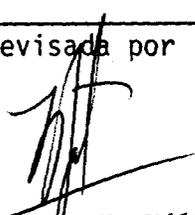
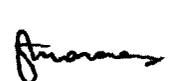


1. Publicação nº <i>INPE-2896-PRE/415</i>	2. Versão	3. Data <i>Outubro, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>ANAMB</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>HIDROLOGIA</i> <i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:556.166</i>			
8. Título <i>INPE-2896-PRE/415</i>  <i>APLICACIONES DE LOS SENSORES REMOTOS A PROBLEMAS HIDROLÓGICOS E INUNDACIONES</i>		10. Páginas: <i>17</i>	11. Última página: <i>16</i>
9. Autoria <i>Evelyn M. L. M. Novo</i>		12. Revisada por  <i>Hector M. I. Villagra</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas  <i>Los objetivos de la comunicación son: a) identificar las principales aplicaciones de los sensores remotos a la hidrología; b) identificar las bandas espectrales más utilizadas como también sus ventajas y desventajas; c) suministrar ejemplos de aplicaciones de datos LANDSAT en la evaluación del riesgo de las inundaciones. Como la hidrología se propone estudiar las variaciones de las cantidades de agua/humedad en las fases del ciclo hidrológico, es fundamental el desarrollo de las técnicas de adquisición de datos hidrológicos. Así, debe darse una atención especial a las técnicas de percepción remota.</i>			
15. Observações <i>Palestra proferida durante o Curso "Aplicaciones de Los Sensores Remotos en Hidrometeorología y en Preparación para Afrontar Desastres Rurales", Bogotá, Colombia, 13-24 de junho de 1983.</i>			

## APLICACIONES DE LOS SENSORES REMOTOS A PROBLEMAS HIDROLÓGICOS E INUNDACIONES

Evlyn M. L. M. Novo\*

### RESÚMEN

Los objetivos de la comunicación son: a) identificar las principales aplicaciones de los sensores remotos a la hidrología; b) identificar las bandas espectrales más utilizadas como también sus ventajas y desventajas; c) suministrar ejemplos de aplicaciones de datos LANDSAT en la evaluación del riesgo de las inundaciones. Como la hidrología se propone estudiar las variaciones de las cantidades de agua/humedad en las fases del ciclo hidrológico, es fundamental el desarrollo de las técnicas de adquisición de datos hidrológicos. Así, debe darse una atención especial a las técnicas de percepción remota.

### ABSTRACT

The objectives of this report are: a) to identify the main applications of remote sensors to hydrology; b) to identify the main spectral bands and their advantages and disadvantages; c) to furnish some examples of LANDSAT data applications to flooding-risk evaluation. Considering that hydrology is interested in studying the amount of moisture and water involved in each phase of hydrological cycle, it is important to develop new techniques for hydrological data acquisition; among them, remote sensing must be emphasized.

---

\* Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), C.P. 515, 12200 São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las bandas espectrales más utilizadas en los estudios hidrológicos son: a) visible/infrarojo reflectivo; b) infrarojo térmico y c) microondas.

Cada una de las bandas suministran datos fundamentales para la comprensión del ciclo hidrológico. La humedad del suelo por ejemplo, tiene influencia en la evaporación, en los escurrimientos superficiales y en la velocidad del escurrimiento del agua subterránea.

En la banda visible e infraroja próxima se puede medir el porcentaje de energía solar reflejada del suelo. Los efectos de la humedad del suelo sobre su reflexión pueden ser observados en la figura 1.

