datos de T_b obtenidos del instrumento SSM/I (valores inferiores a 256 K) se propone que se realice ahora como paso previo al cálculo de las emisividades, y que todas las grades sean obtenidas desde un principio en resolución $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ aplicando el método kriging de interpolación. En lo adelante llamaremos esta nueva secuencia de pasos como Método 2.

En todos los casos el método de krigeagem que se aplicó fue el método de krigeagem ordinario (Vieira et al., 1981 y 1983; Oliver, 1990).

Debido a las limitaciones de tiempo de máquina, la premura en presentar los resultados del proyecto, la capacidad de trabajo del computador utilizado (workstation UltraSun 5), la amplia cantidad de datos que se tenían para desarrollar el proyecto, la resolución a que se aspiraba llegar y el orden exponencial del algoritmo utilizado, el Método 2 solo fue desarrollado para la región sudeste del territorio brasilero y para el mes de diciembre/1997, solo resta entonces desenvolverlo para las zonas que resulten de interés.

El software GrADS (Analizador de Grade y Sistema de Exhibición) solo fue utilizado para crear las máscaras del territorio brasilero y de su región sudeste con resolución $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ y para la presentación final de los resultados (Doty, 1998).

RESULTADOS

Las Figuras (1) y (2) presentan los campos de temperatura de la superficie (T_s) en los horarios matutino y nocturno, respectivamente. Los mismos fueron obtenidos a través del procesamiento propuesto de los datos del instrumento HIRS-2 (canal 8) perteneciente al sistema TOVS/NOAA-N. Los datos referidos al horario vespertino no fueron calculados debido a no existir pasadas del satélite F14/DMSF sobre Brasil en este horario, y por consiguiente, no tener disponible campos de temperatura de brillo para los cálculos de las emisividades.

Figura 1 - Temperatura de la superficie (K) para el horario matutino (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

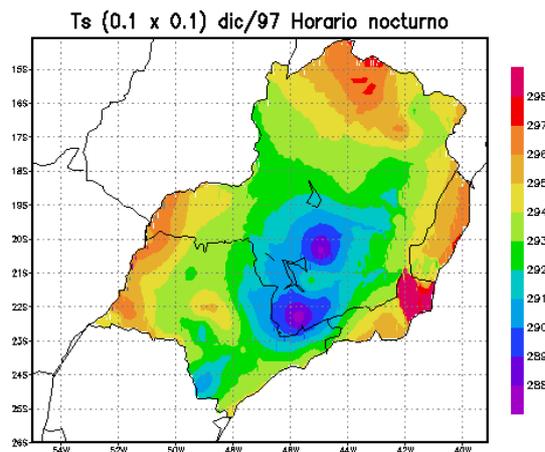


Figura 2 - Temperatura de la superficie (K) para el horario nocturno (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

Las Figuras (3) y (4) ilustran los campos de temperatura de brillo (Tb) para la polarización horizontal en 85 GHz, horarios matutinos y nocturno, respectivamente. Estos fueron obtenidos del procesamiento de datos referidos al instrumento SSM/I a bordo del satélite F14/DMSP.

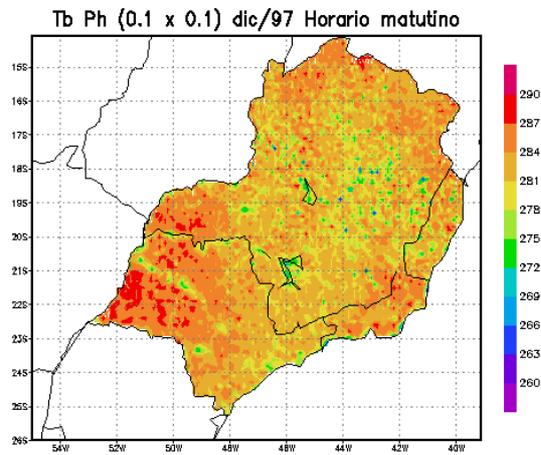


Figura 3 - Temperatura de brillo (K) para el horario matutino (diciembre/1999), polarización horizontal con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

