

## **Emprego de Imagens Landsat7/ETM+ para Detecção da Calha Principal do Rio São Francisco com Propósito de Auxiliar os Estudos de Navegabilidade**

NICALI BLEYER FERREIRA DOS SANTOS<sup>1</sup>

RICHARD ANDERSON S. LOPES<sup>1</sup>

RENATO FONTES GUIMARÃES<sup>1</sup>

ARISTÓTELES FERNANDES DE MELLO<sup>2</sup>

OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografia - Universidade de Brasília (UnB)- Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

<sup>2</sup>Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco

**Abstract** The present work has the purpose to develop a methodology to estimate the rivers depth from remote sensing data in order to apply to navigability studies, migration of sand banks among others. This kind of raising allows an optimization and a decrease of costs indicating critical areas to field survey. The methodology proposal can be subdivided in two stages: a) Build of the digital model river channel from bathymetric data, and b) digital processing of the image Landsat7/ETM+. The digital processing was divided in the following stages: a) pre - processing; b) analysis of waters spectral mixture of the river San Francisco from simplex geometry and linear mixture analysis, c) accomplishment of a comparison between the data bathymetric and reflectance. The method facilitated to distinguish the turbulence zones with material suspension inferring about the channel morphology.

**Keywords:** remote sensing, Landsat-7/ETM+, navigability, water.

### **1 Introdução**

O Brasil, país de extensão continental, possui em sua rede fluvial um enorme potencial para a implantação de um amplo sistema hidroviário. Essa forma de escoamento da produção tende a abaixar significativamente os custos e o preço final do produto tornando-os mais acessíveis no mercado interno e mais competitivos no exterior.

A característica sinóptica das imagens de satélite, o caráter repetitivo e a existência de sensores cada vez mais potentes na resolução espacial e espectral torna o emprego dessa técnica propícia para o levantamento e monitoramento do regime fluvial. Com o intuito de implantar as hidrovias no país estudos recentes empregaram o sensoriamento remoto fornecendo importantes subsídios sobre a navegabilidade dos rios (Araújo *et al.*, 1996; Meneses *et al.*, 1994, 1995a, 1995b). Nesses levantamentos a metodologia adotada foi baseada em técnicas de realce visual seguida de classificação supervisionada (MAXVER) e/ou interpretação manual. Esse procedimento metodológico é fundamentado nas propriedades espaciais da imagem conciliada a acuidade visual do intérprete.

A propriedade espacial da imagem busca descrever um determinado pixel a partir de suas inter-relações (Carvalho, 2000; Sabol, 1992). Desta forma, a detecção de alvos por essa propriedade tem como pressuposto a análise de um grupo de pixels e jamais de um pixel

isolado. Apesar do espectro de um pixel ser pontual, ele pode apresentar um padrão de repetição na imagem, o que lhe confere um caráter espacial. Portanto, dentro de uma imagem a variância espectral pode ser utilizada como parâmetro estatístico para a distinção dos alvos que a compõem. Muitas técnicas estatísticas empregadas no tratamento de imagens utilizam esse pressuposto como a APC e a decorrelação, entre outros.

Desta forma, o simples emprego de técnicas de tratamento digital de imagens baseada na propriedade espacial permite distinguir padrões que visualmente são interpretado segundo as classes de interesse. Um inconveniente do emprego dessa metodologia é que as imagens tratadas apresentam uma grande variabilidade quando comparadas entre si, aumentando a imprecisão e a dependência da experiência do intérprete.

O presente trabalho propõem uma metodologia que enfatiza a análise espectral dos corpos d'água. Esse tipo de análise possui como pressuposto de trabalho o pixel e seu respectivo espectro (Carvalho, 2000). A determinação e a quantificação dos elementos que o compõem é feita pela análise das feições de absorção e sua intensidade em comparação a uma curva de referência. Esse tipo de análise possui como embasamento o estudo das propriedades físicas da interação energia – matéria, principal ponto de divergência em relação à anterior, que avalia a informação segundo padrões de distribuição e dispersão. Desta forma, a análise das propriedades espectrais provê informações mais acuradas dos elementos que compõem o espectro e é menos vulnerável aos padrões de variabilidade dos dados. Dentro dessa concepção de normalização da informação busca-se a formulação de métodos quantitativos em vez de qualitativos.

