

Vulnerabilidade do dique costeiro na área continental do Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay

Sosa, B. (UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA) ; Rodriguez, F. (UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA) ; Feo, Y. (UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA) ; Fernandez, G. (UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA)

RESUMO

Os sistemas ribeirinhos são ecossistemas altamente vulneráveis em todo o mundo. As alterações no regime fluvial de origem antrópica constituem suas principais ameaças. A importância da estrutura geomorfológica sedimentar da barragem está condicionada pela dinâmica dos processos fluviais de deposição-erosão e vegetação associada. Sua geomorfologia desempenha um papel importante no sistema de drenagem do pantanal para o rio e do rio para o pantanal, proteção do pantanal contra eventos de inundação e contribuições provenientes principalmente do rio Uruguay. Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o processo erosivo da barragem do rio no PNEF. Neste sentido, descreve-se o regime de deposição de erosão para o período 1966-2017, caracteriza-se o padrão erosão-deposição atual e estuda-se a dinâmica temporal da variação do nível do rio.

PALAVRAS CHAVES

erosão do rio; Río Uruguay; série temporal; Vulnerabilidade; barragem

ABSTRACT

Os sistemas ribeirinhos são ecossistemas altamente vulneráveis em todo o mundo (Davidson, 2014). As alterações no regime fluvial de origem antrópica constituem suas principais ameaças (EEM, 2005). A importância da estrutura geomorfológica sedimentar da barragem está condicionada pela dinâmica dos processos fluviais de deposição-erosão e vegetação associada. Sua geomorfologia desempenha um papel importante no sistema de drenagem do pantanal para o rio e do rio para o pantanal, proteção do pantanal contra eventos de inundação e contribuições provenientes principalmente do rio Uruguay. Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o processo erosivo da barragem do rio no PNEF. Neste sentido, descreve-se o regime de deposição de erosão para o período 1966-2017, caracteriza-se o padrão erosão-deposição atual e estuda-se a dinâmica temporal da variação do nível do rio.

