

CÁSSIO ZILIANI BORGES

**EROSÃO MARGINAL NO RIO PARANÁ APÓS A CONCLUSÃO DO
RESERVATÓRIO DA UHE SÉRGIO MOTTA (PORTO PRIMAVERA) A
JUSANTE DA BARRAGEM.**

MARINGÁ

2004

CÁSSIO ZILIANI BORGES

**EROSÃO MARGINAL NO RIO PARANÁ APÓS A CONCLUSÃO DO
RESERVATÓRIO DA UHE SÉRGIO MOTTA (PORTO PRIMAVERA) AJUSANTE
DA BARRAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação – Mestrado em Geografia, da
Universidade Estadual de Maringá, sob a
orientação do professor Dr. Edvard Elias de
Souza Filho, para a obtenção do título de
Mestre em Geografia.

MARINGÁ

2004

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

B732e Borges, Cássio Ziliani
Erosão marginal no Rio Paraná após a conclusão do reservatório da Uhe Sérgio Motta (Porto Primavera) a jusante da barragem / Cássio Ziliani Borges. - Maringá, PR : [s.n.], 2004.
50 f. : il.

Orientador : Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2004.

1. Geomorfologia fluvial - Paraná. 2. Rio Paraná - Erosão marginal. 3. Reservatório Uhe Sérgio Motta - Porto Primavera. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. II. Título.

CDD 21.ed. 551.483

DEDICATÓRIA

*A todos aqueles que, como eu,
acreditam...*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a meus pais, JULIO e MATILDE;

Ao Dr. Edvard Elias de Souza Filho, pela orientação e paciência nos momentos de discordância e discussão e pela valorosa atenção com que sempre ouviu minhas dúvidas e sugestões, e pela amizade concretizada nessa trajetória;

Ao Dr. José Cândido Stevaux, pelas valiosas sugestões, empréstimos de materiais e pelas discussões, que muito contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa;

A Geóg. Maria de Moraes, que com enorme paciência, ouviu nossas reclamações e nos incentivou constantemente nas horas de desânimo, tornando-se mais uma amiga de caminhada;

Aos amigos, Mauricio Meurer, Débora Pinto Martins, Jaime Sérgio Frajuca Lopes (o Frajuca) e Nelson Douhi, pela amizade e companheirismo, desde o início do curso de mestrado, pelo valioso auxílio nos trabalhos de campo e nas dúvidas e discussões que vieram a enriquecer este trabalho;

Aos colegas Edilaine Valéria Destefani, Amarildo Vicentini, Geraldo Terceiro Correa, Elaine Teixeira, Orlando Rogério Campanini (Minhoca) Fabrício Corradini (Tito); pelo companheirismo no decorrer desta pesquisa e por tudo que cada um pôde contribuir;

Em especial às minhas amigas Silvia Saito, Lays Andriucci e Vanda Kramer, e a meus amigos Fabrício e Felipe Menegon e Fernando Leonardo Zerbato, pelo incentivo e enorme amizade;

Ao CNPq/CT-Hidro, pela concessão da bolsa de estudos e ao CNPq/PELD/NUPELIA, pela viabilização das campanhas de campo;

Ao GEMA, nas pessoas dos professores Manoel Luiz dos Santos, Nelson Vicente Lovatto Gasparetto e Marta Luzia de Souza, pela utilização do espaço físico e equipamentos;

A ITAIPU/BINACIONAL, na pessoa do Engenheiro Mário Sérgio Fernandes, pela disponibilização dos dados de vazão da Estação Porto São José;

Ao Programa de Pós-graduação – Mestrado em Geografia, da Universidade Estadual de Maringá, nas pessoas do coordenador Elpídio Serra e da secretária Maria Aparecida de Lima Savi, pela atenção prestada durante o curso;

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e ao meu desenvolvimento científico e profissional,

E a uma força superior (qualquer que seja o nome que lhe dão), que nunca me deixou desanimar e nem ficar pelo caminho.

AGRADEÇO.

ÍNDICE

RESUMO	07
ABSTRACT	08
INTRODUÇÃO	09
SITUAÇÃO DA ÁREA	11
• <i>A Erosão Marginal no Rio Paraná</i>	13
O PROBLEMA	16
OBJETIVOS	17
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO DA EROSÃO MARGINAL	18
METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
• <i>O setor montante</i>	29
• <i>O setor intermediário</i>	34
• <i>O setor jusante</i>	37
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EROSÃO MARGINAL NO SEGMENTO DE ESTUDO	41
CONCLUSÕES	45
BIBLIOGRAFIA	47

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é estudar a variabilidade espaço-temporal da erosão marginal no alto Rio Paraná, como um dos efeitos geomorfológicos causados pela construção da barragem de Porto Primavera. O segmento de estudo está a jusante da barragem e tem aproximadamente 90Km, desde a Ilha Óleo Cru até a Ilha Barbado. A metodologia aplicada foi a observação direta no campo, através das técnicas dos pinos e estacas. Os resultados demonstraram que a parte mais a montante da área de estudo apresentou comportamento diferente do restante do segmento. As taxas de recuo foram maiores no setor mais ao centro do segmento. As taxas de recuo foram diferentes de períodos estudados anteriormente. Foi constatado que a erosão das margens é diferente tanto espacial quanto temporalmente. Foi verificado ainda, que o leito está sendo modificado de montante a jusante e a erosão marginal também deve ser alterada, provavelmente acompanhando as mudanças do leito e propagando as modificações a jusante. Dessa forma, presume-se que a erosão marginal pode estar sendo modificada para que o rio estabeleça um novo equilíbrio geomorfológico em resposta à construção da barragem.

Palavras-chave: Erosão Marginal, Rio Paraná, Geomorfologia Fluvial

ABSTRACT

This paper was aimed at studying the space-temporary variability of the Upper Paraná River bank erosion as one of the geomorphologic effects caused by the construction of the Porto Primavera Dam. The studied segment is downstream the dam site and it is nearly 90Km long, extending from the Óleo Cru Island to the Barbado Island. The methodology of stakes and pins was used for field observation. Results showed that the upstream area of the study area behaved differently when compared with the rest of the segment. Receding rates were higher in the sector close to the center of the segment. Receding rates differed from those studied previously. Bank erosion is clearly different both spatially and temporarily. It was also learned that the streambed changed from upstream to downstream and that the bank erosion shall change as well, probably following the streambed changes and transmitting such modifications downstream. Consequently, we assume that bank erosion might have changed so that the river could establish a new geomorphologic equilibrium in reply to the building of the dam.

Keywords: Bank erosion, Paraná River, Fluvial Geomorphology.

EROSÃO MARGINAL NO RIO PARANÁ APÓS A CONCLUSÃO DO RESERVATÓRIO DA UHE ENGENHEIRO SÉRGIO MOTTA (PORTO PRIMAVERA), A JUSANTE DA BARRAGEM.

INTRODUÇÃO

O alto Rio Paraná esteve livre de barramentos até 1969, quando houve o início da operação da UHE Engenheiro Souza Dias (Usina Jupiá), no local denominado Salto de Urubupungá. A partir daí foi construída a barragem da UHE Ilha Solteira, a montante da primeira, entrando em operação em 1973 e finalmente, a UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), a jusante das demais, que começou a ser construída em 1980, e após um período de interrupção das obras, entrou em operação em 1999 (FERRAZ, 2002).

O lago de Porto Primavera começou a ser formado a partir do final de 1998, tendo ocorrido em duas fases, no período de chuvas 1998-1999 e, no período 2000-2001. Nestes dois intervalos o sistema foi privado de sua cheia natural pela barragem. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2002). As barragens de Ilha Solteira, Jupiá e Porto Primavera, no Rio Paraná, juntamente com as demais situadas na bacia, criam condições que permitem caracterizar o alto Rio Paraná como um sistema regulado.

A construção de barragens no ambiente fluvial provoca alterações tanto a jusante quanto a montante. Essas modificações são causadas em vários aspectos, ou seja, na biota, no regime hidrológico, na dinâmica dos processos que ocorrem no leito e nas margens, dentre outros. Os efeitos geomorfológicos a jusante podem ser caracterizados, entre outros, por mudanças na dinâmica do transporte de sedimentos e na erosão fluvial.

O objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade espaço-temporal da erosão marginal. Seu estudo é de elevada importância, pois a erosão marginal é uma variável fundamental da dinâmica dos cursos d'água. A estabilidade das margens é um importante fator na manutenção de biomas, no âmbito do ecossistema fluvial, e econômico, através da perda de terrenos cultiváveis em áreas agrícolas e na proteção de obras de engenharia próximas ao canal fluvial (ROCHA et al. 1996).

A erosão marginal tem ainda importância no estudo da geomorfologia fluvial, uma vez que é uma das variáveis para a classificação e definição do padrão de rios deposicionais. Além disso, a erosão marginal é uma das fontes de suprimento da carga fluvial e juntamente com os processos de transporte e deposição é essencial para a caracterização da dinâmica de um segmento de um rio.

Apesar da erosão marginal ter essa importância no estudo de canais fluviais, a literatura brasileira não registra um grande número de estudos a este respeito. A maior parte dos estudos realizados no Brasil está concentrada no alto Rio Paraná, e, além desse, apenas o baixo Rio São Francisco e o alto Rio Araguaia dispõem de poucos estudos recentes a respeito.

A erosão marginal, o assoreamento de canais, a carga sedimentar e a distribuição das velocidades de fluxo do alto Rio Paraná são variáveis que estão intimamente relacionadas com o regime hidrológico e possuem uma dinâmica que está associada ao atual padrão de canal, ao controle efetuado pelas barragens e aumentado com o início da operação de Porto Primavera.

SITUAÇÃO DA ÁREA

A área pesquisada no presente trabalho é o canal do Rio Paraná, logo a jusante da UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), abrangendo o segmento entre a Ilha Óleo Cru, próxima à foz do Rio Paranapanema e a Ilha Barbado nas proximidades da foz do Rio Ivinheima (Fig. 1). Atualmente, este segmento é o único a correr livre de barramentos em território brasileiro.

No referido trecho, o Rio Paraná possui largura média de 1,5km, apresenta um padrão multicanal (braided pattern), com inúmeras ilhas e barras de diferentes dimensões (SOUZA FILHO, 1993). No segmento entre o Rio Paranapanema e o Rio Piquiri, a declividade média do leito é de 13,8cm/km, e sua vazão média anual supera 8.800m³/s em Porto São José e 9.300m³/s em Guaira.

As ilhas podem atingir grandes dimensões, como é o caso das ilhas Floresta e Japonesa, que superam 30km de extensão. As ilhas são separadas por canais profundos e largos, bem como, por canais mais rasos e de menores dimensões, cujo talvegue muda de posição ao longo do tempo, definindo áreas deposicionais e erosivas e, ainda, podem apresentar barras fluviais de diversos tipos.

As ilhas são constituídas por depósitos tabulares argilosos e por lentes arenosas, relíquias da planície de inundação e diques marginais de uma fase que o Rio Paraná era anastomosado (SOUZA FILHO, 1993, 1994). Sua superfície situa-se entre dois e cinco metros acima do nível médio do rio e, em apenas grandes cheias com recorrência entre décadas são completamente inundadas. Considerações mais detalhadas quanto à geologia e geomorfologia do Rio Paraná, bem como de sua planície de inundação, encontram-se descritas por SOUZA FILHO & STEVAUX (In VAZZOLER, AGOSTINHO E HAHN, 1997).

O conhecimento em relação ao canal do alto Rio Paraná em estudos anteriores à conclusão do lago da UHE Engenheiro Sérgio Motta demonstraram que a descarga sólida do rio chegou a 30 milhões de toneladas no período de 1986 a 1988, sendo que dez por cento correspondia à carga de fundo, dominada por areia fina à média.