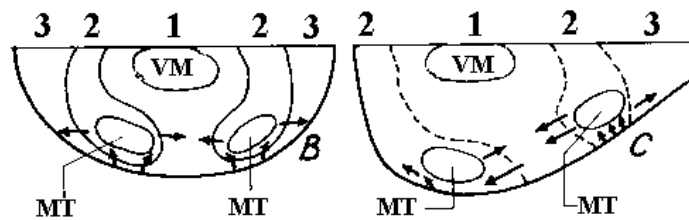
A metodologia pode ser subdivida em 2 etapas: a) confecção do modelo digital de terreno relativo a profundidade do rio utilizando dados batimétricos b) processamento digital das imagens Landsat7/ETM+.

## **2 Distribuição da Velocidade e Turbulência do Fluxo Fluvial**

O comportamento espectral dos ambientes aquáticos varia em função da concentração e distribuição dos sedimentos em suspensão, dos compostos inorgânicos e orgânicos dissolvidos e dos seres vivos, principalmente, o fitoplâncton (Mantovani, 1993; Sturm, 1980 e Novo, 1992).

A dinâmica fluvial impõem que a concentração desses componentes variam ao longo do rio tanto transversalmente como em profundidade. O fluxo turbulento é responsável pela conservação das partículas com granulação silte e argila em suspensão. Esse fluxo caracteriza-se por movimentos caóticos e heterogêneos, com muitas correntes secundárias contrárias ao fluxo principal (Christofletti, 1980). O regime turbulento é função da profundidade e da velocidade do fluxo.

Devido ao aumento da turbulência em direção ao fundo a concentração dos particulados em suspensão é muito maior perto do leito da corrente do que junto a superfície (Suguió & Bigarrela, 1990). A turbulência nos cursos fluviais apresentam-se distribuídos conforme a morfometria do canal e pela velocidade dos cursos fluviais. A **Figura 1** apresenta seções transversais ao rio apresentado à distribuição das velocidades máximas e a zonas de turbulências em canais simétricos e assimétricos (Leighley *apud* Suguió & Bigarrela, 1990). Desta forma, as propriedades ópticas inerentes da água variam também ao longo do rio conforme a influência de seus componentes na absorção e espalhamento da radiação electromagnética.

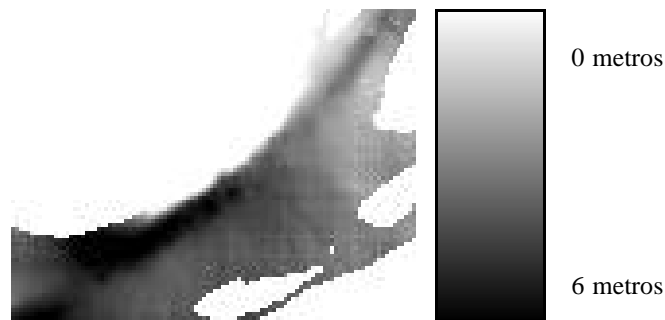


**Figura 1** – Distribuição das velocidades e turbulências máximas: a) canais simétricos e b) canais assimétricos (Leighley *apud* Suguio & Bigarrela, 1990). MT = máxima turbulência, 1 = eixo de alta velocidade, 2 = intensa turbulência e velocidade moderada, 3- áreas laterais de turbulência e velocidades baixas.

### 3 Confeção do Modelo Digital de Terreno de Dados Batimétricos

A confeção do Modelo Digital de Terreno relativo a profundidade do rio foi realizado a partir de dados batimétricos, na escala 1:5.000, realizados pela Companhia Energética de São Paulo (CESP, 1999). Para a interpolação dos dados foi utilizado o método de Kriging com procura octante do programa SURFER (Golden Software, 1987).

O levantamento foi restrito apenas ao longo da calha principal do rio não atingindo as margens. Para amenizar a ausência desses dados adotou-se o valor nulo para o vetor relativo a margem do rio. O modelo digital evidencia o comportamento assimétrico do canal (**Figura 2**).



