

- _____; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P.; VIANNA, R.B. Contribuição ao Estudo do Alinhamento Estrutural de Guapiara. In: SIMP. REG. GEOL. (3.: 1981: Curitiba). *Atas...*, Curitiba, Núcleo-SP, SBG, v 1, p.226-240, 1981.
- _____; SILVA, F.V.; MORO, R.P.X.; FORLIN, M.; STEVANATO, R.; FORNAZZARI NETO, L.; ARTUR, P.C.; SOARES, P.C. Aplicação do método "Analytic Signal" no mapeamento das soleiras de diabásio da região de Fartura (SP-PR). In: CONGR. INT. SOC. BRAS. GEOFÍS. (4.: 1995: Rio de Janeiro). *Resumos Expandidos...*, Rio de Janeiro, SBGF-ULAG., v. I, p. 226-229, 1995.
- _____; FORLIN, M.; DONATTI, L.M.; ROSTIROLLA, S.P.; STEVANATO, R.; SOARES, P.C. Assinatura Magnética de Estruturas Dômicas da Região de Fartura. In: CONGR. BRAS. GEOL. (39.: 1996: Salvador). *Anais...*, Salvador, SBG (no prelo).
- HOOD, P. Gradient Measurements in Areomagnetic Surveying. *Geophysics*, v.30, n.1, p.891-902, 1965.
- MACLEOD, I.N.; VIEIRA, S.B.; CHAVES, A.N. Analytic Signal and Reduction-to-the-Pole in the Interpretation of Total Magnetic Field Data at Low Latitudes. In: CONGR. INT. SOC. BRAS. GEOFÍS. (3.: 1993: Rio de Janeiro). *Resumos Expandidos*, Rio de Janeiro, SBGF, v 2, p. 830-835, 1993.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; TREIN, E. Intrusivas básicas Jurássico-Cretáceas do primeiro planalto do Paraná. In: *Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subsequentes da porção oriental do Estado do Paraná*. J.J. BIGARELLA; R.SALAMUNI; V.M.PINTO (Eds.). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 23-25, Curitiba-PR, 1967.
- NABIGHIAN, N.M. The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, v.37, n.3, p.507-517, 1972.
- PAULIPETRO-ENCAL. Projeto Aerogeofísico Botucatu. Paulipetro. São Paulo - SP. (inédito). 1982.
- REID, A.B.; ALLSOP, J.M.; GRANSER, H.; MILLETT, A.J.; SOMERTON, I.W. Magnetic Interpretation in Three Dimensions Using Euler Deconvolution. *Geophysics*, v.55, n.1, p.80-91, 1990.
- SLACK, H.A.; LYNCH, V.M.; LANGAN, L. The Geomagnetic Gradiometer. *Geophysics*, v.32, n.1, p.877-892, 1967.
- THOMPSON, D.T. EULDPH: A New Technique for Making Computer-Assisted Depth Estimates from Magnetic Data. *Geophysics*, v.47, n.1, p.31-37, 1982.

Erosão Marginal Em Canais Associados Ao Rio Paraná Na Região De Porto Rico-PR

Bank erosion in associated channel of upper Parana river in the Porto Rico area, PR

Paulo Cesar Rocha*
Edvard Elias Souza Filho**

RESUMO

Neste trabalho foram estudados a quantificação da erosão marginal, os processos erosivos e suas relações com variáveis hidrodinâmicas e mecânicas em 17 margens de 4 diferentes segmentos da planície do rio Paraná, na região de Porto Rico-PR: dois segmentos de padrão entrelaçado (rio Paraná e canal Cortado), um segmento meandrante (rio Ivinheima) e um anastomosado (rio Baía/canal Corutuba). No estudo foram utilizados conjuntamente 3 métodos: método dos pinos, das estacas e perfilagens. As 17 margens escolhidas se encontram em 4 subsistemas: rio Paraná (1), canal Cortado (6), rio Ivinheima (4) e rio Baía/canal Corutuba (6). A velocidade de fluxo foi determinante na quantificação da erosão; o principal processo erosivo foi a corrasão. A dinâmica das variáveis determinou a intensidade, os processos erosivos e a distribuição temporal da erosão em cada subsistema. O segmento de maior instabilidade das margens foi o rio Paraná. Os outros segmentos apresentaram alta estabilidade de margens.

ABSTRACT

This paper is a study of bank erosion rate, and its relations to with flow velocity, water level variation and bank sedimentological conditions. The study area is in the upper part of Paraná river, near Porto Rico -PR, where there are three channel patterns in the Paraná floodplain: a braided reach (Paraná river/ Cortado channel), a meandering reach (Ivinheima river), and an anastomosing reach (Baía river/Corutuba channel) (figure 1-A).

Seventeen banks were selected for study. The banks were distributed into four sub-systems: P-1, was in the Paraná river; P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7, were in the Cortado channel; I-1, I-2, I-3, I-4, were in the Ivinheima river; B-1, B-2, C-1, C-2, BC-1, BC-2, were in the Baía river/Corutuba channel. Local measurements were made by means of erosion pins, the pegs method and the profile measurements.

The banks were classified into three groups: Type 1, muddy banks with intermediate height and with steep; type 2, muddy banks with low height and a gentle slope; type 3, sandy and high banks with steps (figure 6). Banks of the type 1 are present in the Paraná river and in the Baía river/Corutuba channel; type 2 are present in the Cortado channel (except I-4) and banks of the type 3 are present in the Ivinheima river (except P-4).

The Paraná river showed great bank erosion rate and the dominant process was corrasion, but we also have collapse. The other subsystems showed small rates of bank erosion; the dominant process was also corrasion, but there was occurred small slope failure in the Ivinheima river and in the Baía river there was local piping.

*Mestrando em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá-PR.

**Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá-PR.

The temporal distribution of bank erosion was related to hydrological conditions (flow velocity and water level variation), and was different in the sub-systems during the hydrological cycle (figure 10). This fact showed that bank erosion rate is variable along the cycle. Flow velocity in the sub-systems was responsible for the difference in bank erosion rate, and for the corrasion process. Water level variation, rainfall amount and sedimentological conditions controlled the other erosive processes, and they just happened in the banks where gallery forest was removed. The results indicated that the braided channel pattern (Paraná river) has the highest bank instability; while meandering reach (Ivinheima river) and the anastomosing reach (Baía river/Corutuba channel) has high bank stability (table 3). Since the thalweg position controls the velocity flow close to the bank, the exploitation of the sand bars could change the thalweg position and change the present erosive pattern; the occupation of the natural levee could increase the other erosive process that occurs in uncovered banks as well.

INTRODUÇÃO

O estudo do canal, do aspecto morfológico, da hidrologia e da geomorfologia do meio fluvial é de grande importância para a compreensão do comportamento e evolução de planícies de inundação. O conhecimento de variáveis como a descarga, carga sedimentar, taxa de erosão e sedimentação no leito e nas margens, formas de leito, serve para subsidiar informações preciosas ao meio biótico.

A erosão marginal é uma variável fundamental da dinâmica dos cursos de água; a estabilidade das margens é um fator importante na manutenção de biomas, no sentido do ecossistema fluvial, e econômico, no sentido da perda de terrenos cultiváveis em áreas agrícolas, na proteção de estruturas de engenharia próximas ao canal fluvial.

Este trabalho tem como objetivo estudar a erosão marginal em três diferentes canais secundários do rio Paraná e de sua planície, na região de Porto Rico-PR. Tal estudo abrange a identificação e quantificação dos processos erosivos e o estabelecimento da influência de diversas variáveis sobre os mesmos. Os segmentos estudados são o canal Cortado, um trecho do rio Baía e canal Corutuba, e um local no rio Ivinheima.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada em um trecho do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR, entre os Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul (figura 1-A).

O substrato regional é composto por arenitos da Formação Caiuá (K) e por sedimentos cenozóicos associados ao rio Paraná e afluentes. O relevo regional é caracterizado por uma paisagem ondulada e alta, típicas do *Planalto Central da Bacia do Paraná*, e por áreas planas da *Planície do rio Paraná* (IBGE, 1990). A margem direita constitui-se de uma extensa planície aluvial, que varia de 4 a 10 km de largura na região.

A montante de Guaíra-PR, os afluentes da margem direita possuem suas nascentes nas serras de *Maracaju* e *Araras*. Na margem esquerda, os principais afluentes têm suas nascentes nas serras de *Mar e da Mantiqueira*. Até a região de estudo, o rio Paraná drena pouco mais de 670.000 km².

A descarga média na estação fluviométrica de Porto São José-PR (DNAEE, 1995), estação mais próxima na área de estudo, foi de 8.908 m³/s para o período de 1964 a 1994. A cheia de maior magnitude teve a vazão de 33.740 m³/s em fevereiro de 1983. Seu período de maior descarga se estende de janeiro a março, coincidindo com a estação chuvosa na sua bacia superior. A descarga sólida é de 30 x 10⁶ t/ano para a carga total, sendo 27 x 10⁶ t/ano para a carga suspensa e 3 x 10⁶ t/ano para a carga de fundo (ITAIPU BINACIONAL, 1990).