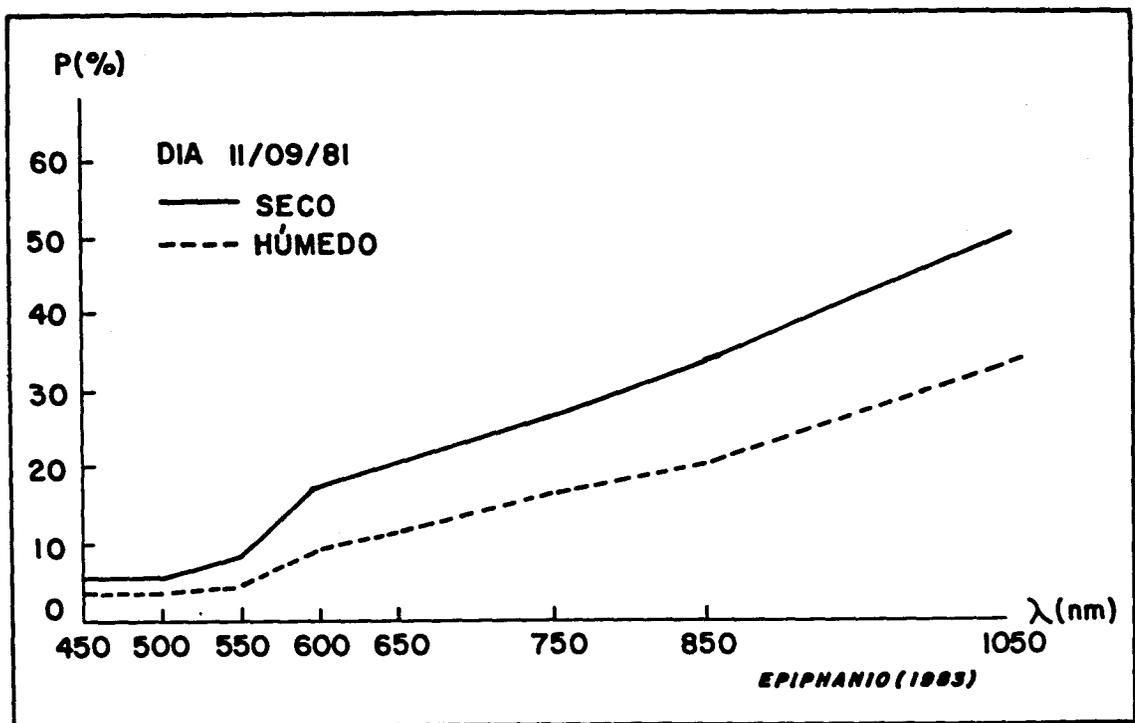


Figura 1 - Comportamiento espectral del suelo seco y húmedo.

En la figura 1 pueden ser observados los siguientes aspectos: a) la humedad determina una reducción en la reflexión del suelo en todas las longitudes de onda; b) las diferencias de reflexión entre suelos secos y húmedos aumentan con la longitud de onda.

Así, las bandas visible e infrarroja cercana pueden ser usadas para cartografiar las inundaciones.

No obstante su potencial de aplicación, el visible e infrarrojo próximo presentan ciertas limitaciones: a) el recubrimiento vegetal denso oscurece las relaciones entre las medidas espectrales y la humedad del suelo; b) las relaciones entre medida espectral y humedad del suelo son afectadas por la textura y rugosidad del suelo, tenor de materia orgánica y óxido de hierro, dirección de iluminación, etc.

En la banda del infrarrojo térmico, la humedad del suelo es estimada a través de sus variaciones térmicas. Experimentos en la banda térmica indican que en ciertos suelos, la amplitud diurna de la temperatura está correlacionada con la humedad del suelo entre 0 e 4 centímetros.

Las diferencias de temperatura entre suelos húmedos y secos permiten la delimitación de las zonas inundadas. Viesnet y MacGinnis (1974) relatan la utilización de datos térmicos del VHRR (NOAA 2) para delimitar la zona de inundación del río Mississippi en 1973. Según los autores, a pesar de su resolución (1 km), las diferencias de temperatura entre las zonas secas y húmedas permitieron trazar el límite del área inundada.

Los datos termales también presentan limitaciones: a) condiciones favorables a la evaporación hacen difícil la percepción remota de la humedad del suelo; b) las variaciones topográficas pueden cambiar el trans

porte de calor; c) los componentes atmosféricos cambian la radiación solar interviniendo en la temperatura de la superficie.