**Figura 2** – Imagem do Modelo Digital de Terreno referente a batimetria de uma faixa do Rio São Francisco

### 4 Processamento Digital de Imagem

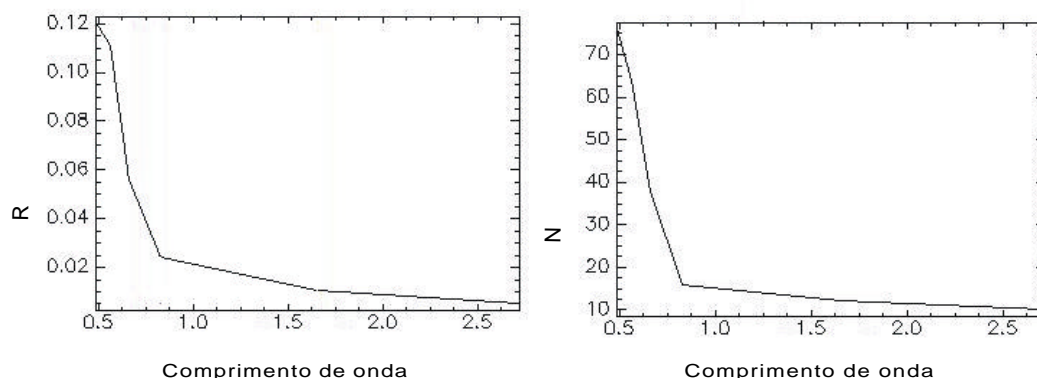
O processamento digital pode ser subdividida em 4 etapas: a) pré – processamento; b) análise de mistura espectral das águas do rio por meio da geometria do simplex c) formulação de um índice espectral para a turbidez.

#### 4.1. Pré – processamento

O primeiro procedimento realizado foi a conversão dos valores digitais em reflectância aparente com finalidade de minimizar as variações presentes durante a aquisição das cenas e realizar comparações dos espectros da imagem com as de bibliotecas espectrais. A conversão dos valores digitais em reflectância aparente permite compensar as diferenças de ganho e “off-set” de cada banda espectral, da irradiância solar no topo da atmosfera e do ângulo de incidência da radiação sobre o alvo no momento da aquisição da imagem (Nelson, 1985, Bentz, 1990). Desta forma, esse procedimento permite realizar uma normalização dos dados que facilitará a comparação futura do comportamento espectral em outras datas ou localidades do

rio como em relação a outros rios. Para tanto, utilizou-se o módulo para tratamento de imagens TM-Landsat do programa ENVI 3.4 . A **Figura 3** apresenta o resultado do espectro após a correção radiométrica.

Nas imagens não foi realizado correção geométrica utilizando-se o georreferenciamento proveniente das imagens Landsat-7/ETM que é condizente com o levantamento batimétrico.



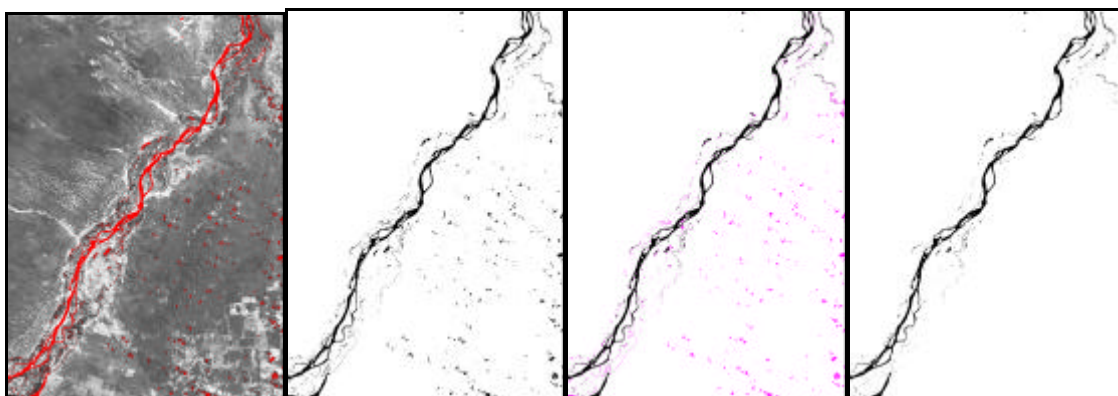
**Figura 3** - Comportamento espectral do rio São Francisco antes e após a conversão dos níveis de cinza em reflectância

