



ANÁLISES MORFOLÓGICAS E HIDROSEDIMENTOLÓGICAS PARA COMPARAÇÃO DE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS CONTRIBUINTES DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU

AGUIAR, A.M.¹

¹ mestre pelo programa de pós-graduação do Departamento de Geografia USP – alexmarkes@usp.br

RODRIGUES, C.²

² professora do Departamento de Geografia USP – cleidrig@usp.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi o da realização de análises hidrossedimentológicas e morfológicas para comparar duas bacias hidrográficas contribuintes do reservatório de Itaipu como áreas-fonte, áreas de estocagem e de mobilização de sedimentos em suspensão. Foram analisadas as bacias dos rios Iguatemi - MS e Piquiri PR, para as quais foram realizadas caracterizações básicas do meio físico, caracterizações morfométricas e, principalmente, análises hidrossedimentológicas, sendo que estas últimas permitiram estimar a produção específica diária de sedimentos em suspensão (Pss – ton/km²/dia). Os dados hidrossedimentológicos permitiram constatar diferenças significativas em termos de produção de sedimentos e capacidade de mobilização dentre as bacias estudadas, bem como permitiram a elaboração de hipóteses sobre as variáveis explicativas mais significativas. Na data de passagem do satélite *Quickbird* sob as desembocaduras dos rios principais das bacias foi constatado que a Pss foi em média 4 vezes superior na bacia do Iguatemi em relação a Pss da bacia do Piquiri, mesmo sendo esta última maior em termos de área e apresentar também maiores valores em termos de descarga líquida.. De acordo com essas análises, atualmente a bacia hidrográfica do rio Iguatemi apresenta-se, de forma geral, mais sujeita tanto aos processos erosivos quanto em relação à capacidade de mobilização por suspensão quando comparada à do rio Piquiri. Hipóteses preliminares destacam a importância da cobertura vegetal e do manejo do solo, de características morfométricas, e da estrutura geológica como fatores explicativos de primeira ordem para as diferenças encontradas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise hidrogeomorfológica, Análise hidrossedimentológica, Bacia hidrográfica, Sedimentos em suspensão, Sensoriamento Remoto.



ABSTRACT

The aim of this study is to perform hydrosedimentologic and morphologic analyses to compare two different drainage basins that drain into the Itaipu Reservoir Itaipu as trapping areas, sediment load areas and sediment transfer areas to the Itaipu Reservoir..Those drainage basins called Iguatemi (MS) and Piquiri (PR) drainage basins were described in terms of physical environment characteristics, selected morphometric parameters and mainly hydrosedimentologic analyses such as evaluations of the specific suspended sediment load (SSY - ton/km²/day).Those analyses allowed to discriminate some meaningful differences between the studied drainage basins related to capability to transfer sediment to the reservoir. Preliminary results indicated that SSY Iguatemi drainage basin have an average of suspended sediment transfer four times bigger than Piquiri drainage basin. The *Quickbird* multispectral high-spatial-resolution satellite images collected to analyse the river mouths and other parameters showed the same tendency despite of the smaller area and discharge of Piquiri drainage basin. According to the hydrogeomorphologic and hydrosedimentologic analyses the Iguatemi river watershed has currently more potential to develop erosion and transport processes than Piquiri river watershed and it seems to be related to : morphometric , geological, land use and thresholds variables.. Therefore, monitoring studies should be developed for these river systems in order to identify the meaningful reasons and variables for that trends.

KEY-WORDS: Hydrogeomorphologic analyses, Hydrosedimentologic analyses, Watershed, Sediments load, Remote Sensing.

INTRODUÇÃO

A teoria dos sistemas aplicada nos estudos de geomorfologia fluvial possibilita a abordagem sistêmica e integrada das variáveis de estado e transformação do relevo, sem escapar da lógica escalar do espaço-tempo, extremamente importantes quando se busca o entendimento da gênese dos elementos e suas interações em diferentes espaços, e também a interrelação de suas partes. As partes de um determinado sistema potencializam as modificações de outros sistemas e os resultados das interações são novos padrões observáveis em diferentes escalas. Para Holland (2002),



a ação de uma variável afeta possivelmente as ações subsequentes de outras do conjunto, de modo que a ação do todo é, em determinados aspectos, mais do que a simples soma das ações de suas partes. Isto significa, em linhas gerais, que materiais, processos e formas de relevo compõem um conjunto autorregulador, e que toda forma é o produto do ajustamento de materiais e processos. Segundo Rodrigues e Adami (2005), a maioria dos estudos de bacias hidrográficas são realizados sob os aspectos hidrodinâmicos e morfométricos. Os primeiros têm sido desenvolvidos principalmente em função da necessidade de inventariar o potencial hidroenergético de bacias hidrográficas. Os morfométricos podem servir para as interpretações hidrodinâmicas e geomorfológicas, possibilitando interpretações sobre a gênese e a dinâmica atual (morfodinâmica) do sistema bacia hidrográfica.

Assim, o objetivo deste estudo foi realizar comparações de análises morfológicas e hidrossedimentológicas das bacias hidrográficas dos rios Iguatemi – MS e Piquiri – PR, e avaliar suas prováveis influências no aporte de sedimentos em suspensão em direção ao reservatório da usina hidroelétrica Itaipu Binacional (UHE-IB).