Localização da Área de Estudo

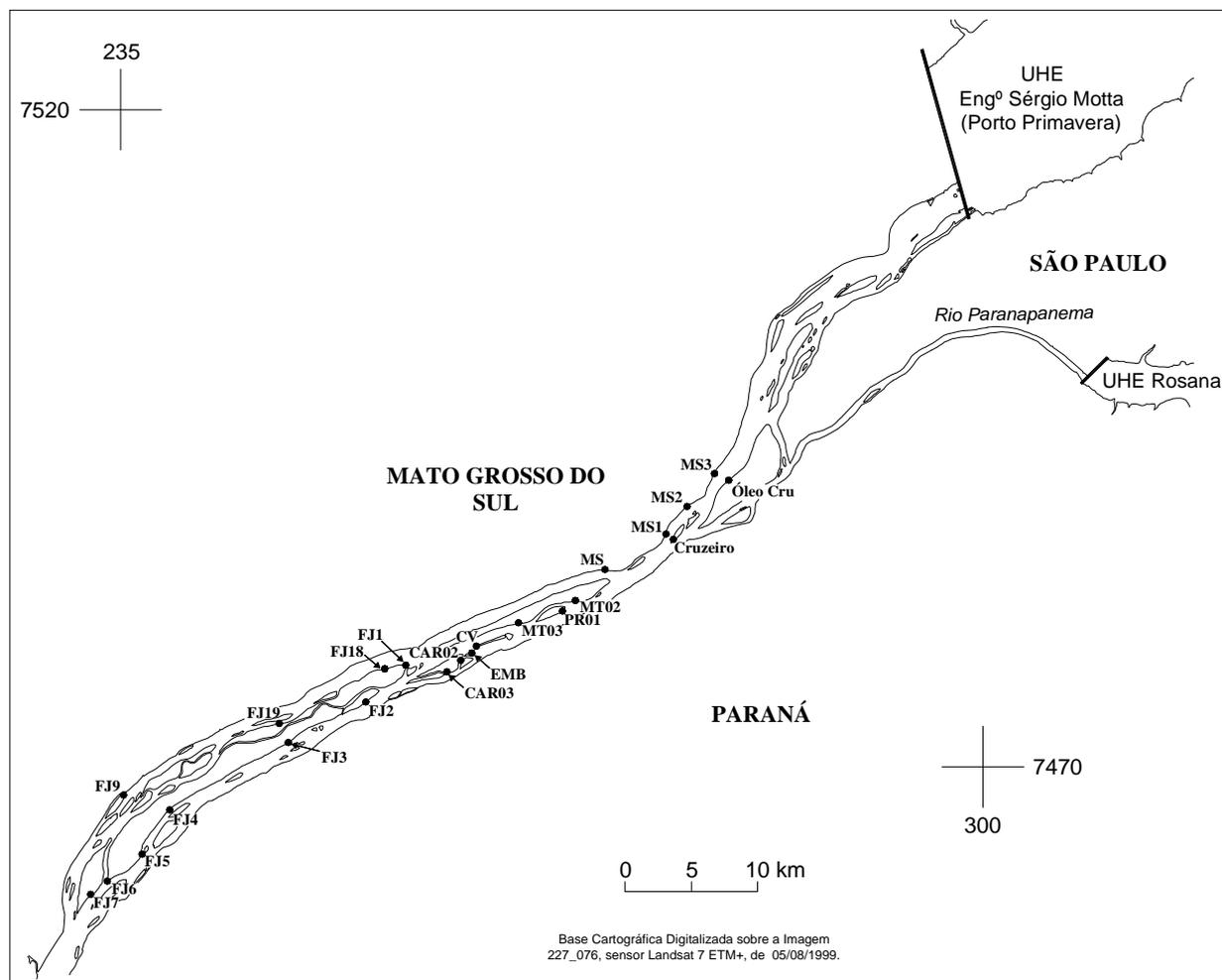


Figura 1. Localização da área de estudo no alto Rio Paraná.

Como a bacia sofreu a introdução de inúmeras barragens a montante, é provável que antes da década de 1960 essa carga fosse muito maior. As barragens fazem controle da carga de forma seletiva, depositando a carga de fundo no reservatório e liberando apenas parte dos sólidos em suspensão. (SOUZA FILHO & STEVAUX, *op. cit.*).

STEVAUX (1993), demonstrou que existem quatro tipos de depósitos no leito do rio, ou sejam: ondulações, com até 30cm de altura e megaondulações, com até um metro e meio, nas partes mais rasas; dunas, com até 7,5m, e as ondas de areia, com até 13m, nas partes mais profundas, caracterizando um leito bastante dinâmico, uma vez que tais depósitos migram ao longo do canal de montante para jusante. Essas formas eram muito comuns no trecho de estudo do presente trabalho e atualmente, com a introdução da barragem de Porto Primavera, algumas mudanças foram verificadas.

Mais recentemente, estudos a respeito do transporte de sedimentos foram realizados em duas seções do alto Rio Paraná, já sob a influência da UHE Engenheiro Sérgio Motta, sendo uma a cerca de seis quilômetros a jusante da barragem, em Porto Primavera (ROCHA, 2001) e outra a trinta, em Porto São José (CRISPIM, 2001).

Os referidos trabalhos demonstraram que os depósitos descritos por STEVAUX, *op.cit.*, estão sendo removidos, revelando o substrato rochoso do leito. Ao mesmo tempo, os sólidos em suspensão apresentaram concentração muito baixa. As partes que apresentaram carga suspensa um pouco mais elevada foram as áreas marginais, provavelmente devido à incorporação de sedimentos provenientes da erosão marginal (ROCHA, 2001). A situação de diminuição dos sedimentos do leito pôde ser observada mais recentemente em Porto São José. Trabalhos em andamento (MARTINS, 2004.) demonstraram que esta seção está desprovida de sedimentos, apresentando algumas formas isoladas, tais como dunas sub-aquosas com menos de um metro.

A erosão marginal no rio Paraná

Os trabalhos abordando o tema no Rio Paraná iniciaram-se com FERNANDEZ (1990), na área que neste trabalho é denominada setor intermediário, estendendo-se com ROCHA (1996, 2002), e ROCHA & SOUZA FILHO (1996), em canais associados ao Rio

Paraná na região de Porto Rico – PR. Mais recentemente DESTEFANI (2001) analisou a erosão marginal no setor intermediário, no período de outubro de 2000 a agosto de 2001.

A área pesquisada foi ampliada com os trabalhos de TEIXEIRA (2003), no setor denominado montante, durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2002. E, finalmente, com CORRÊA (2004) no arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa, ou seja, no setor jusante, durante outubro de 1999 a abril de 2001. No presente trabalho as três áreas foram unificadas para as análises do objetivo proposto.

Os estudos já efetuados demonstraram que as taxas de erosão marginal são controladas pela velocidade de fluxo e pela composição das margens (ROCHA & SOUZA FILHO 1999). A velocidade de fluxo é a variável principal e é controlada pela vazão e pela distância do talvegue até a margem. A velocidade de fluxo é um fator que está intimamente relacionado à variação da vazão, fator que explica o registro das maiores taxas erosivas no período de cheia, quando as vazões são maiores do que nos demais períodos.

Outro fator que controla a velocidade de fluxo junto à margem é a posição do talvegue, conforme discutido por FERNANDEZ & SOUZA FILHO (1995). Segundo estes autores as grandes cheias seriam responsáveis pelo reposicionamento das grandes formas de leito, e pelo talvegue. Dessa forma, a cada grande cheia os sítios deposicionais, erosivos e estáveis seriam redefinidos.

A composição das margens também é uma das condicionantes da taxa de erosão. Os dados obtidos por ROCHA & SOUZA FILHO (1999) demonstram que sob a mesma velocidade de fluxo, a taxa de erosão aumenta conforme diminui o teor de argila. Os autores verificaram também que, quanto maior a velocidade de fluxo, maior a diferença das taxas erosivas entre as margens mais arenosas e mais argilosas.

A respeito da influência de Porto Primavera, SOUZA FILHO (1999) diagnosticou que houve aumento de desmoronamentos e de *piping* dentre os processos de erosão marginal. As taxas de erosão do leito e das margens deverão ser acentuadas, assim como a migração a jusante das ondas de areia e das dunas subaquosas, enquanto que o deslocamento das formas maiores deverá ser dificultado.

Em relação ao Rio Paraná, FERNANDEZ & SOUZA FILHO (1995), concluíram que as áreas deposicionais ocorrem nas porções rasas do rio, onde a velocidade de fluxo é menor e, as áreas erosivas ocorrem próximas a locais mais profundos, onde a velocidade de fluxo é maior. Esta situação indica que o controle do domínio de esculturação do canal deve-se a posição relativa do talvegue.

O talvegue modifica-se gradualmente durante um ciclo de cheias, indicando que o mesmo está mais próximo da margem em erosão e mais distante da margem que apresenta deposição. As grandes cheias podem modificar o posicionamento do talvegue e desta forma condicionar uma nova tendência nas margens. Foi constatado ainda, que nos períodos de águas baixas a erosão é insignificante e no período de águas altas a erosão é intensa.

O PROBLEMA

A construção de barragens no ambiente fluvial causa efeitos geomorfológicos para estabelecer ajuste à alteração do ambiente. Estas podem ser de curto, médio ou longo prazo e se manifestar em vários aspectos, tais como na dinâmica hidrológica, no transporte de sedimentos e na erosão fluvial.

O fechamento de Porto Primavera no final de 1998 causou o corte do suprimento de carga sedimentar. Este corte proporcionou alteração no padrão de movimento das grandes formas de leito, alterando a dinâmica do talvegue. As modificações mais significativas foram registradas no leito do rio, que atualmente encontra-se sem sedimentos desde a barragem até Porto São José. A retirada do material do leito é constante e está se propagando a jusante, o que pode estar causando modificações no fluxo do rio, uma vez que a distribuição das linhas de fluxo depende da distribuição das formas de leito.

A erosão marginal depende da velocidade de fluxo junto à margem e se essa variável estiver alterada, os efeitos sobre a erosão das margens também podem estar. Dessa forma, a erosão marginal pode estar modificada em todo o segmento e essas modificações devem continuar e provavelmente acompanhar as modificações do leito, ou seja, acompanhar a propagação das alterações a jusante, até que o rio atinja um equilíbrio.

OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é estudar a variabilidade espaço-temporal da erosão marginal no alto Rio Alto Paraná, mais especificamente entre as Ilhas Óleo Cru e Barbado, abrangendo o arquipélago das Ilhas Mutum – Porto Rico e Cariocas, e o arquipélago das Ilhas Japonesa e Floresta.

Dessa forma, esta pesquisa pretende avaliar possíveis modificações impostas à erosão marginal pela construção da UHE Engenheiro Sérgio Motta e contribuir para o entendimento dos efeitos a jusante da barragem sobre o canal do Rio Paraná.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO DA EROSÃO MARGINAL.

O desenvolvimento de uma metodologia para o estudo de um determinado aspecto do meio físico é fruto de uma observação sistemática da intensidade e da frequência como o mesmo ocorre. O estudo da erosão marginal pode ter tido sua justificativa e origem na observação da perda de terrenos cultiváveis, bem como, na observação da destruição de obras de engenharia localizadas próximas ou dentro de canais fluviais.

As primeiras avaliações podem ter sido iniciadas por meio de métodos de observação e quantificação direta no campo para saber o quanto as margens estivessem avançando sobre áreas economicamente exploradas. Com os avanços científico e tecnológico, outras formas de estudo foram se desenvolvendo e incorporando-se nos estudos.

Atualmente, existem duas formas principais para o estudo da erosão marginal, ou seja, métodos indiretos e métodos diretos. O primeiro refere-se às técnicas que utilizam produtos cartográficos, sensoriamento remoto e geoprocessamento. O segundo refere-se aos métodos que utilizam como principal forma de estudo as observações diretas no campo, seja em termos qualitativos e/ou quantitativos.

Os métodos indiretos são desenvolvidos por meio de estudos em que não há o contato com o objeto de estudo, ou seja, utiliza produtos e ferramentas que permitam realizar o estudo sem a necessidade das observações de campo. Estes métodos referem-se à cartografia, convencional ou digital, sensoriamento remoto e desenvolvimento de sistemas de informações geográficas. Dentre estes métodos destacam-se as técnicas cartográficas, das fotografias aéreas e das imagens orbitais.

As técnicas cartográficas consistem na utilização de bases cartográficas do mesmo local em diferentes datas para a comparação da posição das margens, possibilitando fazer uma análise histórica das mudanças de sua posição. No entanto, os levantamentos através de produtos cartográficos apresentam um grande problema em estudos realizados no Brasil: a falta de mapeamentos sistemáticos em escalas apropriadas e em datas diferentes. Por outro lado, eles permitem resgatar informações existentes em mapas antigos. Este método foi utilizado por FONTES (2003), no baixo curso do Rio São Francisco.

A técnica das fotografias aéreas utiliza o mesmo princípio das técnicas cartográficas. O uso das fotografias aéreas possui a vantagem de permitir um estudo mais detalhado, face às escalas que podem ser trabalhadas e, em geral possuem uma frequência de obtenção maior que a da produção de bases cartográficas. Contudo, os levantamentos aerofotogramétricos não possuem a frequência e a regularidade necessárias para os estudos sistemáticos e, em geral eles começaram na década de 1950, restringindo o tempo destes estudos à última metade do século XX. Outra questão está relacionada às deformações das fotografias aéreas, que exigem correções fotogramétricas antes de sua utilização em estudos que requeiram precisão. As fotografias aéreas foram utilizadas por FERNANDEZ *et al* (1990), nas Ilhas Cariocas, no Rio Paraná e por FONTES (2003) no baixo curso do Rio São Francisco.

A técnica das imagens vem sendo bastante utilizada. A mesma permite fazer cálculos de variação de área, bem como comparação em diferentes períodos. Pode ainda ser utilizado como complemento de trabalhos mais detalhados de observações diretas no campo. Existem diferentes formas de obtenção de imagens. Estas podem ser adquiridas de levantamentos sistemáticos aeroportados ou de satélites (orbitais).

As imagens orbitais são mais utilizadas que os levantamentos aeroportados. Estas permitem realizar variados tipos de estudos. No entanto podem apresentar problemas quanto à resolução da imagem. Esta técnica foi empregada por FONTES (2003) no estudo da erosão marginal no baixo curso do Rio São Francisco e por MORAES (2002) no estudo da evolução morfológica do canal do alto curso do Rio Araguaia.