Na estação fluviométrica de Ivinheima-MS (DNAEE, 1995), no rio Ivinheima, principal afluente do rio Paraná neste trecho da Planície, os dados hidrológicos revelam uma descarga média de 287 m³/s

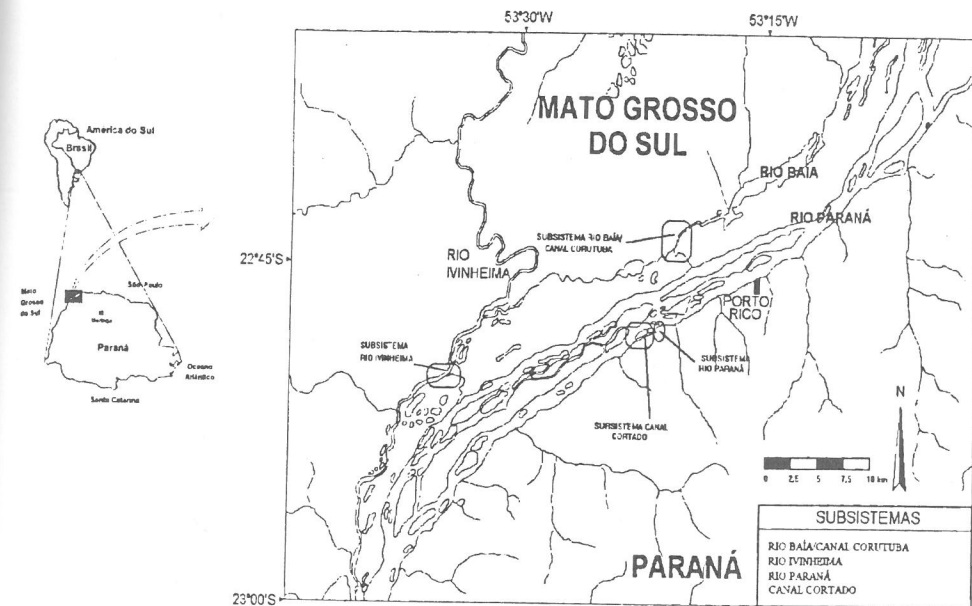


Fig. 1-A
Localização da área de estudo. *Researched area place.*

para o período de janeiro de 1992 a dezembro de 1994, sendo que a maior descarga neste período ocorreu na cheia de 1993, atingindo 795 m³/s em dezembro.

O sistema de drenagem local compreende um conjunto multicanal com características de rios entrelaçados (*braided*), representado pelo curso do rio Paraná propriamente dito, e por um conjunto de canais anastomosados que drenam a planície (SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993).

O sistema anastomosado compreende o rio Baía, o canal Corutuba, e o baixo curso do rio Ivinheima; estes canais estendem-se por mais de 100 km desde montante de Porto Primavera (MS) até Porto Caiuá (PR), mantendo diversas ligações com o rio Paraná. O rio Ivinheima, por sua vez, possui um padrão meandrante em seu curso médio, que aparentemente persiste por um pequeno trecho após sua entrada na planície do rio Paraná.

O clima na região é Tropical subquente, com um a dois meses secos, com temperatura média anual de 20°C, e precipitações maiores que 1.500 mm/ano (IBGE, 1990).

A ocupação nas ilhas do rio Paraná e na Planície da margem direita no estado do Mato Grosso do Sul foi intensificada nos anos 50/60, sendo a atividade pesqueira de grande importância para a população ribeirinha, aliada à agricultura de subsistência. Ultimamente está havendo intensificação das atividades pecuárias nas ilhas e na planície, e algumas práticas agrícolas, ocasionando grandes desmatamentos, principalmente nas partes mais altas, onde é menor a frequência de alagamentos.

Nessa região, alguns trabalhos abordaram aspectos da geomorfologia fluvial. SANTOS *et al.* (1989; 1992), estudaram a evolução e classificação de barras arenosas no canal do rio Paraná; JABUR (1992), fez uma análise paleoambiental do Quaternário Superior no alto rio Paraná; SOUZA FILHO (1993), estudou a estratigrafia e geologia dos depósitos associados ao rio Paraná; STEVAUX (1993), estudou a estratigrafia e sedimentação na planície aluvial; ROCHA *et al.* (1994), estudaram a influência de grandes barragens sobre o regime hidrológico do rio Paraná; ROCHA *et al.* (1995), estudaram a abrangência das inundações na planície aluvial do rio Paraná.

No estudo da erosão marginal, existem apenas os trabalhos de FERNANDEZ (1990) e FERNANDEZ & FÚLFARO (1993), que abordaram as mudanças no canal fluvial e processos de erosão marginal nas ilhas do rio Paraná, e tiveram maior destaque neste artigo.

METODOLOGIA

Para o estudo da erosão marginal, HOOKE (1980, em FERNANDEZ, 1990) cita as três principais fontes de informações a serem utilizadas: medições diretas no campo (método dos pinos, método das estacas, perfilagens sucessivas e método fotográfico), medição indireta (através de comparação de mapas antigos e fotografias aéreas), e a utilização de evidências biológicas e sedimentares (estudos dendrocronológicos, técnicas convencionais de datação $-C^{14}$, estruturas sedimentares). Na bibliografia, há predominância do uso de *mapas antigos e fotografias aéreas* na medição indireta das linhas de margem e do *método dos pinos* na medição direta no campo.

Os estudos detalhados da erosão marginal feitos até o momento através do método dos pinos (medições diretas no campo) restringem-se quase que totalmente a regiões de clima temperado e rios de pequenas bacias de drenagem, e caracterizam a utilização deste método como o mais usado.

Neste estudo, a quantificação da erosão marginal foi feita através de medições diretas no campo, utilizando-se conjuntamente três métodos de medição - *método dos pinos, das estacas e perfilagens sucessivas*. As medições nas margens foram realizadas entre junho/93 e junho/94, observando-se um ciclo hidrodinâmico completo, entre vazante-enchente-vazante, de acordo com o regime hidrológico do sistema rio Paraná em seu trecho superior (ROCHA et al., 1994).

Os estudos foram feitos em 17 pontos dentro da planície, agrupadas em cada segmento diferente, constituindo quatro subsistemas dentro de três padrões de canal diferentes: no rio Ivinheima (meandrante), no rio Paraná e no canal Cortado (entrelaçado), e no conjunto rio Baía/canal Corutuba (anastomosado) (figura 1-B).

O subsistema rio Ivinheima foi monitorado em um pequeno trecho de um amplo meandro, por meio de três pontos colocados na margem direita, abrangendo a inflexão do meandro (I-1, I-2 e I-3) e um ponto na margem esquerda (I-4).

O subsistema rio Baía/canal Corutuba foi monitorado com seis pontos de observação, dois deles no rio Baía (B-1 e B-2), dois no canal Corutuba (C-1 e C-2) e outros dois na "confluência" entre ambos (BC-1 e BC-2). Nos três casos, os dois pontos foram colocados na mesma seção, em margens opostas.

O subsistema canal Cortado foi amostrado em três seções, com um ponto em cada margem. Os dois pontos mais a montante foram colocados na metade superior do canal (P-2 e P-3), os intermediários na metade a jusante da 2ª entrada (P-4 e P-5), e os dois últimos, na saída do segmento (P-6 e P-7).

O subsistema rio Paraná teve um único ponto de amostragem (P-1), colocado à entrada do canal Cortado, em sua margem direita. Inicialmente, o ponto estava destinado a monitorar o referido canal; porém, dada a influência das correntes de fluxo do canal principal do rio Paraná sobre esta margem, houve preferência em tratar os resultados como de um outro subsistema, comparando-os com os obtidos por FERNANDEZ (1990), para o mesmo trecho do rio.

DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS E UTILIZAÇÃO

Método dos Pinos (modificado por FERNANDEZ, 1990): utilizado primeiramente por WOLMAN (1959) e por inúmeros outros pesquisadores, consiste na inserção de pinos na face das margens, cujo recuo é medido pelo grau de exposição que os pinos apresentam. As características dos pinos (comprimento, diâmetro, material) e sua distribuição espacial na margem variam de acordo com o tipo e magnitude dos processos erosivos e com as características do barranco. Os pinos utilizados neste trabalho foram de 1 metro de comprimento, e 5 milímetros de diâmetro, inseridos com distribuição vertical única em cada ponto de amostragem. Os valores do recuo das margens foram obtidos principalmente através deste método.

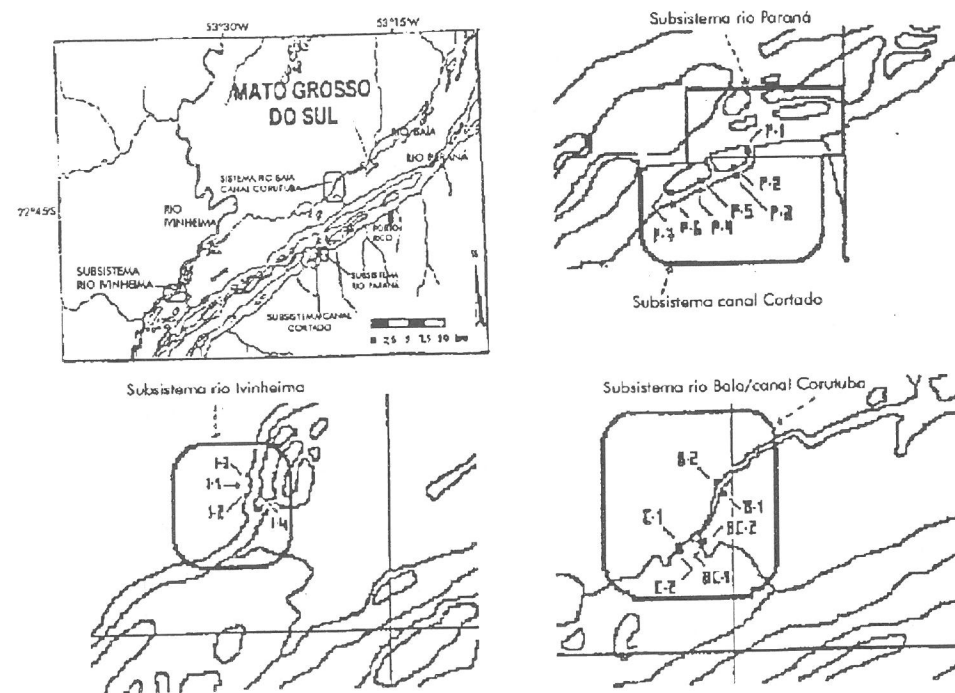


Fig. 1-B
Localização da área de estudo. *Researched area place.*

Método das Estacas: empregado por HUGHES (1977), entre outros, consiste na instalação de estacas de madeira na superfície do barranco. A distância entre elas e a margem é medida e mostra o resultado do processo. Esse método só permite a quantificação do recuo da borda do barranco. As dimensões das estacas também variam conforme o tipo de superfície do barranco. Neste caso, foram utilizadas duas ou três estacas de 1,5 metros de comprimento por 8 centímetros de diâmetro em cada local. Como não houve grandes desmoronamentos que comprometessem as medições através dos pinos, as medições entre a margem e as estacas praticamente não foram utilizadas.