MATERIAL E MÉTODOS

Do ponto de vista regional, a área de estudo localiza-se na fronteira entre o Brasil, Paraguai e os Estados do Mato Grosso do Sul e Paraná, à montante do reservatório de Itaipu entre as latitudes $23^{\circ}00'00''$ S – $25^{\circ}30'00''$ S, e longitudes $52^{\circ}00'00''$ W $55^{\circ}30'00''$ W (Figura 1).

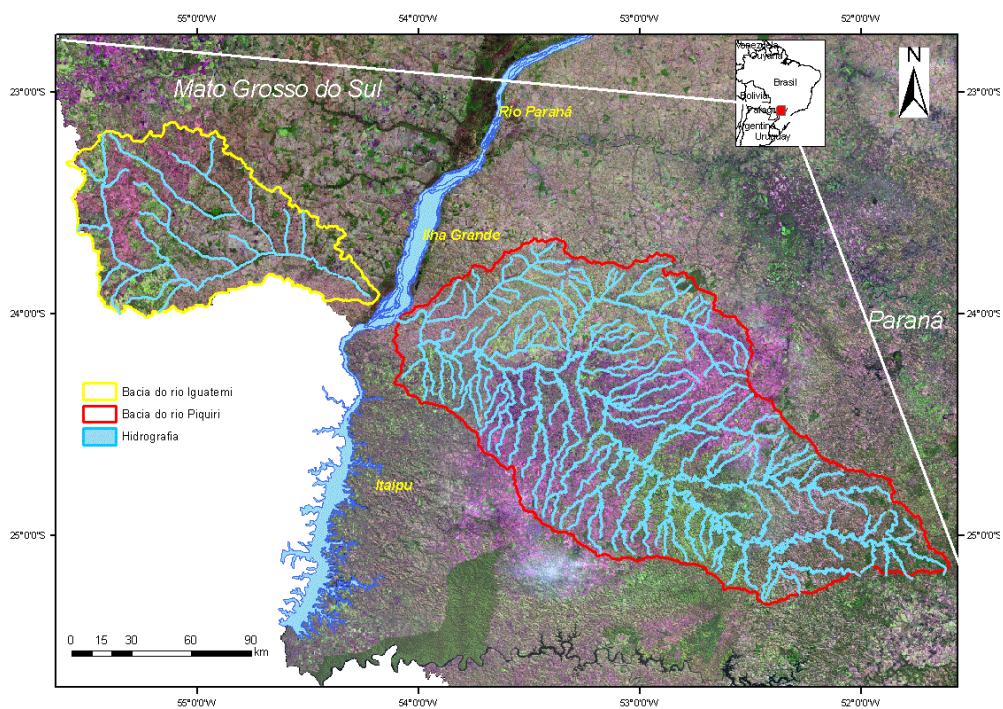


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Mosaico de Imagens Landsat TM 5 e Hidro Web ANA (Agência Nacional de Águas). Org. Aguiar (2009).

As bacias hidrográficas selecionadas nas análises pretendidas são subsistemas sem barragens de grande porte, localizados à jusante de uma série de grandes barragens implantadas ao longo dos rios Paraná, Paranapanema e Tietê, as quais formam grandes reservatórios. A bacia hidrográfica do rio Iguatemi-MS possui embasamento onde ocorrem litológicas pouco diferenciadas. Ao longo do rio Iguatemi, ocorre áreas planas resultantes da acumulação fluvial em planície, periodicamente alagada. Também há formas erosivas como superfícies erosivas tabulares, provenientes de relevo residual de topos aplainado, provavelmente testemunhos de superfície aplainada. As principais formas de dissecação da bacia são as formas convexas e tabulares, folha SF-21 Campo Grande (BRASIL, 1982). O rio Iguatemi, principal tributário da bacia é afluente da margem direita do rio Paraná em um segmento onde o rio Paraná é multicanal em função da formação de grandes ilhas (Figura 2).



Figura 2: Localização da área de confluência do rio Iguatemi-MS com o rio Paraná. Fonte: Imagem *Digital Globe*, Org: Aguiar (2009).

Na bacia hidrográfica do rio Piquiri a litologia, segundo Mineropar (2003), e composta pelas seguintes unidades litoestratigráficas: a Formação Serra Geral do Grupo São Bento, a Formação Caiuá e os Depósitos Aluvio-fluviais. Na figura 3, observa-se a área de confluência com o rio Paraná, por meio de uma imagem coletada pelo satélite *QuickBird* em 28/02/2007 podemos ver a diferença da cor da água do rio Piquiri - PR e com a água do rio Paraná.

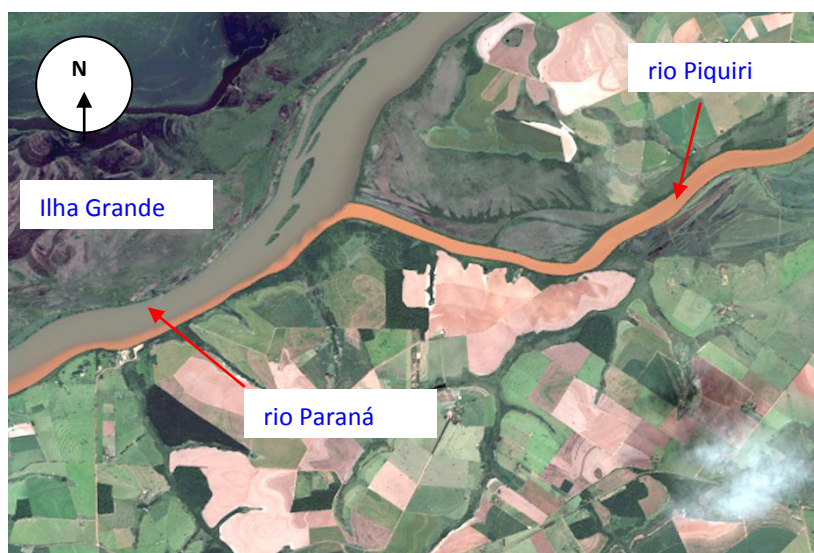




Figura 3: Localização da área de confluência do rio Piquiri - PR com o rio Paraná, Fonte: *Digital Globe*, “quick look” composição RGB (321) da imagem do satélite “Quick Bird” de 28/02/2007. Org: Aguiar (2009).

