



SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DA EROSÃO MARGINAL DO RIO PARAGUAI: BAIRRO SÃO MIGUEL EM CÁCERES/MT-BRASIL

APPLIED REMOTE SENSING TO STUDY OF THE EROSION IN THE PARAGUAI RIVER MARGINAL: SÃO MIGUEL DISTRICT IN CÁCERES/MT-BRAZIL

Aguinaldo Silva

Universidade Estadual Paulista – UNESP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE
Campus de Rio Claro. Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Avenida 24-A, 1515 – Bela
Vista. CEP 13506-900. Rio Claro/SP.
aguinald_silva@yahoo.com.br

Sandra Mara Alves da Silva Neves

Ronaldo José Neves

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Departamento de Geografia. Campus
Universitário Jane Vanini. Avenida São João, s/n. Bairro Cavallhada. CEP: 78200-000. Cáceres-MT.
ssneves@terra.com.br
rjneves@terra.com.br

RESUMO

O presente artigo objetivou investigar a dinâmica da margem esquerda do rio Paraguai, através da avaliação da erosão do segmento localizado entre as ruas Cândido Mariano e Senador Azevedo, no Bairro São Miguel em Cáceres/MT, nos anos de 1977 e 2005. Para realização do estudo foram utilizadas: a planta baixa do bairro, feita em 1977, que foi digitalizada visando sua manipulação em ambiente SIG; e imagem do satélite *Quick Bird* do ano de 2005, georreferenciada via pontos de controle de campo, coletados com GPS Diferencial. Uma vez combinadas *layer* da planta e da imagem, no Sig *ArcGis*, foram realizadas as quantificações de perda de solo dos terrenos da área de estudo. A partir desta análise foi possível perceber que a área de estudo vem passando por processo de solapamento e conseqüentemente ocasionando a queda de blocos, provocando assim, a redução da área dos lotes, e destruição dos imóveis. No período analisado, o canal apresenta uma mobilidade relativamente alta, com média anual superior a 0,70 metros por ano. Além disso, o fato da área estar localizada na margem côncava do canal, onde desenvolve uma maior velocidade contribui para o processo de aceleração da erosão marginal.

Palavras-chave: Dinâmica fluvial, geotecnologias, erosão marginal, rio Paraguai, Cáceres, Mato Grosso.



ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the dynamic on left bank on the Paraguay River, through erosion along the segment located between Candido Mariano and Senador Azevedo Streets in Sao Miguel district, Cáceres, Mato Grosso, from 1977 and 2005. To realize this study, researchers made use of imaging of the district floor layers of the district developed in 1977, this image was digitized and manipulated in the GIS; and also Quick Bird of 2005 satellite image that it was geo-referenced through field points control field, collected with differential GPS. Measurements of loss soil in the study area were made from combination the layer plant and the image in GIS ArcGis. After this analysis, it was possible to notice that study areas are passing by earth falls and consequently it is causing fall blocks, resulting in a reduction in the area of the lots and destruction of property. During the period of analysis, the channel presented a relatively high mobility, with an annual average over 0.70 meters per year. Also, area is located in a concave border of channel where water flows with greater velocity, contributing to acceleration of marginal erosion.

Keywords: Fluvial dynamics, geotechnologies, marginal erosion, Paraguay River, Cáceres City, Mato Grosso State.

1. INTRODUÇÃO

A forma desordenada como vem ocorre o crescimento urbano no Brasil, aliada às características naturais do meio e, à falta de infra-estrutura, vem ocasionando inúmeros impactos negativos para a qualidade do meio urbano. Apesar de atingirem o ambiente como um todo esses impactos se refletem de maneira acentuada nas áreas urbanas.

A ocupação antrópica inadequada gera uma cadeia de impactos ambientais, que começa pela impermeabilização do solo, mudanças no relevo, erosão das margens e assoreamento dos cursos d'água, degradação das matas ciliares, diminuição da biodiversidade e, aumento do escoamento superficial, entre outros. Aumenta desta forma a proporção da degradação ambiental e também da própria população que se vê obrigada a abandonar suas casas e se deslocar para outros lugares.

