

## Análise de imagens de satélite para o mapeamento de áreas úmidas do Cerrado

Andreia Maria da Silva França<sup>1,2</sup>  
Edson Eyji Sano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UNB/IG  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – CEP: 70910-900 – Brasília - DF, Brasil  
andreia.franca@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Embrapa Cerrados  
Caixa Postal 08223 – CEP: 73301-970 Planaltina - DF, Brasil  
sano@cpac.embrapa.br

**Abstract.** Although the majority of phytophysiognomies are found in well-drained soils, we can also find other vegetation types in wet areas of Cerrado biome. Besides the ecological importance of such areas, there are few studies and database regarding their location, extension and other basic characteristics. In this study, multispectral and multitemporal data from varying satellite sensors were analyzed in order to delineate humid areas in the Cerrado. The study was based on an humid area located in the experimental farm of the Brasilia University, i.e., the Agua Limpa Farm. The contour line obtained in the field with a GPS receiver was used as ground truth. Results showed the potential of multitemporal and high spatial resolution satellite data for discriminating small-size humid areas in the Cerrado. However, their use for the entire Cerrado may have limitations because of the extension of the Cerrado (~ 204.7 million hectares) and because of the cloud and smoke cover during both wet and dry seasons.

**Palavras-chave:** remote sensing, wetlands, Brazilian Savanna, sensoriamento remoto, áreas úmidas, savana tropical.

### 1. Introdução

As Áreas Úmidas (*Wetlands*) são ecossistemas naturais cujo substrato sofre inundação periódica ou permanente, o qual constitui-se no fator determinante na origem e no desenvolvimento do solo e das suas comunidades vegetais (Keddy, 2000). Grandes produtoras de alimentos e reservas de biodiversidade, essenciais para a conservação da flora e da fauna específicas, estas áreas destacam-se principalmente pela capacidade na manutenção do regime hídrico dos rios e a perenização dos cursos d'água (Dugan, 1990). Além disso, destacam-se também por geralmente possuírem altas taxas de produtividade primária e atividade biogeoquímica (Brinson et al., 1981; Mitsch e Gosselink, 2000).

Ainda que o predomínio das fitofisionomias do Cerrado esteja associado a solos bem drenados, encontram-se também, neste Bioma, as Áreas Úmidas. Eiten (2001) definiu a vegetação natural do Cerrado e relacionou as Áreas Úmidas às fitofisionomias de: (1) Floresta de Galeria; (2) Campo Úmido; (3) Campo de Murundus; (4) Brejo Permanente e (5) Vereda.

Nas Áreas Úmidas típicas do Cerrado, o lençol freático fica próximo à superfície e aflora durante a estação chuvosa, já durante a estação seca a porção superficial do solo mantém-se seca (Eiten, 2001). Esta condição bastante específica de estresse ambiental ocasionado pelo alagamento sazonal do solo afeta as condições anaeróbicas do solo e, assim, os processos de decomposição da grande quantidade de matéria orgânica acumulada (Yavitt, 1994).

Os Campos Úmidos freqüentemente formam uma faixa horizontal sobre encostas de vales, a qual separa o Cerrado do interflúvio e da Floresta de Galeria do fundo do vale. Esta seqüência de vegetação de Cerrado, Campo Úmido, Veredas e Floresta de Galeria compõe uma paisagem característica da região central do Brasil (Eiten, 2001), suas dimensões espaciais são reduzidas em relação as fitofisionomias associadas às áreas secas, cobrindo, portanto, áreas restritas do Cerrado.

A área estimada de Campos Úmidos estacionalmente inundáveis sobre solos hidromórficos é de 2,3% e, sobre solo do tipo Glei Húmico, é de 0,2% (Reatto et al., 1998). França et al. (2008) estimaram, a partir de imagens Landsat/ETM+, as Áreas Úmidas do Distrito Federal, estas representam 3,37% da área de estudo. Nesta pesquisa, foram consideradas Áreas Úmidas aquelas áreas associadas às fitofissionomias de Floresta de Galeria, Campo Úmido, Campo de Murundus e Veredas. Grande parte das áreas consideradas nesta pesquisa como úmidas estão associadas a fitofissionomia de Floresta de Galeria, representando 84,5%. Apenas 15,5% destas áreas estão associadas ao Campo Úmido, Campo de Murundus e Veredas.