As análises morfológicas foram realizadas a partir da avaliação de variáveis morfométricas selecionadas da rede de drenagem e do relevo, as quais permitiram a comparação quantitativa e qualitativa das bacias. As variáveis selecionadas foram categorizadas de forma conceitual levando em consideração sua fonte, descrição e simbologia, conforme quadros a seguir (Quadro 1,2,3).

Quadro 1: Variáveis da análise linear da rede drenagem.

Variáveis morfométricas	Símbolo	Descrição	Fórmula	Fonte
Comprimento do canal principal	Lcp	Extensão total do maior rio da bacia.	-----	Horton (1945)
Comprimento total dos canais	Lt	Soma dos comprimentos dos rios.	-----	Horton (1945)
Comprimento médio dos canais de ordem	Lm _u	Somatório das extensões dos rios de uma bacia dividido pelo número de rios.	$Lm_u = \frac{L_t}{N_u}$	Horton (1945)
Relação de bifurcação	Rb	Relação entre o número de canais de determinada ordem, pelo número de canais de ordem superior. Bacia de drenagem muito dissecada apresenta valores entre 3 e 4, enquanto bacias colinosas, esses valores são próximos de 2.	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	Horton (1932) (1945)
Relação entre comprimento médio dos canais de cada ordem	Rlm	Corresponde à relação entre a média dos comprimentos dos rios de determinada ordem, pela média dos comprimentos dos rios de ordem imediatamente inferior.	$Rlm = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}$	Horton (1945)



Relação do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação.	Rlb	Representa a relação entre a rede de drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas.	$Rlb = \frac{Rlm}{Rb}$	Horton (1945)
Gradiente do canal principal	Gcp	Amplitude do canal principal dividida por sua extensão.	$Gcp = \frac{Hm}{Lp}$	Horton (1945) Strahler (1952)
Extensão do percurso superficial	Eps	Distância média em que a água da chuva teria de escoar sobre os terrenos de uma bacia.	$Eps = \frac{1}{(2xDd)}$	Horton (1945)

Quadro 2: Variáveis da análise areal de bacias hidrográficas.

Variáveis morfométricas	Símbolo	Descrição	Fórmula	Fonte
Área da bacia	A	Extensão territorial da bacia.	-----	-----
Relação de áreas médias	Ra	Relação de áreas das bacias dos canais de dada ordem pela média das bacias contribuintes dos canais de ordem inferior.	$Ra = \frac{Am_u}{Am_{u-1}}$	Schumm (1956),
Perímetro	P	Perímetro da bacia.	-----	-----
Comprimento da bacia	Lb	Maior extensão, em linha reta, da bacia entre a foz e a cabeceira mais distante da bacia.	-----	Schumm (1956)
Densidade de drenagem	Dd	Relação entre o comprimento da rede de drenagem e a área da bacia.	$Dd = \frac{L}{A}$	Horton (1945)
Fator de forma	Kf	E a relação morfométrica entre a forma da bacia com a de um retângulo.	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Horton (1932)



Coefficiente manutenção	Cm	Estimativa da área mínima que o canal de drenagem necessita para se implementar e desenvolver.	$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$	Schumm (1956)
-------------------------	----	--	---------------------------------	---------------

Quadro 3: Variáveis da análise hipsométrica de bacias hidrográficas.

Variáveis Morfométricas	Símbolo	Descrição	Fórmula	Fonte
Altitude mínima	Alt.min	Menor altitude altimétrica localizada na foz do canal principal.	-----	-----
Altitude média ou elevação	E	Refere-se à altitude média da bacia, calculado pela curva hipsográfica, onde a = área entre curvas e = altitude média entre duas curvas de nível consecutivas; A = área da bacia.	$E = \frac{\sum a_e}{A}$	Wisler; Brater, (1964)
Altitude mediana	Alt.med	Corresponde à altitude na qual metade da área da bacia fica acima dela e metade abaixo	-----	
Amplitude topográfica	Hm	Diferença de altitudes entre o ponto mais baixo da bacia (foz) e o ponto de maior altitude.	$\Delta H = \text{Alt.max} - \text{Alt.min}$	Strahler (1952)
Relação de relevo	Rr	Relação entre a amplitude altimétrica e o maior comprimento da bacia. Quanto maior o valor,	$Rr = \frac{Hm}{L}$	Schumm (1956)



		maior será o desnível entre a cabeceira e a foz e maior a declividade média da bacia.		
Índice de rugosidade	Ir	Produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem.	HD = HxDd	Melton (1957)

Foram geradas curvas hipsográficas e de volume por meio da projeção, em um gráfico de eixo de coordenadas cartesianas, as variações das áreas e volume das faixas altimétricas das bacias estudadas. Com a geração das curvas partiu-se para o levantamento da integral hipsométrica (IH) e a integral volumétrica (IV), para avaliar a relação de material erodido (IH-IV) conforme a proposta de (Strahler,1952). Em relação às análises hidrossedimentológicas foram comparados os resultados da produção específica diária de sedimentos em suspensão (Pss) das bacias hidrográficas, entre os anos de 2002 a 2006. Referente a este período foi utilizado uma imagem de satélite multiespectral proveniente do satélite *QuickBird*, com mesma data de passagem sob as desembocaduras dos rios Iguatemi e Piquiri para verificação visual das diferenças de cor da água.