A área estudada está localizada na cidade de Cáceres-MT (Figura 1) e compreende a margem esquerda do rio Paraguai no Bairro São Miguel (coordenadas 16° 13' 42" S - 57° 40' 51" W).

O clima da região de Cáceres é caracterizado como Tropical com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão), com temperatura média anual de 25° C. A precipitação média anual é de 1.323 mm e na bacia de 1.396 mm/ano. O período de janeiro a março é o mais úmido, com média histórica de 200,83 mm e o período entre setembro e outubro é o de maior índice de radiação solar, com temperatura média de 25,1°C e 27,1°C e de menor precipitação, com média de 51,55 mm e 82,15 mm.

Localizada numa região que passa por grandes transformações socioeconômicas, a cidade de Cáceres apresenta crescimento territorial desordenado cuja consequência é a ocupação de áreas localizadas nas margens do rio Paraguai, para construção de pousadas, pesqueiros e loteamentos, sem nenhuma preocupação com as Áreas de Preservação Permanente (APPs) que são áreas protegidas pela legislação ambiental. Alguns setores da cidade de Cáceres e outros localizados nas margens do rio Paraguai, já são afetados pela erosão lateral, como é o caso da Fazenda Descalvados, localizada a 150 km a jusante da cidade, na margem direita do rio Paraguai. Em relação às áreas que vem sendo erodidas na cidade pelo rio Paraguai, destaca-se o Bairro da Empa, a caixa d'água onde é feita a captação de água para o município e mais recentemente uma torre de retransmissão de energia que teve de ser removida da margem do rio em virtude da erosão acima mencionada.

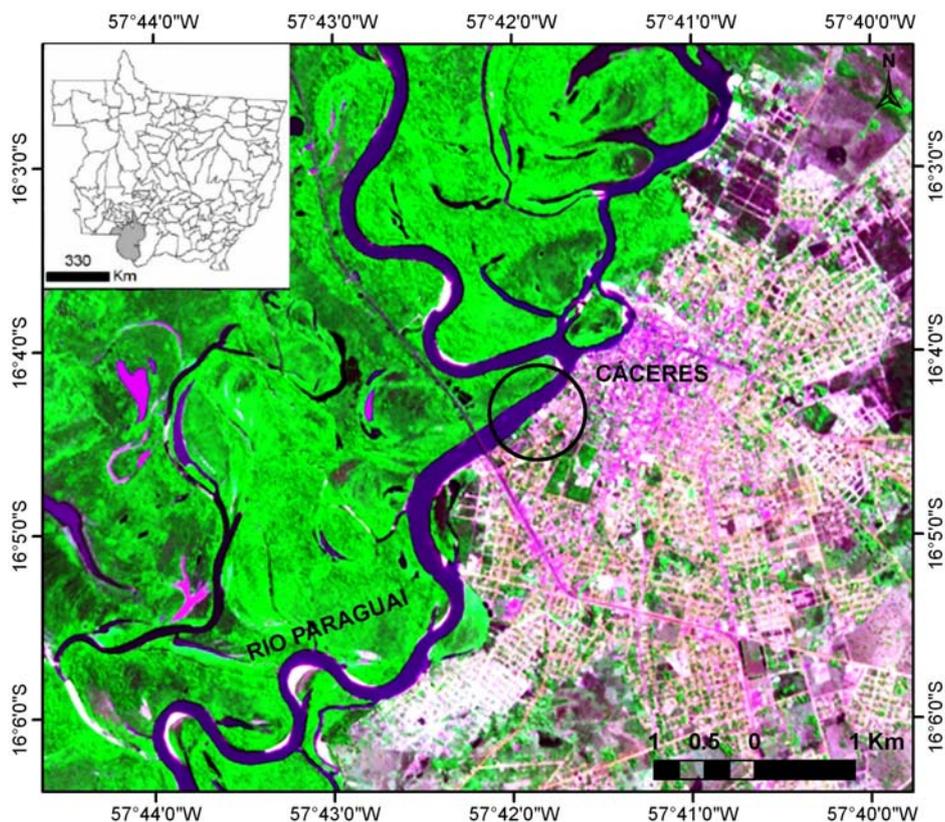


Figura 1 - Localização da área de estudo (círculo preto) no município de Cáceres. Composição colorida do sensor ASTER-R2B3G1 – 09/2005.