Apesar da importância ecológica destas áreas, são escassos os estudos e conjuntos de dados existentes que incluam informações a respeito da localização, extensão e outras características básicas (Melack e Hess, 2004), assim como sua contribuição na dinâmica do fluxo de carbono em áreas de Cerrado, o que torna o sensoriamento remoto uma ferramenta de trabalho útil para o seu levantamento e monitoramento em vários níveis de detalhes. É nesse contexto que se insere esse trabalho que tem, como objetivo principal, avaliar o desempenho de imagens de satélite de diferentes resoluções (espectral, espacial e radiométrica) na delimitação de áreas úmidas do Cerrado.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de Estudo – Fazenda Água Limpa/DF

A área selecionada para o desenvolvimento desta pesquisa encontra-se na Área de Preservação Ambiental da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB) (Figura 1). Nesta área de proteção ambiental, as áreas úmidas ocorrem bordeando as Matas de Galeria, em solos Hidromórficos, Gleis e Orgânicos Turfosos (Felfili et al., 2002) e constituem um ecossistema de grande relevância, sendo considerado como bacia coletora das águas absorvidas pelos platôs adjacentes.

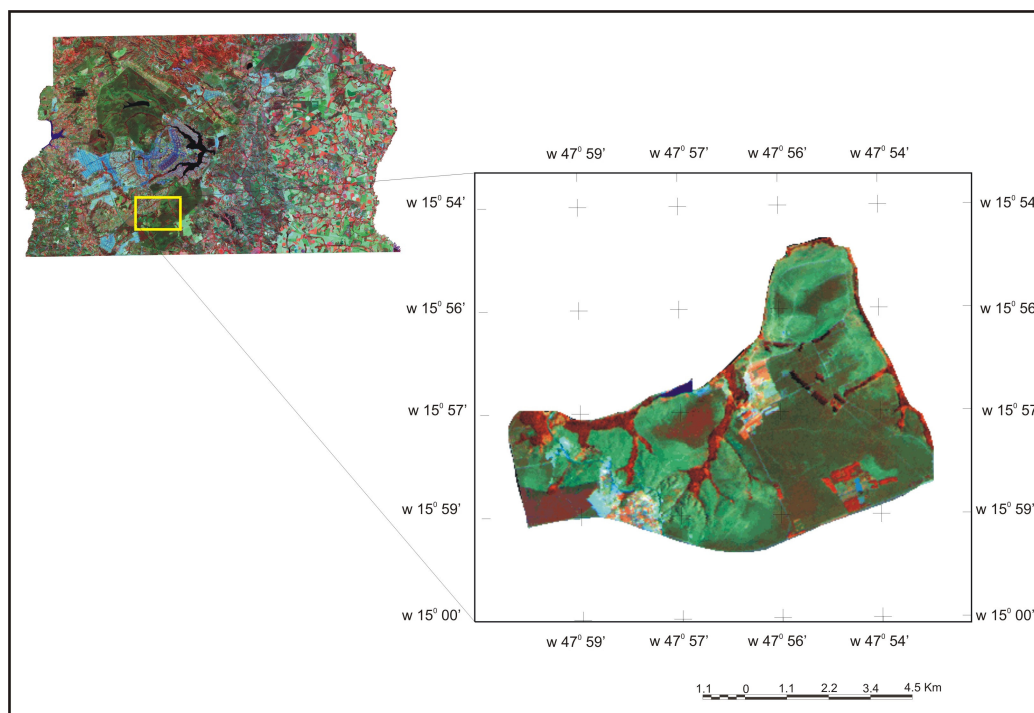


Figura 1. Localização da área de estudo – Fazenda Água Limpa - no Distrito Federal. A imagem corresponde a uma composição colorida RGB/453 do Landsat TM.

Com a finalidade principal de delimitação da área úmida localizada na FAL/UNB, foi realizado um trabalho de campo no dia 10 de janeiro de 2008. Os limites da área úmida foram localizados por um GPS (*Global Positioning System*) de navegação e posteriormente foram inseridos num banco de dados no ambiente do sistema SPRING para dar suporte à definição dos padrões de interpretação.