As imagens orbitais tornaram-se disponíveis a partir do final de 1972, com o lançamento do satélite LANDSAT 1, com os sensores MSS e RBV. Entretanto a resolução espacial de ambos era de 80 metros, logo, insuficientes para permitir a elaboração de trabalhos detalhados. A partir da década de 1980, com o lançamento do LANDSAT 4 e em seguida do LANDSAT 5, com o sensor TM, cuja resolução espacial passou a 30 metros, foi permitida sua utilização para os estudos de erosão marginal. Esta década foi marcada também pelo lançamento do SPOT 1, com sensor HRV (tipo CCD) com resolução espacial de 10 metros, com maior potencial para monitoramento da mobilidade de margens fluviais.

Os sistemas de aquisição de imagens do MSS e TM tiveram seu auge com relação à resolução espacial no final da década de 1990, com o lançamento do LANDSAT 7, cujo sensor ETM possuía resolução de 15 metros. Infelizmente, o satélite está desativado desde maio de 2003. Por outro lado, os sistemas CCD podem vir a se tornar a ferramenta principal para monitoramento da erosão marginal, visto que a partir do final da década de 1990, diversos satélites foram lançados. Os satélites SPOT 5, IRS e o KOMPSAT disponibilizam imagens com resolução de 2, 5, 5,8 e 6,6 metros respectivamente. Já os satélites IKONOS e QUICKBIRD disponibilizam imagens de 1,0 e 0,75 metros respectivamente. Muito provavelmente tais produtos venham a ser extensivamente utilizados para o monitoramento da erosão marginal, apesar dos altos custos das imagens SPOT, IKONOS e QUICKBIRD.

O método de estudo por imagens pode ainda ser realizado em conjunto com outros produtos de sensoriamento remoto. MORAIS (2002), no alto curso do Rio Araguaia, utilizou cartas topográficas, imagens de RADAR e de satélite para análise das mudanças na morfologia do canal, enfocando processos de erosão e sedimentação. Este método também foi utilizado por FONTES (2003) no baixo curso do Rio São Francisco. No entanto, este tipo de trabalho pode ser dificultado pelas diferentes distorções apresentadas pelas distintas formas de representação da superfície terrestre. Contudo permite ampliar o período de tempo estudado e, ainda, diminuir os intervalos de tempo entre os produtos disponíveis para a realização dos estudos e, quando as distorções das diferentes formas de representação da superfície são devidamente tratadas o resultado pode ter alta confiabilidade.

Os produtos de sensores remotos podem ainda serem gerados pelos próprios pesquisadores, visando estudos e objetos bem específicos, como THOMA, GUPTA & BAUER (2001) no Rio Blue Earth, Minnesota, EUA. Os autores geraram uma imagem da área de estudo através do sobrevôo da área estudada com um escaneador laser aerotransportado e uma base GPS fixa em terra para o georreferenciamento da imagem. Com esse método pode-se definir em qual escala pretende-se obter a imagem, podendo ser de maior ou menor detalhe, dependendo do tipo de estudo que se deseja realizar.

Os métodos diretos referem-se aos que são realizados através de observações diretas no campo. São muito importantes no estudo da erosão marginal, uma vez que permitem identificar e caracterizar com grande detalhamento os processos que são

responsáveis pelo recuo das margens, bem como quantificar valores centimétricos, o que pelos métodos descritos anteriormente ainda não são possíveis de se obter e podem ser qualitativos e/ou quantitativos.

Os métodos qualitativos são aqueles que buscam caracterizar e identificar os principais processos erosivos ocorrentes nas margens dos canais fluviais, ou ainda, localizar sítios erosivos ao longo do canal e de suas áreas subjacentes. Em muitos estudos são realizados em conjunto com os métodos quantitativos. BRIERLEY & MURN (1997), analisaram a erosão marginal em rios da região de Cobargo, em New South Wales, Austrália, fazendo sua correlação com os impactos originados pela ocupação e uso do solo.

O estudo qualitativo da erosão marginal pode ainda ser realizado através de mapeamento realizado em observações diretas no campo. Assim, é feita a localização dos sítios erosivos, bem como sua classificação, a caracterização dos processos ocorrentes e ainda uma análise das áreas de entorno para identificação de elementos que possam estar contribuindo ou não para a intensificação da erosão. BHOWMIK *et al* (2001) realizaram este tipo de estudo no rio Kankakee em Illinois e Indiana, EUA.

Os métodos quantitativos são utilizados para quantificar a erosão marginal. Existem várias técnicas que permitem quantificar as taxas de recuo das margens dos canais fluviais. A técnica mais utilizada para a medição em campo do recuo das margens é a técnica dos pinos. Existem ainda, as técnicas das estacas e de perfilagens sucessivas. As técnicas aqui mencionadas foram propostas por HOOKE, *apud* FERNANDEZ (1990) e são a seguir descritas:

Técnica das estacas: consiste na instalação de uma série de estacas de madeira na superfície da margem. A distância entre elas e a margem é medida e mostra o valor do recuo. No entanto, esta técnica permite medir somente o recuo da borda da margem e pode não refletir a realidade dos processos erosivos atuantes. Em margens verticais e com recuo uniforme as estacas apresentam eficácia. Contudo, esta técnica é pouco utilizada no monitoramento da erosão marginal, pois não fornece informações sobre a evolução da margem. Esta técnica foi utilizada por FERNANDEZ (1990), ROCHA (1998), DESTEFANI (2003) e TEIXEIRA (2003), no alto Rio Paraná, na região de Porto Rico-PR. ROCHA (1995)

utilizou as estacas para comparar a erosão marginal em diferentes sistemas, associados ao Rio Paraná, na região supra.

Técnica das perfilagens sucessivas: consiste em fazer levantamentos de perfis nas margens. Esta técnica permite avaliar a evolução morfológica da margem, e ainda, permite identificar e caracterizar os processos pelos quais as margens recuam. FERNANDEZ (1990), ROCHA (1998), e CORRÊA (2004) utilizaram esta técnica no Rio Paraná e ROCHA (1995), em canais associados ao Rio Paraná, na região de Porto Rico-PR.

Técnica dos pinos: consiste na inserção de pinos na face das margens, cujo recuo é medido pelo grau de exposição que os pinos apresentam. Através desta técnica é possível realizar estudos de volume de material erodido da margem, bem como avaliar a intensidade das taxas erosivas e analisar a distribuição espaço-temporal da erosão ao longo do canal fluvial.

Para quantificar as taxas erosivas através dos pinos, no Rio Paraná, na região de Porto Rico-PR, destacam-se os trabalhos de FERNANDEZ (1990), ROCHA (1995, 1996), DESTEFANI (2002) TEIXEIRA (2003) e CORRÊA (2004). Para cada um dos objetivos propostos nos referidos trabalhos, a técnica obteve bons resultados, permitindo avaliar taxas erosivas, fazer comparações entre diferentes períodos, auxiliando a estabelecer as variáveis que condicionam a erosão marginal e analisar a distribuição espacial dos sítios erosivos. Os pinos utilizados nos estudos acima necessitam de um acompanhamento constante de campo para a medida do recuo das margens e nem sempre fornecem informações que sejam totalmente confiáveis. No caso de desmoronamentos, uma grande quantidade de material é retirada da margem e, em muitos casos o pino pode ser levado junto com esse material. Assim, o recuo encontrado na margem em que esse processo ocorreu terá um valor estimado.

No caso do baixo curso do Rio São Francisco, FONTES (2003) não obteve bons resultados com a utilização dos pinos. O autor concluiu que em margens que apresentam mais de 80cm de recuo mensal, a técnica dos pinos não apresenta eficácia. Os valores obtidos pelo autor chegaram a 22 metros por ano, o que indica a necessidade do uso de estacas, conforme preconizado por FERNANDEZ (1990) ou de vistoria freqüente dos pinos. Quanto mais elevada é a taxa de recuo das margens, menor deverá ser o intervalo entre uma leitura e outra.

LAWLER (2002), desenvolveu pinos para medição de erosão marginal, denominados PEEP (*Photo-Electronic Erosion Pin*), que consistem de um tubo acrílico, com células fotovoltaicas interligadas. O pino é inserido na margem e conectado a um receptor de dados que fica na superfície da margem e a uma distância segura da ação erosiva. Dessa forma, a cada vez que uma célula é exposta à luz solar pela ação da erosão, esta envia um impulso elétrico ao receptor. Este impulso representa o quanto a margem está sendo erodida, uma vez que as medidas do pino são conhecidas. No caso de haver deposição de material sobre o pino, o processo se inverte. As células fotovoltaicas fornecem ainda, a energia necessária para o funcionamento do receptor de dados.

No entanto, este sistema pode apresentar problemas com sua instalação, uma vez que será necessário fazer escavações para a instalação dos cabos e do suporte do receptor de dados. O material da margem pode ter sua estrutura alterada e criar um caminho preferencial para a passagem da água proveniente de precipitação pluvial ou do lençol freático, podendo causar erosão mais acelerada nesses pontos e até mesmo iniciar processos de *piping*.

O método a ser utilizado no estudo da erosão marginal é uma questão ainda não resolvida. Antes da definição das técnicas e métodos a serem utilizados, deve ser conhecido primeiramente, as características particulares do canal fluvial objeto de estudo, bem como o comportamento hidrodinâmico de seu sistema, uma vez que é a variável mais importante do processo erosivo. Segundo ROCHA (1995), a velocidade de fluxo é a principal condicionante da erosão marginal, logo, antes de definir uma técnica ou método para o estudo, deve-se conhecer anteriormente as características de escoamento da água no canal.

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Para o estudo da erosão marginal foram utilizadas as técnicas dos pinos e das estacas. Ênfase maior foi dada à técnica dos pinos, servindo as estacas para recuperar dados nos pontos em que houve perda total dos pinos. O trabalho de monitoramento foi trimestral e utilizou 23 pontos de amostragem (Fig. 2), sendo cinco deles na parte denominada montante (Ilha Óleo Cru), oito na parte denominada média (ilhas Mutum, Porto Rico e Cariocas) e, os dez restantes na parte denominada jusante (ilhas Floresta, Japonesa e Barbado).

A taxa de recuo das margens utilizada neste trabalho refere-se ao maior valor encontrado em cada leitura, ou seja, a medida do pino mais exposto, ou no caso da perda deste, o valor considerado foi igual ou maior do que 1,00 metro. A velocidade de fluxo foi medida em cada ponto de amostragem e não representou neste caso a velocidade de fluxo real do canal, mas a velocidade de fluxo em contato com a margem onde se localiza o ponto.

As variáveis utilizadas para a análise dos dados foram taxa de recuo, velocidade de fluxo no ponto e vazão diária. Os dados de vazão foram obtidos junto à ITAIPU BINACIONAL e referem à estação fluviométrica 64575000 (Porto São José). A velocidade de fluxo foi verificada com um fluviômetro mecânico a uma distância de cinco metros da margem, ou mais precisamente, com o barco posicionado perpendicularmente ao ponto, a velocidade foi medida na parte traseira do mesmo e, a um metro de profundidade.

Localização dos Pontos de Amostragem de Erosão Marginal no Rio Paraná, entre a Barragem de Porto Primavera e a Ilha Barbado