Na altura de Cáceres, o rio Paraguai apresenta um segmento onde o canal e a planície fluvial estão bem definidos, enquanto que o restante do curso desenvolve-se na área do Pantanal (Silva, 2007).

Estudos relativos à erosão marginal no rio Paraguai são escassos, neste sentido, destaca-se o trabalho de Souza (2004) que utilizou pinos para o monitoramento da erosão lateral e Silva (2006 e 2007) que utilizou como técnica sensoriamento remoto, e, mais recentemente estacas para o monitoramento e quantificação da erosão marginal do rio Paraguai na região de Cáceres.

A erosão fluvial é a erosão causada pelos rios, principalmente na época de cheias, podendo em alguns casos, destruir as margens por solapamento ou escorregamento. Para (Fernandez, 1990) a erosão lateral pode ser definida como o recuo linear das margens, resultante da remoção dos materiais que a constituem pela ação fluvial (correntes, ondas) ou por forças de origem externa, como a precipitação.

A erosão fluvial pode ocorrer no leito, nas margens, ou nas cabeceiras dos rios. A erosão do leito é denominada erosão vertical e a das margens erosão lateral (“lateral erosion”) de acordo com Tuysuz (2005). O mesmo autor assinala que a erosão fluvial pode ser devida à corrosão, ação da água e ao atrito dos materiais em transporte.

No que se refere à erosão lateral, é necessário considerar sua dimensão econômica representada pela perda de terrenos em áreas agrícolas e a demanda de proteção de obras civis próximas ao canal fluvial, entre outras. A situação de parte do bairro São Miguel em Cáceres é um exemplo dos efeitos da erosão pois treze terrenos residenciais, localizados ao longo de 179 metros da margem são atingidos pelos processos antes citados.

O conhecimento da dinâmica das margens do rio Paraguai é necessário, para analisar corretamente os impactos causados pelos comboios que navegam pelo rio e principalmente pela ação antrópica. Para tanto este estudo teve como objetivo investigar a dinâmica fluvial na margem esquerda do rio Paraguai, mediante a avaliação dos efeitos da erosão lateral no trecho localizado entre as ruas Cândido Mariano e Senado Azevedo no Bairro São Miguel em Cáceres entre os anos de 1977 e 2005.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha do segmento proposto está relacionada a aspectos fundamentais como:

1. a erosão acelerada presente na área, considerando que nessa margem se localizam terrenos residenciais já atingidos pela erosão;
2. a necessidade de dimensionar com precisão as áreas atingidas pela erosão lateral, enquanto essencial para diagnóstico e proposição de medidas mitigadoras.

Para isso adotou-se os seguintes procedimentos:

