

## EFEITO DA DINÂMICA FLUVIAL E DA AÇÃO ANTRÓPICA SOBRE A EROSÃO DE MARGENS FLUVIAIS: O CASO DA MINERAÇÃO DE AREIA NO RIO JACUÍ

Luis Carlos Zancan Filho<sup>1</sup>

Telmo Fernando Perez de Quadros<sup>2</sup>

### RESUMO

A extração de areia no leito do rio Jacuí tem sido a principal responsável pelo atendimento á demanda deste bem mineral para atender a construção civil do Rio Grande do Sul. Tal atividade tem sido responsabilizada pelos processos erosivos observados, principalmente, nas margens desse rio. Esse artigo traz informações e considerações técnicas baseadas em observações e estudos de campo, e em experimentos expeditos de laboratório, a respeito dos fatores antrópicos e dos fatores naturais que influenciam na erosão das margens do rio Jacuí. Tais observações são discutidas a luz do conhecimento científico, no sentido de fornecer um melhor entendimento dos processos erosivos atuantes no rio e dar sustentação aos estudos de campo e às conclusões apresentadas. O trabalho identificou atividades antrópicas e processos naturais que contribuem para a erosão das margens observadas no rio Jacuí.

**Palavras-chave:** Mineração; Meio Ambiente; Erosão de Margem Fluvial; Dinâmica Fluvial; Ações Antrópicas no Meio Ambiente.

### ABSTRACT

**Effect of fluvial dynamics and anthropological action on erosion of fluvial margins: The case of sand mining on the Jacuí river.** The sand mining in the Jacuí River bed, has been the main responsible for attendance of this mineral demand to civil construction of Rio Grande do Sul. Such activity has been responsible for the erosive processes observed, mainly, in the river banks. This paper presents information and technical considerations based on observations and field studies, and on dispatched laboratory experiments, regarding the anthropic factors and natural factors that influence the erosion of the Jacuí River banks. These observations are discussed in the light of scientific knowledge in order to provide a better understanding of the erosive processes in the river and to support the field studies and the conclusions presented. The work identified anthropic activities and natural processes that contribute to the erosion of the banks observed in the Jacuí River.

**Keywords:** Mining; Environment; River Bank Erosion; River Dynamics; Anthropogenic Actions in the Environment.

<sup>1</sup> Depto. Nacional de Produção Mineral, Superintendência do DNPM-RS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail para correspondência: [luiz.filho@dnpm.gov.br](mailto:luiz.filho@dnpm.gov.br)

<sup>2</sup> Depto. Nacional de Produção Mineral, Superintendência do DNPM-RS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail para correspondência: [telmo.quadros@dnpm.gov.br](mailto:telmo.quadros@dnpm.gov.br)

## INTRODUÇÃO

O rio Jacuí é o principal curso d'água do estado do Rio Grande do Sul, pois atravessa a Depressão Central do Estado de norte para sul, e após, de oeste para leste. Suas nascentes estão localizadas da região de Passo Fundo, norte do Estado do Rio Grande do Sul, e sua foz, no lago Guaíba, que banha a cidade de Porto Alegre. É um rio meandrante no seu curso médio e anastomosado no seu curso final. O processo de dinâmica fluvial do rio é constituído principalmente de três variáveis, intimamente relacionadas: as propriedades hidráulicas do canal, a quantidade de areia movimentada ao longo do leito e a taxa de erosão de margem. Essas três variáveis, constantemente, buscam alcançar um equilíbrio no seu conjunto. Rios deste tipo apresentam em sua dinâmica natural, mecanismos erosionais e deposicionais.

O atual impedimento da extração de areia no lago Guaíba, aliado ao constante crescimento da demanda deste produto no estado, têm gerado o aumento da atividade de extração de areia no rio Jacuí. Em adição, a má imagem associada à mineração com relação aos impactos ambientais, a desinformação em relação aos efeitos da dinâmica fluvial natural do rio Jacuí, o desconhecimento quanto aos demais fatores antrópicos que causam erosão no rio, a deficiente divulgação acerca dos conhecimentos técnicos existentes sobre a região e o sobre tema, e a reação natural (senso de ambientalismo) do ser humano frente á impactante imagem das erosões de margens, tem provocado um entendimento parcial, e muitas vezes equivocado, da população em relação ao ambiente do rio Jacuí e em relação ás verdadeiras causas das feições de degradação verificadas nas margens do rio. Um exemplo é a divulgação errônea que a extração de areia do rio Jacuí constitui a principal, senão única, atividade antrópica responsável pelo desaparecimento de "praias" (depósitos de barras em pontal), destruição de margens de "ilhas" (depósitos de barras em canal), sendo, também, responsável, pelas demais feições de degradação observadas nas margens do rio Jacuí.