Perfilagens Sucessivas: também utilizada por vários autores, como HUGHES (*op. cit.*), consiste no levantamento de perfis nas margens monitoradas e dão a ilustração da evolução progressiva de seus perfis. Este método é utilizado como uma maneira gráfica de evidenciar a evolução da face do barranco, ao longo do período monitorado. Neste caso, foram feitas três perfilagens em cada ponto de amostragem, desde a parte submersa, até a superfície do barranco junto às estacas. A medição foi feita através de régua metálica graduada de 2,5 m de comprimento e trena flexível de 20 m. Os resultados das perfilagens foram utilizados para a determinação de diferentes tipos de margens.

A utilização destes três métodos de quantificação descritos deveu-se à necessidade de reconhecimento e aplicação dos métodos no tratamento da erosão marginal na área de estudos, buscando-se também maior segurança para com as medições em campo. A erosão total de cada ponto monitorado consiste da somatória dos recuos registrados em cada pino ou estaca dividida pelo número dos mesmos.

VARIÁVEIS DETERMINANTES NA EROSÃO MARGINAL

Segundo THORNE & TOVEY (1981), os fatores que condicionam a erosão das margens fluviais são numerosos, destacando-se o tamanho, a geometria e a estrutura do barranco, as propriedades mecânicas do material, as características hidrodinâmicas do fluxo nas proximidades das margens e as condições climáticas. Considerando-se uma mesma condição hidrodinâmica, a erosão de uma margem depende sobretudo da estrutura do barranco e das propriedades de seus constituintes, quer sejam coesivos, não-coesivos ou compostos (LEEDER, 1982).

As propriedades mecânicas de um barranco estão relacionadas à composição granulométrica, e são responsáveis pelo grau de coesividade dos materiais constituintes, gerando maior ou menor resistência à erosão.

A esse respeito, a geometria e tamanho das margens amostradas foram levantados em campo, assim como para o conhecimento de seus constituintes foram obtidas amostras colhidas na face do barranco, nas proximidades e ao nível dos pinos inseridos. A coleta foi realizada com a utilização de *trado*, colocado horizontalmente na margem, em número de uma a cada ponto de amostragem.

As amostras foram levadas a laboratório, secadas e submetidas a análise granulométrica (peneiramento e pipetagem). A partir dos resultados da composição granulométrica e de erosão marginal em cada subsistema, foi obtido o correlacionamento entre as duas variáveis através de regressão linear simples.

As margens foram classificadas a partir de sua morfologia, obtida através de perfilagens, e de sua composição granulométrica, obtida em laboratório, com o objetivo de avaliar a atuação das variáveis sobre certo tipo de margem e de comparar a presença dos tipos identificados nos subsistemas. Além disso, outras variáveis foram observadas, tais como a cobertura vegetal e o uso do solo.

WOLMAN (1959), TWIDALE (1964) e HOOKE (1979) observaram forte correlação entre a precipitação e a intensidade da erosão marginal em rios de pequenas bacias de drenagem. Nesse trabalho, a influência da precipitação local foi estudada através de dados *pluviométricos* para a região, obtidos da estação hidrometeorológica do DNAEE de Porto São José-PR e o correlacionamento com a erosão marginal em cada subsistema foi obtido através de regressão linear.

As características hidrodinâmicas incluem variação do nível da água, turbulência, ação das ondas e variações da velocidade. A contínua variação do nível do rio é considerada qualitativamente como um dos fatores mais importantes na erosão marginal, pois controla a atuação das *forças* de origem fluvial sobre os materiais das margens, e são representadas pelas *ondas* e *correntes* (FERNANDEZ, 1990).

Foi comparado o comportamento hidrométrico (variação de nível da água) dos subsistemas em estudo. Os dados dos subsistemas foram obtidos através de leituras nas réguas limimétricas e de estimativas, e também das estações fluviométricas de Porto São José-PR, no rio Paraná, e de Ivinheima-MS, no rio Ivinheima, ambas do DNAEE.

As estimativas foram obtidas através da aplicação de equações resultantes da regressão linear entre os valores das leituras de régua nos subsistemas e dos dados das estações fluviométricas de Porto São José-PR e de Ivinheima-MS.

No subsistema *canal Cortado*, obteve-se a correlação de $r: 0,999$ e a equação $y: 2,453686 + 0,9756221 x$ para com os valores hidrométricos da estação de Porto São José-PR (rio Paraná). No subsistema *rio Baía/canal Corutuba*, a correlação foi de $r: 0,999$ e a equação *resultante* $y: 2,450873 + 0,8518806 x$, também com valores da estação de Porto São José-PR (rio Paraná).

No subsistema *rio Ivinheima* foi observado que a seção monitorada apresentava tanto a influência do rio Paraná quanto do rio Ivinheima, porém em períodos diferentes. Os resultados mostraram em período de cheia (dez/mar), $r: 0,993$ e a equação $y: 1,498648 + 1,593469 x$ com os valores de Porto São José (rio Paraná); e no período de vazante (abr/nov), $r: 0,974$ e a equação $y: 1,010127 + 0,8243731 x$, com os valores hidrométricos da estação de Ivinheima-MS (rio Ivinheima).

Optou-se por separar o regime hidrométrico em dois períodos, conforme o comportamento do rio Paraná: *pré-enchente*, do início das medições até o período de enchente (junho -dezembro/93) e *pós-enchente*, a partir do mês inicial da enchente até a última medição (janeiro - junho/94), somando-se

a taxa de erosão total para cada período nos quatro subsistemas. Isso foi necessário devido ao encobrimento total ou quase total das margens pela água em período de enchente, impossibilitando as medidas em campo.

A ação do fluxo no canal é de grande importância para se medir a taxa de erosão nas margens fluviais. Os dados de *velocidade média máxima* nas seções de estudos foram obtidos por MARTONI *et al.* (1993), no rio Baía, canal Cortado e rio Ivinheima, e FERNANDEZ (1990) no rio Paraná, ambos a partir de medidas diretas no campo. Os dados foram utilizados para se determinar as diferenças entre os subsistemas. Não foi possível a medição das velocidades médias durante o período de monitoramento devido à falta de equipamento necessário.

Foram correlacionados os dados de variação das velocidades e variação do nível da água nos subsistemas canal Cortado, rio Ivinheima e rio Baía/canal Corutuba através de regressão linear, com o fim de se verificar a influência hidrodinâmica do rio Paraná nestes subsistemas.

Foram também determinados os processos erosivos atuantes nas margens e as condições favoráveis para que aconteçam, através das observações no campo e comparação com os processos conhecidos na literatura.

TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados obtidos de erosão marginal, velocidades de fluxo, granulometria das margens, precipitação e variação do nível da água, foram tratados estatisticamente por meio do software *Statistica for Windows*. Foram correlacionados através de regressão linear os dados de erosão marginal e precipitação, de erosão marginal e composição granulométrica e de variação de nível e velocidades de fluxo. Os dados de erosão marginal, velocidades de fluxo, composição granulométrica e variação de nível também foram analisados conjuntamente por regressão múltipla.

RESULTADOS

MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS ATUANTES

Foram avaliadas a morfologia e as características granulométricas das margens monitoradas, os índices pluviométricos da área de estudos, a variação do nível da água e as velocidades de fluxo nos subsistemas. Os resultados estão apresentados como segue:

Composição Granulométrica das Margens

As margens monitoradas foram analisadas quanto as suas características granulométricas e os resultados apontaram diferentes concentrações de areia e lama entre as margens, mostrando grande variabilidade. A figura 2 mostra o teor de areia em cada uma das 17 margens estudadas, onde foram identificadas como mais arenosas as margens I-1, I-2, I-3 no rio Ivinheima, e P-7 no canal Cortado. Identificou-se também certa similaridade na composição granulométrica entre as margens de um mesmo subsistema.

Precipitação

A precipitação total no período de estudos (jun/93 - jun/94) atingiu 1.470 mm, ficando próxima da média anual (1.500 mm), e a média mensal foi de 113,1 mm. Porém, houve grande variabilidade mensal, sendo os meses de outubro/93 e janeiro/94 os mais chuvosos, e o mês de agosto/93 o mais seco. A figura 3 mostra o comportamento mensal da precipitação na estação pluviométrica de Porto São José-PR (DNAEE, 1995).