La banda de microondas tiene ventajas sobre las otras: a) independencia de las condiciones atmosféricas, lo que aumenta la frecuencia de adquisición de los datos; b) menor atenuación atmosférica.

En los sistemas activos de microondas las propiedades medidas por los sensores son: a) el coeficiente de retrodispersión; b) las propiedades dieléctricas. Los sensores pasivos miden la emisión del suelo en la banda de microondas a través de su temperatura de brillo. En general la temperatura de brillo disminuye con el aumento de la humedad del suelo, pero la sensibilidad a la variación es menor cuando el suelo está recubierto por la vegetación (Ulaby, 1983).

Schumugge et al. (1981) reconocen las siguientes limitaciones a los sensores de microondas: a) los sensores pasivos tienen resolución espacial baja, sufren interferencia de otras fuentes de radiación, de la rugosidad del suelo, de la temperatura del suelo y del recubrimiento vegetal; b) los sensores activos tienen limitaciones en la anchura de la franja fotografiada, son de difícil calibración, sufren de la interferencia de la rugosidad de la superficie, emplean alta tecnología para operar en los sistemas orbitales. La respuesta espectral de los objetos en los sistemas activos depende de parámetros no muy bien especificados como la polarización, el ángulo de incidencia y la frecuencia.

La potencialidad de cada banda para estudios hidrológicos depende sin embargo de la resolución espacial y temporal adecuada a cada aplicación teniendo en mente la tecnología existente.

La frecuencia de adquisición de datos de sensores remotos es un factor crítico en su aplicación a estudios hidrológicos. Ciertas aplicaciones necesitan una frecuencia cuya viabilidad solo es posible a través de los satélites.

## 2. APLICACIÓN DE DATOS LANDSAT PARA CARTOGRAFIAR LA INUNDACIÓN

Para cartografiar la inundación es necesario el conocimiento del comportamiento espectral del agua y del suelo en las bandas visible e infrarroja cercana.

En general el agua presenta las siguientes características espectrales:

- a) La reflexión del agua limpia es mínima a partir de  $0,8 \mu\text{m}$ .
- b) La reflexión del agua turbia es más grande que la del agua limpia.
- c) La reflexión del agua turbia es mínima a partir de  $0,9 \mu\text{m}$ .
- d) La banda en torno de  $1,0 \mu\text{m}$  es buena para discriminar el agua de los otros objetos de la superficie.
- e) La reflexión aumenta con el aumento de la cantidad de sedimentos.
- f) Con el aumento del contenido de sedimento el punto máximo de reflexión sufre un desplazamiento para longitudes de onda más grandes.

Así, en la banda del visible/infrarrojo cercano pueden ser obtenidos los siguientes datos necesarios a los estudios hidrológicos:

- a) área ocupada por los cuerpos de agua;
- b) área ocupada por suelos con elevado tenor de humedad;
- c) área inundada;
- d) límites de la llanura de inundación;
- e) padrón y forma de los cauces;
- f) padrón de la red de drenaje;
- g) tipos de uso de la tierra;
- h) tenor de los sedimentos en suspensión.

Considerando las especificaciones de la WMO (1976) puede verificarse que los datos MSS/LANDSAT tienen un alto potencial en los estudios hidrológicos de grandes cuencas hidrográficas o sea, con áreas maiores de 1000 km<sup>2</sup>.

Aunque la evaluación de los daños de las inundaciones exiga datos en tiempo real, Halberg y Hayer (1973) han demostrado que los datos del MSS permiten obtener mapas de las zonas inundadas hasta 7 días después de la recesión de la crecida porque los suelos húmedos se presentan diferentes de los suelos secos.

En ciertas circunstancias, incluso varios días después del desahucamiento del agua en la superficie, permanecen indicadores en las zonas más expuestas a la inundación.