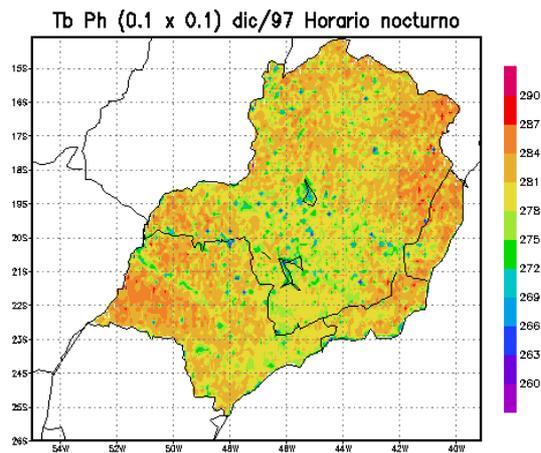


Figura 4 - Temperatura de brillo (K) para el horario nocturno (diciembre/1999), polarización horizontal con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

A continuación son mostradas las Figuras (5) y (6) ilustrando los campos de temperatura de brillo (Tb) para la polarización vertical en 85 GHz, horarios matutino y nocturno, respectivamente.

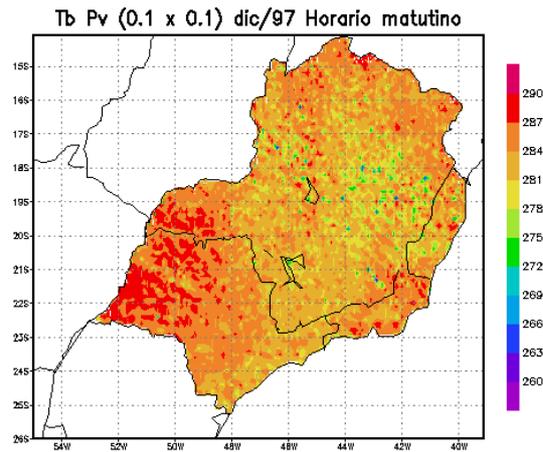


Figura 5 - Temperatura de brillo (K) para el horario matutino (diciembre/1999), polarización vertical con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

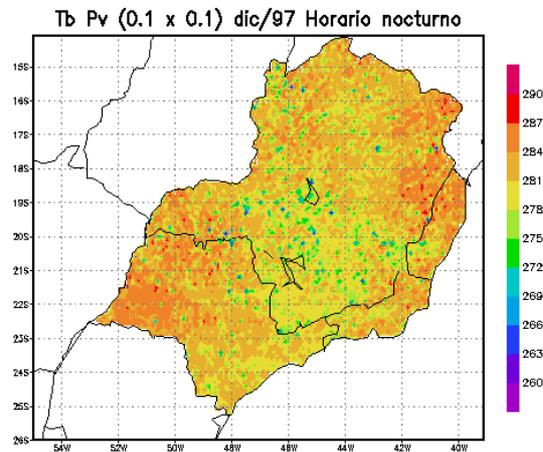


Figura 6 - Temperatura de brillo (K) para el horario nocturno (diciembre/1999), polarización vertical con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

Como manera de comparación, son presentados los campos de emisividad obtenidos según la aplicación de cada método para la región sudeste de Brasil. Valoramos que los resultados obtenidos de la aplicación del Método 2 sea el que esté reflejando con mayor veracidad las emisividades de la superficie terrestre de esta zona de estudio en ambas polarizaciones, debido a que en el procesamiento desarrollado en el Método 1 no se ha eliminado antes del cálculo de la emisividad la información de temperatura de brillo (Tb) referida a las nubes, contaminándose, de esta forma, la información de estos “pixels”. Como se puede apreciar, se obtuvieron resultados que difieren entre sí, según la aplicación de cada método.

Las Figuras (7) y (8) ilustran las emisividades para la frecuencia 85 GHz, obtenidas de la aplicación de los dos métodos en la polarización horizontal.

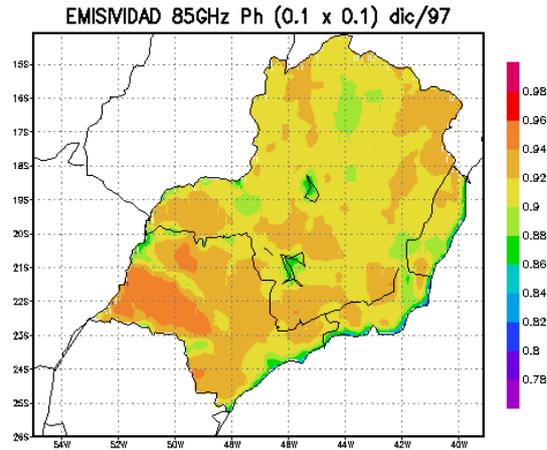


Figura 7 - Emisividad para la frecuencia 85 GHz polarización horizontal (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Método 1