Composição Granulométrica

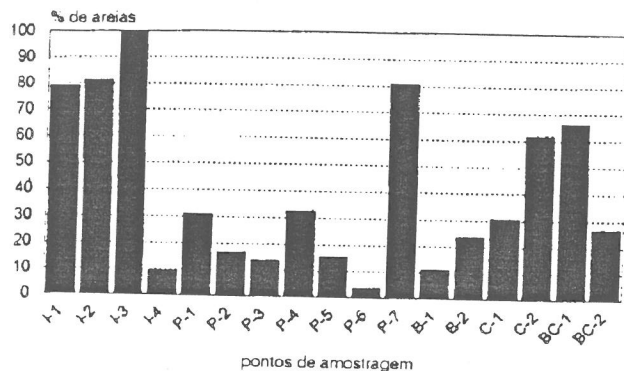


Fig. 2

Teor de areia nas margens monitoradas na planície do rio Paraná. Sand king in monitored margins at Paraná river plain.

PRECIPITAÇÃO MENSAL TOTAL

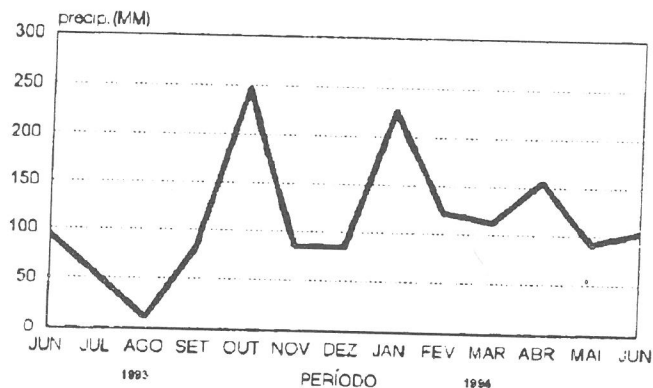


Fig. 3

Precipitação mensal na estação de Porto São José-PR (DNAEE). Monthly precipitation at Porto São José station (DNAEE).

Varição de Nível

A variação de nível da água nos quatro subsistemas teve grandes magnitudes (figura 4). Observou-se que as variações mensais nas quatro seções (subsistemas) estudadas apresentaram similaridade, com exceção do rio Ivinheima em período de vazante. Correlacionando-se os dados fluviométricos do rio Ivinheima com o rio Paraná, através de regressão linear, observou-se que a seção rio Ivinheima apresenta em sua hidrometria maior correlação com a estação fluviométrica de Porto São José-PR (DNAEE), no rio Paraná em regime de cheia (dezembro a março), e maior correlação com a estação de Ivinheima-MS (DNAEE), no rio Ivinheima em regime de vazante (abril a novembro) (ver item "Variáveis Determinantes na Erosão Marginal").

Além disso, no período de cheia verificou-se que a maioria das margens monitoradas estiveram cobertas pela água, fato comum nesta área de planície, o que mostra a tabela 1.

Velocidade de Fluxo

As velocidades máximas obtidas nos subsistemas mostram que as correntes mais fortes estão presentes no rio Paraná e que há uma grande diferença para com os outros subsistemas. A tabela 2 mostra os valores para cada subsistema.

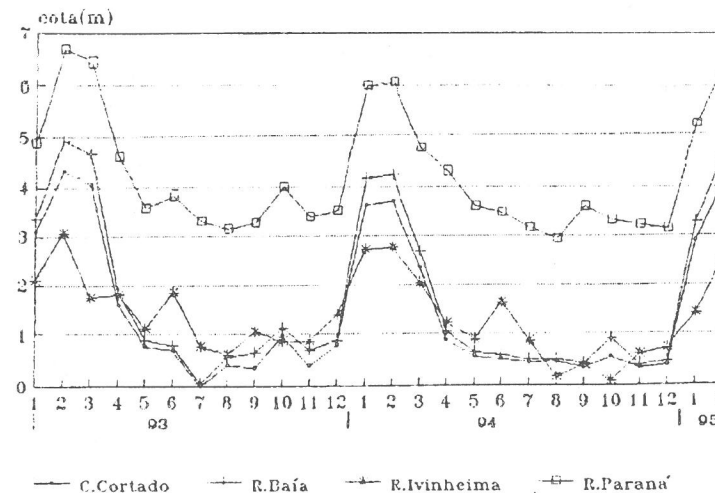


Fig. 4

Varição de nível em 4 subsistemas da planície do rio Paraná na região de Porto Rico-PR. (dados obtidos por leituras e estimativas). Level variation 4 subsystem's Paraná river plain in Porto Rico-PR area.

O rio Paraná é o grande controlador da hidrodinâmica de todo o sistema de inundação, principalmente quanto ao nível da água de sua planície. Considerando-se o sentido da correnteza nos canais da planície e o efeito do transbordamento do rio Paraná, procurou-se verificar tal influência sobre a velocidade de fluxo nos três subsistemas da planície estudados, comparando-se os comportamentos das velocidades de acordo com a variação de nível. Os resultados estão apresentados na figura 5.

Tabela 1 - Altura das margens e variação do nível da água (NA) nas seções. Table 1 - Margin height and water level variation in the sections.

subsistema	margem	altura (m) (24/07/93)	N.A. (m) (24/07/93)	N.A. mais alto (m)	N.A. mais baixo (m)	var.nív (m)
r.Ivinheima	I-1	3,10				
	I-2	2,55				
	I-3	2,79	0,76	2,75	-0,17	2,94
	I-4	0,80				
r.Paraná	P-1	2,05	2,46	6,07	2,80	3,27
	P-2	2,00				
	P-3	1,30				
	P-4	3,00	0,00	3,71	-0,04	3,75
	P-5	1,81				
	P-6	1,15				
	P-7	1,80				
r.Baía/ c.Curutuba	B-1	2,80				
	B-2	3,30				
	C-1	2,70	-0,02	4,24	-0,02	4,26
	C-2	2,60				
	BC-1	2,50				
BC-2	3,05					

obs: dados de variação do nível da água obtidos por leituras de régua e estimativas. Altura das margens em relação ao nível da água.

Tabela 2 - Velocidades médias máximas nos subsistemas estudados.
Table 2 - Maximum average speed in the researched subsystems.

subsistemas	velocidades (m/s)
rio Paraná	1,4 *
rio Ivinheima	0,85 +
rio Baía/canal Corutuba	0,75 +
canal Cortado	0,56 +

Fontes: * FERNANDEZ (1990); + MARTONI et al. (1993).

A correlação entre a *variação de nível* e a *velocidade de fluxo* nos três subsistemas ligados ao rio Paraná, obtida por regressão linear, mostrou-se alta no canal Cortado ($r : 0,80$); no rio Ivinheima, o mesmo não ocorreu, havendo pouca correlação ($r : 0,43$), que provavelmente se deveu às modificações do fluxo no período de cheia. No rio Baía/canal Corutuba a correlação foi baixíssima ($r : 0,08$).

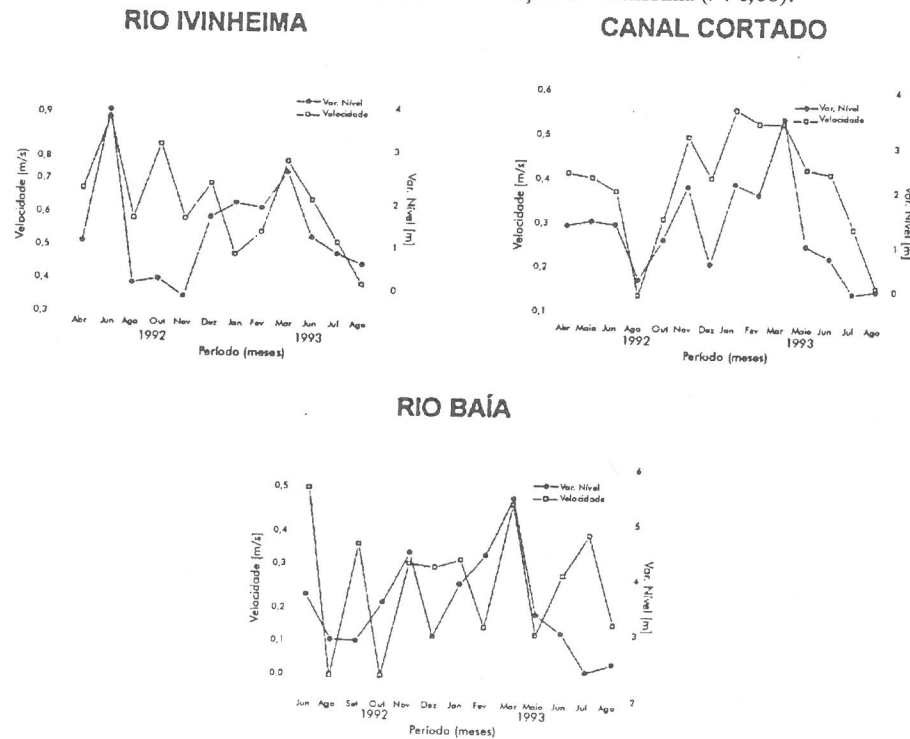


Fig. 5

Comportamento das velocidades de fluxo e variação do nível da água nos canais secundários na planície do rio Paraná.
Speed stream behavior and water level variation in secondary canals of Paraná river plain.

CLASSIFICAÇÃO DAS MARGENS MONITORADAS

De acordo com a geometria e composição granulométrica, as margens foram classificadas em três grupos, denominados *tipo 1*, *tipo 2* e *tipo 3* (figura 6). As margens do *tipo 1* apresentam face íngreme, em forma de parede, têm altura média de 2,70 metros em vazante (época da medição), e são de composição areno-argilosa predominante. Os pontos P-1 (rio Paraná), B-1, B-2, C-1, C-2, BC-1 e BC-2 (rio Baía/canal Corutuba) pertencem a este tipo.