En la figura 2, que es una ampliación de la imagen MSS 7 obtenida a través del sistema IMAGE-100 (General Electric, 1975), pueden observarse lagos en la llanura aluvial del Rio Paraná, cauce principal de una de las grandes cuencas hidrográficas del Brasil.

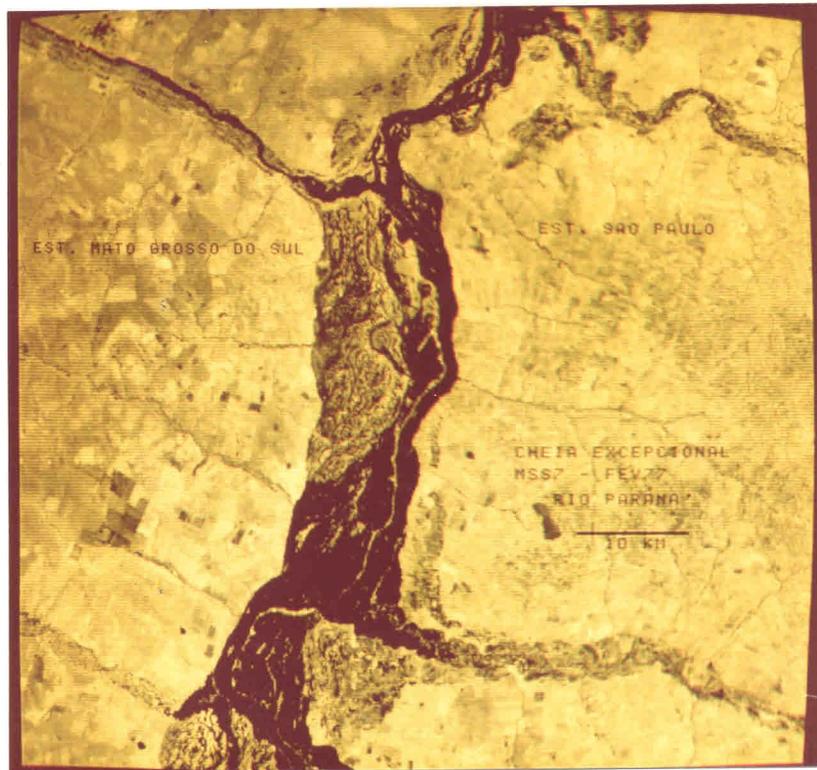


Figura 2 - Rio Paraná - Crecida Excepcional

Esos lagos no se observan en la figura 3, que es una ampliación de la imagen tomada en un año de caudal normal.

La comparación entre las figuras puede sugerir que los lagos son remanentes de un período en que todo aquel sector estaba submerso.



Figura 3 - Rio Paraná - Caudal normal - MSS 7

El análisis de la figura 4, que es la imagen MSS 5 referente a la crecida excepcional y el de la figura 5, que es la imagen MSS 5 correspondiente a caudales normales, permite especular que sectores de la llanura fueron inundados por el rebalse de agua más allá del cauce fluvial por la acumulación pluvial. Una información de este tipo es importante para la elección de métodos de control estructural y no estructural de las inundaciones.

En la figura 4 puede observarse que el agua del cauce principal tiene tonos gris claros que pueden estar relacionados con sedimentos en suspensión, porque la banda MSS 5 es sensible a elevados tenores de materiales en suspensión.



Figura 4 - Rio Paraná- Caudal Excepcional - MSS 5

El estudio minucioso de la imagen muestra la existencia de manchas claras en la llanura aluvial. Estas manchas, que en la banda 7 fueron identificadas como áreas inundadas, presentan un padrón en forma de pluma y pueden sugerir que la inundación de aquel sector se ha verificado a través del rebalse del agua del cauce del Rio Paraná.

Cuando se observa la figura 5, tomada en las crecidas normales, no se verifica la existencia de las plumas de dispersión de los sedimentos, sugiriendo que probablemente, en esta sección, la inundación de la llanura no se verificó por rebalse del agua del cauce.