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar considerações técnicas teóricas, acompanhadas das observações e constatações técnicas de campo, verificadas e coletadas pelos autores, ao longo de vários anos de estudo e de fiscalização da mineração de areia, efetuadas no rio Jacuí. Esse estudo procura trazer a tona, a visão técnica sobre a real situação ambiental ocorrente no rio.

### Erosão Fluvial e o Transporte de Sedimentos

Erosão fluvial é aquela erosão que ocorre nos cursos d'água e pode se processar através de escavações locais ou, geralmente, como erosão de leito e erosão de margem (Carvalho, 2008).

A erosão natural do leito de um rio é ocasionada pela ação da corrente, enquanto a erosão natural de margem pode ser gerada pela ação dos componentes dos vetores das linhas de corrente do rio, pela ação de ondas e ou pelo encharcamento do terreno marginal, provocando a variação de poro pressão e o desabamento da margem. Inicialmente, no primeiro estágio de um rio, este nasce em uma região de maior altitude, adquire velocidade (transformação de energia potencial em cinética) e escava terrenos acidentados. Recebe grande contribuição de sedimentos das rochas e dos solos erodidos nas escarpas íngremes. No segundo estágio de evolução do curso d'água, há uma velocidade menor em relação ao primeiro estágio. Ocorre o meandramento do rio, onde nas margens côncavas do rio ocorre erosão destas e nas margens convexas dá-se a deposição dos sedimentos erodidos. No terceiro estágio, o rio perde mais velocidade

e capacidade de transporte dos sedimentos, com sua deposição, na forma de barras em canal (“ilhas fluviais”), nas regiões centrais do rio. À medida que as águas fluem, as barras em canal vão sendo erodidas na sua parte montante e os sedimentos vão migrando para a parte jusante da barra, fazendo a “ilha” se deslocar para jusante do rio.

Para melhor entendimento da erosão e do transporte de sedimentos fluviais é importante tecer algumas considerações sobre a teoria física destes fenômenos e o seu equilíbrio.

#### *Teoria Física da Erosão*

As forças envolvidas em um sistema de erosão de margens são de dois tipos:

- a) forças de coesão das partículas dos solos às margens;
- b) forças de arrastamento ou forças cisalhantes provocadas pelo fluxo da corrente.

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad (1)$$

A equação abaixo (1) mostra as componentes que influenciam na força de arrastamento:

onde :

$\tau$  = Força de Arrastamento;

$\rho$  = Massa específica do fluido líquido;

$g$  = Aceleração da gravidade;

$h$  = Altura da lâmina do fluido líquido;

$I$  = Declividade do canal;

Se as forças de arrastamento forem maiores que as forças de coesão, espera-se a ocorrência do fenômeno da erosão da margem. Observando-se a equação acima, vemos que, normalmente, em um trecho de rio A-B, as variáveis, massa específica da água e aceleração da gravidade, são constantes, cabendo às variáveis, altura da lâmina d’água e declividade do canal, serem as responsáveis por indicar se haverá ou não o processo erosivo marginal.

#### *Equilíbrio de Transporte dos Sedimentos em um Rio*

O transporte de sedimentos em um rio é um fenômeno complexo que responde a duas funções principais. A primeira refere-se á quantidade, natureza e propriedades físicas dos materiais disponíveis para o transporte, e a segunda função refere-se á capacidade do sistema hidráulico para executar o transporte.

Essa complexidade dificulta a aplicação simples da teoria de mecânica dos fluidos. A presença de partículas e desvios no fluxo, resultante de ações antrópicas, como por exemplo, a implantação de canais de navegação, espigões, colunas de sustentação de pontes, e barragens, alteram o comportamento hidráulico do fluxo e afetam o equilíbrio de transporte de sedimentos.

De qualquer modo, o transporte de sedimentos em um rio obedece a três premissas básicas:

a) Segundo Carvalho (2008), o escoamento natural de um curso d'água que transporta sedimentos está normalmente em um estado de quase-equilíbrio, sem tendências a longo prazo para deposição ou degradação (erosão). Esse regime de equilíbrio pode ser expresso pela equação (2) a seguir:

$$Q_{sml} \times D = Q \times I \quad (2)$$

onde:

$Q_{sml}$  = descarga sólida do leito;  $D$  = diâmetro da partícula;

$Q$  = descarga líquida; e  $I$  = declividade do canal.