As margens do *tipo 2* são margens de inclinação suave e de altura média de 1,50 metros em vazante, e têm composição silto-argilosa predominante. Fazem parte deste tipo as margens P-2, P-3, P-5, P-6, P-7 (canal Cortado) e I-4 (rio Ivinheima).

As margens do *tipo 3* apresentam perfil escalonado (em patamares), bastante inclinadas, com altura média de 2,90 metros em vazante, e têm composição altamente arenosa. Neste tipo se enquadram as margens I-1, I-2, I-3 (rio Ivinheima) e P-4 (canal Cortado).

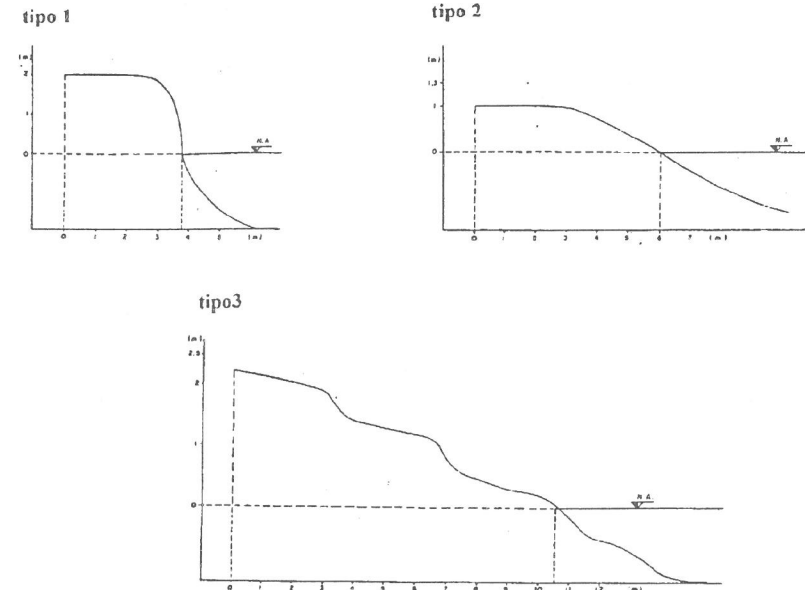


Fig. 6

Morfologia dos 3 tipos de margens identificadas nos segmentos. Morphology of 3 types of identified margins in segments.

Os pontos I-4 e P-4 não se enquadraram perfeitamente nos grupos identificados, uma vez que apresentaram maiores diferenças com relação à sua morfologia e composição granulométrica respectivamente. A primeira, apesar de ser silto-argilosa (constituída de depósitos anteriores ao sistema atual na planície de inundação), é muito baixa, e a segunda, apesar do perfil similar às do tipo 3, possui composição areno-argilosa.

QUANTIFICAÇÃO DA EROSIÃO MARGINAL

Os valores obtidos pelo monitoramento da erosão nas margens foram muito baixos, com exceção do ponto P-1 (figura 7). Nesta margem, o valor verificado teve proporção métrica. A erosão nas margens I-2, I-3, C-1 e C-2 teve proporções decimétricas. Nas outras margens, os valores foram centimétricos.

Os valores médios de erosão para os três tipos de margens também foram baixos, exceto na margem do tipo 1 que se localiza no rio Paraná (P-1) (figura 8). Em função da grande diferença nos valores encontrados entre esta margem e as demais, foi necessário sua separação, como mencionado no item 3, para não comprometer a análise dos resultados. Separando-se o caso do ponto P-1, as margens que apresentaram maiores valores de erosão, ainda que baixos, foram as do tipo 3, de composição predominantemente arenosa.

Nos subsistemas, houve grande diferença nos valores de erosão entre o rio Paraná e os demais. Os subsistemas rio Baía/canal Corutuba, canal Cortado e rio Ivinheima apresentaram baixos valores. Os valores médios da erosão marginal em cada subsistema estão apresentados na figura 9.

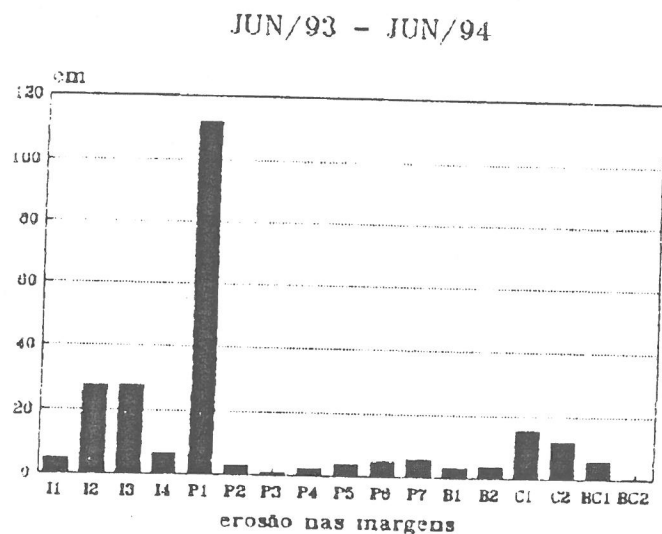


Fig. 7

Erosão marginal acumulada nos 17 pontos de amostragem. *Marginal erosion accumulated in 17 sample points.*

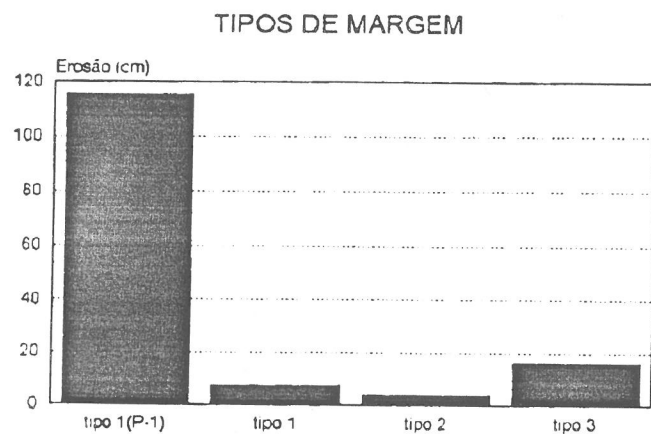


Fig. 8

Erosão média acumulada nas margens de tipo 1, 2 e 3. *Average erosion accumulated in margins such as 1, 2 and 3.*

Entre os segmentos de diferentes padrões de drenagem, verificou-se que no rio Paraná (entrelaçado), os valores de erosão marginal foram bem mais altos que no rio Baía/canal Corutuba (anastomosado) e no segmento rio Ivinheima (meandrante), embora o canal Cortado (entrelaçado) tenha sido aquele com menor valor de erosão (tabela 3).

JUN/93 - JUN/94

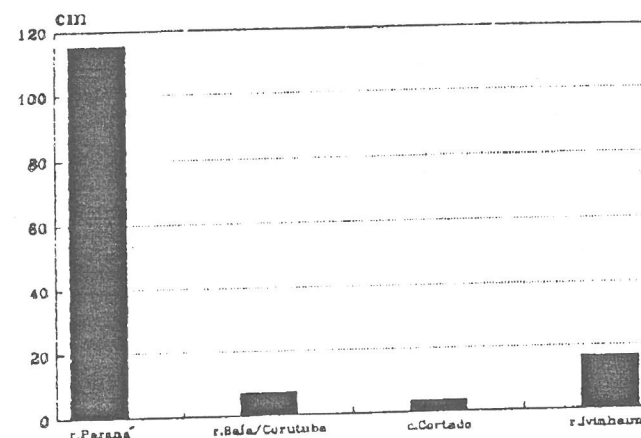


Fig. 9

Erosão marginal em 4 subsistemas da planície do rio Paraná. *Marginal erosion in 4 subsystems of Paraná river plain.*

Tabela 3 - Erosão marginal verificada em 3 segmentos do sistema de inundação do rio Paraná (jun/93-jun/94).
 Table 3 - Marginal erosion checked in 3 segments of flood system of Paraná river.

Padrão de Canal	Subsistema	Erosão Média p/Margem (cm)
Canal pattern	Subsystem	Average erosion per margin (cm)
entrelaçado	rio Paraná	115,48
	canal Cortado	3,61
anastomosado	rio Baía/canal Corutuba	7,17
Meandrante	rio Ivinheima	16,74

A variação temporal dos valores da erosão marginal durante o ciclo hidrodinâmico (cheia-vazante-cheia) se alteraram mês a mês, sendo também verificadas diferenças no comportamento temporal da erosão marginal entre os subsistemas (figura 10 A e B).

No subsistema rio Paraná, os maiores valores foram observados após a cheia, nas medições de abril/94. No subsistema rio Ivinheima, os maiores valores da erosão marginal foram verificados antes da cheia, em novembro/93. No subsistema rio Baía/canal Corutuba, os maiores valores foram observados em junho/93 e abril/94. No subsistema canal Cortado, os valores mensais medidos foram muito baixos, não cabendo diferenciação.

PROCESSOS EROSIVOS IDENTIFICADOS

Os processos erosivos atuam diretamente na morfologia das margens, alterando-as ao longo do tempo. Nas 17 margens monitoradas, foram identificados 3 processos principais (figura 11): *corrasão*, *desmoronamento* e *escorregamento rotacional*. Além destes, foi observada a ocorrência de *piping* (erosão subterrânea retrogressiva) próximo aos pinos de uma margem monitorada.