1. A escolha do ano de 1977 justifica-se por corresponder ao início da ocupação da área de pesquisa, e a de 2005 por terem sido disponibilizadas gratuitamente imagens de sensoriamento remoto de alta resolução (Quick Bird).
2. Análise da planta baixa do bairro levantada em 1977, mediante levantamento topográfico de campo e depois digitalizadas com vistas à sua manipulação em ambiente SIG. A imagem do satélite *Quick BIRD* (2005) foi georreferenciada mediante pontos de controle de campo, coletados com GPS Diferencial. A seguir a imagem foi georreferenciada no SIG Spring. Uma vez combinados o *layer* da planta e da imagem, no SIG *ArcGis*, foram realizadas as quantificações de perda de solo dos terrenos da área de estudo;
3. Após o processamento e cruzamento das informações acima, foi efetuada a verificação em campo dos efeitos dos processos erosivos com a finalidade de validar as mensurações obtidas com base na imagem.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A área monitorada está situada na margem esquerda do rio Paraguai, onde foram verificadas as maiores velocidades de fluxo. Neste local o canal é retilíneo e apresenta largura média de 150 metros. A margem direita é constituída por depósitos de uma vasta planície de inundação (Figura 2). Apesar do padrão retilíneo neste trecho, o canal fluvial apresenta padrão meandrante. Uma das características desse tipo de canal é a de apresentar erosão na margem côncava e deposição na margem convexa (barra em pontal). Por conta desse comportamento do fluxo esse padrão de canal apresenta grande mobilidade, cujos efeitos podem ser avaliados na planície fluvial, onde está o registro do antigo canal (Silva, 2007).

Nesta área, a margem vem passando por processo de solapamento e conseqüentemente ocasionando à queda de blocos, provocando desta forma a redução da área dos lotes, o que poderá causar a destruição do restante dos imóveis situados na área. Os estudos realizados por Silva (2006) corroboram o exposto, ao explicar que as margens do rio Paraguai exibem diversos tipos de feições erosivas. No caso estas formas são atribuídas à queda de blocos e a desmoronamentos causados pelo solapamento da parte baixa da margem, resultante da corrasão, da ação hidráulica da água, e da ação das ondas provocadas pelos barcos. A composição granulométrica diferenciada nas camadas da margem do rio, sendo na base a maior concentração de areia e na parte superior à concentração de argila, contribui para atuação do processo erosivo diferenciado, ocorrendo assim, maior erosão na base (Silva, 2006).

Os principais fatores condicionantes da erosão em margens fluviais estão associados à estrutura da margem e às condicionantes hidrodinâmicas nas proximidades destas (Fernandez, 1990). Dentre estes últimos, a variação do nível do rio é considerada como um dos fatores mais importantes para o controle da erosão marginal, pois é responsável pela atuação das forças de origem fluvial sobre os materiais das margens, ou seja, as ondas e as correntes. As correntes atuam promovendo junto as margens a corrasão, e a ação mais abrasiva nas margens são ocasionadas pela ação do fluxo e dos ventos. O alcance destrutivo de ambos os processos depende da flutuação do nível do rio (Fernandez, 1990) e da energia disponibilizada por ambos os processos. Tal energia é proporcional à velocidade de fluxo e à amplitude das ondas, e depende também do posicionamento da margem frente à ação das principais linhas de fluxo ou da linha de crista das ondas.



Figura 2 - Imagem da área estudada (I) e fotografia oblíqua da área onde pode ser observada a predominância da erosão na margem esquerda. Ao lado da área estudada em destaque, o principal Porto de embarque de mercadorias da hidrovía Paraguai-Paraná (Figura II) Fonte: imagem *Quick Bird* (2005) e Silva (2007).

A coesividade dos sedimentos é proporcional ao teor de argila e desta forma quanto mais argilosa a margem, maior resistência ela demonstra aos processos de remoção. Outra variável que contribui para o aumento da resistência à erosão, segundo a literatura, é a cobertura vegetal da margem, e a quantidade de raízes existentes em função da cobertura.

A velocidade de fluxo é a variável responsável pela definição da competência de um canal. Ou seja, quanto maior a velocidade de fluxo, maior o tamanho da partícula que pode ser transportada. Além disso, os estudos realizados no rio Paraná demonstram que a velocidade de fluxo é a principal variável para o controle da taxa de erosão marginal, sobrepondo-se à composição dos sedimentos das margens, que é uma variável secundária (Rocha; Souza Filho; Lara, 1999; Souza Filho & Stevaux, 2000).

O trabalho acima mostra que a velocidade de fluxo é responsável por 90% da taxa de erosão e o teor de argila é responsável por 9%. A uma mesma velocidade, quanto menor o teor de argila, maior é a taxa erosiva.