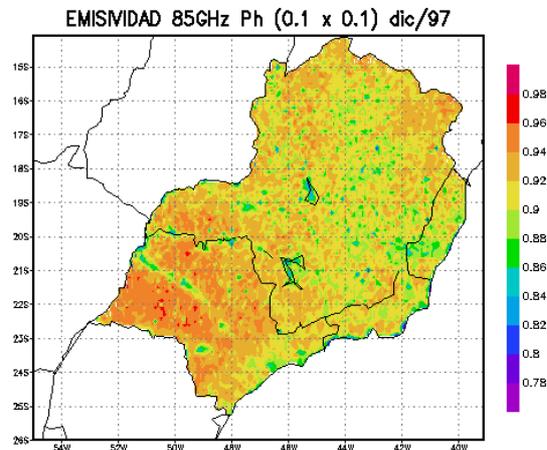


Figura 8 - Emisividad para la frecuencia 85 GHz polarización horizontal (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Método 2

Las Figuras (9) y (10) ilustran las emisividades para la frecuencia 85 GHz, obtenidas de la aplicación de los dos métodos en la polarización vertical.

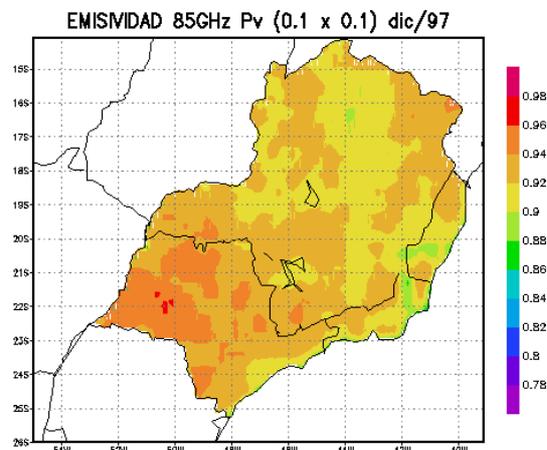


Figura 9 - Emisividad para la frecuencia 85 GHz polarización vertical (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Método 1

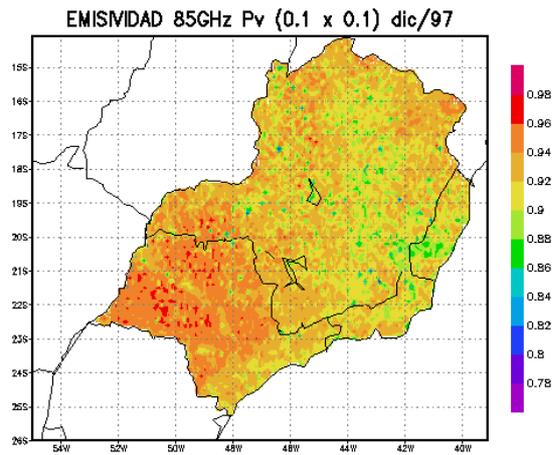


Figura 10 - Emisividad para la frecuencia 85 GHz polarización vertical (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Método 2

Los campos de diferencia de polarización ($\epsilon_v - \epsilon_h$) fueron también generados para verificar la rugosidad de la superficie. Las Figuras (11), (12) y (13) ilustran los campos de diferencia de polarización (rugosidad) para la frecuencia 85 GHz, obtenidas de la aplicación de la metodología planteada por Souza, 1999 y por la aplicación de los dos métodos propuestos. Como era de esperar, también se pueden apreciar diferencias en los resultados que se obtienen de la ejecución de ambos métodos, nos inclinamos entonces a recomendar el Método 2 como metodología de trabajo en lo sucesivo, debido a las consideraciones argumentadas anteriormente.

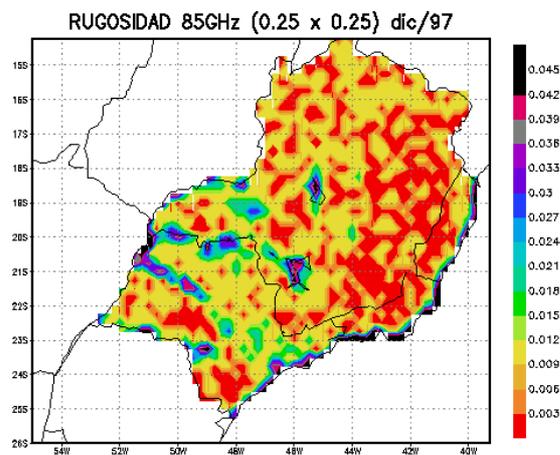


Figura 11 - Rugosidad para la frecuencia 85 GHz (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