A *corrasão* é um processo lento de erosão, no qual a remoção é feita grão a grão da margem, pelo efeito das ondas e correntes (figura 11-a). Segundo FERNANDEZ (1990), este processo é o principal e mais comum em margens com alta porcentagem de silte-argila. Além disso, onde o fluxo é muito lento e onde as margens estão paralelas às principais linhas de fluxo, há predomínio deste processo.

Com o aumento da velocidade de fluxo, associado ao aumento de turbulência, pode haver maior transporte de material em suspensão; a partir do atrito da água e das partículas junto às margens, pode

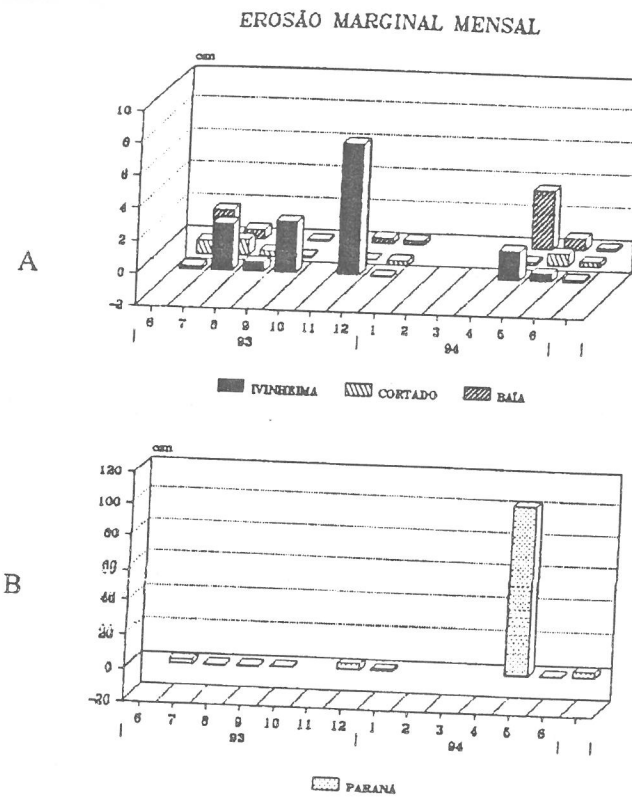


Fig. 10

Erosão marginal mensal em 3 canais associados ao rio Paraná na região de Porto Rico-PR. Monthly marginal erosion in 3 channels associated to Paraná river in Porto Rico-PR area.

ocorrer aumento da corrasão. Nas margens monitoradas, observou-se, durante os estudos, que o processo de corrasão aumenta durante os regimes de fluxo mais rápidos dentro do regime hidrológico de cada subsistema.

O *desmoronamento* é a queda livre e rápida de blocos de sedimento por efeito da gravidade a partir de faces verticais de barrancos fluviais. Neste trabalho, o desmoronamento observado ocorreu por basculamento, onde um bloco de sedimento perde o equilíbrio e desmorona, sem prévio solapamento (figura 11-b). Este processo foi observado apenas na margem P-1 (do tipo 1), no rio Paraná. O bloco desmoronado mediu aproximadamente 1 m^3 . Nesta margem, os fragmentos do bloco desmoronado permaneceram na base do barranco, como o que foi observado por FERNANDEZ (1990) em margens compostas que recebem correntes fortes no rio Paraná.

O *escorregamento rotacional* é um processo erosivo importante. Consiste num movimento rápido de uma massa de solo bem definida quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do barranco, ao longo de uma superfície de escorregamento (GUIDICINI & NIEBLE, 1976) (figura 11-c). Este tipo de processo ocorreu em duas margens arenosas do rio Ivinheima (I-2 e I-3 - do tipo 3), porém, em pequena escala, onde o volume da massa que deslizou foi de aproximadamente $0,20 \text{ m}^3$ em cada margem.

A erosão subterrânea retrogressiva *piping* se dá geralmente em solos de baixa coesão. A pressão de percolação da água sobre o solo no pé de um talude tende a provocar a movimentação de partículas de solo ao longo das linhas de fluxo que as dirigem para o pé do talude. Como consequência deste processo, no pé do talude se atinge mais facilmente uma situação de desequilíbrio, por arraste de partículas, do que nas partes superiores. Mas, uma vez que a base do talude tenha entrado em colapso, a parte superior cederá por perda de apoio. Este processo terá pontos de concentração, conforme as linhas de fluxo, devido a heterogeneidades no interior do talude ou em sua base (GUIDICINI & NIEBLE, *op. cit.*).

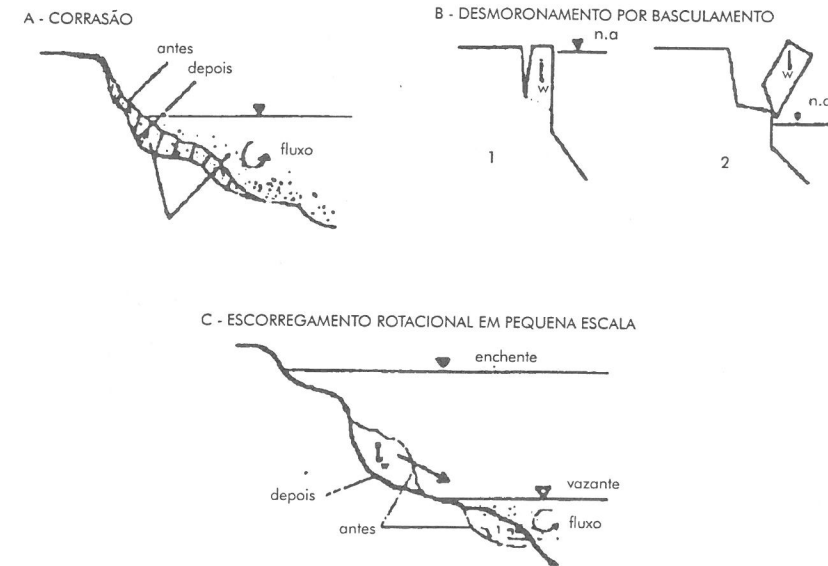


Fig. 11

Processos erosivos identificados nas margens monitoradas. (adaptado de Fernandez 1990). Erosive processes identified in monitored margins.

O processo de *piping* ocorreu na margem BC-1, do tipo 1, de composição areno-argilosa, localizada no subsistema rio Baía/canal Corutuba em dique marginal, após um rápido abaixamento do nível da água do rio. Isto provocou um aumento do gradiente hidráulico entre o rio e a água sobre a margem inundada, desencadeando o processo. Porém, o processo só foi observado nesta margem, dentre as estudadas, em apenas uma ocorrência durante o ciclo hidrológico.

DISCUSSÃO

A importância dos fatores meteorológicos, hidrológicos e mecânicos das margens tem sido destacada por diversos autores, como THORNE & TOVEY (1981), LEEDER (1982), WOLMAN (1959), TWIDALE (1964), HOOKE (1979, 1980), FERNANDEZ (1990), FERNANDEZ & FÚLFARO (1993).

Em margens do rio Paraná, FERNANDEZ (1990) concluiu que a média dos níveis mínimos e o nível médio são os principais fatores que determinam a ocorrência da erosão, e afirma que a velocidade de fluxo, a média dos níveis máximos e a percentagem de silte-argila pouco influenciam a taxa erosiva. Além disso, o autor considera também que os processos erosivos não são contínuos e estão vinculados à magnitude dos eventos climáticos e hidrológicos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que nos quatro segmentos estudados, a principal variável é a velocidade média máxima de fluxo, que explica em 89 % a taxa de erosão nas margens (tabela

4). Os processos erosivos foram acentuados no período pós-cheia nos locais em que o fluxo acompanha a variação de nível da água, como é o caso do rio Paraná. Nos canais em que a subida de nível provoca um represamento das águas, como no rio Ivinheima, dentro da planície, os processos erosivos tiveram maiores valores no período pré-enchente, quando o fluxo é livre. Nos casos do canal Cortado e rio Baía/canal Corutuba, não foi possível uma clara distinção entre os referidos períodos (figura 12).

Tabela 4 - Regressão Múltipla entre as variáveis determinantes da erosão marginal.
Table 4 - Multiple regression between determinant variables of marginal erosion.

variáveis	var. nível	veloc. máx.	eros. marg.	sil/arg.	areias
var. nível	1.00	-0.31	-0.38	0.30	-0.30
veloc. máx.	-0.31	1.00	0.89	-0.20	0.20
eros. marg.	-0.38	0.89	1.00	-0.10	0.10
sil/arg.	0.31	-0.16	-0.12	1.00	-1.00
areias	-0.31	0.16	0.12	-1.00	1.00