O total de materiais transportados pelo rio pode ser determinado de maneira satisfatória por meio da medição da concentração de materiais depositados no leito do canal, ou, suspensos em função do fluxo turbulento da água. Foi adotada a proposta de Carvalho (1994), para estimar o transporte total de sedimentos em suspensão, ou, descarga sólida de sedimentos em suspensão onde:

$$Q_{ss} = 0,08640 \times Q \times C_{ss}$$

Sendo:

Q_{ss} = descarga sólida de sedimentos em suspensão (t/dia);

Q = descarga líquida (m^3/s);

C_s = concentração de sedimentos em suspensão (mg/l).



Segundo Ward e Trimble (1995) a descarga sólida em suspensão pode representar mais de 90% do material total transportado no canal fluvial. Ao considerar a bacia hidrográfica como uma unidade geomórfica, os fluxos de matéria e energia estão correlacionados com a área da bacia. Portanto, a área da bacia de contribuição (A), em relação a uma estação de monitoramento, juntamente com a descarga sólida de sedimentos em suspensão (Qss) possibilitou estimar a produção específica diária de sedimentos em suspensão (Pss) por área (t/km²/dia), para isto Carvalho (1994), destaca a utilização da seguinte equação:

$$Pss = \frac{Qss}{A}$$

A

Pss = produção específica da produção de sedimentos em suspensão (t /km²/dia);

Qss = descarga sólida dos sedimentos em suspensão (t/dia);

A = área da bacia (km²).

Do conjunto total de dados analisados de Pss também foram analisados os valores com comportamento muito diferente dos demais, denominados de *outliers*, para isto foi adotado como limite de exclusão, o limiar de 1.5 x IQR (IQR= intervalo interquantis, Q3-Q1). Por fim, foi criado um gráfico *semilog*, onde no eixo (X) foram projetados os valores médios do nível fluviométrico (m), concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) e vazão, e no eixo (Y), os valores da produção específica de sedimentos em suspensão (t/km²/dia) correspondente ao período dos dados do eixo (X). O gráfico mostra os valores das correlações entre as variáveis e o deslocamento das linhas de tendência, as quais permitem avaliar a influência das variáveis hidrodinâmicas sob a Pss das bacias hidrográficas.

RESULTADOS

Referente às análises morfológicas, as variáveis Nu, Lmu, e Amu quando comparados com os valores da bacia hidrográfica do rio Piquiri, observa-se que a bacia hidrográfica do rio Iguatemi,



segundo as leis de Horton e Schumm, forma séries geométricas com grandes desvios. Na bacia hidrográfica do rio Piquiri os desvios são menores, mas há também evidência de distorções significativas na composição das séries geométricas. Conclui-se com a análise hierárquica que as redes de drenagem e suas áreas de drenagem direta apresentam certa semelhança para os canais de 1ª, 2ª e 3ª, sendo que a partir da 4ª ordem as diferenças são mais acentuadas possivelmente em decorrência do controle lito-estrutural de cada bacia hidrográfica.

Nas Tabelas 4 e 5, estão sumarizados os valores de R_{lm}, R_b e R_{lb} das bacias hidrográficas. O maior valor de R_{lm} observado foi da relação dos comprimentos médios de 5ª ordem da bacia hidrográfica do rio Iguatemi, o que indica um relevo mais dissecado. O menor valor ocorreu na relação dos canais de 6ª com a 5ª ordem. Na 7ª ordem, notamos que na rede drenagem da bacia hidrográfica do rio Piquiri a R_{lm} foi superior em relação a bacia hidrográfica do rio Iguatemi.

Tabela 4 – Relação dos comprimentos (R_{lm}), relação de bifurcação (R_b) e relação entre R_{lm}/R_b- das ordens de canais da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Iguatemi - MS.

Ordem (u)	Relação dos comprimentos (R _{lm})	Relação de Bifurcação (R _b)	Relação entre R _{lm} / R _b
1ª	-----	-----	-----
2ª	2,06	4,46	0,46
3ª	2,52	4,65	0,54
4ª	2,18	5,43	0,40
5ª	4,04	5,25	0,77
6ª	0,51	2,00	0,25
7ª	1,39	2,00	0,69

Tabela 5 - Relação dos comprimentos (R_{lm}), relação de bifurcação (R_b) e relação entre R_{lm}/R_b- das ordens de canais da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR



Ordem (u)	Relação dos		
	comprimentos (R _{lm})	Relação de Bifurcação (R _b)	Relação entre R _{lm} / R _b
1 ^a	-----	-----	-----
2 ^a	2,70	5,22	0,52
3 ^a	3,14	4,95	0,63
4 ^a	2,23	4,00	0,57
5 ^a	2,04	4,75	0,43
6 ^a	2,84	6,00	0,47
7 ^a	1,72	2,00	0,86

A relação de bifurcação (R_b) tende a ter valor normalmente entre 2 a 5, com tendência a aumentar quanto mais alongada for à bacia hidrográfica (BEAUTMONT, 1975). Desta forma, observa-se na Tabela 5, que a bacia hidrográfica do rio Piquiri tende a ser mais alongada em função das mensurações das relações de bifurcação da rede de drenagem. No entanto, a R_b de 5^a ordem da bacia hidrográfica do rio Iguatemi é superior em relação ao valor de R_b da bacia hidrográfica do rio Piquiri, configurando-se uma anomalia da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Iguatemi no trecho de drenagem e áreas de 5^a ordem. Este fato está demonstrado nas Tabelas 6 e 7, por meio das distribuições de áreas e relações de áreas médias das áreas de drenagem direta por ordem de canal.