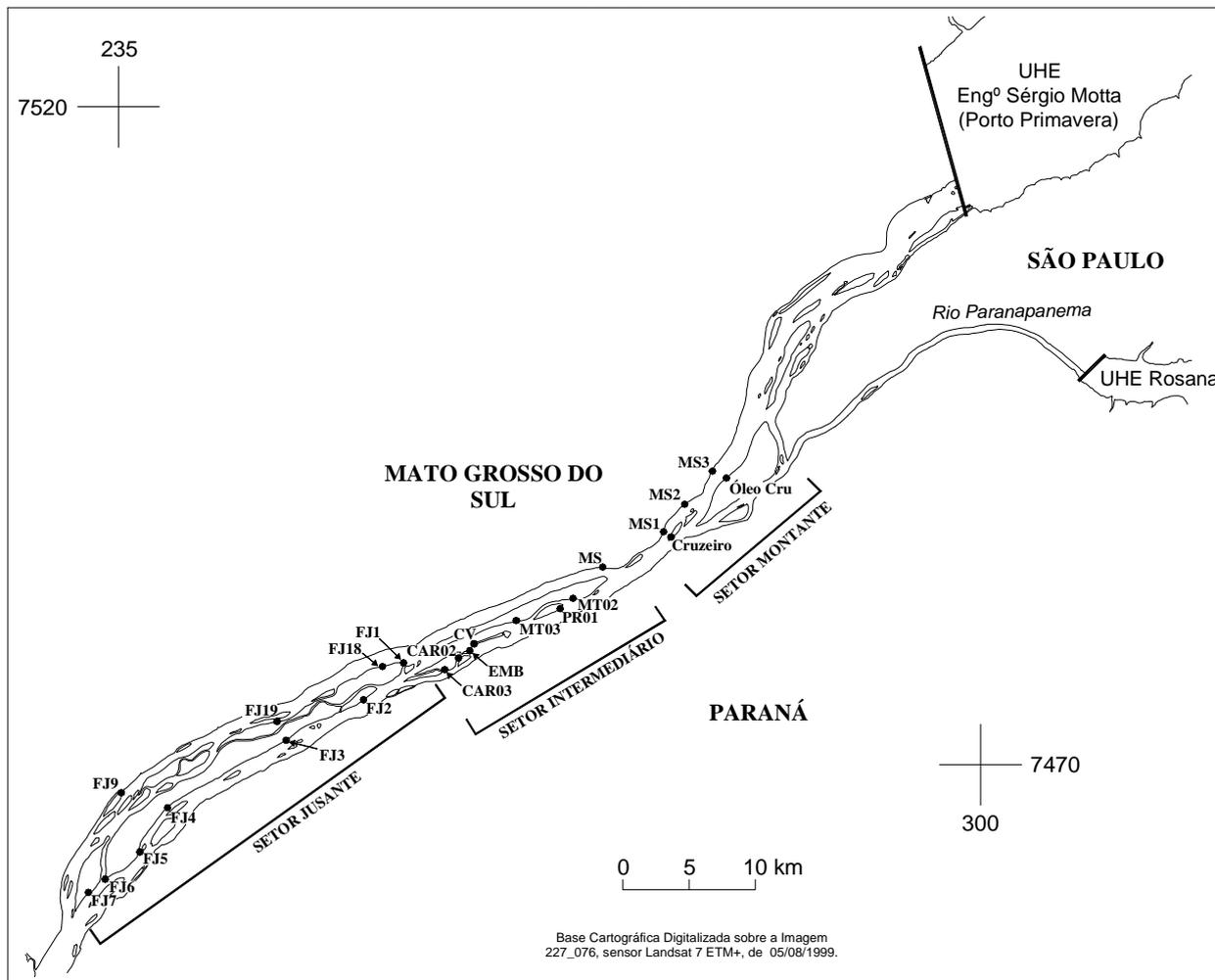


Figura 2. Localização dos pontos de amostragem de erosão marginal no segmento de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosão marginal é um processo fluvial que depende diretamente da velocidade de fluxo, e este por sua vez apresenta uma relação direta com o débito fluvial. O regime hidrológico assume então um papel importante no processo erosivo, uma vez que o mesmo controla os valores de débito e conseqüentemente a velocidade do fluxo. Na figura 3 está apresentada a variabilidade da vazão do Rio Paraná, em Porto São José, para o período de estudo do presente trabalho.

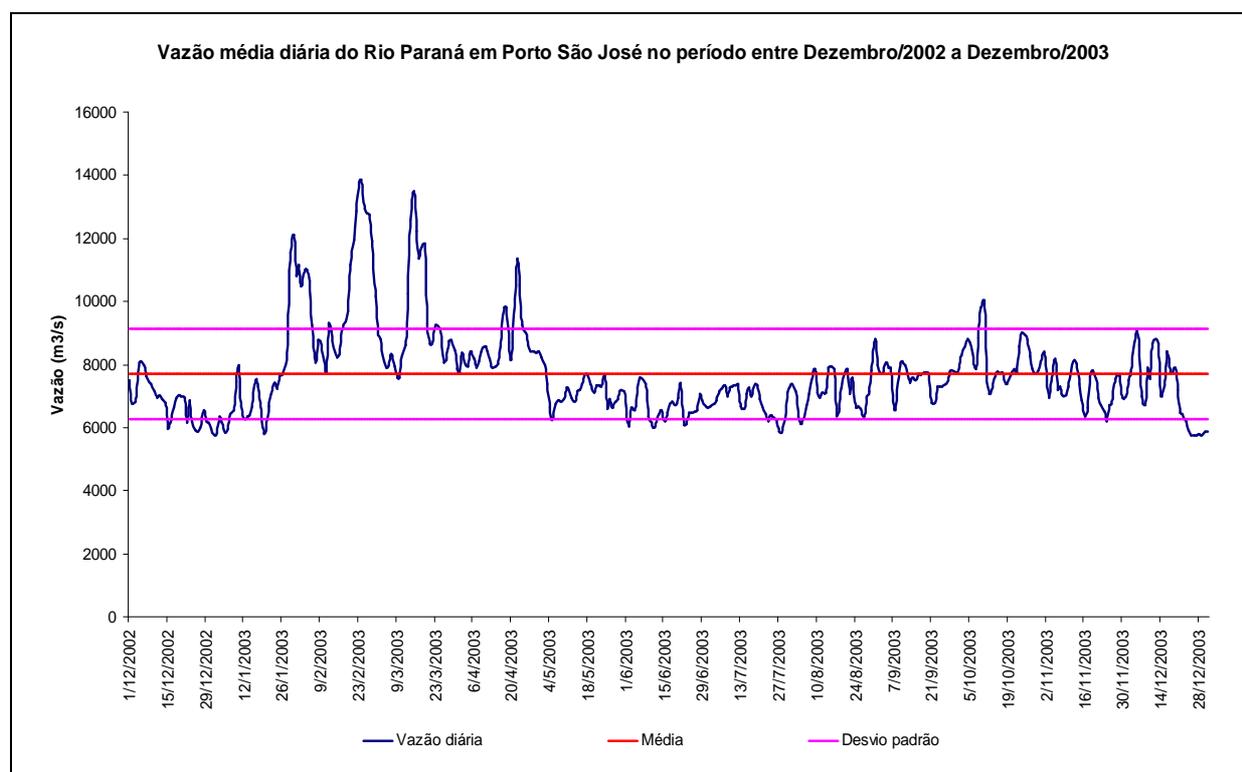


Figura 3. Vazão média diária do Rio Paraná em Porto São José no período de estudo.

A vazão média histórica para o mesmo local é de $8.800\text{m}^3/\text{s}$ (SOUZA FILHO, 1993). No período estudado nesta pesquisa a vazão média foi de $7.702\text{m}^3/\text{s}$. Foi observado ainda, que as menores vazões foram registradas no mês de Dezembro de 2002 e Dezembro de 2003. Essa situação não é típica, uma vez que nos referidos meses inicia-se o período de cheias e, no entanto, os valores estão no mesmo patamar do período vazante.

Os dados obtidos entre Dezembro de 2002 e Dezembro de 2003 demonstram que as taxas erosivas são maiores no período de cheia e diminuem conforme há redução do débito fluvial (Tabela 1). Os valores obtidos são consistentes com as afirmações de

FERNANDEZ (1990) e de FERNANDEZ & SOUZA FILHO (1995), que observaram o incremento das taxas erosivas no período de cheia.

	Trimestre Dez/2002 a Mar/2003	Trimestre Mar a Jun/2003	Trimestre Jun a Set/2003	Trimestre Set a Dez/2003
Vazão média do trimestre (m³/s)	8385	7937	7051	7555
Taxa média mensal de recuo das margens (cm/mês).	19,37	13,10	6,28	13,01

Tabela 1. Taxa média mensal de recuo de margem no segmento de estudo.

No entanto, foi observada uma diferença em relação ao segmento completo quando o mesmo foi analisado de forma mais detalhada. Essa diferença pode ser verificada na Tabela 2. Embora o comportamento seja similar ao verificado na Tabela 1, na comparação entre as médias erosivas de cada setor, foi observada uma relação direta entre o aumento da vazão e aumento da erosão (Figura 4), porém no setor montante um fato desperta atenção.

	Trimestre Dez/2002 a Mar/2003	Trimestre Mar a Jun/2003	Trimestre Jun a Set/2003	Trimestre Set a Dez/2003
Vazão média do trimestre (m³/s).	8385	7937	7051	7555
Setor Montante Taxa de recuo das margens (cm/mês).	19,00	4,90	4,40	14,60
Setor Intermediário Taxa de recuo das margens (cm/mês).	30,37	17,44	5,44	14,83
Setor Jusante Taxa de recuo das margens (cm/mês).	21,53	13,73	7,90	10,76

Tabela 2. Taxa média mensal de recuo de margem em cada setor do segmento de estudo.

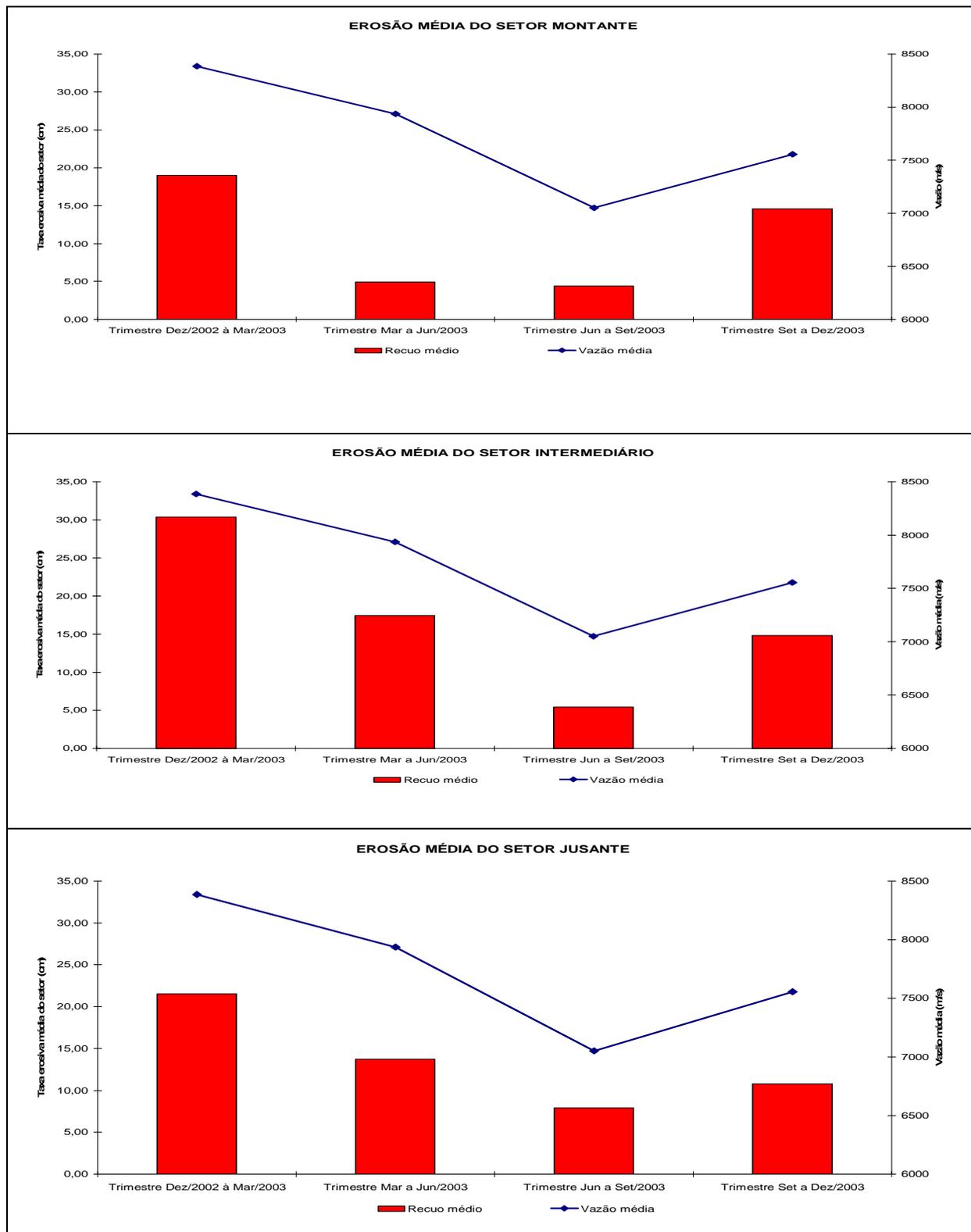


Figura 4. Relação entre a média erosiva dos setores e a vazão média trimestral.

O Setor Montante

O setor montante apresentou um comportamento diferenciado, ou seja, houve maior erosão no Trimestre Set a Dez/2003 do que no Trimestre Mar a Jun/2003, e, no entanto este último teve maior vazão. Para tentar compreender o ocorrido o setor montante foi analisado de forma mais detalhada. A primeira análise realizada resultou da comparação dos valores de vazão máxima com as taxas erosivas. Os resultados desta comparação encontram-se na figura 5.