Figura 5 - Rio Paraná - crecida normal - MSS 5

De este análisis resulta que la disponibilidad de los datos multiespectrales y repetitivos es fundamental para cartografiar las áreas inundadas.

El carácter repetitivo y multiespectral de las imágenes MSS/LANDSAT puede ser mejor aprovechado cuando se trabaja con composiciones repetitivas y multiespectrales.

La figura 6 es una composición repetitiva de la banda MSS 7. Esta composición fue hecha a través del sistema IMAGE-100 disponible en el Instituto de Investigaciones Espaciales.

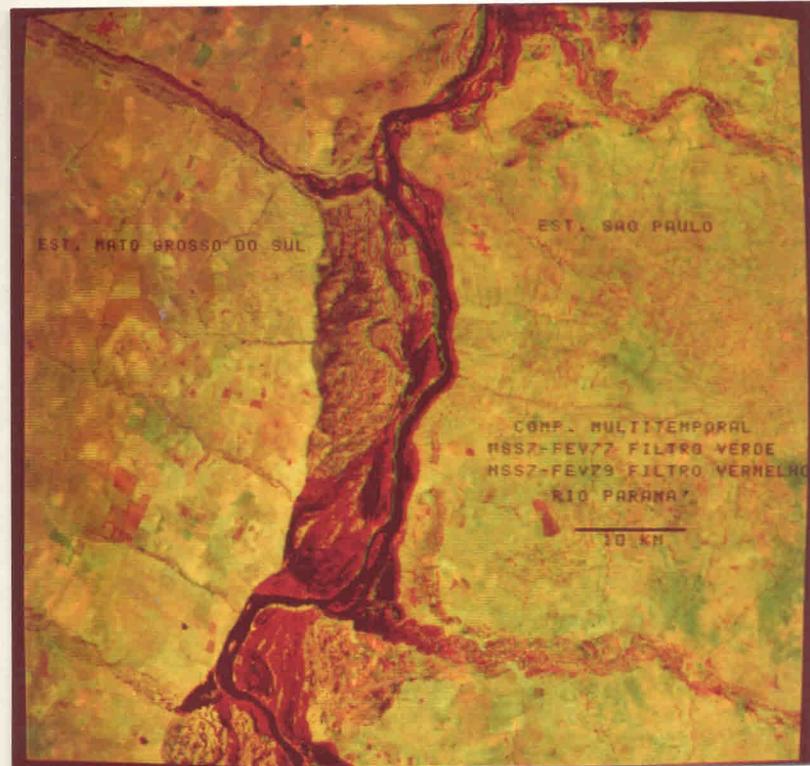


Figura 6 - Rio Paraná - composición repetitiva de la banda MSS 7

La composición repetitiva permite la evaluación de la zona inundada. Utilizando las informaciones de la tabla 1 se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- a) El  rea en rojo es el sector de la llanura que se ha inundado durante el caudal excepcional.
- b) Los tonos rojos más oscuros corresponden a suelos muy húmedos en la crecida normal.
- c) Las áreas con color negro son regiones cubiertas por las águas en los caudales normales y excepcionales.
- d) Las áreas en amarillo, en el interior de la llanura de inundación no han tenido inundaciones en las dos fechas.

La utilización de las composiciones repetitivas y multiespectrales pueden dilucidar las dudas sobre el comportamiento del agua (Figura 7).



Figura 7 - Composición Repetitiva y Multiespectral

La explicación para el significado de los tonos puede ser obtenida en la Tabla 2.

En el infrarrojo próximo la vegetación densa presenta un alto porcentaje de reflexión. Sin embargo con el efecto de la inundación, la reflexión de la vegetación ha disminuido. En estas condiciones, la utilización de la información multiespectral puede darnos datos para verificar si la reducción de la reflexión resulta de la humedad o de otra alteración de la cubierta vegetal.