Se qualquer uma das variáveis for alterada, uma ou mais das outras sofrem automaticamente alterações para restaurar as condições de equilíbrio do curso d'água.

b) O rio procura buscar um equilíbrio de descarga sólida, ou seja, se a descarga sólida é grande (maior que a condição de equilíbrio) haverá agradação (deposição) de sedimentos, e se a descarga sólida é pequena (menor que a condição de equilíbrio) haverá degradação do leito e/ou das margens. O equilíbrio de descarga sólida entre um trecho longitudinal A – B de um rio é dada pela equação (3):

$$Q_{s_A} = Q_{s_B} \quad (3)$$

Substituindo  $Q_s$  por  $Q \cdot C_s$  e  $Q$  por  $A \cdot V$ , temos que  $Q_s = C_s \cdot A \cdot V$

onde

$C_s$  = Concentração de sólidos;  $Q$  = Vazão líquida;  $A$  = Área da seção transversal do rio;

$V$  = Velocidade da água.

logo:

$$C_{s_A} \cdot A_A \cdot V_A = C_{s_B} \cdot A_B \cdot V_B$$

então:

se:  $C_{s_A} > C_{s_B}$  e  $V_A = V_B$  logo  $A_A < A_B$  = Erosão no trecho A-B (fenômeno de *Hungry Waters* citado por Kondolf (1997))

se:  $C_{s_A} < C_{s_B}$  e  $V_A = V_B$  logo  $A_A > A_B$  = Deposição no trecho A-B

c) O rio transporta o sedimento de um local erodido (alta energia) para um local de sedimentação (baixa energia).

#### Fatores Antrópicos Contribuintes na Erosão de Margens do rio Jacuí

Em nosso estudo, observamos que a erosão das margens do rio Jacuí é resultado, entre outros fatores, da ação antrópica sobre o meio ambiente do rio. A instalação de obras civis ao longo do curso do rio tem influência importante e impactante na modificação do fluxo das águas e, conseqüentemente, influi na

erosão de margens em locais, anteriormente, naturalmente preservados desta ação. Uma vez que os fatores/agentes naturais que condicionam o acúmulo, transporte e erosão dos sedimentos em um rio sejam alterados/modificados por fatores/agentes antrópicos, a origem das feições e estruturas sedimentares poderá ser também alterada, resultando na formação de feições/estruturas distintas em locais, também, distintos daqueles esperados pelos processos naturais.

Podemos dizer que as ações antrópicas atuam no ambiente fluvial, na verdade, como aspectos ambientais, usando a definição das normas ISO 14.000. Intervenções, diretas ou indiretas, das atividades e serviços efetuados pela ação humana, sobre o meio ambiente, geram, por consequência, os impactos ambientais, que, de acordo com a Resolução CONAMA n° 1 de 23/01/1986, são quaisquer alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas.

A seguir apresentamos as principais ações antrópicas que constatamos no rio Jacuí, quando executamos os estudos e fiscalizações efetuadas para controle da mineração de areia.

#### *Barramentos e Eclusas*

Essas obras de arte influenciam a dinâmica fluvial detendo o fluxo de sedimentos ao longo do rio. Os barramentos detém o fluxo de sedimentos ao longo do rio, alteram as vazões e velocidades naturais do rio Jacuí, formam linhas de correntes preferenciais em seus vertedouros, e aumentam o nível das águas em função da implantação destas obras civis, gerando o alagamento de muitas áreas de mata ciliar e transformando alguns locais em “cemitérios” de árvores mortas, dificultando o acesso para banhistas, a navegação, a mineração e dando a falsa sensação, em muitos lugares, de que houve o desaparecimento de “praias” (depósitos de barras em pontal) fluviais. Um exemplo é a Eclusa de Amarópolis (Figuras 1 a 4), que iniciou sua construção no ano 1971 e terminou em dezembro de 1974. Esta eclusa, depois de pronta, gerou um desnível que fez subir o nível do rio em 4,6 metros, inundando grandes áreas a montante, inclusive antigas “praias” (depósitos de barras em pontal).



Figura 1. Eclusa de Amarópolis. Fonte: Google Earth. Imagem de 04/12/2009.



Figura 2. Local a montante da Eclusa de Amarópolis antes de sua implantação com a presença de barras em pontal (feições brancas próximo às margens curvas). Foto de 16/11/1964.

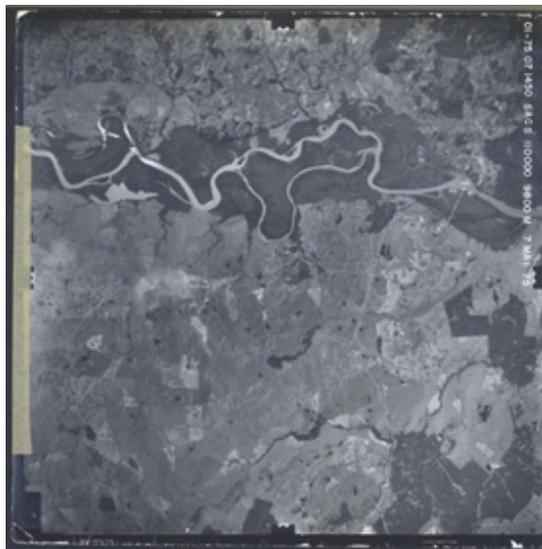


Figura 3. Local a montante da Eclusa de Amarópolis após sua implantação, com muitas barras em pontal submersas em decorrência da elevação do nível do rio. Foto de 07/05/1975 .