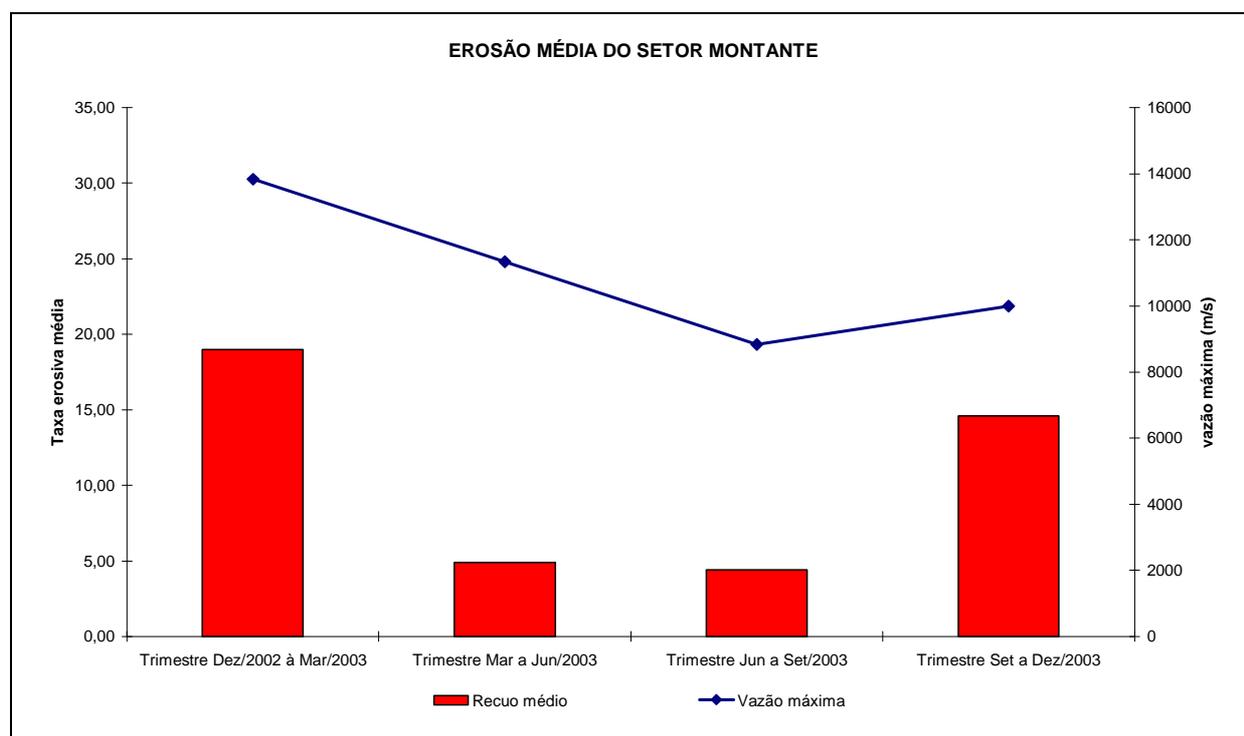


Figura 5. Relação entre a média erosiva do setor montante e vazão máxima por trimestre.

A análise ponto a ponto no setor montante permitiu a elaboração da figura 6. A referida figura permite observar que o ponto Ms01 possui comportamento diferente dos demais.

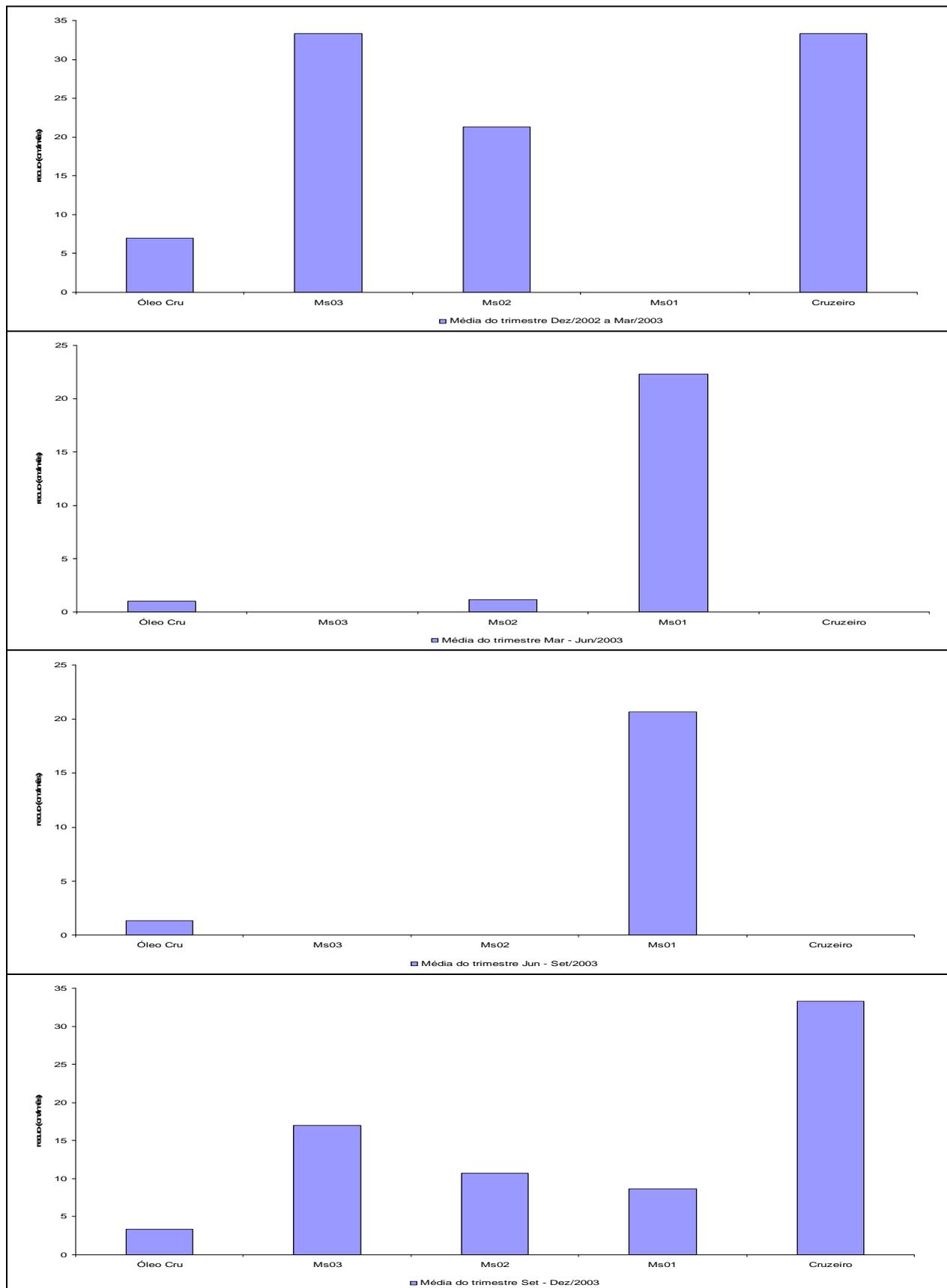


Figura 6. Erosão média mensal por ponto do setor montante.

A análise da figura 6 permite observar que o ponto ÓLEO CRU apresentou valores de recuo baixos, mas constantes, durante todo o período, no setor montante foi o único com esse comportamento. O ponto Ms03 apresentou altas taxas de recuo, mas somente no primeiro e no último trimestre. O ponto Ms02 não apresentou grandes taxas de recuo, mas foram bastante significativas, e apresentou ainda um trimestre sem recuo. O ponto Ms01 foi o que mais se diferenciou dos demais, pois no período de maior vazão o mesmo não apresentou recuo e nos demais as taxas foram muito significativas. O ponto CRUZEIRO apresentou altas taxas, mas somente nos primeiro e último trimestres.

Os valores mais altos de recuo do ponto Ms01 estão relacionados com processos de desmoronamentos na parte inferior da margem. A ocorrência de valores elevados em períodos de água baixa pode estar vinculado à ação de ondas provocadas pela navegação, uma vez que o ponto encontra-se próximo ao porto de atracação da balsa de Porto São José, no lado sul-mato-grossense.

FERNANDEZ (1990) postulou que as ondas provocadas pela navegação têm influência na erosão marginal, no entanto, essa afirmativa não se confirma se analisarmos o segmento de estudo completo, mas em pontos muito localizados e ainda assim, desde que esta navegação seja muito intensa, como é o caso da balsa, que transita mais ou menos a cada quinze minutos, essa afirmativa se confirma.

Independentemente das causas do comportamento diferenciado deste ponto, os valores por ele apresentados podem ter modificado o comportamento de todo o setor, uma vez que foi o único ponto com taxas erosivas elevadas nos Trimestres Março-Junho e Junho-Setembro de 2003.

Para verificar tal possibilidade foram elaborados gráficos relacionando a vazão média e a vazão máxima e as taxas de recuo médio por trimestre, sem a contabilização dos dados do ponto Ms01. O resultado (figura 7) demonstra que o comportamento da erosão continua diferente.

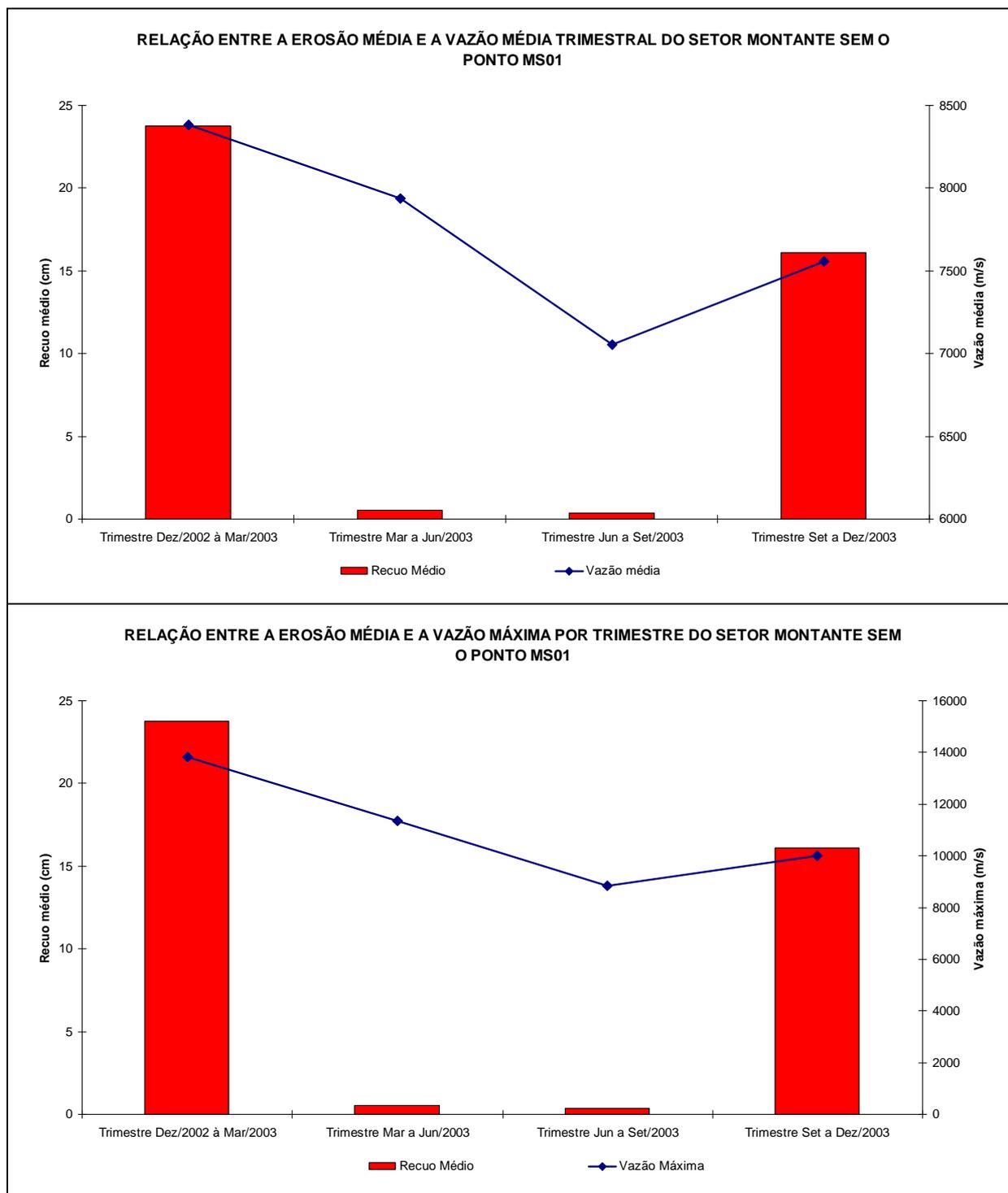


Figura 7. Média erosiva trimestral do setor montante sem o ponto MS1.

A análise dos dados permitiu observar que o problema persiste mesmo sem os dados do ponto MS1, ou seja, no segundo trimestre a vazão, tanto média quanto a máxima são maiores do que no quarto trimestre e os valores de recuo são menores. Desta forma, não foi possível estabelecer uma relação semelhante à obtida por TEIXEIRA (2003), e observou-se

que o comportamento da erosão marginal no setor montante no período estudado foi diferente daquele observado pela referida autora (Figura 8) no período 2001-2002.