Tabela 6: Relação hierarquia, área média e relação entre áreas médias das áreas de drenagem direta por ordem de canal da bacia hidrográfica do rio Iguatemi, MS.

Ordem (u)	Área total das áreas de drenagem direta para	Áreas médias de drenagem direta para	Relação entre áreas
-----------	--	--------------------------------------	---------------------



	cada ordem de canal (Au) km ²	cada ordem de canal (Au) km ²	médias (Ra)
1 ^a	4.941,23	2,09	
2 ^a	1.514,04	2,86	1,37
3 ^a	846,36	7,42	2,60
4 ^a	335,61	15,98	2,15
5 ^a	244,22	61,05	3,82
6 ^a	57,34	28,67	0,47
7 ^a	32,92	32,92	1,15
Total	7.971,71		

Tabela 7: Relação hierarquia, área média e relação entre áreas médias das áreas de drenagem direta por ordem de canal da bacia hidrográfica do rio Piquiri, PR.

Ordem (u)	Área total das áreas de drenagem direta para cada ordem de canal (Au)	Áreas médias de drenagem direta para cada ordem de canal (Au)	Relação entre áreas médias (Ra)
	km ²	km ²	
1 ^a	12.749,19	2,16	
2 ^a	4.052,05	3,59	1,66
3 ^a	2.432,85	10,67	2,97
4 ^a	1.347,56	23,64	2,22
5 ^a	520,13	43,34	1,83



6 ^a	247,87	123,93	2,86
7 ^a	249,99	249,99	2,02

Total **21.599,64**

Na bacia hidrográfica do rio Iguatemi o comprimento do canal principal é de 204,831 km e na bacia hidrográfica do rio Piquiri o canal principal apresenta 589,230 km, e o gradiente de 1,8%. A extensão do percurso superficial (Eps) da bacia hidrográfica do Iguatemi apresentou 748,078 m, enquanto na bacia hidrográfica do Piquiri a Eps foi de 812,547 m e o gradiente de 1,4 %. A bacia hidrográfica do rio Iguatemi apresenta perímetro total igual a 707,112 km, para uma área total de 7.971,71 km² e comprimento máximo da bacia igual a 138 km, e a bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta perímetro total igual a 1.077,960km, para uma área total de 21.599,645km² e comprimento igual a 251 km (Tabela 8). De acordo com os valores levantados de Eps notamos que a bacia hidrográfica do rio Iguatemi apresenta uma maior capacidade de mobilização de materiais da superfície das vertentes em direção aos canais fluviais. Este comportamento também pode ser verificado pelo valor do gradiente do canal principal, o qual é superior no rio Iguatemi. A densidade de drenagem (Dd) da bacia hidrográfica do rio Iguatemi foi calculada em 0.668 (km/km²), o coeficiente de manutenção (Cm) em 1.497,413 (m/m²), e o fator de forma (Kf), foi calculado em 0,419. Na bacia hidrográfica do rio Piquiri a densidade de drenagem (Dd) calculada foi 0,694 (km/km²), o coeficiente de manutenção (Cm) em 1.441,583 (m/m²) e o fator de forma (Kf) em 0,343 (Tabela 9). Notamos que o valor mais alto do fator de forma da bacia do Iguatemi lhe confere a forma diferenciada em relação a forma da bacia do rio Piquiri. Em virtude destes valores, ambas as bacias são consideradas como alongadas. Estes resultados corroboram que as diferenças morfométricas das bacias hidrográfica estão condicionadas pelas variáveis de estado, ou estruturais, possivelmente em função de suas litologias, sendo que na bacia hidrográfica do rio Piquiri predominam as rochas basálticas e na bacia hidrográfica do rio Iguatemi há o predomínio de rochas sedimentares.

Tabela 8: Análises morfométricas comparativas de parâmetros lineares das bacias hidrográficas Iguatemi e Piquiri.



Bacia	Comprimento do canal principal		Gradiente do canal principal Gcp (%)	Extensão do percurso superficial Eps (m)
	Lp	(km)		
Iguatemi		204,831	1,8	748,078
Piquiri		589,230	1,4	812,547

Tabela 9: Análises morfométricas comparativas de parâmetros areais das bacias hidrográficas Iguatemi e Piquiri.