Além da erosão ocasionada pela ação do rio, há ainda a aceleração do processo de erosão laminar, ocasionado pela ação de enxurradas. Isso contribui para que a margem do canal se aproxime cada vez mais da área urbana, haja vista que em alguns pontos a margem do canal se encontra a menos de 6 metros do imóvel residencial situado no lote (Figura 3).



Figura 3 - Erosão laminar na área estudada e o fundo do lote 6 (Figura do lado direito) onde podem ser observadas as conseqüências da erosão marginal e o rio Paraguai (Fonte: Silva, 2007).

As mudanças registradas no intervalo de tempo analisado (28 anos) permitiram o cálculo da taxa de erosão anual, haja vista que o ajuste conseguido com o georreferenciamento entre a planta baixa do bairro (carta) e a imagem não apresentou deslocamento, o que poderia interferir nos resultados. Os valores obtidos para a área erodida e para as taxas de erosão estão expostas na Tabela 1.

Os dados exibidos na Tabela 1 permitem verificar que no período analisado o canal na área de pesquisa apresenta uma mobilidade lateral relativamente alta, com média anual superior a 0,70 metros por ano.

De acordo com Souza Filho e Silva (2005) a tendência de domínio de erosão na margem direita indica que o rio Paraguai provavelmente está sujeito a efeito de tectônica recente, que teria provocado um basculamento para oeste, fazendo com que os processos erosivos fossem mais atuantes na margem direita.

Tabela 1 - Percentuais de perda de área linear no período de 28 anos.

Lotes	1977				2005				Erosão Marginal		
	Compr_1	Compr_2	Compr_3	Média	Compr_1	Compr_2	Compr_3	Média	m	%	m/ano
1	41,9	42,5	43,8	42,7	19,7	18,6	17,9	18,7	23,9	56,1%	0,86
2	40,6	40,5	40,1	40,4	22,3	21,9	21,6	21,9	18,4	45,7%	0,66
3	42,8	43,0	43,0	42,9	21,7	21,7	21,7	21,7	21,2	49,4%	0,76
4	41,3	41,6	42,1	41,7	21,3	21,9	21,8	21,7	5	47,9%	0,71
5	41,1	42,2	41,9	41,7	20,9	22,0	22,0	21,6	19,9	48,1%	0,72
6	38,3	37,5	38,0	37,9	14,3	14,8	16,1	15,1	22,8	60,2%	0,82
7	41,7	41,4	41,0	41,4	13,9	14,1	14,1	14,0	27,3	66,0%	0,98
8	41,5	42,8	43,1	42,5	14,9	14,3	14,2	14,5	27,9	65,9%	1,00
9	38,4	39,0	39,6	39,0	15,7	13,4	13,7	14,3	24,7	63,4%	0,88
10	37,0	37,3	37,6	37,3	18,2	18,5	18,0	18,3	19,0	51,0%	0,68
11	36,3	36,6	36,9	36,6	22,0	20,8	19,9	20,9	15,7	42,8%	0,56
12	38,9	38,2	37,4	38,2	26,5	25,3	24,3	25,4	12,8	33,5%	0,46
13	38,9	40,4	41,3	40,2	33,3	28,7	27,8	29,9	10,2	25,5%	0,37



Pelo fato da área estar localizada na margem côncava do canal fluvial, onde a velocidade é maior, é possível que esse aumento contribuisse para a aceleração da erosão lateral. Na figura 4 pode ser analisada parte da planta do loteamento em 1977 quando foi criado e a faixa provavelmente erodida pelo rio Paraguai até 2005.

Com base na combinação das informações derivadas da planta do loteamento e imagens de satélite *Quick Bird* (2005) foi possível estimar o total da área erodida, expostas na Tabela 2.

A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo, acarretando prejuízos de ordem econômica, ambiental e social. Os processos erosivos ocorrem de maneira natural e contínua, mas podem ser acelerados por intervenções antrópicas que resultam quase sempre no desequilíbrio dos processos naturais e na sua aceleração.