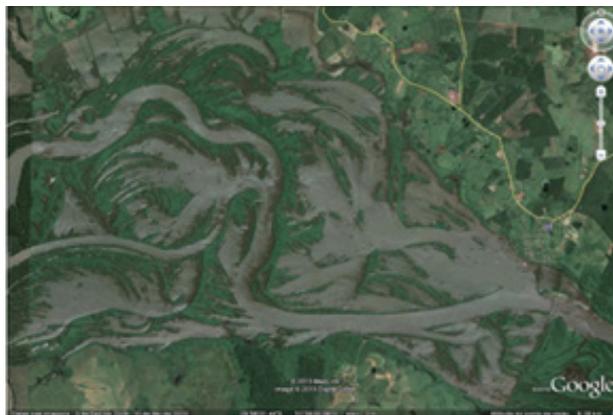


Figura 4. Detalhe de setor a montante da Eclusa de Amarópolis, mostrando a área de inundação gerada pela implantação da mesma. Fonte: Google Earth. Imagem de 04/12/2009.

*Mineração de Areia*

O rio Jacuí constitui a principal fonte de areia da região metropolitana de Porto Alegre. A extração mineral de areia realizada no rio é a principal responsável pelo fornecimento deste insumo da construção civil nesta região do estado do Rio Grande do Sul. A areia retirada do rio possui características granulométricas e minerais, únicas para uso na construção civil.

A extração da areia é executada pelas mineradoras com o uso de dragas de alcatruz (Figura 5), ou barcos com bombas acopladas denominadas dragas de sucção (Figura 6).

A atividade pode influenciar no processo erosivo da margem de três formas:

- a) pelo déficit de sedimento no rio causado por sua retirada durante atividade de mineração;
- b) pelo aprofundamento do canal, que provoca o deslocamento para uma maior profundidade do ponto de erosão de talude, devido a mudança do ponto de incidência da velocidade máxima da corrente;
- c) pela atividade de mineração ocorrente no leito do rio no sopé do talude marginal, causando o solapamento das margens (Figura 7), ação atualmente controlada pela ação de fiscalização da mineração e pelo programa de controle das dragas por sistema GPS com cerca eletrônica.



Figura 5. Draga de alcatruz em carregamento de barco tipo “chata”.



Figura 6. Draga de sucção autopropulsada em atividade de exploração de areia.

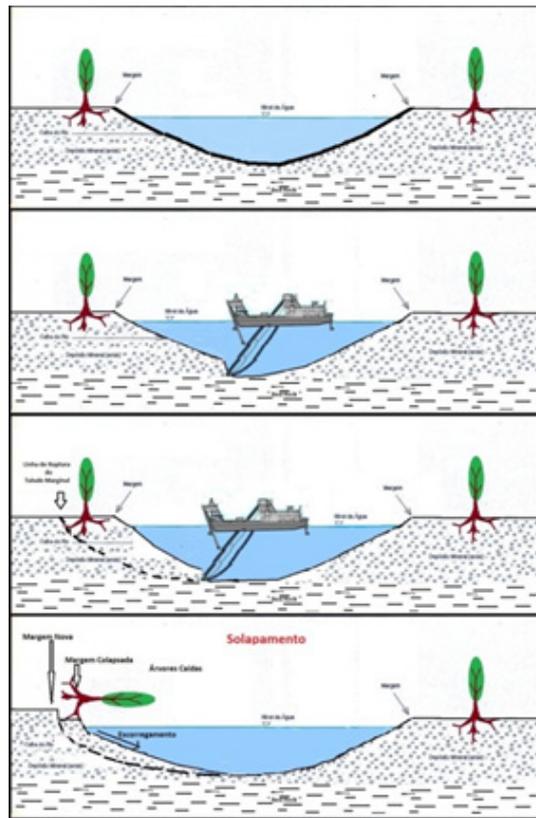


Figura 7. Diagrama mostrando o efeito de solapamento de margem que pode ocorrer quando da exploração de areia próximo à margem fluvial.

#### *Direcionadores ou Defletores de Fluxo (Espigões) e Canais de Navegação Construídos em Rocha*

Essas estruturas artificiais desviam o fluxo natural do rio, redirecionando-o, causando, assim, a erosão e a deposição de sedimentos em pontos distintos ao que naturalmente ocorreria. Normalmente são construídas em rochas empilhadas, gabiões preenchidos com rochas, concreto ou *geocontainers*, que desviam o fluxo do rio e o afastam de uma margem ou de uma estrutura que precisa ser protegida do fluxo d'água (um pilar importante de uma ponte, por exemplo). O defletor de fluxo é uma estrutura que pode avançar de forma perpendicular no curso d'água e desviar seu fluxo para o centro deste. Com o desvio do fluxo para o meio do rio, concentrando as linhas de corrente no centro do canal, há, também, um aprofundamento deste canal por erosão forçada junto ao fundo devido ao aumento de velocidade.