#### 4.2. Análise do Comportamento da Mistura Espectral dos Corpos d'água

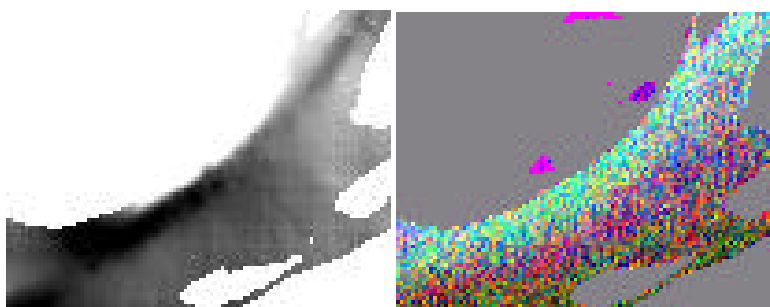
Com a finalidade de analisar apenas a variabilidade espectral dos corpos d'água confeccionou-se uma máscara apenas referente ao rio. A delimitação desses corpos é facilmente obtida pelo fatiamento de uma das bandas do TM-Landsat referentes ao infravermelho (TM4, TM5 e TM7). Nessas bandas os valores de reflectância da água são extremamente baixos em relação aos demais alvos permitindo sua rápida e precisa segmentação. Desta forma foi realizado uma máscara considerando valores de reflectância aparente da banda 7 menores que 0,005 ( $\rho_7 < 0,005$ ). Um inconveniente nesse procedimento é a interferência de áreas relativas as sombras das nuvens que também são englobadas nessa faixa. Para eliminar as interferências provenientes das sombras utilizou-se do índice NDVI normalizado ( $\rho_4 - \rho_3 / \rho_4 + \rho_3$ ) as áreas relativas aos corpos d'água apresentam valores negativos enquanto que as sombras normalmente em áreas vegetadas apresentam valores positivos (**Figura 4**).

Para a detecção dos membros finais que compõe o ambiente aquático utilizou-se a geometria do simplex (Bateson & Curtiss, 1993 e 1996, Boardman, 1993, Smith *et al.*, 1985a, 1985b). Desta forma, os pixels referentes aos corpos d'água foram submetidos a transformação por *Minimum Noise Fraction* (MNF) (Green, 1988) seguido de detecção dos seu membros finais por análise em gráficos de dispersão. O procedimento de realizar o MNF apenas sobre os pixels do rio, com auxílio da máscara definida no tópico anterior, permitiu uma análise acurada do alvo e um excelente realce digital. A **Figura 5** exhibe uma composição colorida do 1<sup>a</sup> /2<sup>a</sup> /3<sup>a</sup> MNF que é comparada com o MDT da batimetria.

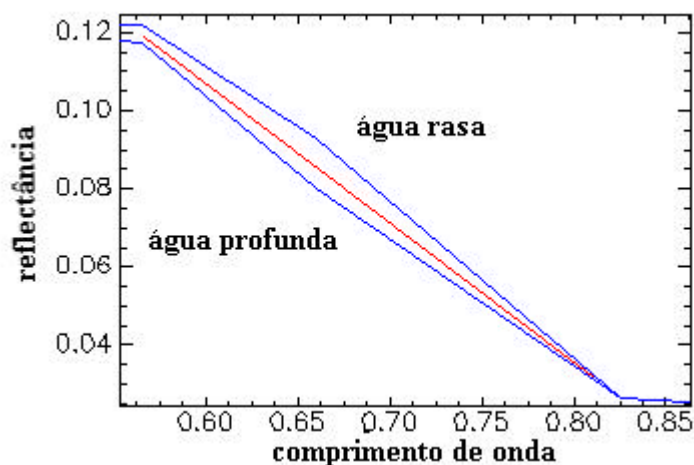
A partir dos membros finais pode-se constatar uma forte correlação da banda 3 com a distribuição de sedimentos em suspensão. A coloração vermelha do material inorgânico suspenso provoca o aumento da reflectância na faixa do vermelho (Novo, 1989). Desta forma, os espectros em água mais profunda e de maior velocidade apresentam uma curvatura côncava ( $\rho_3$  menores) enquanto que nas zonas de maior turbulência e sedimentos suspensos uma curvatura convexa ( $\rho_3$  maiores) (**Figura 6**).



**Figura 4** – Pré – seleção dos corpos d’água a) banda TM7 destacando as áreas com valores  $\rho_7 < 0,005$ , b) máscara das áreas com  $\rho_7 < 0,005$ , .c) separação das áreas com sombra pelo índice de vegetação NDVI (sombra cor magenta), e d) área relativo aos corpos d’água.

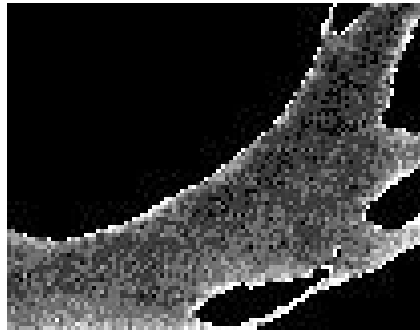


**Figura 5** – Composição colorida das Bandas 1<sup>a</sup> /2<sup>a</sup> /3<sup>a</sup> MNF apresentando alta correlação com a imagem batimétrica.