INTRODUÇÃO

No Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay (PNEF) foram identificados processos erosivos de intensidade significativa, e esses sistemas ribeirinhos estão entre os ecossistemas mais vulneráveis do mundo (Davidson, 2014). Neste enquadramento, destaca-se a importância da estrutura geomorfológica sedimentar da barragem, condicionada pela dinâmica dos processos de deposição-erosão fluviais e vegetação associada. Esta geoforma cumpre a função de contenção nos processos de dinâmica fluvial dada a sua condição de ecótono entre o sistema fluvial e as zonas húmidas da planície de inundação. A integridade biofísica do dique mantém a estabilidade interna de resiliência e produtividade do pantanal. Sua geomorfologia desempenha um papel importante no sistema de drenagem do pantanal para o rio e do rio para o pantanal, proteção do pantanal contra eventos de inundação e contribuições provenientes principalmente do rio Uruguay. Está intimamente relacionado com a mata ciliar associada (mata ciliar) que constitui um importante corredor biológico para a flora e fauna das áreas circundantes (DINAMA, 2008). A cobertura vegetal contribui para a contenção do talude de composição edáfica de sedimentos inconsolidados arenosos e arenosos-siltosos sujeitos a processos erosivos e redepositivos permanentemente devido à dinâmica fluvial e dinâmica diferencial por apresentar descontinuidade sistêmica da vegetação. Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o processo erosivo da barragem do rio no PNEF. Neste sentido, descreve-se o regime de deposição de erosão durante o período 1966-2017, caracteriza-se o padrão erosão-deposição atual e estuda-se a dinâmica temporal da variação do nível do rio.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Caracterização do regime deposição-erosão. A caracterização do regime de deposição-erosão foi realizada contrastando o padrão de deposição-erosão através do voo fotográfico aéreo de 1966 com imagens atuais de satélite. Imagens comparáveis foram selecionadas em relação ao nível do rio. Os pontos selecionados foram localizados no plano urbano nas cidades de San Javier e Nuevo Berlin, pois são áreas de maior estabilidade e, portanto, as diferenças visualizadas estariam ligadas a variações no nível do rio. Após fazer a comparação acima, foi selecionada a imagem SENTINEL de janeiro de 2017 com resolução de 0,5m. As áreas de erosão foram identificadas pela sobreposição da imagem de 2017 sobre a foto aérea; alternativamente, as áreas de deposição foram visualizadas sobrepondo a foto aérea na imagem de 2017. Essa análise foi realizada usando uma escala fixa de 1:2.500 na tela. Os trechos de erosão e deposição assim identificados foram digitalizados, elaborando-se a cartografia da erosão-deposição na zona costeira. Para medir essa distância, um total de 45 transectos foram dispostos a cada 500 metros na imagem de satélite e o comprimento de cada um deles foi medido. A relação entre o estado do dique e a largura do canal foi analisada por meio de curvas de regressão logística onde o estado do dique foi a variável dependente e a largura do canal a variável independente. As análises espaciais foram realizadas com o software gratuito QGIS v 3.16; as curvas de regressão foram realizadas no programa SPSS v23. 2- Dinâmica temporal do nível do rio para San Javier. Para analisar a variação do nível do rio na cidade de San Javier, foram utilizadas séries temporais, pois esta técnica permite detectar e modelar a dinâmica temporal desta variável. Os dados analisados constituem dados horários levantados pela Prefeitura Naval Nacional. A análise realizada constou de quatro etapas; exploração da qualidade dos dados. Identificação de tendências e/ou sazonalidade, ajustamento das séries temporais a um modelo matemático e identificação de grupos de anos com dinâmicas semelhantes. Ajuste a um modelo matemático: foram testados modelos do tipo ARIMA, ARMA-GARCH e GARCH. Em todos os casos, foi escolhido o modelo que apresentou o Critério de Informação de Akaike (AIC) com os menores valores, que também atendeu aos pressupostos de variância com erros não autocorrelacionados, normalidade e ruído branco, e que os coeficientes estimados foram estatisticamente significativo a 5%. Identificação de grupos de anos com dinâmicas semelhantes. Para detectar grupos de anos em que a dinâmica anual (incluindo estrutura e dinâmica das séries) teria uma similaridade estrutural em termos estatísticos, implementou-se a análise aglomerativa hierárquica de agrupamentos utilizando a distância DWT (distance time warping). Todas as análises foram realizadas no software livre R. 3- Caracterização da evolução do processo erosivo. Através de trabalhos de campo, foram levantados um total de 120 pontos na zona costeira, registrando as suas principais características em relação aos processos de erosão-deposição e tipo de vegetação. Com base nesta informação, foram identificadas quatro grandes tipologias: (T1) Recuo com árvores sem *Gleditsia triacanthos* ao longo da linha de costa; (T2) Retiro com praia sem vegetação com *G. triacanthos* ao longo da orla. (T3) Retiro com praia sem vegetação sem *G. triacanthos* na orla costeira e (T4). Nenhum recuo ativo com praia, grama e/ou arbustos. Essas tipologias foram mapeadas na área de estudo, o que permitiu o zoneamento da área de estudo em relação à sua vulnerabilidade a processos invasores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do regime de deposição-erosão A área de erosão foi de 143.711 m² e a área de deposição foi de 163.913 m². A superfície total depositada excede a superfície erodida em 20.000 m²; esta diferença está associada à área de deposição na zona do espeto. Em relação ao padrão de deposição-erosão, foram identificadas cinco zonas (Fig.1): Na zona 1, que se estende desde Puerto Viejo até o limite norte da área protegida, alternam-se áreas de erosão e deposição. A Zona 2 abrange o trecho compreendido entre Puerto Viejo e a foz do arroio Farrapos; É constituída principalmente por áreas com processos erosivos. Na zona 3 predominam os processos deposicionais, que se estendem desde a foz do Arroio Farrapos até a metade norte da Ilha Colón Grande. A Zona 4, que se estende desde a metade sul da Ilha de Colón Grande, caracteriza-se pela presença de processos erosivos. Na zona 5, que se estende até à foz da ribeira Román, identificam-se áreas de erosão e deposição, mas com predominância de áreas de deposição. O modelo de regressão logística explicou 45% da variação da condição do dique e classificou corretamente 76% do total de casos. Dinâmica do nível do rio para a cidade de San Javier O arquivo de San Javier contém 4.343 medições por hora, não há registros para um período de 3 anos, o que dificulta a