FECHA	TIPO DE CAUDAL	FILTRO	CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE			
			AGUA	AGUA	VEGETACIÓN	VEGETACIÓN
1977	EXCEPCIONAL	VERDE	AGUA	AGUA	VEGETACIÓN	VEGETACIÓN
1979	NORMAL	ROJO	AGUA	VEGETACIÓN	AGUA	VEGETACIÓN
C O L O R			NEGRO	ROJO	VERDE	AMARILLO

Tabla 1 - Composición repetitiva - cuadro explicativo

BANDAS MSS/LANDSAT	TIPO DE CAUDAL	FILTRO	CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE						
			AGUA LIMPIA	VEGETACIÓN ESPESA	AGUA TURBIA	VEGETACIÓN	VEGETACIÓN POCO ESPESA	AGUA TURBIA	SOMBRA DE NUBE
BANDA 5	NORMAL	AZUL	AGUA LIMPIA	VEGETACIÓN ESPESA	AGUA TURBIA	VEGETACIÓN	VEGETACIÓN POCO ESPESA	AGUA TURBIA	SOMBRA DE NUBE
BANDA 7	EXCEPCIONAL	VERDE	AGUA	AGUA 0 VEGETACIÓN INUNDADA	AGUA TURBIA	AGUA	VEGETACIÓN POCO ESPESA	VEGETACIÓN	NUBE
BANDA 7	NORMAL	ROJO	AGUA LIMPIA	VEGETACIÓN ESPESA	AGUA TURBIA	VEGETACIÓN	VEGETACIÓN POCO ESPESA	AGUA TURBIA	SOMBRA DE NUBE
C O L O R			NEGRO	ROJO	AZUL	VIOLETA	AMARILLO	AZULADO	VERDE

Tabla 2 - Composición Repetitiva Multiespectral - Cuadro Explicativo

Si la reducción de la reflexión de la vegetación en la banda 7 es debida a la humedad, el área en estudio deberá corresponder a las secciones con cubierta vegetal densa determinando altos niveles en la banda 7 y bajos niveles en la banda 5, referentes a la estación no afectada por la inundación. Esto resultará en una combinación aditiva de colores (Tabla 2) en el color rojo.

### 3. CONCLUSIONES

En el contexto del tema tratado, se ofrecen las siguientes observaciones:

Los datos de sensores remotos pueden ser extremadamente útiles en los estudios hidrológicos.

Apesar de su resolución, las imágenes del satélite LANDSAT pueden ser utilizadas para cartografiar las áreas inundadas.

Aunque no existan imágenes durante el pico de las crecidas, la información referente a las áreas inundadas puede ser obtenida apoyándose en gran parte en indicadores tales como: reducción de la fuerza de la vegetación debido a la humedad excesiva; deposiciones de sedimentos en la llanura de inundación, presencia de lagos en la llanura.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EPIPHANIO, J.C.N. Efeito do Ângulo de Observação e da Rugosidade no Comportamento Espectral de Solos sob Condições Hídricas Temporariamente Variáveis. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2777-RPE/436).

- HALBERG, G.R.; HAYER, B.E. Application of ERTS-1 Imaging to Flood Inundation Mapping. IN: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES SATELLITE - 1, V. 1, Section A, p:745-754, 1973.
- SCHUMUGGE, T.J.; JACKSON, T.J.; McKIM, H.L. Survey of In-Situ and Remote Sensing Methods for Soil Moisture Determination. IN: Deustch, M.; Wiesnet, D.R.; Rango, A.; ed. Satellite Hidrology Mineapolis, American Water Resources Association, 1981.
- ULABY, F.T.; RAZANI, M. and DOBSON, M.C. Effects of Vegetation Cover on the Microwave Radiometric Sensitivity to Soil Moisture. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 21(1):51-61, 1983.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Satellite Applications in Hydrology: Final Report: Informal Planning Committee Proc.,Genebra, Switzerland. 1976.