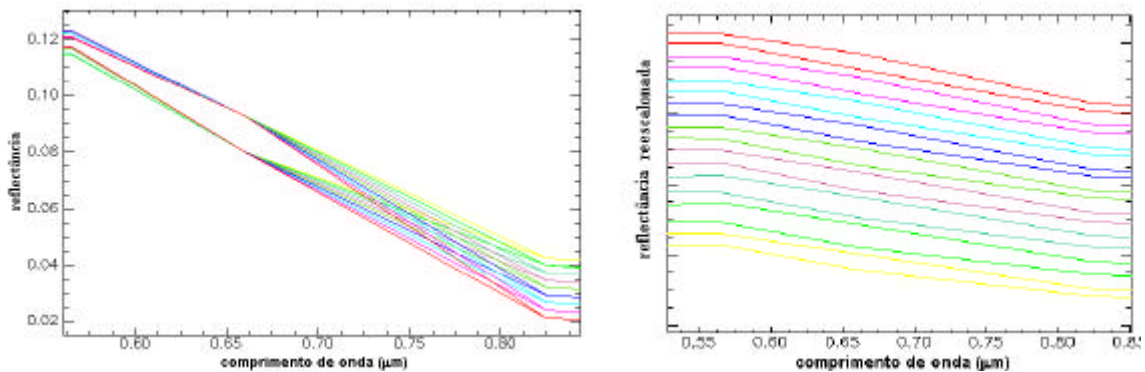


**Figura 6** – Comportamento diferenciado na banda 3 do ETM7 para localidades com água profunda e água rasa. Os espectros estão demarcados em azul.

Outra característica desses espectros é a variação presente na banda 4. Os valores de reflectância na banda 4 mais altos indicam as margens do rio (**Figura 7**). Essa característica é proveniente da presença de areia branca em suspensão. A variação na banda 4 não apresenta uma correlação direta com a banda 3 (**Figura 8**).



**Figura 7** – Imagem da Banda 4 com realce do ambiente aquático por meio do emprego de uma máscara.



**Figura 8** a) Série de espectros demonstrando a variação do valor de reflectância para a banda 4 na qual para cada valor existem dois comportamentos distintos para a banda 3, b) série reescalada

### 4.3 Formulação de um Índice Espectral para a Turbidez.

Portanto, para caracterizar a profundidade relativa do rio foi desenvolvido um índice de razão de três bandas (Gao *et al.*, 1993a e 1993b ) a partir do estabelecimento de um contínuo (Clark & Roush, 1984; Clark, *et al.*, 1990), no caso, entre as bandas 2 e 4. A formulação desse índice é descrito como:

$$\text{Índice de turbidez} = \rho_3 / (\rho_2 - (\rho_2 - \rho_4) * (\lambda_2 - \lambda_3) / (\lambda_2 - \lambda_4)) \quad \text{equação 1}$$

$\rho$  = valor de reflectância da banda específica

$\lambda$  = comprimento de onda para a banda específica

Esse índice apresenta uma alta correlação com as zonas esperadas de turbulência e conseqüentemente com sedimentos em suspensão (**Figura 9**). Além disso, o emprego desse índice permite evidenciar para a banda 3 as localidades com feição côncava (índice < 1) e com feição convexa (índice > 1).

## 5 Conclusão

O emprego das imagens Landsat7/ETM+ mostrou-se adequada para determinar áreas com alta turbulência e com presença de sedimentos suspensos para o rio São Francisco. O

comportamento da Banda 3 apresentou a forte correlação com os sedimentos suspensos que devido sua coloração apresenta um aumento na faixa do visível. A partir das características da banda 3 foi desenvolvido um índice de turbulência concordante com as características do canal. A partir da distribuição dos sedimentos pode-se definir a localização da calha principal do rio por onde trafegam as embarcações.