aproximação estatística. Portanto, esta série foi dividida em dois períodos; 2005-2013 e 2016-2022. No período 2005-2013, a medição do nível de água no primeiro quartil foi de 1,2291, a mediana 1,6581, a média 1,8632, o terceiro quartil 2,3317 e a máxima 6,9379. O desvio padrão foi de 0,8856. Os dados apresentam uma distribuição assimétrica com uma cauda pesada à direita e a maior concentração de medições está aproximadamente entre 0,2 e 2,33. Os testes estatísticos não mostram a existência latente de uma tendência marcada com um ângulo crescente ou decrescente. A dinâmica oscila em torno de um valor constante (1,88 m). Aproximadamente a cada dois anos, uma baixa nas medições foi testemunhada, seguida por um pico a cada 3 anos. No período 2016-2022, a medição do nível de água no primeiro quartil foi de 1.317, a mediana 1.827 (48% superior ao período analisado na seção anterior), a média 2.024 (8% a mais que a média do período anterior), terceiro quartil 2.392 e o máximo 6.095. O desvio padrão foi de 1,077, ou seja, houve mais dispersão neste período do que no anterior. À semelhança do período analisado anteriormente, a distribuição dos níveis dos rios apresenta uma cauda pesada à direita e assimétrica. Comparando o modelo estimado para o último período com o processo estocástico obtido para o período de 2005 a 2013, detecta-se que eles têm o mesmo sinal para os coeficientes que acompanham as defasagens 1,2,3,4 e 5 e seus estimadores relativamente semelhantes, no entanto, o processo 2005-2013 oscila em torno de uma constante (1,88), enquanto na série 2016-2020 a tendência é decrescente. Identificação de grupos de anos com dinâmicas semelhantes Ao comparar as séries temporais dos 14 anos analisados de julho a julho, observa-se que há alguns anos que compartilham a mesma dinâmica. O dendrograma obtido a partir do algoritmo hierarchical cluster confirma esta observação, detectando três grupos principais de similaridade entre as dinâmicas anuais. O primeiro grupo consolidado corresponde às séries de julho a julho dos anos 2007-2008, 2010-2011 e 2019-2020, que apresentou maior volatilidade do nível da água para os meses de agosto a novembro, e comportamento de dezembro a julho, manteve um nível médio inferior ao dos meses atrás referidos (média agosto-novembro 2,07 vs. média dezembro-julho 1,50). O cluster formado pelas séries de julho a julho dos anos 2006-2007 e 2012-2013 apresentou, em geral, tendência crescente ao longo do ano. O último cluster abrange os últimos quatro anos consecutivos, verificando-se uma evolução semelhante no ano, com três picos notáveis correspondentes aos meses de setembro, novembro e trimestre maio-julho. De referir que as séries correspondentes aos anos 2008-2009; 2011-2012 e 2005-2006 não foram agrupados, indicando que esses anos apresentaram dinâmica própria. Caracterização do avanço do processo erosivo. Os resultados do trabalho de campo permitiram identificar quatro grandes tipologias em relação aos processos de deposição-erosão: (T1) Recuo com árvores sem *Gleditsia triacanthos* na linha de costa; (T2) Retiro com praia sem vegetação com *G. triacanthos* ao longo da orla. (T3) Retiro com praia sem vegetação sem *G. triacanthos* na orla costeira e (T4). Sem recuo activo com praia, relva e/ou arbustos Estas categorias diferenciam-se numa primeira instância pelas estruturas geomorfológicas, identificando áreas em que se observa a barragem com processos erosivos e áreas em que se observa a barragem com processos erosivos e também o formação de uma praia arenosa. A presença dessas duas estruturas geomorfológicas indica a alternância entre processos de erosão e deposição; o desenvolvimento de um ou outro processo dependerá do nível do rio. Para os níveis do rio em torno dos valores médios, os processos erosivos irão predominar sobre a estrutura do dique. Alternativamente, quando o nível do rio baixar, predominarão os processos de deposição que contribuem para a formação e consolidação dessas praias arenosas. A dinâmica desses processos é expressa pela cobertura vegetal, aquelas áreas com maior cobertura vegetal indicam a presença de maior estabilidade, gerando as janelas temporárias necessárias para que a vegetação se estabeleça e se desenvolva. Por isso, neste trabalho considerou-se que a visualização dessas unidades indica estabilização, para que não se desenvolvam processos erosivos ativos. Deve-se notar, no entanto, que eventos de inundação de alta energia podem desencadear processos erosivos nessas áreas. Para o nível do rio de 0,8 m, as tipologias identificadas apresentaram um padrão de ocorrência semelhante. É importante notar que a presença de *G. triacanthos* no litoral foi identificada em áreas onde é visível o recuo do dique e a formação de praias, estrutura amplamente estendida na área de estudo. Esses resultados indicam que, na escala do ecossistema, esse processo invasivo não afeta o padrão espacial de erosão-deposição. No padrão espacial foi possível identificar 12 zonas (Fig. 2). Zona A; A zona de maior estabilidade (T4) constitui o troço de 3,8 km a sul. Zona B; o dique também associado à formação de praias sem *Gleditsia triacanthos* (T3) trecho de 1,2 km. Zona C; Com uma extensão de 2,1 km,