No rio Jacuí, à jusante da barragem de Amarópolis, há espigões instalados (Figura 8): a) no canal norte da barra em canal denominada ilha das Cabras, b) na foz do rio Taquari, junto ao canal norte do rio Jacuí (esse espigão tem, possivelmente, contribuído com a erosão de fundo na foz do rio Taquari com o rio Jacuí - profundidades superiores a 16 metros), c) a montante da barra em canal denominada ilha das Flores (esse espigão tem intensificado, antropicamente, a erosão natural do setor montante da ilha das Flores, Figura 9), d) espigão localizado a jusante da ilha das Flores.

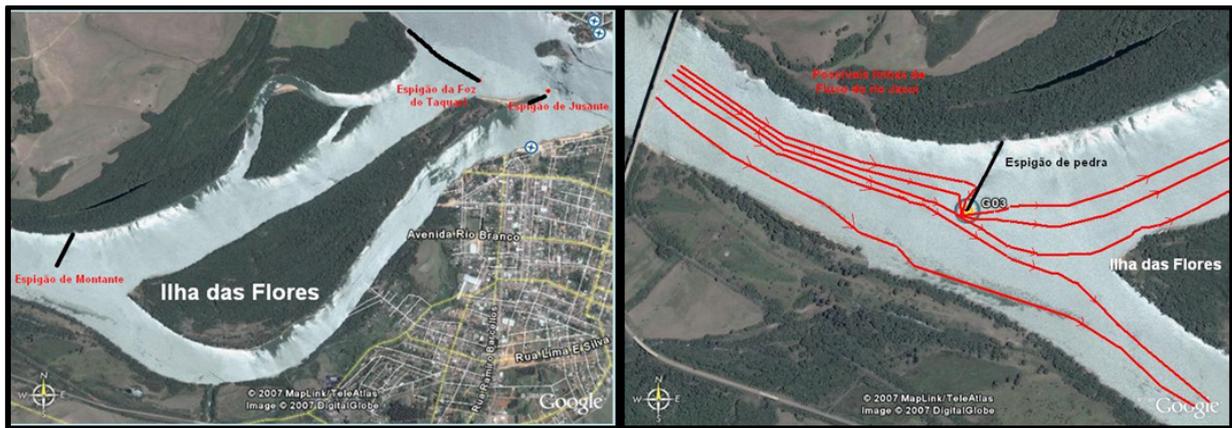


Figura 8. Espigões instalados junto à barra, em canal denominado ilha das Flores, e modificação das direções de fluxo causada por espigão implantado a montante da ilha. Imagens de 09/01/2006.



Figura 9. Processo erosional de barra em canal, potencializado pelo defletor de corrente implantado a montante da barra. Ponta montante da ilha das Flores – São Jerônimo/RS.

### *Muros e Contenção Artificial de Margens*

Essas barreiras artificiais desviam o fluxo natural do rio, redirecionando-o artificialmente, e causando erosão e deposição em pontos distintos ao que naturalmente ocorreria. Um exemplo disso é a construção da obra de contenção formada por um colchão de argamassa erguido na margem montante da ilha das Cabras (Figura 10) para “pretensa” proteção, de torres de alta tensão de energia elétrica, da atividade erosiva do rio, uma vez que, setores de montante de barras em canal são, naturalmente, afetados erosivamente pelos fluxos fluviais. Essa obra foi, inclusive, usada erroneamente por órgãos da imprensa, como exemplo de obra construída para proteção das torres contra a atividade de mineração. Porém, quando o colchão foi construído, não havia mineração intensiva na região. Importante observar que esta obra civil pode estar desviando a atividade erosional mais para jusante da barra em canal, causando o “estrangulamento” da barra junto e atrás das torres, pondo a integridade das fundações destas em risco.



Figura 10. Colchão de argamassa construído na margem montante (erosiva) da barra em canal denominada ilha das Cabras.

### *Pilares de Pontes*

Pilares de pontes constituem obstáculos artificiais que desviam o fluxo das correntes fluviais. Esses obstáculos criam vórtices de correntes em seu entorno, potencializando o efeito de escavação no leito, junto aos pilares. Provocam a alteração da carga de sedimentos entre a sua parte montante e a jusante, produzindo uma área de erosão e outra de deposição que não existiria se a estrutura não estivesse no local (Figura 11).