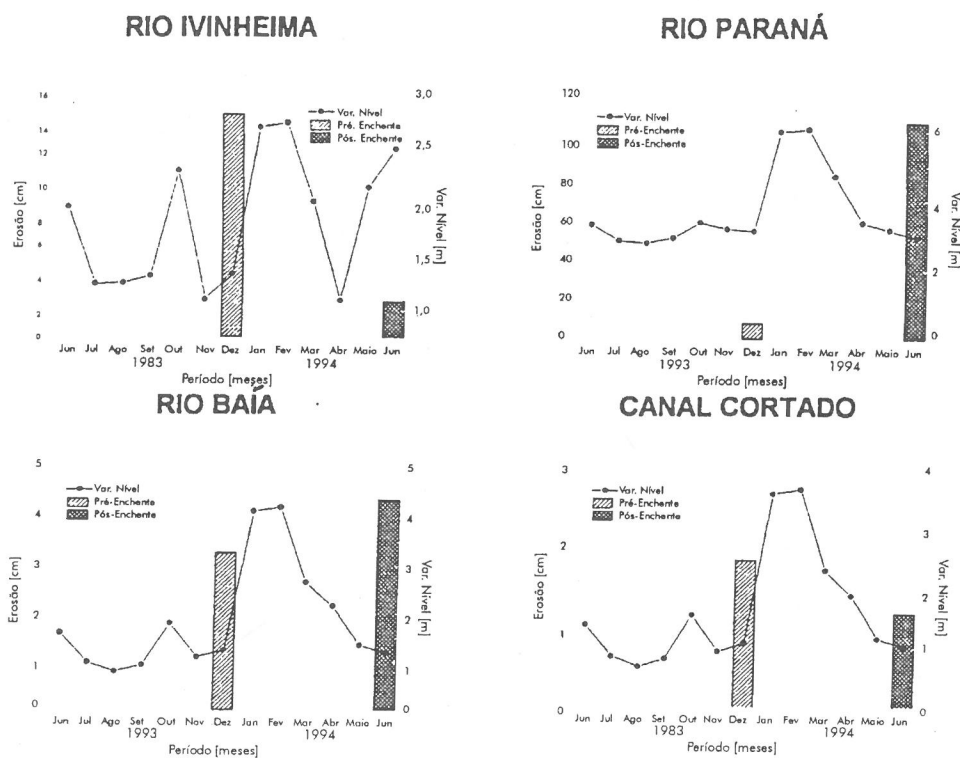


Fig. 12

Erosão marginal acumulada nos períodos pré e pós-enchente em 4 segmentos do sistema de inundação do rio Paraná.
Marginal erosion accumulated in pre-post periods of floods in 4 segments of the flood system of Paraná river.

A comparação entre a velocidade média máxima e taxa erosiva de cada subsistema (figura 13), mostra que a taxa de erosão aumenta substancialmente de acordo com o incremento da velocidade de fluxo. Quando observado apenas os resultados do canal Cortado (margens silto-argilosas), do rio Baía/canal Corutuba (margens areno-argilosas) e do rio Ivinheima (margens arenosas) pode-se verificar que a composição das margens influencia na taxa erosiva (ver figura 2).

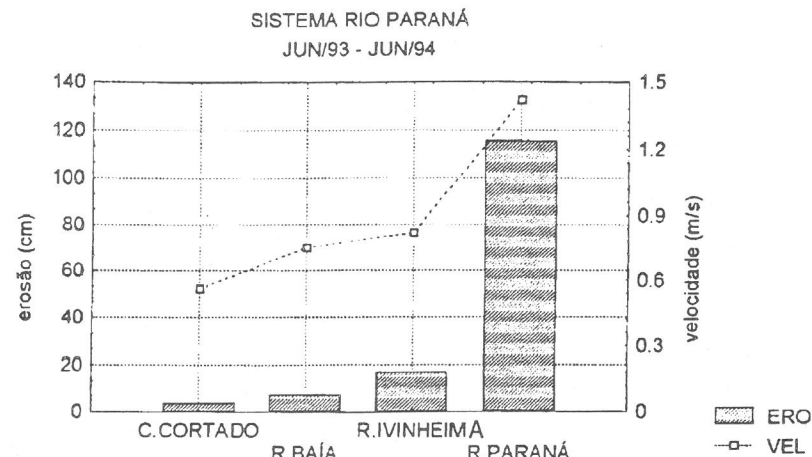


Fig. 13

Erosão marginal total e velocidades médias máximas nos subsistemas. Total marginal erosion and maximum of average speed in the subsystems.

Os resultados do rio Paraná (margem areno-argilosa) mostram que a velocidade de fluxo (e com ela a atuação conjunta da turbulência e da carga suspensa contra as margens) é que é o principal fator. Tal comportamento pode estar relacionado à velocidade crítica de erosão para cada tipo de material, entretanto os dados ainda não são conclusivos.

As informações disponíveis a respeito da erosão das margens do canal do rio Paraná, de FERNANDEZ (1990), evidenciam a existência de quatro processos principais, a saber: corrasão, desmoronamento por cisalhamento, desmoronamento por basculamento e escorregamento rotacional.

De acordo com o autor, a corrasão ocorre em todas as margens que estejam submetidas a fortes correntes. Nas margens estudadas neste trabalho, observou-se que ela ocorre em todos os locais de amostragem, o ano todo, mesmo sob baixas velocidades.

A margem P-1 (rio Paraná), com maior índice erosivo, é similar às do tipo A de FERNANDEZ (1990); entretanto o índice anual de erosão desse tipo de margem foi de 17,63 m/ano (FERNANDEZ, 1990; FERNANDEZ & FÚLFARO, 1993) e no presente caso os valores limitaram-se a 1,15 m para os 13 meses de amostragem.

O desmoronamento por cisalhamento não foi observado neste trabalho, e o processo de desmoronamento por basculamento foi observado no ponto P-1. Neste caso, a ocorrência foi observada em abril/94, logo após o abaixamento das águas, em situação similar à descrita por FERNANDEZ & FÚLFARO (1993).

Os escorregamentos rotacionais foram observados em margens arenosas, logo após um período de muita chuva, e em estágio de pré-cheia. FERNANDEZ (1990) e FERNANDEZ & FÚLFARO (op. cit.) observaram esse processo em barrancos altos, de composição pelítica, e submetidos a fortes correntes.

As discrepâncias entre as condicionantes para a ocorrência de desmoronamentos e escorregamentos observados neste trabalho, e os já referidos, podem estar relacionados a uma outra variável: a presença da cobertura vegetal nativa (tabela 5). Apesar de a corrasão ocorrer em todas as margens, os demais processos só foram observados em margens desmatadas. É possível que a retirada da cobertura vegetal possibilite o incremento dos referidos processos nas partes superiores das margens.

Os dados obtidos indicam que a cobertura vegetal não influencia diretamente no processo de corrasão, entretanto podem acentuar as demais formas. Isso significa que o uso da planície do rio Paraná nesse trecho deve levar em conta a preservação dos diques marginais, sob risco de proporcionar

significativas modificações na dinâmica dos canais associados ao rio Paraná. Por sua vez, o nítido controle da velocidade de fluxo sobre a intensidade da corrasão demonstra também que deve ser examinado com cuidado a possibilidade de alteração de correntes de fluxo por meio de ação antrópica. A construção de obstáculos junto às margens, e principalmente a exploração de depósitos de areia devem ser estudados com mais detalhe.

Tabela 5. Características gerais das margens monitoradas. Table 5 - General characteristics of monitored margins.

seção section	margem margin	erosão erosion	areias % sands %	veg. e uso solo soil use	proc. erosivos erosive proc.	morfometria morphometry	fluxo (m/s) stream (m/s)		
rio Ivinheima	I-1	baixa	78.97	mata nativa	corrasão	mg alta em patamares	0,85		
	I-2	média	81.16	pasto	corrasão e es-corr. rotacional	mg alta em patamares			
	I-3	média	100	pasto	corrasão e es-corr. rotacional	mg alta em patamares			
	I-4	baixa	9.73	mata nativa	corrasão	mg baixa de planície			
rio Paraná	P-1	alta	30.91	lavoura/pasto	corrasão e desmoronamento	mg alta e íngreme	1,42		
	P-2	baixa	16.91	mata nativa	corrasão	mg baixa de planície			
	P-3	baixa	13.79	mata nativa	corrasão	mg baixa de planície			
	P-4	baixa	32.70	mata nativa	corrasão	mg alta em patamares			
	canal Cortado	P-5	baixa	15.65	mata nativa	corrasão		mg baixa de planície	0,56
		P-6	baixa	3.57	mata nativa	corrasão		mg baixa de planície	
		P-7	baixa	5.70	mata nativa	corrasão		mg baixa de planície	
rio Baía/ c. Corutuba	B-1	baixa	11.11	mata nativa	corrasão	mg de média altura, ingr.	0,75		
	B-2	baixa	23.85	mata nativa	corrasão	mg de média altura, ingr.			
	C-1	média	30.63	pasto	peq. desmor. e corrasão	mg de média altura, ingr.			
		média	61.87	mata nativa	peq. desmor. e corrasão	mg de média altura, ingr.			
	BC-1	baixa	66.42	pasto	piping	mg de média altura, ingr.			
	BC-2	baixa	27.00	mata nativa	corrasão	mg. alta, ingr.			

O trabalho de FERNANDEZ & FÚLFARO (1993) indica que os desmoronamentos constituem a principal forma de erosão no rio Paraná. Nos pontos amostrados para este trabalho, os valores atribuídos à *corrasão* indicam que este processo é mais significativo, principalmente nos canais secundários.

Se considerarmos que a corrasão ocorre continuamente ao longo de toda margem, esta envolverá maior quantidade de materiais erodidos de que os processos pontuais, como os desmoronamentos.

CONCLUSÕES

A velocidade de fluxo foi identificada como principal variável para o controle da taxa de erosão nas margens dos subsistemas. As velocidades mais altas ocorreram no rio Paraná, subsistema onde os valores da erosão foram muito maiores. O principal processo ocorrido nas margens monitoradas foi a corrasão, que é relacionada com a velocidade de fluxo, turbulência e carga suspensa.

No rio Paraná e canal Cortado, as velocidades aumentaram com o aumento do nível da água (enchente). No rio Ivinheima e rio Baía/canal Corutuba, as velocidades não aumentaram e oscilaram para valores menores nesta época. Esse comportamento foi determinante para explicar os baixos valores da erosão marginal no período pós-enchente nestes dois últimos subsistemas.