Bacia	Área total A (km ²)	Perímetro P (km)	Comprimento da bacia Lb (km)	Densidade de	Fator de	Coefficiente de
				drenagem Dd (km/km ²)		Manutenção Cm (m ² /m)
Iguatemi	7.971,71	707,112	138	0,668	0,419	1.497,413
Piquiri	21.599,645	1.077,960	251	0,694	0,343	1.441,583

Quanto às variáveis hipsométricas a altitude mínima das bacias hidrográficas é igual a 229 m, mas a altitude máxima é maior na bacia hidrográfica do rio Piquiri. Observa-se que a amplitude da bacia hidrográfica do rio Piquiri é 2,7 vezes superior em relação a amplitude da bacia hidrográfica do rio Iguatemi, embora o gradiente do rio Iguatemi seja maior. Em relação à altitude média ou elevação média na bacia hidrográfica do rio Iguatemi, seu valor é menor que a altitude mediana. Por outro lado na bacia hidrográfica do rio Piquiri, a elevação média é maior que a altitude mediana. A comparação dos resultados referente à relação de relevo, permite constatar que a bacia hidrográfica do rio Piquiri possui um relevo mais dissecado que a bacia hidrográfica do Iguatemi. O índice de rugosidade (Ir) das bacias hidrográficas variou consideravelmente, resultado das diferenças na amplitude altimétrica, sendo que na bacia hidrográfica do rio Piquiri a Ir foi 2,8 vezes superior que o valor da bacia hidrográfica do rio Iguatemi. Do ponto de vista da dissecação do relevo a bacia do rio



Piquiri foi provavelmente a que mais esteve sujeita a ação dos processos erosivos. Essa tendência, no que se refere à questão dos sedimentos em suspensão, indica que atualmente a bacia hidrográfica do rio Iguatemi provavelmente está mais vulnerável a mobilização dos sedimentos em direção ao reservatório da UHE-IB. Notamos que a integral hipsométrica (IH) da bacia hidrográfica do rio Iguatemi era de 0,4259 e a do Piquiri 0,3531. Em relação a IV, na bacia hidrográfica do Iguatemi temos o valor 0,03418 e na do Piquiri 0,2735. A relação IH-IV da bacia hidrográfica do Iguatemi apresenta valor maior que a bacia hidrográfica do rio Piquiri. Conclui-se que a bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta um menor potencial de geração de sedimentos que a bacia hidrográfica do rio Iguatemi.

Em relação as análises hidrossedimentológicas notamos por meio dos gráficos do tipo box-plot (Figuras 5 e 6), que no período 2002-2006 a bacia do rio Iguatemi apresentou valor mediano anual de Pss maior em relação aos valores da bacia hidrográfica do rio Piquiri praticamente em todo o período, apenas no ano de 2005 a Pss foi menor.

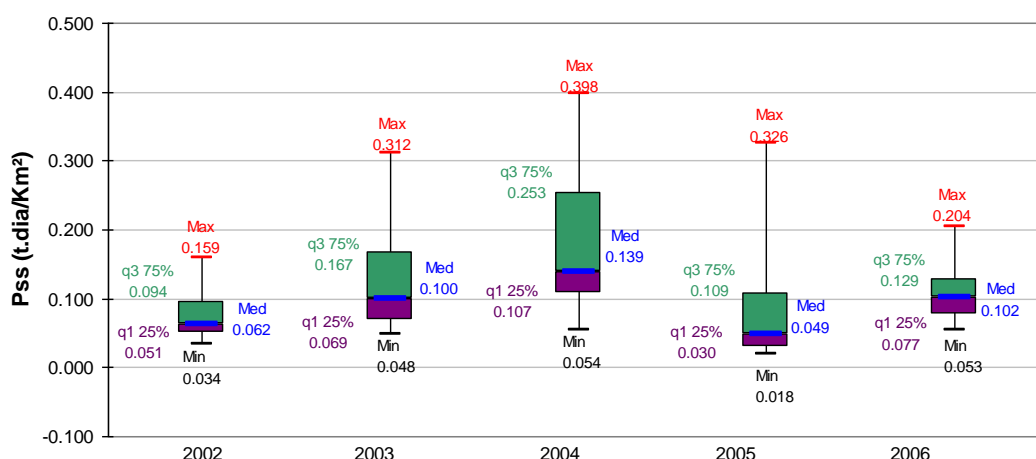


Figura 5 : Distribuição dos valores de produção específica de sedimentos em suspensão (Pss) máximo (Max); mínimo (Min); mediana (Méd), quartil 1 (q1), quartil 3 (q3), do período 2002-2006, bacia hidrográfica do rio Iguatemi-MS.

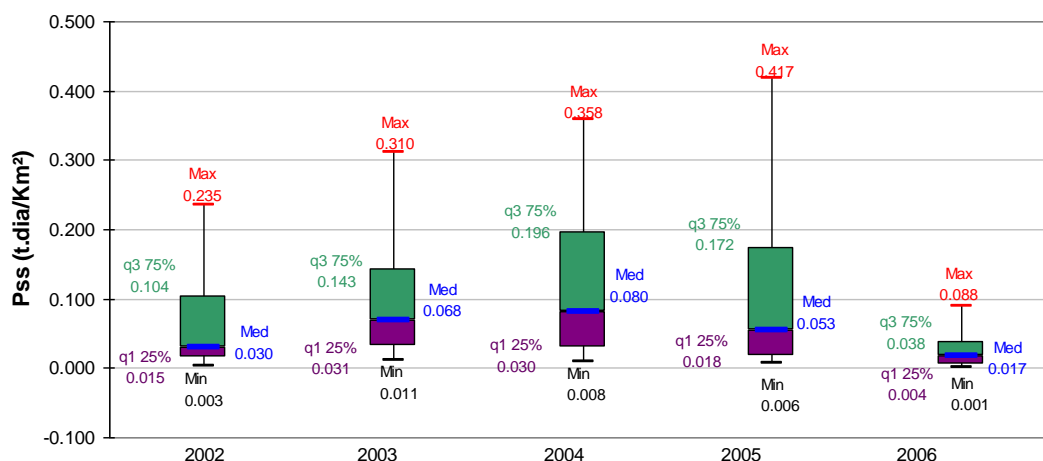


Figura 6: Distribuição dos valores de produção específica de sedimentos em suspensão Pss máximo (Max); mínimo (Min); mediana (Méd), quartil 1 (q1), quartil 3 (q3), do período 2002-2006, bacia hidrográfica do rio -PR.