**Figura 9** Imagem relativo ao índice de turbulência mostrando-se adequado com o arcabouço fluvial.

### Referências

- Araújo, A. H., Guimarães, R. F., Carvalho Jr., O. A., Meneses, P. R., 1996, Metodologia para Geração de Cartas de Navegabilidade Utilizando Dados de Sensoriamento, SIG's e CAD's - Estudo de Caso no Estabelecimento de Referências de Navegabilidade para a Hidrovia do Rio Tocantins. *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais do...*, Salvador, BA.
- Bateson, C. A. & Curtiss, B., 1993, A tool for manual endmember selection and spectral unmixing: In: *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26, v.1, p.3-6.
- Bateson, C. A. & Curtiss, B., 1996, A Method for Manual Endmember Selection and Spectral Unmixing, *Remote Sens. Environ.* 55:229-243.
- Bentz, C. M., 1990, Avaliação da Transformação radiométrica dos dados TM/Landsat – 5 em Reflectâncias. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, 142pp.
- Boardman, J. W., 1993, Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: In: *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26, Vol. 1, pp.11-14.
- Carvalho Jr., O. A., 2000, Avaliação e Desenvolvimento de Métodos de Processamento de Imagens Hiperespectrais – Análise em Depósito de Níquel (Niquelândia, GO). Tese de doutorado, Instituto de Geociências - Universidade de Brasília (inédito)
- CESP – Companhia Energética de São Paulo, 1999, Cartas Batimétricas do Rio São Francisco (inédito)
- Christofolletti, 1980, Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blücher, 2<sup>a</sup> edição, pp. 188.
- Clark, R. N. & Roush, T. L., 1984, Reflectance Spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *J. Geophys. Res.*, 89, 6329-6340.
- Gao, B.-C.; Goetz A. F. H. & Zamudio, J. A., 1993, Removing Atmospheric effects from AVIRIS Data for Reflectance Retrievals, In: *Proceeding of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Public 93-26. pp. 80-86.
- Gao, B.-C.; Heidebrecht, K. B. & Goetz, A. F. H., 1993, Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44:165-178.
- Golden Software, 1987, SURFER, Golden Software Inc., Golden USA.

- Green, A. A.; Berman, M.; Switzer, P. & Craig, M. D., 1988, A transformation for ordering multispectral data in terms of imagens quality with implications for noise removal: *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 26, No.1, pp. 65-74.
- Mantovani, 1993, Comportamento espectral da água: faixas de maior sensibilidade do fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto do INPE, 98p (inédito).
- Meneses, P. R., Araújo A. H., Carvalho Jr., O. A., Guimarães, R. F., 1995a, *The Use of TM-Landsat Data in the Thematical Mapping of River Tocantins - Amazon Region - Northern Brazil*. Thematic Mapper Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, U.S.A., ERIM.
- Meneses, P. R., Araújo, A.H., Guimarães, R. F., Carvalho Jr., O. A., Mota, I. S. A., Ferreira, A. P. M., 1995b, *Mapeamento Temático do Rio Tocantins por Sensoriamento Remoto para Implantação da Hidrovia no Trecho entre Palmas (TO) e a Hidrelétrica de Tucuruí (PA)*. IV Simpósio Brasileiro de Geografia Física, Anais do..., Goiânia, GO. 208 -215p.
- Meneses, P. R.; Ferreira Jr., L. G.; Souza, N. M.; Zerbini, N.; Riehl Jr., W.; Brod, J. A.; Lucatelli, G.; 1994, Assessing Araguaia River navigability conditions through LANDSAT – TM image processing systems. In: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring. ISPRS-INPE, 1994, V.30 part 7b, p.235-257.
- Nelson, R. F., 1985, Reducing Landsat MSS scene variability. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 51 (5): 583-593.
- Novo, E. M. L., Hanson, J. D., Curran, P. L., 1989, The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. *International Journal of Remote Sensing*, 10(7): 1283-1289.
- Sabol D. E. Jr., Adams J. B. & Smith M. O. 1992, Quantitative Subpixel Spectral of Targets in Multispectral Images, *J. Geophys. Res.*, 97, 2.659-2.672.
- Smith, M. O. & Adams, J. B. 1985a. Strategy for analyzing mixed pixels in remotely sensed imagery. In: *Proc. NASA/JPL Aircraft SAR Workshop* JPL Publ. 85-39, p.47-48
- Smith, M. O. & Adams, J. B. 1985b. Interpretation of AIS images of Cuprite, Nevada, using constrains of spectral mixtures. In: *Proc. Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop* JPL Publ. 85-41, p. 62-68.
- Suguió, K. & Bigarella, J. J. B., 1990, *Ambientes Fluviais*, 2ª ed., Florianópolis: Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, pp. 183.
- Sturm, B., 1980, Optical Properties of Water-Applications of Remote Sensing to Water Quality Determination. In: Frayse, G. ed *Remote sensing applications in agriculture and hidrology*. Rotterdam, Balkema, 471-491.