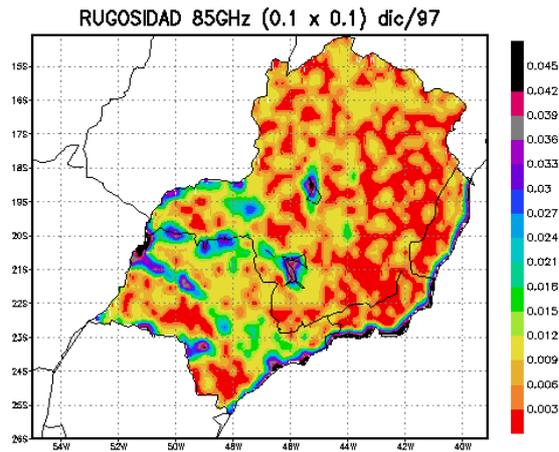


Figura 12 - Rugosidad para la frecuencia 85 GHz (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ - Método 1

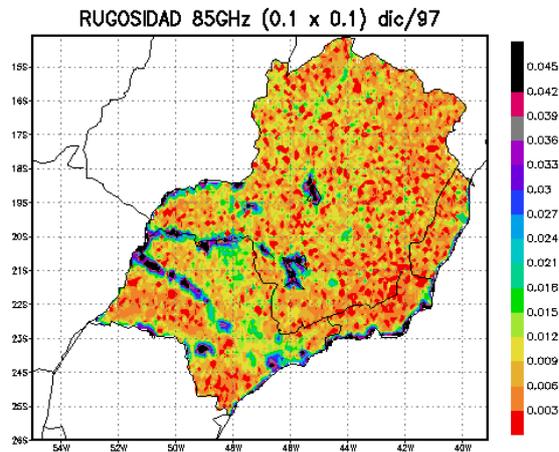


Figura 13 - Rugosidad para la frecuencia 85 GHz (diciembre/1999) con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ - Método 2

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados, se puede concluir que:

Los campos de emisividad y rugosidad, para resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, son más consistentes con la cobertura vegetal y la topografía de la región sudeste, cuando se aplica el Método 2. En el caso de la aplicación del Método 1, los campos presentan discontinuidades y se observa que las áreas vegetadas y acuáticas se encuentran sobreestimadas.

La eliminación de la nubulosidad en los campos de temperatura de brillo, antes de la estimativa de la emisividad, condujo a la obtención de mejores resultados. Esto debido a que en el caso contrario (Método 1) la aplicación del filtraje en el final del proceso, hizo que los campos de temperatura de brillo fuesen suavizados.

La calidad de los resultados obtenidos del kriging reveló la buena adecuación de la técnica empleada a los propósitos perseguidos con la ejecución del proyecto. El suceso de los resultados se debe fundamentalmente a las características intrínsecas del interpolador de kriging, fundamentalmente en lo referido al tratamiento de la anisotropía del fenómeno estudiado, cuestión que no es considerada por los métodos tradicionales de inferencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Doty, B. Analisador de Grade e sistema de Exibição, GrADS. Versão em Português por Pesquero, J. F. do CPTEC/INPE, 1998. 149 pp.
- Felgueiras, C. A. Desenvolvimento de um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – I.N.P.E., São José dos Campos, SP, Brasil, 1987.
- Hollinger, J. P.; R. Lo; G. Poe; R. Savage; J. L. Pierce. Special Sensor Microwave/Imager user`s guide, Nav. Res. Lab. Washington, D. C., 1987.
- Hollinger, J. P.; J. L. Pierce; G. A. Poe. SSM/I instrument evaluation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28, pp. 781-790, 1990.
- Matheron, G. The Theory of Regionalized Variables and its application. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, Faz. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.
- Oliver, M. A.; Webster, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. International Journal of Geographical Information System, 4 (3): pp. 313-332, 1990.
- Souza, R. A. F. Estimativa de emissividade da superfície continental a partir de dados de satélite em microondas. Dissertação de mestrado em Meteorología. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 1999. 75 pp.
- Vieira, S. R., D. R. Nielsen and J. W. Biggar. Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 45, pp. 1040-1048. 1981.
- Vieira, S. R., J. L. Hatfield, D. R. Nielsen, and J. W. Biggar. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Journal of Agricultural Science*, v. 51, pp. 1-49. 1983.