## 2.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Para a realização desta pesquisa, foram utilizadas: (1) duas cenas do sensor TM/LANDSAT-5 (épocas seca e úmida); (2) duas cenas do sensor CCD/CBERS-2 (épocas seca e úmida); (3) uma cena do sensor HRC/CBERS-2B; e (4) uma cena do IKONOS. As especificações das imagens estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste estudo.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espacial (m)	Data
LANDSAT 5/TM	0,63-0,69 $\mu\text{m}$ (Banda 3) 0,76-0,90 $\mu\text{m}$ (Banda 4) 1,55-1,75 $\mu\text{m}$ (Banda 5)	30	04/03/2003 – Época úmida 06/09/2001 – Época seca
CBERS 2/CCD	0,52-0,59 $\mu\text{m}$ (Banda 3) 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ (Banda 4) 0,77-0,89 $\mu\text{m}$ (Banda 5)	20	02/04/2007 – Época úmida 06/09/2006 – Época seca
CBERS 2B/HRC	0,50-0,80 $\mu\text{m}$ (PAN)	2,5	06/06/2008 – Época seca
IKONOS	0,52-0,60 $\mu\text{m}$ (Banda 2) 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ (Banda 3) 0,76-0,9 $\mu\text{m}$ (Banda 4)	4	02/05/2003 – Época seca

Estas imagens foram registradas para o sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transverse de Mercator) e *datum* horizontal WGS84 utilizando o *software* ENVI 4.0. O registro imagem-imagem foi realizado através de uma cena georreferenciada do Landsat adquirida no servidor de imagens da Universidade de Maryland (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/>).

## 2.3 Amostragem de pixels e teste estatístico

Para avaliar as imagens na delimitação de áreas úmidas do Cerrado, foram extraídos aleatoriamente valores digitais médios para cada banda espectral. Foram utilizados um conjunto com 30 amostras localizadas na área úmida e um outro conjunto com 30 amostras localizadas em área seca. Para tanto, foi gerada uma grade a partir da linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico) no *software* SPRING das amostras. Posteriormente, essa grade foi exportada como *shapefile* para o ENVI 4.0 onde foram calculados os valores médios para os pixels via ROI (regiões de interesse).

O teste *t* de *Student* foi empregado para verificar se as diferenças encontradas entre as amostras da área úmida e as das áreas secas foram significativamente diferentes. Além disso, verificou-se também se ocorrem diferenças entre as amostras da área úmida para diferentes datas das imagens CCD e TM – épocas úmida/seca. A estatística *t* é usada para traduzir uma diferença média amostral em unidades de erro padrão ( $\sigma_{\bar{x}}$ ) da diferença, obtida da equação:

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sigma_{DIFX}} \quad (1)$$

Onde:

$X_1$  = média da primeira amostra;

$X_2$  = média da segunda amostra; e

$\sigma_{DIFX}$  = erro padrão da diferença.

### 3. Resultados e Discussão

O teste  $t$  para os pares de observações entre valores médios de nível digital da área úmida e da área seca obtidos nas imagens analisadas testou as seguintes hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

A hipótese nula estabelece que os níveis digitais da área úmida não variam em relação à área seca. A alternativa foi:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Ou seja, os níveis digitais da área úmida variam em relação aos da área seca.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos testes  $t$  realizados para as bandas espectrais das imagens analisadas.

Tabela 1. Teste  $t$  para valores médios de níveis digitais de áreas secas e áreas úmidas para as imagens Landsat/TM.

PARÂMETROS	LANDSAT – Época Úmida			LANDSAT – Época Seca		
	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Graus de Liberdade	58	58	58	58	58	58
$t_{crítico}$	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856
$t_{calculado}$	-4,49265	-2,66784	-6,23468	-8,75435	7,256951	-15,9320
Hipótese $H_0$	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

Tabela 2. Teste  $t$  para valores médios de níveis digitais de áreas secas e áreas úmidas para as imagens Cbers/CCD.

PARÂMETROS	CBERS - Época Úmida			CBERS – Época Seca		
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Graus de Liberdade	58	58	58	58	58	58
$t_{crítico}$	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856
$t_{calculado}$	1,693575923	-0,4100	-7,6680	-2,83845	-2,83845	2,156429
Hipótese $H_0$	Aceita	Aceita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

Tabela 3. Teste *t* para valores médios de níveis digitais de áreas secas e áreas úmidas para as imagens Ikonos e CBERS-2/HRC.

PARÂMETROS	IKONOS			CBERS/HRC
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	PAN
Graus de Liberdade	58	58	58	58
$t_{\text{crítico}}$	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856
$t_{\text{calculado}}$	2,407471	-0,30876	3,240554	-5,528477495
Hipótese $H_0$	Rejeita	Aceita	Rejeita	Rejeita

Para valores obtidos nas estatísticas *t* menores que os valores críticos, estaremos na área de aceitação da hipótese nula. Os resultados do teste *t* (Tabelas 2, 3 e 4) indicaram que a um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), houveram uma diferença estatística significativa entre os níveis digitais da área úmida em relação aos da área seca – hipótese nula rejeitada – para as imagens Landsat (ambas épocas de aquisição), Cbers/CCD (época seca) e Cbers/HRC.