As informações que estão expostas na Tabela 2 sobre a redução da área, só reforçam a idéia de que é preciso entender o funcionamento de todo sistema para que desta forma a população não venha ocupar áreas marginais, pelo fato de que os sistemas fluviais são sistemas dinâmicos, e que em busca de um equilíbrio ideal acaba ocasionando perda de áreas urbanas e rurais, provocando desta forma problemas sociais e ambientais.

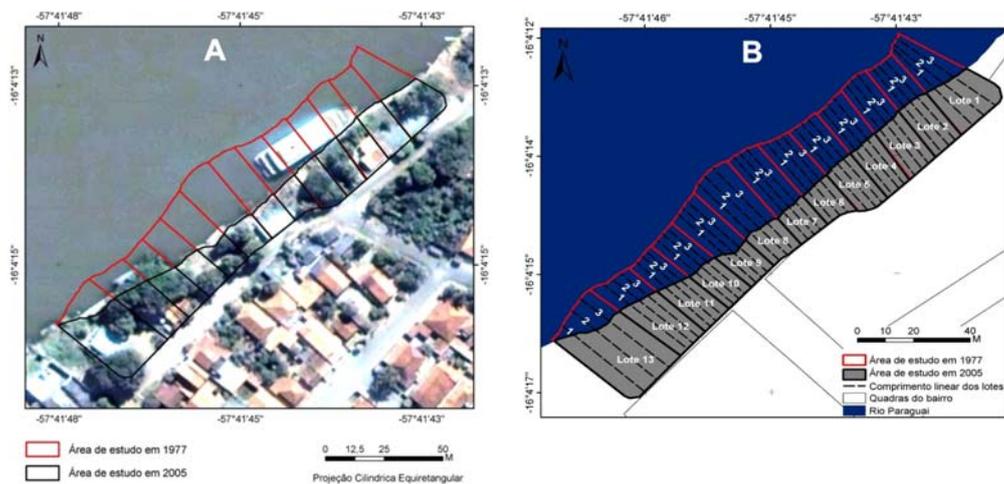


Figura 4 - Terrenos residenciais do bairro São Miguel atingidos pela erosão marginal do rio Paraguai (A) e a área de estudo em 1977 e 2005 após 28 anos (B) Fonte: Imagem *Quick Bird* (2005) .

Tabela 2 - Percentuais de perda de área no período de 28 anos.

Lotes	Área total (m ²)		Área erodida		
	1977	2005	m ²	%	m ² /ano
1	654,52	374,28	280,24	42,82	10,01
2	489,56	269,07	220,49	45,04	7,87
3	509,83	268,18	241,64	47,40	8,63
4	484,54	240,33	244,21	50,40	8,72
5	490,09	245,97	244,13	49,81	8,72
6	453,08	179,55	273,53	60,37	9,77
7	510,80	171,55	339,26	66,42	12,12
8	624,44	192,55	431,89	69,16	15,42
9	501,72	178,20	323,51	64,48	11,55
10	430,47	211,43	219,05	50,89	7,82
11	437,01	255,01	182,01	41,65	6,50
12	546,44	351,68	194,76	35,64	6,96
13	959,03	747,18	211,85	22,09	7,57