predominam processos de recuo e formação de praia com a presença de *G. triacanthos* (T2). A invasão na linha de costa é consistente por corresponder à área de invasão consolidada. Zona D; tem 0,7 km de extensão com recuo da barragem sem formação de praias (T1). Zona E; Troço de 1,1 km em que não se identificam processos de recuos da barragem (T4). Zona F; O recuo da barragem (sem formação de praias) (T1) continua por 1,6 km. Zona G; Tem uma extensão de 1,3 km, dominada pelo recuo da barragem sem *G. triacanthos* (T1). Zona H; No trecho de 1,9 km, predomina o recuo da barragem com formação de praias sem *G. triacanthos* (T3). Zona I; Troço de 0,7 km pelo recuo da barragem (T1). Zona J; Trecho de 2,7 km com recuo de barragem e formação de praia sem *G. triacanthos*. Zona K; Trata-se de um troço de 0,8 km em que não se identifica nenhum recuo ativo (T4). Zona L; representa o último troço, mede 1,5 km e termina na foz da ribeira Román, predominam processos de recuo sem formação de praia (T1).

Figura 1

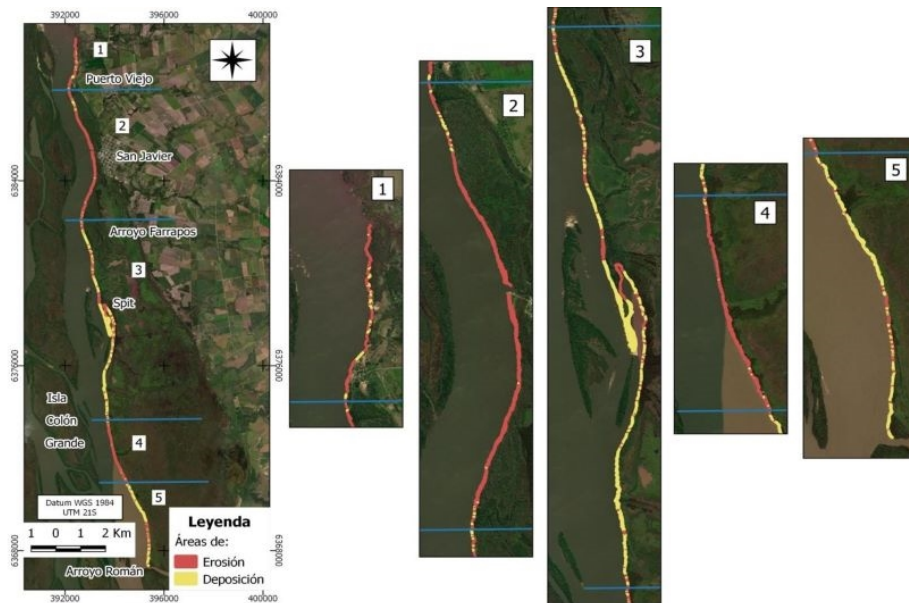


Fig. 1 Padrão de erosão-deposição. Vermelho. Áreas de erosão. Amarelo. Áreas de deposição de erosão.

Fig. 1 Padrão de erosão-deposição. Vermelho. Áreas de erosão. Amarelo. Áreas de deposição