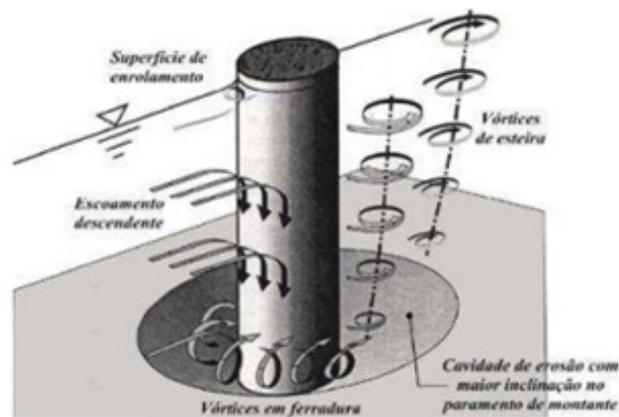


Figura 11. Desenho esquemático mostrando o escoamento e as trajetórias do fluxo fluvial na proximidade de um pilar (Brito *et al.*, 2001).

### *Margens sem Vegetação Ciliar*

Em grandes trechos do rio Jacuí, as margens das propriedades lindeiras ao Jacuí encontram-se desprovidas de mata ciliar (Figura 12), devido à atividade de pecuária ou ao plantio de culturas. A ausência de mata ciliar nas margens facilita a erosão das mesmas, principalmente em épocas de cheias. A ausência do sistema radicular da cobertura vegetal proporciona uma menor força de coesão e menor resistência ao cisalhamento, fragilizando o perfil transversal e a declividade dos taludes.



Figura 12 – Exemplos de trechos das margens do rio Jacuí desprovidas de mata ciliar.

#### *Pisoteio das Margens pelo Gado*

A ausência de vegetação ciliar facilita o acesso às margens pelo gado, que destrói os taludes pelo pisoteio e desestrutura as mesmas (Figura 13).



Figura 13. Pisoteio do gado nas margens do rio Jacuí, causando a desestruturação dos taludes.

#### *Ondulações Causadas pela Navegação*

O efeito das esteiras de ondas e dos turbilhonamentos gerados pelas embarcações, atuam no sentido do solapamento da base dos taludes e da consequente desestabilização das margens.

#### *Fatores Naturais Contribuintes na Erosão de Margens do rio Jacuí*

Neste item, são apresentados os fatores naturais que foram detectados neste estudo e que influenciam na erosão de margens do rio Jacuí.

#### *Dinâmica Fluvial do rio Jacuí*

O processo de dinâmica fluvial é constituído principalmente de três variáveis, intimamente relacionadas: as propriedades hidráulicas do canal, a quantidade de sedimentos movimentados ao longo do leito e a taxa de erosão de margem. Estas três variáveis, constantemente, buscam alcançar um equilíbrio no seu conjunto. Rios desse tipo apresentam em sua dinâmica natural, mecanismos erosionais e deposicionais.

Nesta dinâmica fluvial, o Baixo Jacuí enquadra-se como um rio meandrante (à montante da represa de Amarópolis) e anastomosado (à jusante da represa de Amarópolis).

a) Região meandrante do rio Jacuí

Na região meandrante do rio (Figura 14), os processos erosionais são mais atuantes nas margens côncavas dos meandros, cujo aprofundamento de leito forma as denominadas “piscinas”, enquanto os processos deposicionais ocorrem mais fortemente nas margens convexas do rio, formando os denominados depósitos de barra em pontal (Figura 15).

Dias (2000) explica que, como a velocidade do fluxo fluvial é maior na parte externa do que na parte interna do meandro, estes apresentam tendência nítida e constante para serem erodidos na margem externa, e para se depositarem sedimentos na margem oposta, o que conduz ao pronunciamento do meandro. Por esta razão, o curso fluvial tem tendência permanente para se deslocar na direção da margem côncava do meandro. Por vezes, o meandro atinge, praticamente, os 360°. Assim a corrente fluvial para de utilizá-lo, passando a fluir pela via mais direta e fácil. O meandro acaba, conseqüentemente, por ficar inativo (meandro abandonado em forma de U).

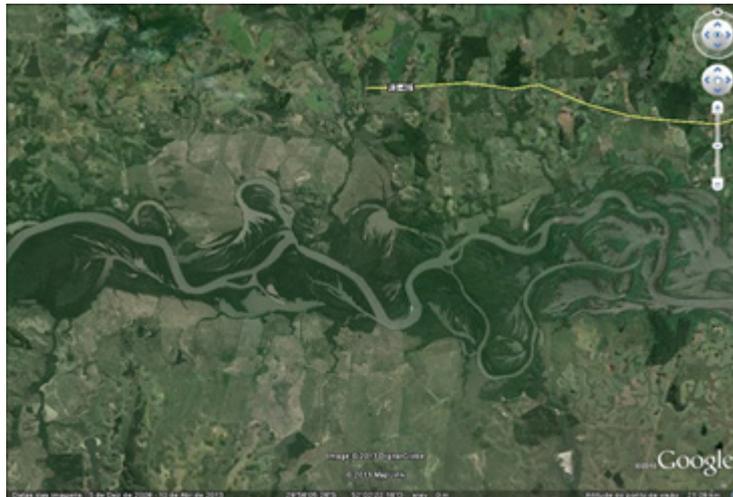


Figura 14. Setor com curso meandrante do rio Jacuí. Fonte: Google Earth. Imagem de 10/04/2013.