4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A pesquisa realizada identificou problemas decorrentes da dinâmica do rio Paraguai na área urbana de Cáceres. Mostraram de forma contundente os efeitos destrutivos da erosão lateral sobre os terrenos e residências localizados na área estudada. Além do risco de desabamento das casas, há também o risco desses terrenos erodidos se transformarem em verdadeiras armadilhas para a população. Desse ponto de vista se faz necessário um planejamento que considere o estado do meio ambiente para que tendo em vista o comportamento da dinâmica do sistema, seja possível planejar ações que visem o desenvolvimento sustentável, uma vez que as ações antrópicas nos sistemas fluviais do mundo nem sempre apresentaram resultados positivos;
2. A divisão da área em lotes se constituiu um fator favorável para a pesquisa por ter possibilitado a identificação e mensuração dos locais atingidos pela erosão. Foi assim possível observar e identificar os locais onde o canal apresenta maior velocidade de fluxo, fator favorável à ocorrência de processos erosivos;
3. A tentativa de conter a erosão por meio de construção de muros de arrimo não teve resultados positivos, a erosão continuou ativa já que a ação fluvial ocorre por solapamento na base da margem e conseqüentemente na base do muro, causando também a queda do muro, o que demonstra a falta de conhecimento dos gestores do município sobre a dinâmica fluvial e seus efeitos;
4. Foi possível verificar que o uso de sensoriamento remoto pode oferecer contribuição fundamental ao permitir uma visão integral e atualizada dos componentes da paisagem que interagem nos processos de evolução do relevo e do solo, que devem ser considerados em qualquer ação de zoneamento territorial (Santos, 1996). Portanto é adequado o uso de técnicas de fotointerpretação para a avaliação do terreno em trabalhos de monitoramento ambiental podendo desta forma ser utilizadas na avaliação da evolução das margens do rio Paraguai;
5. Os métodos e técnicas utilizados para quantificação da erosão marginal, apesar do resultado satisfatório a utilização da planta de lotes pode conter algumas distorções e influenciar nos resultados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado a Aguinaldo Silva e à FAPESP pelo apoio à pesquisa (Processo 06/02381-8. Ao professor Edvard Elias de Souza pela leitura crítica do texto, correções e sugestões apresentadas.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandez, O. V. Q. 1990. Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens; Região de Porto Rico-PR. Dissertação de Mestrado, UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Naturais. Rio Claro, p.85.
- Rocha, P. C., Souzafilha, E. E., Lara, S. 1999. Variações sazonais da hidrodinâmica e material do leito do canal Cortado – Rio Paraná, Porto Rico-PR, In: VII congresso da ABEQUA, Anais. Porto Seguro – BA.
- Silva, A., Assine, M. L., Zani, H., Souza, E. E. DE, Araujo, B. C. Compartimentação Geomorfológica do rio Paraguai na Borda Norte do Pantanal Mato-Grossense, região de Cáceres-MT, Revista Brasileira de Cartografia, n° 59/01, pg. 73-81, 2007.
- Silva, A., Souza, C. A., Zani, H., Freitas, D. R. 2007. Avaliação da Erosão na Margem Direita do rio Paraguai a Jusante da Praia do Julião, Município de Cáceres-MT, Revista Geográfica Acadêmica, vol. 1/ 01, pg. 5-18.
- Silva, A. 2006. Padrões de Canal do Rio Paraguai na Região de Cáceres-MT, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá (UEM) Maringá, 86 p.
- Souza, Célia Alves. 2004. Dinâmica do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã - MT, Tese de Doutorado UFRJ, 178 p.
- Souza Filho, E. E.; Silva A. 2005. Evidences of Recent Tectonic Control Over the High Paraguai River Channel, Close to Cáceres City (MT) In: International Symposium an Land Degradation and Desertification, Uberlândia-MG, p. 37.
- Souza Filho, E. E.; Steux, J. C. 2005. O Componente Físico da Planície Alagável do Alto Rio Paraná. In: Universidade Estadual de Maringá: Nupélia. A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná – Relatório anual, 2000, site 6 – PELD/CNPq, Maringá, 2000, disponível em < www.nupelia.uem.br > Acesso em 01 dez. 2005.
- Santos, A. R., Crepani, E. 1996. Uso de Sensoriamento Remoto na Conservação do Solo no Mato Grosso do Sul, In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, INPE, p. 381-384.
- Tuyusutz, O. 2005. Jeomorfoloji de Seçme Konular Ders Notlari Ana Sayjasi; Fluvial Systems, Disponível em: <<http://www.eies.itur.edu.tr/>> Acesso em: 08 dez. 2005.
-