Figura 2

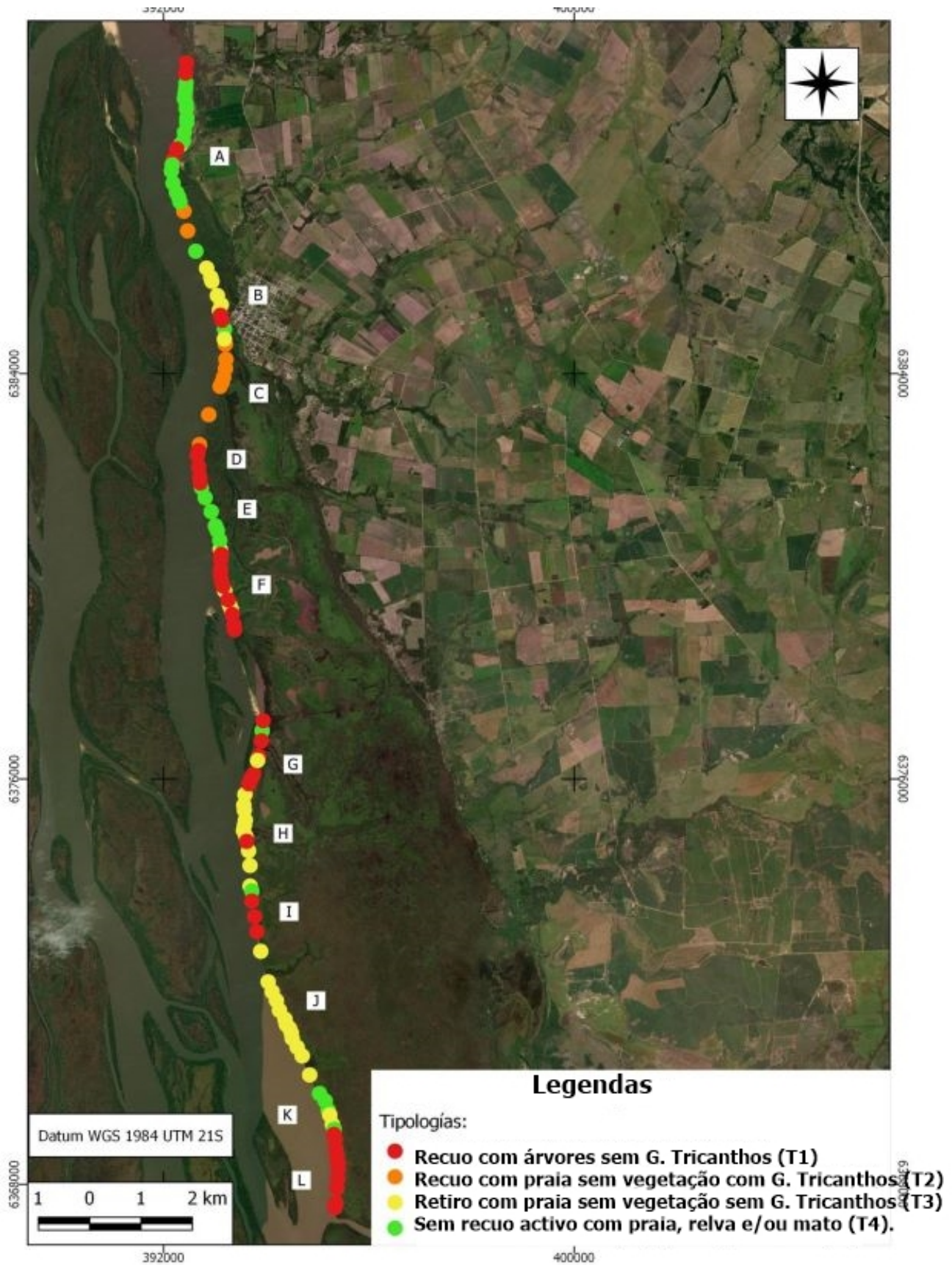


Fig.2 Padrão de distribuição das tipologias identificadas para um nível de rio de 0,8m.

Fig.2 Padrão de distribuição das tipologias identificadas para um nível de rio de 0,8m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos matemáticos que descrevem as variações do nível do rio na área de estudo não diferem significativamente em relação ao número de variáveis ou aos valores de seus coeficientes. Esses resultados indicam que durante o período analisado as variações do nível do rio seriam mediadas pelos mesmos fatores. No entanto, deve-se notar que durante o último período analisado 2016-2022 o nível médio do rio aumenta ligeiramente; no entanto, apesar deste aumento, detecta-se uma tendência de queda do nível do rio. Estes resultados são explicados por uma maior ocorrência de eventos com níveis elevados dos rios que compensam os baixos valores registados principalmente nos últimos três anos. Este contexto gera incerteza em relação à dinâmica do dique; a tendência à ocorrência de baixos níveis dos rios facilitaria a sucessão ecológica nas áreas expostas, contribuindo para reduzir os processos erosivos, porém a ocorrência de eventos com altos níveis dos rios aumenta o poder erosivo do canal. A capacidade de colonização da vegetação da área e a ocorrência e magnitude de eventos extremos são fatores determinantes da dinâmica hidrogeomorfológica deste sistema. Nesse sentido, os resultados desse trabalho indicam que esse sistema fluvial é modulado por eventos extremos, onde os processos controlam as formas durante eventos de grande escala.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da equipe técnica do Parque Nacional Esteros de Farrapos. Gabriela Bentancour, Fabricio Mendieta, Ricardo Merni, Gabriel Pineda, Angel Rosano e Graciela Viera

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Cayssials R., F. Pérez Miles, R. Maneyro & colaboradores. 2002. Pautas para la elaboración de un Plan de Manejo para el Área de Esteros de Farrapos. Primera Parte: Medio Físico y Fauna. Convenio Facultad de Ciencias – DINAMA.132pp.

DINAMA. Dirección Nacional de Medio Ambiente. 2014. Plan de manejo del Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay. Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Last revision Mayo 2017.

<http://www.mvotma.gub.uy/areasprotegidas/item/10006532-esteros-de-farrapos-e-islas-del-rio-uruguay.html>.