Em relação aos valores mínimos de Pss da bacia do rio Iguatemi estes foram mais altos em todo o período de análise. Os valores máximos analisados nestes gráficos foram de 0,398 (t/km²/dia), considerado moderado, na bacia do rio Iguatemi e 0,417(t/km²/dia), considerado moderado, na bacia hidrográfica do rio Piquiri, enquanto o valor de mínimo da bacia hidrográfica do rio Piquiri foi 0,001 (t/km²/dia), considerado baixo, e 0,018 (t./km²/dia), considerado baixo, na bacia hidrográfica do rio Iguatemi em 2005. Observa-se que em relação ao valor do 3º quartil no ano de 2005 a bacia hidrográfica do rio Piquiri apresentou valores máximos, q3, mediana e q1 maiores que a bacia hidrográfica do rio Iguatemi, mas no ano de 2006 estes valores tiveram um forte decréscimo e todos se apresentaram inferiores quando comparados com os valores da bacia hidrográfica do rio Iguatemi. Um dos motivos que influenciaram este comportamento está relacionado com o decréscimo da vazão média neste ano. Considerando a classificação de Lima *et al.*, (2001,2003), a Pss das bacias hidrográficas é considerada baixa em termos de valores medianos. As análises hidrossedimentológicas demonstram que o potencial de produção específica de sedimentos em suspensão da bacia hidrográfica do rio Iguatemi é muito significativo em relação ao potencial da bacia hidrográfica do rio Piquiri, mesmo tendo a bacia do rio Iguatemi a área e descarga líquida menor. Também notamos que a bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta valores máximos bem contrastantes em relação ao conjunto de observações da análise comparativa. Isto porque no gráfico de correlação das médias mensais do período, referente a P (mm), N (m), Css (mg/l) e Q (m³/s), com a Pss (t/km²/dia) como uma variável dependente, no período de análise a estação de monitoramento Balsa Santa Maria apresentou média de Pss extremamente distantes do conjunto de valores calculados (Figura 7). Isto foi decorrente de um evento extremo possivelmente correlacionado ao



valor máximo de Pss constatado no mês de outubro de 2005. Ambas as bacias hidrográficas apresentaram correlação positiva com índice de determinação (r^2) superiores a 70%.

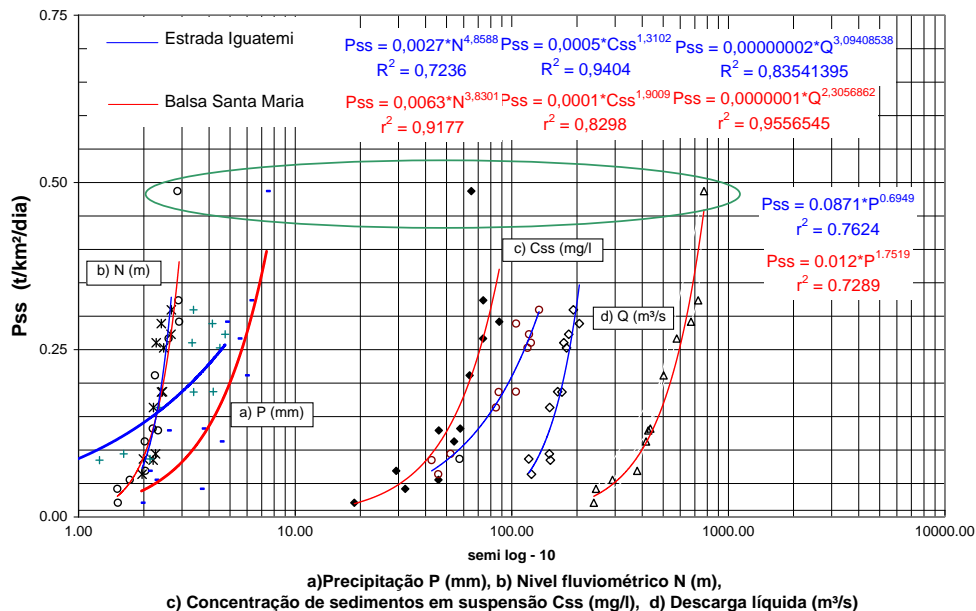
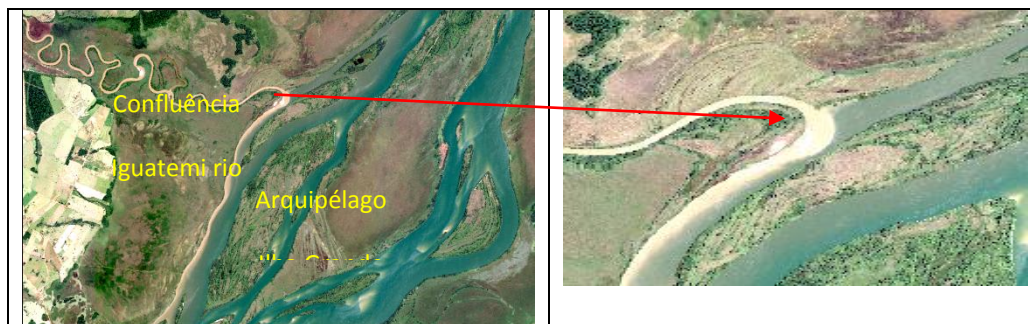


Figura 7: Correlações das variáveis hidrossedimentológicas.