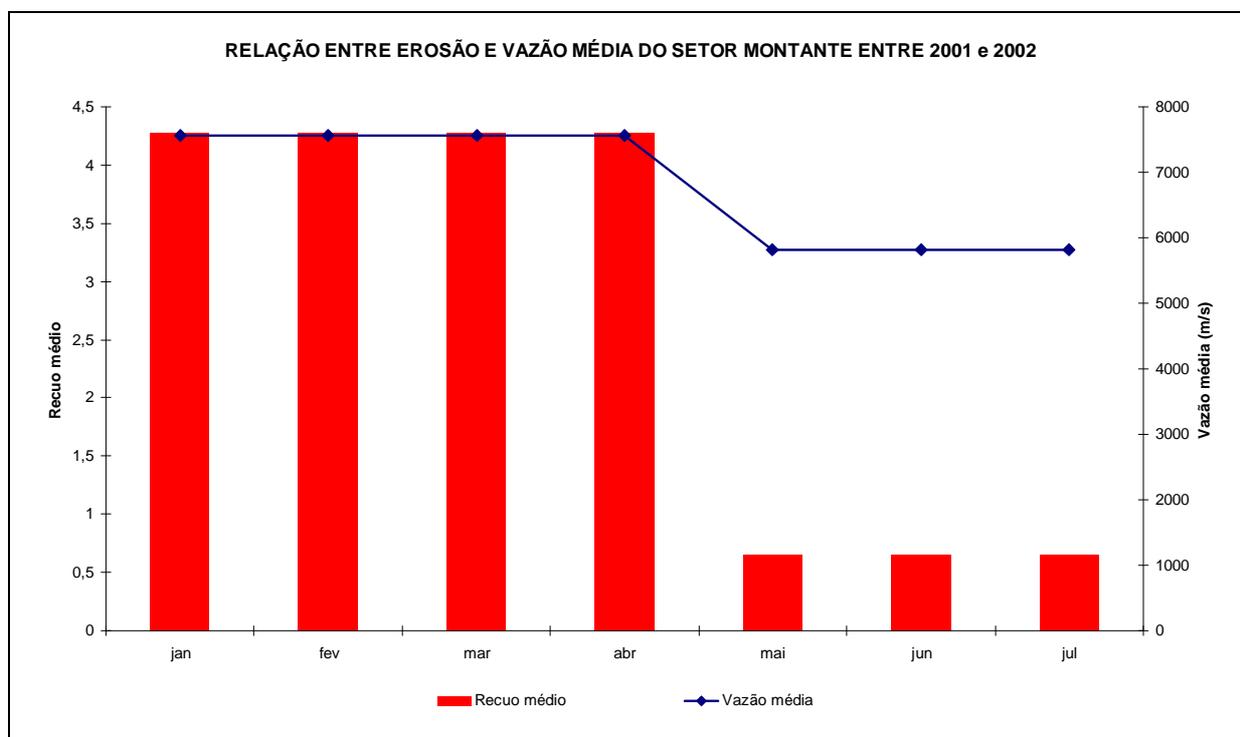


Figura 8. Média erosiva do setor montante entre 2001 e 2002. (TEIXEIRA, 2003).

Dessa forma é necessário considerar que as causas para o comportamento do setor montante sejam outras. SOUZA FILHO & STEVAUX (2004), calcularam que o processo de remoção do material de fundo do Rio Paraná avança a uma velocidade de sete quilômetros por ano. Considerando-se que em dezembro de 2003 a seção de Porto São José estava quase sem sedimentos e que as formas de leito voltavam a aparecer um pouco a montante da Ilha Mutum, é provável que o monitoramento de campo tenha coletado dados de erosão marginal no período em que o segmento entre a Ilha Óleo Cru e Porto São José estivesse sendo desprovido de sedimentos. Assim, é possível que a cada trimestre o leito do rio apresentasse diferentes condições de distribuição de linhas de fluxo, alterando assim as taxas de erosão.

O Setor Intermediário

O setor intermediário apresentou taxas médias de recuo das margens mais elevada do que as encontradas por DESTEFANI (2001). O mesmo foi o segmento que apresentou também as maiores taxas do segmento completo. As médias mensais obtidas no período 2000-2001 e no período desta pesquisa estão na Tabela 3.

Períodos de estudo	Recuo médio (cm/mês)	Vazão média (m ³ /s)
DESTEFANI (2000-2001)	3,86	6950
BORGES (2002-2003)	21,55	7702

Tabela 3. Comparação das médias erosivas do setor intermediário em 2000-2001 e 2002-2003.

Os dados de recuo das margens foram também analisados em menores períodos de tempo e demonstraram o comportamento ilustrado na Figura 9.

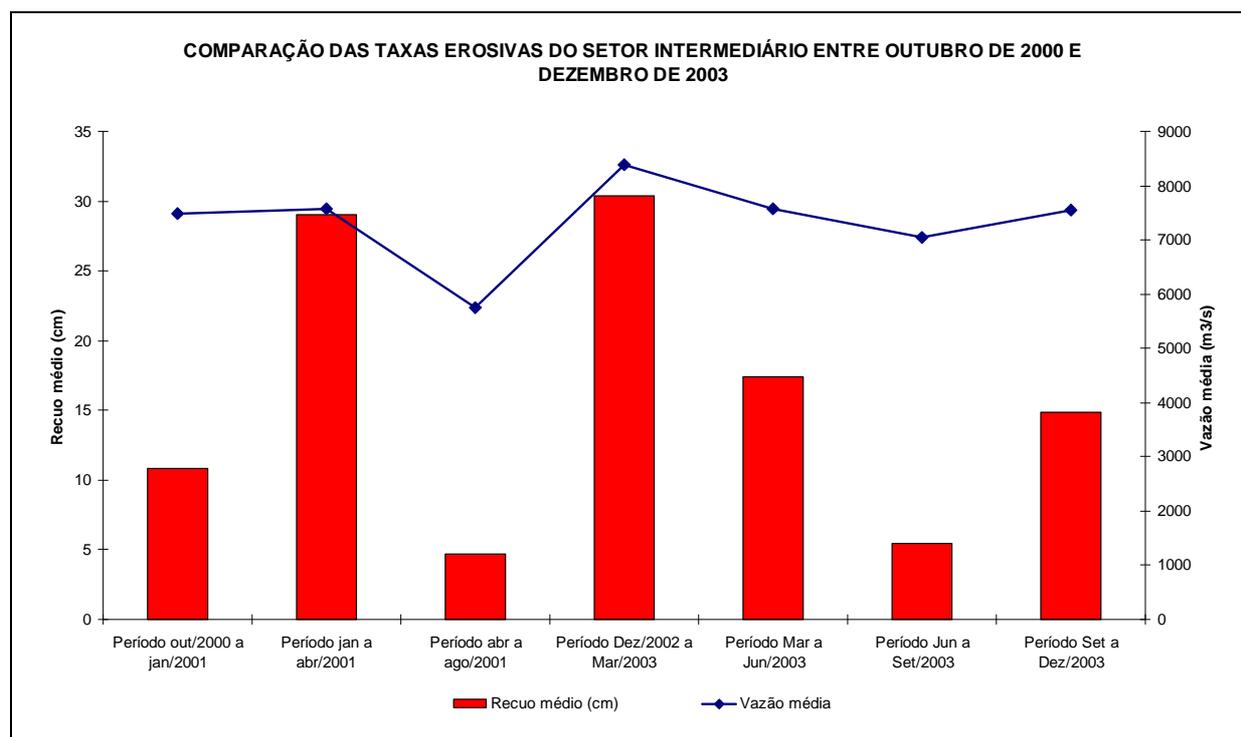


Figura 9. Comparação entre as taxas erosivas do setor intermediário entre Outubro de 2000 e Dezembro de 2003.

O setor apresentou uma discrepância entre os valores de recuo obtidos nos períodos Jan a Abr/2001 e Mar a Jun/2003, uma vez que o último teve maior vazão e registrou

menor erosão. No entanto a diferença entre os dois períodos é mínima, sendo da ordem de $17\text{m}^3/\text{s}$, o que não seria suficiente para causar grandes alterações. A diferença entre as taxas de recuo provavelmente se deu por desmoronamentos.

A análise ponto a ponto do setor intermediário (figura 10), permitiu observar que o ponto MS apresentou altas taxas de recuo trimestral em todos os trimestres, exceto no terceiro, onde o mesmo não recuou. O ponto MT02 apresentou alta taxa de recuo apenas no primeiro trimestre, sendo muito menores nos demais, enquanto que no segundo trimestre não houve recuo. No ponto PR01 os recuos foram grandes e somente no terceiro trimestre foi registrado um recuo mais baixo. No ponto MT03 os recuos foram muito grandes em todo o período analisado, sendo este o ponto que apresentou a maior magnitude erosiva de todo o segmento.

O ponto CV com exceção do terceiro trimestre, onde não houve recuo, apresentou recuo baixo, porém constante. O ponto EMB apresentou alta taxa de recuo nos dois primeiros trimestres, não tendo recuado no terceiro e apenas um pequeno recuo no último trimestre. Os pontos CAR02 e CAR03 tiveram recuo mais expressivo apenas no primeiro trimestre, com grande diminuição nos demais. A diferença no comportamento entre os dois pontos ficou por conta dos valores registrados, que no CAR03 foi levemente maior.

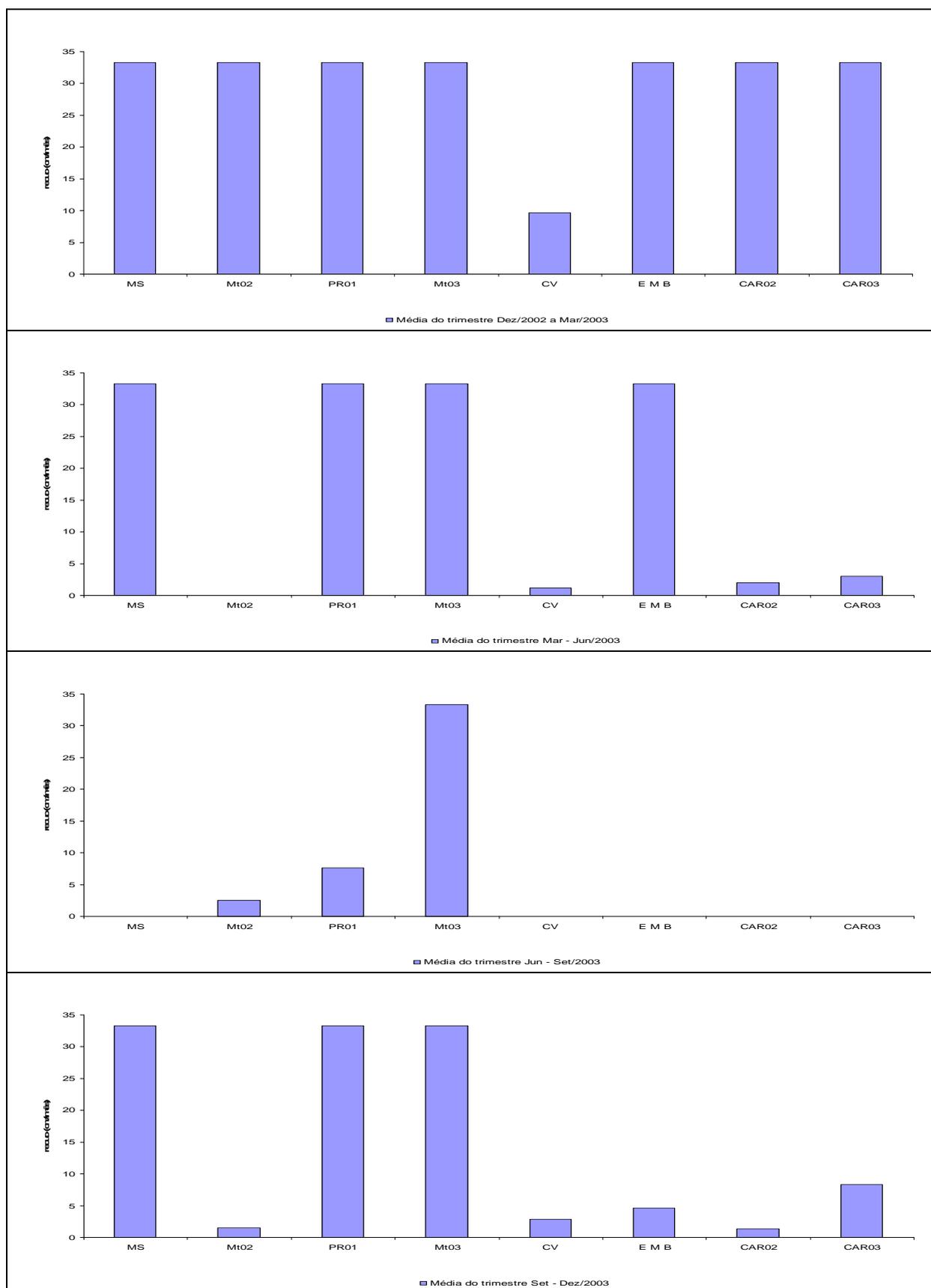


Figura 10. Erosão média mensal por ponto do setor intermediário.

O Setor Jusante

O setor jusante, diferentemente dos demais setores, apresentou média de recuo mensal menor do que no período analisado por CORRÊA (2004), situação esta considerada normal, uma vez que a vazão média foi também menor do que a encontrada pelo referido autor. A comparação entre os valores está na Tabela 4.

Períodos de estudo	Recuo médio (cm/mês)	Vazão média (m ³ /s)
CORRÊA (1999-2001)	28,44	7853
BORGES (2002-2003)	13,28	7702

Tabela 4. Comparação das médias erosivas do setor jusante em 1999-2001 e 2002-2003.