A variação do nível da água e a precipitação estiveram mais relacionadas com processos erosivos (desmoronamento, piping e escorregamento) e não com a taxa de erosão, de acordo com as características mecânicas das margens em cada subsistema.

Dentro de cada subsistema, as margens apresentaram semelhança quanto aos aspectos morfológicos e granulométricos, e nos valores totais da erosão marginal. Desse modo, em cada subsistema foi identificada a ocorrência de diferentes processos erosivos pontuais, em margens desprotegidas da vegetação nativa, e também foram observados diferentes valores totais da erosão das margens.

No subsistema rio Paraná, local de maior taxa erosiva, foi identificado o processo de desmoronamento, relacionado com a variação de nível da água e turbulência das correntes. A ocorrência deste processo se deu no período de pós-enchente.

No subsistema canal Cortado, a taxa erosiva foi muito pequena, dada apenas pela ocorrência de corrasão, sendo insignificante sua variação temporal. Este subsistema apresentou características de assoreamento, com presença de várias barras submersas.

No subsistema rio Baía/canal Corutuba, os valores erosivos foram baixos e a ocorrência de *piping* esteve relacionada com o rápido abaixamento do nível da água após a cheia. Os valores acumulados nos períodos pré e pós-enchente foram muito parecidos.

No subsistema rio Ivinheima, os valores da erosão marginal também foram baixos. Os processos de pequenos escorregamentos rotacionais estiveram mais correlacionados com a precipitação, e sua ocorrência se deu no período pré-enchente, período este que marcou os maiores valores acumulados de erosão.

Entre os três diferentes padrões de drenagem, o segmento que apresentou maior instabilidade marginal foi o rio Paraná, de padrão entrelaçado. Os segmentos rio Ivinheima (meandrante) e rio Baía/canal Corutuba (anastomosado) apresentaram alta estabilidade de margens.

Algumas ações antrópicas podem influenciar na ocorrência de processos de erosão marginal nesta região. A exploração de areia no leito do rio Paraná pode alterar as linhas de talvegue, modificando a direção das principais linhas de fluxo, alterando a distribuição espacial de processos de erosão e deposição no sistema.

A ocupação desordenada das ilhas e da planície de inundação para o uso agrícola e pecuário, podem levar ao desmatamento nos diques marginais, podendo intensificar os processos erosivos, que por sua vez desestabilizam as margens. Esses fatos, se intensificados, podem desencadear modificações envolvendo o ambiente físico, que podem gerar respostas do meio biótico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNAEE, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Dados Hidrométricos e Pluviométricos Diários, Estação de Porto São José-PR. Boletim Informativo, inédito. 1995.
- _____. Dados Hidrométricos Diários, Estação de Ivinheima-MS. Boletim Informativo, inédito. 1995.
- FERNANDEZ, O.V.Q. Mudanças no Canal Fluvial do Rio Paraná e Processos de Erosão nas Margens: Região de Porto Rico-PR. Rio Claro-SP, 1990. Dissert. de Mestrado, IGCE/UNESP, 96 p., inédito.

- _____; FÚLFARO, V.J. Magnitudes e Processos de Erosão Marginal no Rio Paraná, Trecho de Porto Rico-PR. *Geografia*. Rio Claro-SP. 97 - 114. 1993.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: E. Blucher. 170 p. 1976.
- HOOKE, J.M. An Analysis of the Processes of River Bank Erosion. *Journal of Hydrology*, v.42, p.39-62, 1979.
- _____. Magnitude and Distribution of Rates of River Bank Erosion. *Earth Surface Processes*, v.5, p.143-157, 1980.
- HUGHES, D.J. Rates of Erosion on Meander Arcs. In: Gregory, K.J., ed. *River Channel Changes*. Chichester: John Wiley & Sons, p.193 - 205, 1977.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil. Vol. 2. Região Sul*. Rio de Janeiro-RJ. 1990.
- ITAIPU BINACIONAL. Dados Hidrométricos e Sedimentares do Rio Paraná. Boletim Informativo. 1990.
- JABUR, I.C. *Análise Paleoambiental do Quaternário Superior na Bacia do Alto Paraná*. Rio Claro-SP, 1992. Tese de Doutorado. IGCE/UNESP, inédito.
- LAWLER, D.M. Process Dominance in Bank Erosion Systems. *Lowland Floodplain Rivers - Geomorphological Perspectives*. John Wiley & Sons. p.17-144, 1992.
- LEEDER, M.R. River Plains. *Sedimentology, Products and Process*. Cap. 15. John Wiley & Sons. 1982.
- MARTONI, A.M.; COUTO, N.B.; LESSA, R.C. *Medidas de Vazão em Canais Naturais*, (em preparação).
- MIALL, A.D. A Review of the Braided-river Depositional Environment. *Earth Science Reviews*, v.13, p.1-62, 1977.
- ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E. Influência de Grandes Barragens Sobre o Regime Hidrológico do Rio Paraná em Guaíra-PR. In: CONGRESSO BRAS. DE GEÓGRAFOS (5.: 1994: Curitiba-PR). *Anais...* (no prelo).
- _____; _____. Abrangência de Enchentes Sobre a Planície Aluvial do Rio Paraná Entre Porto Primavera-MS e Porto Camargo-PR. resumo (no prelo). 1995.
- SANTOS, M.L.; FERNANDEZ, O.V.Q.; STEVAUX, J.C. Aspectos Morfogenéticos de Barras de Canal do Rio Paraná, Região de Porto Rico-PR. In: CONGRESSO ABEQUA (2.: 1989: Rio de Janeiro-RJ). *Anais...* (no prelo).
- _____; _____. Aspectos Morfogenéticos de Barras de Canal do Rio Paraná. *Boletim de Geografia*, UEM. Depto. Geografia, a. 10, n.1, 1992.
- SOUZA FILHO, E.E. *Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares do Rio Paraná Entre Porto Primavera-MS e Guaíra-PR*. São Paulo, 1993. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP, inédito.
- STEVAUX, J.C. *O Rio Paraná: Geomorfogênese, Sedimentação e Evolução Quaternária de Seu Curso Superior (Região de Porto Rico-PR)*. São Paulo, 1993. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP, inédito.
- THORNE, C.R.; TOVEY, N.K. Stability of Composite River Banks. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.6, p.469-484, 1981.
- TWIDALE, C.R. Erosion of a Alluvial Bank at Birdwood, South Australia. *Zeitschrift Fr. Geomorfologie*, v.8, p.189-211, 1964.
- WOLMAN, M.G. Factors influencing erosion of a cohesive river bank. *American Journal Science*, v.257, p.204-216, 1959.

Sobre O Controle Do Quimismo De Águas Termiais Da Bacia Do Paraná

About Paraná basin thermal waters chemistry control

André Virmond Lima Bittencourt*

RESUMO

No Estado do Paraná, sobre a Formação Serra Geral, ocorrem fontes naturais e poços tubulares que vertem águas com características químicas que marcam sua relação com as formações Botucatu e Pirambóia, o grande aquífero sul americano. O quimismo é marcado pelo pH e sódio sempre elevados, bem como as temperaturas que, geralmente são maiores do que para as águas afins às rochas da Formação Serra Geral.

Com base em 13 amostras coletadas em fontes termiais sobre basaltos e poços tubulares nos aquíferos Botucatu/Pirambóia e Serra Geral, foram avaliados termodinamicamente, equilíbrios entre as águas e alguns minerais possíveis controladores de materiais dissolvidos. As águas com salinidades mais elevadas foram obtidas do poço perfurado em Londrina, adentrando o aquífero Botucatu/Pirambóia após atravessar cerca de 900 m de basaltos. Tais águas apresentaram saturação em relação à fluorita, calcita, zeólitas, caulinita e outros minerais.

ABSTRACT

At Serra Geral Formation, a mainly basaltic Juro-Cretacic Southern American geologic unit, some thermal springs and water wells were sampled. The water collected at these points has characteristically physical-chemistry parameters, which suggests a close relationship to Botucatu and Pirambóia formations.

Both Botucatu and Pirambóia formations are made of eolic and fluvial sandstones of Triassic and Jurassic desertic environment. These two units perform an aquifer with more than 1.194.000 km² in Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay, and they form one of the biggest fresh water bodies of the world.

Many authors such as LISBOA and FRAGA (1980), SZIKZAY *et al.* (1981), TEISSEDE and BARNER (1981), SILVA (1983), BITTENCOURT and LISBOA (1985), KIMMELMANN *et al.* (1986), FRAGA (1992), and others, pointed that the chemical pattern of the water are marked by pH and sodium relatively high, together with temperatures always higher than the waters related to Serra Geral basaltic rocks. Araujo *et al.* (1995), pointed 29°C/km for the general aquifer thermal gradient and a structural depression with temperatures over than 55°C.

Based on samples collected in thermal springs in basalts and wells reaching Botucatu Aquifer (figure 1) (tables 1 and 2), some thermodynamic evaluations of water rock interactions were done. Equilibrium of water with minerals possible controllers of dissolved material was studied. The water with higher salinity and temperature was obtained at a well reached Botucatu/Pirambóia aquifer after crossing 900m of efusive rocks. These waters present over saturation or equilibrium with minerals of the following systems K-Al-Si-H₂O (figure 2), Na-Al-Si-H₂O (figure 3), Ca-Al-Si-H₂O (figures 4 and 5), Mg-Al-Si-H₂O (figure 6), fluorite (figure 7) and, calcite (figure 4).

* Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.