Já as bandas 2 e 3 da imagem CBERS/CCD de 02/04/2007 (época úmida) e da banda 3 da imagem IKONOS tiveram a hipótese nula aceita, ou seja, os níveis digitais da área úmida não variam em relação aos da área seca.

Além do teste para área úmida e área seca, foi realizado o teste *t* para os níveis digitais médios da área úmida para diferentes épocas de aquisição das imagens CCD e TM - seca vs. úmida. Para tanto, a hipótese testada foi:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

A hipótese nula estabelece que os níveis digitais da área úmida não variam em relação à época de aquisição da imagem. A alternativa foi:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Ou seja, os níveis digitais da área úmida variam em relação à época de aquisição da imagem. A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes *t* realizados para as bandas espectrais das imagens analisadas.

Tabela 5. Teste *t* para valores digitais médios da área úmida nos meses chuvosos (março/abril) e seco (setembro).

PARÂMETROS	CBERS/CCD			LANDSAT /TM		
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Graus de Liberdade	58	58	58	58	58	58
$t_{\text{crítico}}$	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856	2,00856
$t_{\text{calculado}}$	-6,3561	-19,266	5,21099811	-4,40254	8,213939	-2,86759
Hipótese $H_0$	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

Os resultados do teste *t* (Tabelas 5) indicaram que, a um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) houve uma diferença estatística significativa entre os pixels da área úmida para diferentes datas de aquisição das imagens.

#### 4. Conclusões

Os testes *t* aplicados para diferentes bandas espectrais demonstraram que as imagens monotemporais das bandas 2 e 3 do CBERS/CCD para a época úmida e da banda 3 do IKONOS não houveram discriminação entre as áreas úmidas e secas analisadas nesta pesquisa, entretanto, para a definição de áreas úmidas no Cerrado deve-se levar em consideração a resolução espacial das imagens.

As áreas úmidas do Cerrado possuem dimensões espaciais reduzidas em relação às fitofisionomias associadas a áreas secas o que dá um grande potencial para as imagens de alta resolução e aerofotos na discriminação destas áreas. Uma possível limitação no emprego dessas imagens é a quantificação da área total de abrangência das áreas úmidas no Cerrado devido a grande extensão desse bioma - mais de 200 milhões de hectares.

A análise do desempenho de distintos sensores para a delimitação de áreas úmidas do Cerrado mostrou que a banda pancromática do CBERS, sensor HRC, possui um grande potencial na discriminação destas áreas, portanto, trabalhos futuros sobre o processamento digital dessas imagens devem ser realizados. Além disso, evidenciou-se que as abordagens multitemporal de imagens ainda são uma boa opção neste tipo de pesquisa. Sugere-se a utilização de processamentos digitais utilizando estes dados em conjunto com os de alta resolução espacial na estimativa e quantificação da área de abrangência desses ecossistemas.

#### Referências Bibliográficas

Keddy, P. A. **Wetland ecology: principles and conservation**. Cambridge University Press, 2000. 614 p.

Dugan, P. **Wetland Conservation**. IUCN, 1990. 95 p.

Brinson, M. M.; Lugo, A. E.; Brown, S. Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v. 12, p. 123-161, 1981.

Mitsh, W. J.; Gosselink, J. G. **Wetlands**. John Wiley & Sons, 2000. 920 p.

Eiten, G. **Vegetação Natural do Distrito Federal**. Universidade de Brasília/SEBRAE, 2001. 162p.

Yavitt, J. B. Carbon dynamics in Appalachian peatlands of west Virginia and western Maryland. **Water, Air and Soil pollution**. v. 77, p. 271-290, 1994.

Reatto, A.; Spera, S. T.; Correia, J. R.; Martins, E. S.; Milhomen, A. Solos de ocorrência em duas áreas sob matas de galeria no Distrito Federal: aspectos pedológicos, uma abordagem química e físico hídrica. In: Ribeiro, J. F.; Souza-Silva, J. C.; Lazarine, C. E. (Org.) **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. cap. 4, p. 115-140.

França, A. M. S.; Sano, E. E.; Sousa, A. O.; Fonseca, R. A. Sensoriamento Remoto na identificação e quantificação de áreas úmidas no Distrito Federal. In: Simpósio Nacional do Cerrado, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, Embrapa/Cerrados, 2008.

Melack, J. M; Hess, L. L. Remote sensing of wetlands on a global scale. **SIL News**, v. 42, p. 1-5, 2004.