A análise das taxas erosivas em menores intervalos de tempo resultou na figura 11 e revelou uma relação direta entre maiores taxas de recuo e vazões mais elevadas, fato que ocorreu de forma bem ajustada em todos os períodos de análise.

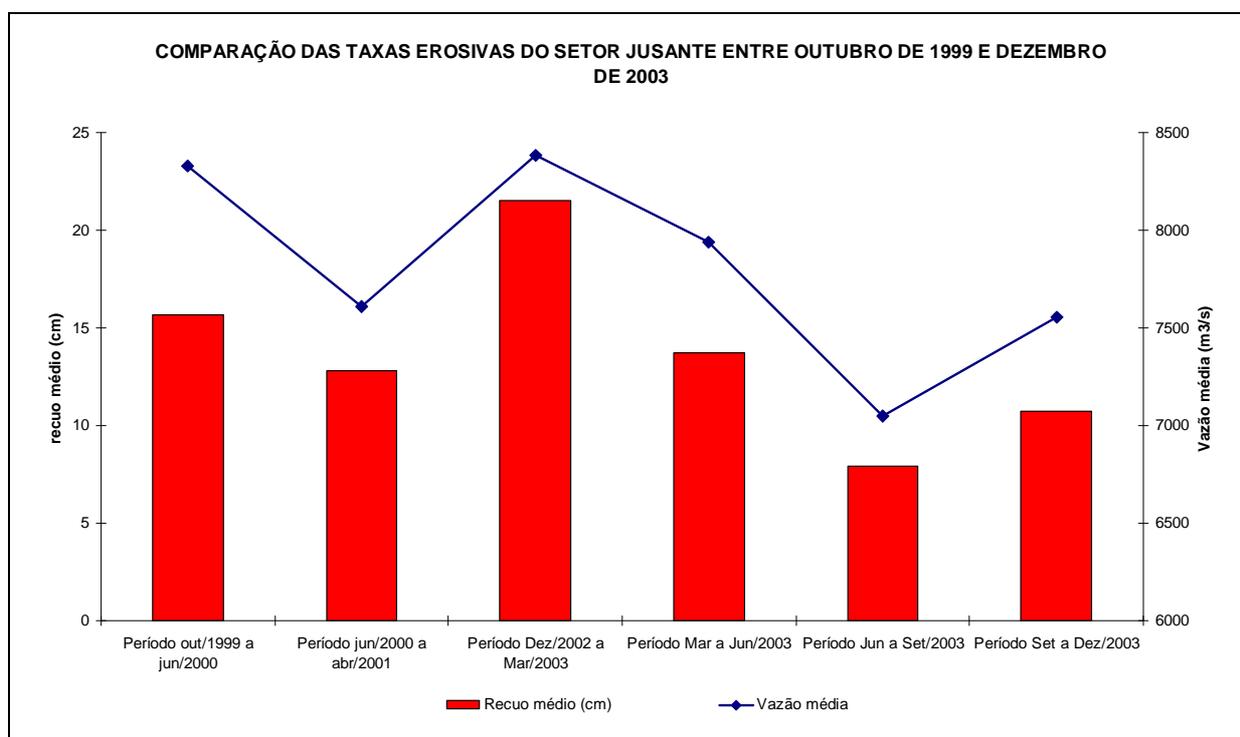


Figura 11. Comparação entre as taxas erosivas do setor jusante entre Outubro de 1999 e Dezembro de 2003.

A análise ponto a ponto e o comportamento erosivo do setor jusante encontram-se na Figura 12. Foi possível observar que no ponto FJ1 as taxas de recuo não foram muito altas, porém bastante significativas. No terceiro trimestre o recuo foi grande. A erosão no ponto foi constante e com valores médios aproximados. Seu comportamento apresentou-se bem regular, mas com uma particularidade. A maior taxa foi registrada durante o período de menor vazão, contrariando o que seria esperado.

O ponto FJ18 apresentou recuo significativo. No terceiro trimestre não apresentou recuo. No primeiro trimestre não houve registro de recuo porque o ponto foi instalado no mês de Março de 2003. O ponto FJ2 foi instalado na mesma data, apresentando erosão alta no segundo trimestre. No terceiro trimestre não recuou e no último os valores foram pouco significativos. O ponto FJ19, instalado também em Março de 2003, não recuou em nenhum período, e esteve completamente estável. O ponto FJ3 teve alta taxa de recuo no segundo e quarto trimestres, sem recuo do terceiro. Foi instalado também em Março de 2003.

No ponto FJ4 o recuo foi insignificante, embora tenha ocorrido em todo o período, com exceção do terceiro trimestre. O ponto FJ9 teve recuo constante e com altas taxas e apresentou comportamento bem regular, ou seja, em períodos de maior vazão recuou mais e em menores vazões teve menores taxas de recuo. No ponto FJ5 os recuos tiveram altas taxas e foram constantes, exceto no terceiro trimestre, que teve recuo menor. No ponto FJ6 o recuo foi alto nos primeiro e terceiro trimestres e nos segundo e quarto não houve recuo. Esse comportamento foi causado por desmoronamentos bastante significativos. E finalmente o ponto FJ7 apresentou um recuo insignificante no último trimestre e pode ser considerado como ponto estável.

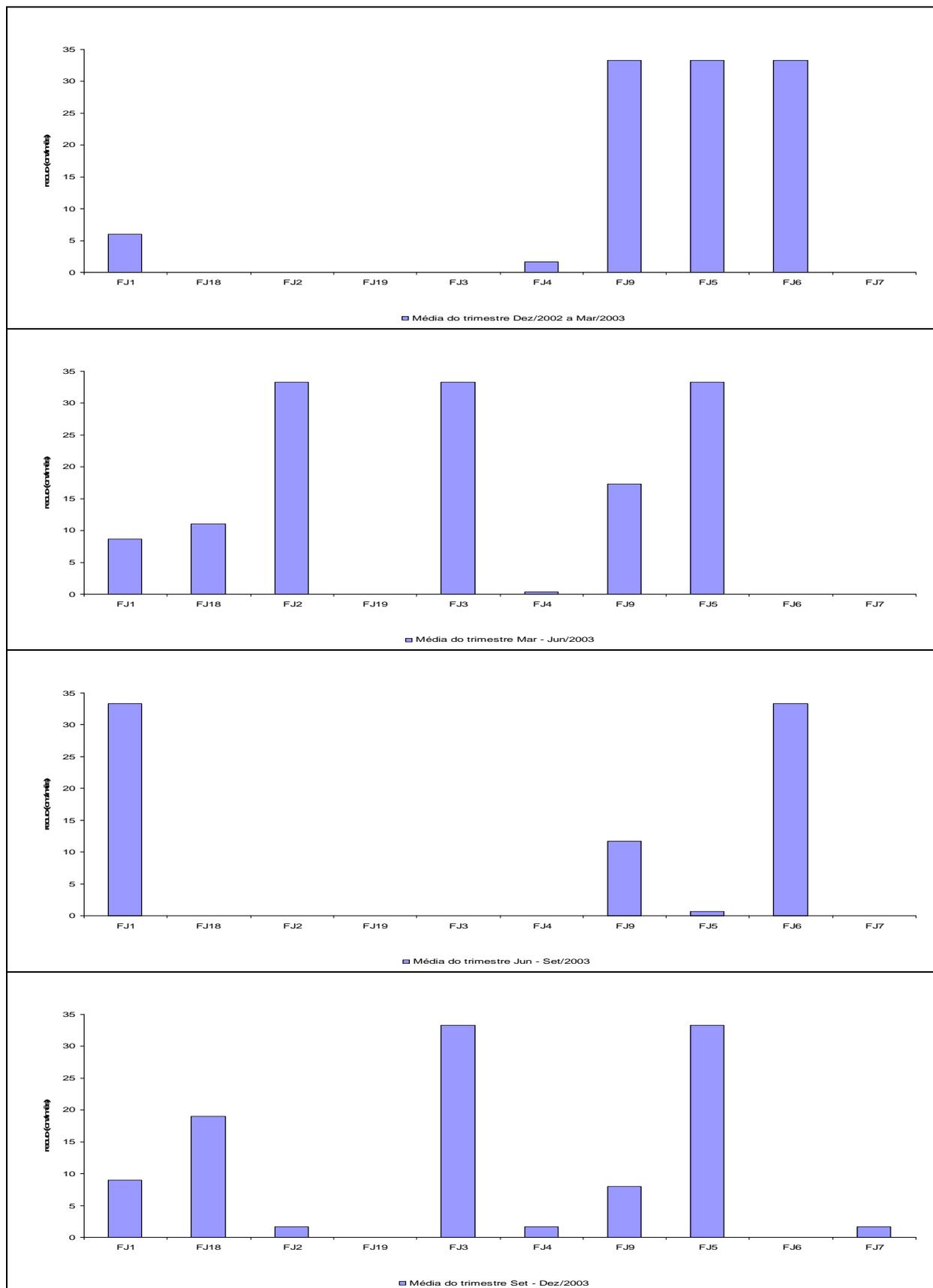


Figura 12. Erosão média mensal por ponto do setor jusante.

Pelo exposto acima, foi possível observar que a erosão não ocorreu de forma constante sempre sobre os mesmos locais, o que demonstrou que o comportamento erosivo da margem não é definido apenas em grandes cheias, conforme postulado por FERNANDEZ & SOUZA FILHO (1995), Ou seja, embora as grandes cheias reposicionem o talvegue, o comportamento variado dos pontos pode estar associado à movimentação de formas menores do leito, que aproximam ou afastam as principais linhas de fluxo das margens e permitem essa variação. No entanto essa afirmativa necessita de mais estudos para ser confirmada. SOUZA FILHO & STEVAUX (1997), postularam que, embora o núcleo das barras fluviais fosse mobilizado apenas em grandes cheias, as formas de menor porte teriam movimentação constante.

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA EROSÃO MARGINAL NO SEGMENTO DE ESTUDO

Os dados obtidos nos períodos discutidos neste trabalho permitiram analisar que existem diferenças no comportamento erosivo ao longo do canal do Rio Paraná. Estas diferenças são também marcantes de um período para o outro. A figura 13 ilustra essas diferenças. A referida figura demonstra que a erosão marginal se alterou ao longo do canal e em diferentes períodos. Todos os setores apresentaram boa relação entre as taxas de recuo, a vazão média e os eventos de vazão máxima.

A erosão marginal sofreu profunda alteração espacial e temporal entre os períodos analisados nesta pesquisa. Nos períodos anteriores ao período 2002-2003 a erosão era mais intensa no setor jusante, diminuindo no intermediário e menor ainda no setor montante e, no período 2002-2003 a situação encontrada foi o setor intermediário como o mais erodido, seguido do setor montante e o setor jusante foi o que sofreu a menor intensidade erosiva.

A barragem de Porto Primavera tem sua parcela de contribuição nessas alterações espaços-temporais. O corte no suprimento da carga de fundo provavelmente alterou a distribuição das linhas de fluxo no canal, principalmente no setor montante. A remoção dos sedimentos de fundo pode estar concentrando as maiores velocidades mais ao centro do canal. Por outro lado, a remoção da carga de fundo e a diminuição dos sólidos em suspensão pode estar sendo compensada com a intensificação da erosão marginal em setores mais próximos da barragem. Isto poderia explicar o atual comportamento erosivo do segmento de estudo.