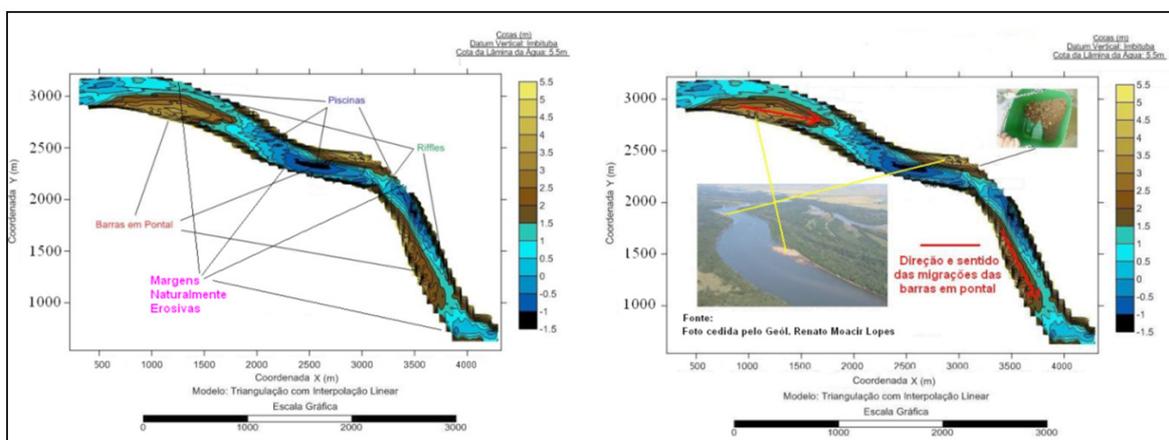


Figura 15. Mapa batimétrico de setor meandrante do rio Jacuí, para verificação de denúncia de desaparecimento de praias realizado em 2011. Praias (barras em pontal) podem ser observadas, embora submersas, por evento de cheia.

b) Região anastomosada do rio Jacuí

A configuração das margens desse setor é mais retilínea, mas ainda mostra feições de erosão nas margens côncavas e deposição nas margens convexas. Por outro lado, a dinâmica fluvial é mais intensa na formação de depósitos de barra em canal (“ilhas fluviais”). Esses depósitos apresentam, naturalmente, feições erosionais em seus setores montante e lateral, e apresentam feições deposicionais em suas porções a jusante, causando a lenta migração destas barras em direção à foz do rio. No setor anastomosado do rio Jacuí (Figuras 16 e 17) as “ilhas fluviais” migram de montante do rio em direção ao Parque Delta do Jacuí.



Figura 16. Setor anastomosado do rio Jacuí. Fonte: Google Earth, Imagem de 05/12/2011.



Figura 17. Imagens mostrando o aumento longitudinal da barra em canal denominada ilha das Cabras ao longo do tempo com também acreção lateral da barra. Fonte: Google Earth. Imagens dos anos de 2003, 2009 e 2014, respectivamente.

*Direcionadores Naturais do rio Jacuí*

O direcionamento do fluxo no sentido das margens sedimentares, causado por afloramentos rochosos no rio, como por exemplo, o “Poço das Piavas” (Figura 18), em Vale Verde (arenito do Grupo Rosário do Sul), a ilha rochosa na confluência do rio Taquari com o Jacuí em Triunfo, e o canal rochoso junto a ilha das Flores em São Jerônimo (rochas granitoides do Batólito Pelotas), entre outros, intensifica a erosão das margens sedimentares, e também promove a variação da velocidade de fluxo.



Figura 18. Afloramento rochoso no rio Jacuí.

#### *Fenômeno de Terras Caídas*

É o fenômeno natural de erosão de taludes que ocorre na sua base devido ao aumento de poro pressão, ocasionado pelo aumento da pressão hidrostática decorrente da elevação do nível do rio. Tal variação do nível do rio ocorre em função de eventos de excesso de pluviosidade na bacia, por eventos de abertura das barragens e eclusas, ou simplesmente por ondas formadas pelas embarcações, conforme mostra o experimento realizado pelo DNPM, demonstrado nas figuras 19 e 20.



Figura 19. Experimento realizado pelo DNPM utilizando a areia do rio Jacuí, simulando o efeito do aumento do nível da água sobre a margem do rio.



Figura 20. Erosão no sopé do talude e formação de pequena praia, constatada por observação visual e/ou por batimetria, imediatamente abaixo do talude, indicando que não houve solapamento das margens por atividade de mineração e sim um fenômeno natural de erosão ocasionado por variação do nível da água.