No dia 28/01/2004, o satélite *QuickBird* coletou uma cena que cobre a desembocadura dos rios Iguatemi e Piquiri, e por meio da interpretação visual da imagem capturada neste dia notamos que na composição colorida 321/RGB, a intensidade da cor da água do rio Iguatemi é mais intensa que a cor da água do rio Piquiri, isto é um indicador de uma maior concentração de sedimentos em suspensão no rio Iguatemi (Figura 8).



Confluência Piquiri

rio Paraná



Figura 8: Imagem capturada pelo satélite *QuickBird* em 28/01/2004. Fonte: Digital Globe. Org: Aguiar (2009)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram o potencial do emprego das variáveis morfológicas e hidrossedimentológicas para análises dos processos dinâmicos da superfície terrestre e seus fluxos, os quais exercem forças destrutivas e acumulativas nas camadas superiores do relevo resultando na alteração e deslocamento dos materiais superficiais em direção aos canais fluviais. Sob o ponto de vista das análises hidrogeomorfológicas as mensurações subsidiaram a análise de diferentes variáveis morfométricas que, por sua vez, permitiram interpretações sobre processos fluviais predominantes e o reconhecimento da distribuição espacial das particularidades de cada sistema em análise. Notamos que as variáveis analisadas das bacias hidrográficas dos rios Iguatemi e Piquiri estão possivelmente controladas pelas condições de ordem geológica e estrutural. Isto é bastante notório no desenvolvimento morfológico das bacias hidrográficas. Na bacia do rio Iguatemi ocorre uma anomalia significativa nos canais de 5ª ordem, e a (Pss) apresenta-se mais atuante nesta bacia, onde as rochas predominantes que formam seu substrato são mais permeáveis que as da bacia do rio Piquiri. Em relação a análise das curvas hipsográficas e de volume, a representação relativa das áreas demonstrou por meio da comparação das curvas que a bacia hidrográfica do rio Iguatemi apresenta um maior potencial para produção de sedimentos em decorrência dos processos erosivos. Os resultados da Pss apresentaram-se coerentes, com valores significativos de mobilização de sedimentos em suspensão para ambas as bacias hidrográficas analisadas, principalmente ao analisar a Pss no período em que o satélite *QuickBird* capturou uma cena sob as áreas das desembocaduras das bacias hidrográficas. A cena capturada analisada juntamente com os dados sedimentométricos demonstra que a maior concentração de sedimentos em suspensão verificada naquele instante foi no rio Iguatemi.



Desta forma notamos que são necessários estudos específicos para implantação de projetos de planejamento conservacionista do uso do solo, de forma a minimizar a mobilização dos materiais superficiais e os procedimentos adotados neste estudo podem subsidiar estudos especulativos, para identificação de áreas de riscos em relação a produção de sedimentos. Conclui-se que são necessários estudos com nível maior de detalhamento, como por exemplo, mapeamentos geológicos e geomorfológicos de detalhe nas escalas entre 1:25.000 e 1:50.000, além do uso de imagens de satélite multiespectrais para análise espacial das áreas fontes de sedimentos. Também notamos que é fundamental por parte da Itaipu Binacional a implantação de novos postos de monitoramento hidrossedimentológico ao longo dos canais principais das bacias hidrográficas analisadas, no intuito de aprofundar a compreensão da mobilização dos sedimentos em suspensão, levando em consideração a morfologia dos perfis longitudinais dos rios principais das bacias de contribuição do reservatório de Itaipu.

BIBLIOGRAFIA

BEAUMONT, P. Hydrology. In: WHITTON, B. A. (Ed.). River ecology. Berkeley:

University of California Press, 1975. p. 1-38

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL: (Levantamento de Recursos Naturais, v. 28). Folha SF. 21 (Campo Grande). Rio de Janeiro. 1982. 412 p.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM. 1994. 372 p.

HOLLAND, J. H. Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity, Addison-Wesley Pub. Co. 2002.

HORTON, R.E. Drainage Basin Characteristics, Trans. Amer. Geophys. Union, 13. 1932. p.350-361.



HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. Geological Society American Bulletin, 56(3). 1945. p. 275-370.

LIMA, J. E. F. W. ; LOPES, W. T. A. ; Silva, E.M. ; VIEIRA, M. R. . Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa - Diagnóstico hidrossedimentológico da bacia do rio Piquiri. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S. A. Geologia da Bacia 2003. Disponível em www.pr.gov.br/mineropar Acesso em 16/01/2007.

RODRIGUES, C. e ADAMI, S. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas. In: VENTURI, L.A.B. (org.) Praticando Geografia – técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin, n. 67. 1956. p. 597-646.

STRAHLER, A.N. Dynamic basis of geomorphology, Geological Society of America Bulletin, 63. 1952. 923-938 p.

WARD, A. D.; TRIMBLE, S. W. Environmental hydrology. 2ed. New York: Lewis publishers. 1995. 475 p

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. Hidrologia. Tradução e publicação de Missão Norte- Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964.