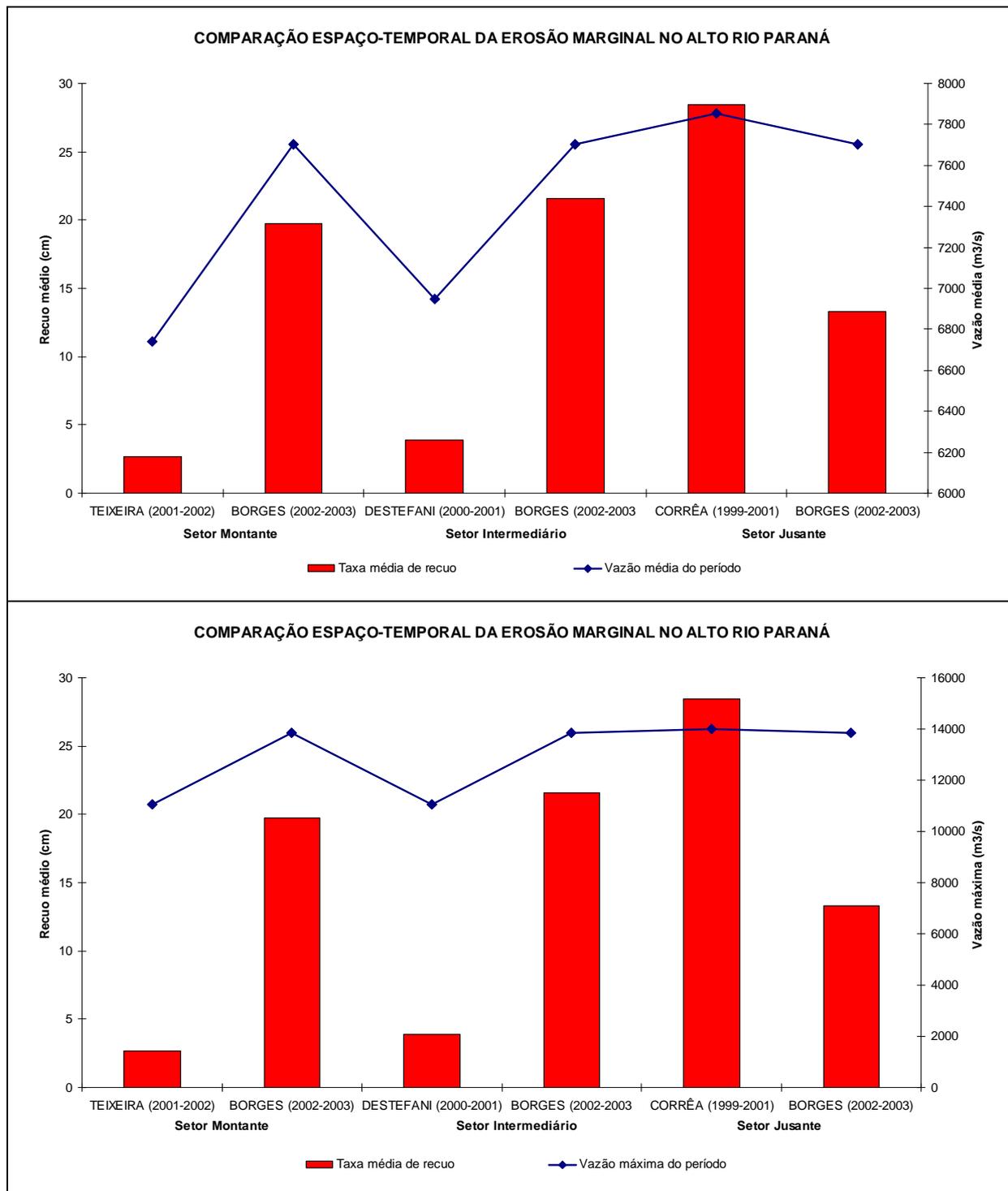


Figura 13. Comparação espaço-temporal da erosão marginal no alto Rio Paraná entre 1999 e 2003.

Dentre os processos erosivos que ocorreram nas margens, foi observado ainda nesta pesquisa a ocorrência de feições de *piping*, (Figuras 14, 15 e 16), que não foi observada por FERNANDEZ (1990), passando a ser observada no período posterior ao fechamento da barragem de Porto Primavera. Essas feições foram encontradas em todas as campanhas de campo. No entanto, não existe ainda nenhuma consideração a seu real efeito sobre os processos de erosão marginal.

Este tipo de erosão está sendo preliminarmente associado à oscilação diária do nível do rio, resultante da operação da barragem, que pode estar causando em determinados momentos o rebaixamento rápido do nível do lençol freático e favorecendo a ocorrência de tais feições.

O pressuposto pode ser comprovado pela grande oscilação da vazão ilustrada na figura 3, uma vez que, a variabilidade da vazão implica em variação do nível e conseqüentemente favorece a acentuação do gradiente do lençol freático, provocando o *piping*. Este novo tipo de erosão foi encontrado em todos os setores, com mais freqüência no setor jusante, diminuindo no setor montante, e surgindo com menos freqüência no setor intermediário. No entanto, deve-se encontrar uma metodologia para seu estudo, pois a utilizada nesta pesquisa não permite.



Figura 14. Erosão por *piping* na margem da Ilha Floresta em estágio inicial. Foto: Souza Filho (2002)



Figura 15. Erosão por *piping* em estágio bem desenvolvido na margem da Ilha Floresta. Foto do autor (Setembro/2003)

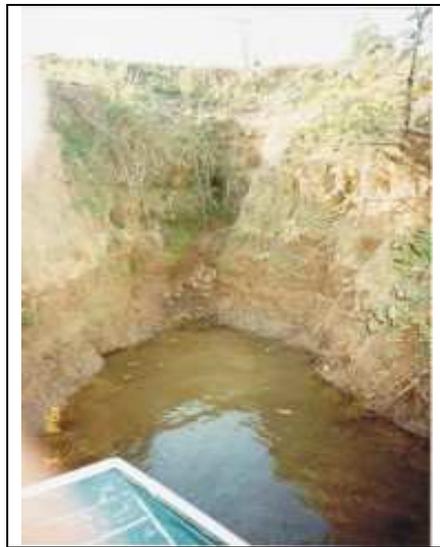


Figura 16. Interior do ponto da figura 15. Observar a continuidade do processo no final da reentrância. Foto do autor (Setembro/2003).

CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu concluir que existem diferenças no comportamento erosivo ao longo do canal do Rio Paraná. Estas diferenças são também marcantes de um período para o outro. A erosão marginal sofreu grande alteração espacial e temporal entre os períodos analisados nesta pesquisa. Nos períodos anteriores ao período 2002-2003 a erosão era mais intensa no setor jusante, diminuindo no intermediário e menor ainda no setor montante e, no período 2002-2003 a situação encontrada foi o setor intermediário como o mais erodido, seguido do setor montante e o setor jusante foi o que sofreu a menor intensidade erosiva.

No período de análise desta pesquisa, a observação da variabilidade espacial da erosão marginal pode ser verificada durante o ciclo hidrológico. Nos períodos de maiores vazões a erosão é mais representativa do que em períodos de vazões menores. Foi constatado ainda, que no setor montante houve variação de comportamento erosivo à medida que o leito estava sendo desprovido de sedimentos, que provavelmente ocorreu durante o período de análise deste trabalho.

A barragem de Porto Primavera influencia as taxas erosivas, uma vez que aumenta o controle das demais barragens sobre a vazão. Dessa forma as vazões no período estiveram abaixo da média histórica e com variabilidade pequena, haja visto pelo desvio padrão, que foi baixo. Assim, os valores das taxas de recuo não foram altos como em alguns períodos anteriores que registraram maiores vazões.

A remoção dos sedimentos do leito pode vir a causar uma situação diferente daquela encontrada anteriormente. O fluxo tenderia a se concentrar mais ao centro do canal e provocar alterações na erosão marginal, uma vez que afastariam das margens as principais linhas de fluxo, podendo vir a diminuir as taxas de recuo das margens. Por outro lado, como essa situação pode ser transitória, os dados não são suficientes para fazer tal afirmação, pois o sistema poderia, ao contrário, compensar a falta de sedimentos através do aumento da erosão marginal até atingir um equilíbrio.

Os dados demonstraram que no setor montante a taxa erosiva foi modificada, possivelmente devido ao corte do suprimento de sedimentos de fundo e à remoção do material que se encontrava à disposição no trecho. Dados de campo revelaram que o fenômeno de remoção está se propagando a jusante e poderá vir a afetar os demais segmentos.

A metodologia aplicada neste trabalho foi eficiente para avaliar as taxas erosivas e a distribuição da erosão ao longo do canal, mas não é suficiente para a explicação dos fenômenos. Isto porque a coleta de dados trimestral no período de doze meses não permite a utilização segura dos dados de velocidade de fluxo, que seriam importantes para a compreensão dos fenômenos que alteram a erosão das margens. Para tanto, seria necessário realizar coletas em intervalos menores, ou apoiar a metodologia utilizada com levantamentos de velocidade de fluxo no canal, ou acompanhar a distribuição das formas de leito.

Enfim, a metodologia não é suficiente para avaliar a erosão por *piping*. Dessa forma, é recomendável que trabalhos futuros apliquem ou desenvolvam metodologias para avaliar a intensidade e importância deste tipo de erosão. Se os mesmos persistirem, será necessária a elaboração de métodos totalmente novos.

BIBLIOGRAFIA

BHOWMIK, Nani G. *et al.* (2001). Bank Erosion Survey of the main stem of the Kankakee River in Illinois and Indiana. Contract Report 2001-01. Illinois State Water Survey. Watershed Science Section. Champaign.

BORGES, C. Z. *et al.* (2003) Análise da erosão marginal no Rio Paraná a jusante da barragem de Porto Primavera (SP) no período entre abril de 2001 e março de 2003. In: V Encontro Nacional da ANPEGE. Florianópolis.

BRANDT, S. Anders. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40, (2000), 375-401.

CORRÊA, G. T. (2004) Avaliação dos processos de erosão marginal no arquipélago Floresta-Japonesa (alto rio Paraná) no período de 1999 a 2001. Tese de Doutorado (inédito) UEM/Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Maringá. 73p.

BRIERLEY, Gary, J. MURN, Campbel P. (1997). European impacts on downstream sediment transfer and bank erosion in Cobargo catchment, New South Wales, Australia. *Catena*, 31 (1997), 119-136.

CRISPIM, J. Q. (2001). Alterações na hidrologia do canal a jusante da represa de Porto Primavera, Rio Paraná. Dissertação de Mestrado, UEM/Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Maringá, p.25.

DESTEFANI, E. V. (2001). Caracterização da erosão marginal no Rio Paraná: período pré e pós-barragem de Porto Primavera. Monografia. DGE/UEM, Maringá, Brasil.

FERNANDEZ, O.V.Q. (1990) Mudanças no canal do Rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico (PR). Dissertação de mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro, Brasil.

FERNANDEZ, O. V. Q. & SOUZA FILHO, E. E. (1995). Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no Rio Paraná, PR. Boletim Paranaense de Geociências, 43, 161-171. Ed. da UFPR. Curitiba.

FERRAZ, V.M. de B. (org.), KÜHL, J.C.A. DINIZ, R. de O. (2002). CESP: Pioneirismo e Excelência Técnica. Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo. São Paulo, 72p. II.

FONTES, L. C. S. (2003). Estudo do processo erosivo das margens do Baixo São Francisco e seus efeitos na dinâmica de sedimentação do rio. In: Projeto de Gerenciamento Integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Relatório Final. ANA/GEF/PNUMA/OEA/UFS/FAPESE. Aracaju. 81p.

HOWARD, A. RAINE, S. R. TITMARSH, G. (1998). The contribution of stream bank erosion to sediment loads in Gowrie Creek, Toowoomba. Reference Stream Monitoring Program, Brisbane. Faculty of Engineering and Surveying USQ, Toowoomba, AUS, 3p.

LAWLER, Damian. (2002). Automated monitoring of bank erosion dynamics: new developments in the Photo-Electronic Pin (PEEP) system. In: Erosion and Sediment Transport Measurement: Technological and Methodological Advances. Workshop. IAHS/AISH – NVE. Oslo, 9p.

MARTINS, D. P. (2004). Dinâmica das formas de leiro e transporte de carga de fundo no alto Rio Paraná. Dissertação de Mestrado (inédito). PGE/UEM. Departamento de Geografia. Maringá, Brasil.

ORFEO, O & STEVAUX, J. C. (2002). Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River. (Argentina and Brazil). *Geomorphology* 44 (2002) 309-322.

PEREIRA, V. R. SOUZA FILHO, E. E. (2003.). Análise da variação de área das Ilhas Mutum e Porto Rico (PR, MS) por meio de geoprocessamento. Relatório final PIBIC/CNPq-UEM. Maringá.

ROCHA, J. A. (2001) As características geomorfológicas do canal do Rio Paraná no segmento imediatamente a jusante da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. Dissertação de Mestrado. PEA-UEM. Maringá, Brasil.

ROCHA, P. C. (1995) Erosão Marginal em canais associados ao Rio Paraná na região de Porto Rico, PR. Dissertação de mestrado. Departamento de Biologia. Maringá, Brasil.

ROCHA, P. C. (2002). Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR. Tese de Doutorado. NUPELIA – UEM, Maringá, Brasil.

ROCHA, P. C. SOUZA FILHO, E. E. (1996) Erosão marginal em canais associados ao Rio Paraná na região de Porto Rico (PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, 44, 97-114.

ROCHA, P. C. SOUZA FILHO, E. E. (1999). Avaliação preliminar das principais condicionantes da intensidade de processos erosivos nos canais do sistema de Inundação do Alto Rio Paraná. In: *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Belo Horizonte.

SOUZA FILHO, E.E. (1999) Diagnóstico do meio físico e condições emergentes na planície do Rio Paraná em Porto Rico (PR). GEONOTAS, DGE/UEM, 44, 12pp.

SOUZA FILHO, E. E. & STEVAUX, J. C. (2001). Relatório anual do Programa de Ecologia de Longa Duração (PELD) – Meio Físico. Maringá. www.uem.nupelia.br.

STEVAUX, J. C. TAKEDA, A. M. (2002). Geomorphological processes related to density and variety of zoobenthic community of the upper Paraná River, Brazil. Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd. 129 pp. 143-158 – Berlin – Stuttgart.

TEIXEIRA, A.E. (2003) Avaliação dos processos erosivos no canal do Rio Paraná a jusante da barragem de Porto Primavera. (PR). Monografia. DGE/UEM, Maringá, Brasil.

THOMA, D. P. GUPTA, S. C. BAUER, M. E. (2001). Evaluation of bank erosion inputs to the Blue Earth River with airborne laser scanner. WRC Research, 6p.

Sites consultados na Internet

URL: <http://www.engesat.com.br> (11/2003).