*Arraste do Solo e Vegetação Ciliar por Aumento da Velocidade do Fluxo da Corrente*

O aumento das velocidades de fluxo de corrente, em épocas de cheia, para valores superiores à velocidade de arraste das partículas de solo, causa o arraste tangencial do material das margens e desestabiliza a vegetação ciliar (Figura 21).



Figura 21. Estrutura erosiva tangencial ao talude marginal, indicando ocorrência de elevada velocidade de fluxo de corrente, bem como a ocorrência de árvores caídas na direção do fluxo (raízes voltadas para a montante e sobre a margem, e copas voltadas para jusante).

*Retro-Erosão (Piping)*

O fenômeno de *piping* nas margens ocorre onde o escoamento das águas se faz por caminhos preferenciais provocando a erosão progressiva retrógrada nos contatos entre as camadas de areia e de sedimentos finos (silte e/ou argila), produzindo a desestabilização das margens e a formação de bancadas nas mesmas (Figura 22).



Figura 22. Ocorrência de níveis argilosos nas margens, intercalados com camadas arenosas, favorecendo o fenômeno de *piping*, aliado à erosão tangencial, causada pela curva de distribuição típica de velocidade de um canal aberto, resultando no aparecimento de margens dispostas em bancadas.

*Variações das Descargas Sedimentares e das Descargas Líquidas dos Afluentes do rio Jacuí*

Afluentes de alta declividade, alta vazão e/ou baixa concentração de sólidos promovem o aprofundamento natural da margem e/ou do leito do canal a jusante da confluência destes afluentes com o rio Jacuí. O contrário também é verdadeiro. O trecho do rio Jacuí situado a montante da confluência com o rio Vacacaí, por exemplo, por apresentar maior velocidade de fluxo que o seu afluente, apresenta um efeito de pouca deposição sedimentar no seu trecho a jusante da confluência dos dois rios. O rio Taquari, por

apresentar alta velocidade de descarga líquida e por apresentar estruturas rígidas nas margens, provoca um efeito de escavação no leito quando deságua no Jacuí.

### CONCLUSÕES

Com base na conceituação teórica, nas feições sedimentares e nas estruturas (naturais ou antropogênicas) observadas, em campo, no rio Jacuí, conclui-se que os processos que atuam na evolução deste rio, são bastante dinâmicos, complexos, e determinados por uma série de variáveis naturais e antrópicas. As principais variáveis antrópicas potencialmente causadoras de erosão de margem no rio Jacuí observadas em campo, são os barramentos, as eclusas, a mineração de areia, os defletores artificiais de fluxo, os canais escavados em rocha, a contenção artificial de margens, os pilares de pontes, o desmatamento de mata ciliar, o pisoteio de gado e a navegação. As principais causas naturais de erosão de margem observadas no rio Jacuí são a quantidade e a natureza da descarga, a quantidade e o tipo de carga sedimentar, a dinâmica fluvial do rio, os direcionadores naturais de fluxo, o fenômeno de “terras caídas”, o aumento da velocidade de fluxo, a retroerosão, e a variação de carga sólida que ocorre em função da entrada do fluxo dos rios afluentes no rio Jacuí.

O rio Jacuí é um corpo hídrico com diversas peculiaridades, no qual inúmeros fatores influenciam em seus processos erosivos e a ação antrópica, certamente, não é a **única responsável por** esses processos. A mineração de areia é fator atuante na pressão antrópica sobre o rio, mas há vários outros fatores influentes, inclusive de maior expressão no processo erosivo de margens.

A quantificação das pressões naturais e antrópicas que atuam sobre o rio Jacuí, dependem de estudos mais aprofundados. Há a **necessidade** premente da execução de um zoneamento ambiental e econômico em consonância com o plano de gerenciamento de bacia hidrográfica do rio para que se possa planejar, controlar e, se for o caso, até mesmo desativar todas as atividades antrópicas nele estabelecidas.

### REFERÊNCIAS

- BRITO, L.; PÊGO, J. P.; MAIA, R. 2011. **Estudo experimental de erosões localizadas junto de pilares complexos**. In: 6<sup>AS</sup> JORNADAS DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE. FEUP, 2011, Porto, Portugal. p. 145–153.
- CARVALHO, N. O. 2008. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 599p.
- DIAS, J. A. 2000. Geologia ambiental: cheias - sistemas fluviais. Disponível em: <[http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA3\\_cheias/index3.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA3_cheias/index3.html)>. Acesso em: 10 de janeiro, 2016.
- DNIT. 2011. Eclusa de Amarópolis - RS. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/hidroviarias/obras-da-diretoria-aquaviaria/eclusas/eclusa-de-amaropolis-rs>> Acesso em: 12 de julho, 2016.
- KONDOLF, M. G. 1997. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. **Environmental Management**, 21 (4) 533-551.