

ESTIMATIVA PRELIMINAR DO COMPRIMENTO DO REMANSO NO RIO PARAGUAI A MONTANTE DE AMOLAR

Bruno Collischonn¹; Juan Martin Bravo¹; Walter Collischonn¹; Adolfo Villanueva¹; Daniel Allasia¹; Carlos Eduardo Morelli Tucci¹

Resumo - A Serra do Amolar, situada no coração do Pantanal matogrossense, é sabidamente um controle geológico do escoamento a montante, e seus efeitos são sentidos tanto no rio Paraguai quanto no rio Cuiabá. Em função da singularidade da hidrologia local, este remanso é bastante longo, e desempenha um importante papel na intrincada rede ecológica que integra rios, planícies e comunidades bióticas.

Neste trabalho procura-se fazer uma estimativa preliminar razoável do comprimento do remanso causado pela Serra, ao mesmo tempo em que são testadas algumas hipóteses sobre outros tipos de controle atuantes no rio Paraguai. Os resultados apresentam estimativas bastante consistentes, e apontam para a evidência de que o rio Cuiabá é um controle hidráulico tão importante como a Serra do Amolar. Este trabalho pretende incrementar a experiência e o conhecimento existente sobre o Pantanal, região onde a carência de dados ainda se impõe como um desafio para a produção científica em hidrologia.

Abstract - The Amolar mountain ridge (Serra do Amolar), in the middle of the Brazilian Pantanal, is known as a geological control of upstream flow in the Paraguai river and in the Cuiabá river as well. The control influences the water profile for hundreds of kilometers upstream, having an important effect on the complex system that involves river channel, floodplain and biotic communities.

In this paper is presented a preliminary, but reasonable estimative of the length of the backwater profile caused by the Serra do Amolar. Simultaneously, are tested some hypothesis about other potential sources of backwater control. The estimatives are very consistent, and identify the confluence of the Cuiabá river as an important hydraulic control of the flow of the Paraguai river. This paper intends to bring more experience and knowledge about the Pantanal region, where the extreme lack of data is still a challenge for hydrologists.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS – Avenida Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, 91051-970 – Porto Alegre – RS - Brasil

Palavras-chave: Pantanal, remanso, Amolar.

INTRODUÇÃO

O Pantanal Mato-Grossense, região úmida no centro-oeste brasileiro, é notório por seu relevo muito plano. Dessa forma, o rio Paraguai e seus afluentes atravessam o Pantanal com declividades muito baixas, sendo os desníveis da ordem de alguns centímetros por quilômetro. Nestas condições, as velocidades são muito baixas e o regime é marcadamente sub-crítico, de forma que perturbações hidráulicas se propagam por grandes distâncias a montante.

Uma estimativa correta do comprimento de remanso de um rio é de interesse para o correto estabelecimento de curvas-chave em postos fluviométricos localizados na região de influência do controle. Nestes postos, não há uma relação biunívoca entre cota e vazão, sendo necessária, como informação adicional - a cota de jusante - para a correta determinação da vazão. Além disso, o remanso influencia os processos hidrossedimentológicos na calha do rio, em função da desaceleração da massa de água, provocando a deposição de sedimentos em suspensão. No pantanal especificamente, este remanso tem uma importância ecológica, uma vez que contribui na inundação periódica de determinadas áreas, abastecendo a planície com nutrientes e renovando a água nas lagoas e corixos (canais por onde a água escoia na planície de inundação), entre outras importantes funções dentro do complexo ecossistema do qual o rio faz parte.

Por outro lado, a carência de dados, citada entre outros por ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003), e manifestada neste caso na longa distância entre seções medidas, impõe um desafio à simulação, uma vez que procede-se à interpolação entre seções consecutivas muito distantes, podendo embutir inconsistências importantes na representação que se deseja obter.

Dessa forma, este trabalho se propõe a identificar quais os controles atuantes na configuração da linha d'água do rio Paraguai, bem como fazer uma estimativa razoável do comprimento do remanso que eventuais controles possam ter.

FUNDAMENTAÇÃO E METODOLOGIA

Um rio que é livre para mover seu leito em geral cava um perfil longitudinal de leito côncavo. No contato com rochas, entretanto, pode ocorrer o contrário, ou seja, a calha não erode e o perfil apresenta convexidade. Ponce (1995) identifica três trechos ao longo do rio Paraguai em que o leito apresenta uma convexidade no seu perfil longitudinal: entre Refúgio das Três Bocas e Amolar, entre Ladário e Porto da Manga e entre Fecho dos Morros e Porto Murtinho. Nestes locais, as baixas declividades poderiam indicar a existência de controles geológicos.

Por outro lado, a foz do rio Cuiabá, que deságua no rio Paraguai no Refúgio das Três Bocas, pode ser um tipo de controle hidráulico do escoamento, uma vez que suas cheias não estão em fase com as cheias do Paraguai.

Ponce (1995) fez uma estimativa do comprimento do remanso causado pela serra do Amolar. O autor usou o método *direct-step* proposto por Chow (1959) estabelecendo como condição de jusante uma elevação de 47 cm acima da profundidade normal na seção de Amolar, que seria o controle geológico do escoamento a montante. O comprimento de remanso encontrado foi de 339 km, o que representaria um aumento da profundidade até a fazenda Descalvados. Este resultado é bastante impactante, mas sua validade pode ser discutida, uma vez que uma série de simplificações foram feitas. O autor assumiu um canal prismático com 300m de largura ao longo de todo o perfil longitudinal do rio, declividade lateral de 1:1, declividade do canal de $1.82 \text{ cm} \cdot \text{km}^{-1}$ fixa em toda a extensão, um coeficiente de Manning de $0.015 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ e uma vazão de $943 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, correspondente à vazão média de longo período em Amolar. Cada uma destas hipóteses é discutida a seguir.

A simplificação da geometria do canal é bastante drástica, pois a seção é bastante variável ao longo dos quase 500km desde Cáceres até Amolar. Em Descalvados, por exemplo, esta simplificação é razoável. Já em Amolar se estaria superestimando um pouco a seção, e em Bela Vista do Norte e Porto Conceição se estaria exagerando em cerca de três vezes a largura da calha. Isso significa que a simplificação introduzida subestima a magnitude do remanso, uma vez que a capacidade de escoamento (*conveyance*) é bastante superestimada.

A simplificação da declividade de fundo é válida somente por 25km a montante de Amolar, até o Refúgio das Três Bocas. A montante desta seção, a declividade certamente aumenta. Dessa forma o remanso estaria sendo superestimado, por uma subestimativa da capacidade de escoamento.

O coeficiente de rugosidade de Manning típico para calhas de rios é de $0.03 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ (Chow, 1959). Especialmente num rio com muitos meandros, como o Paraguai, a expectativa seria de que este coeficiente deve ser mais alto do que a média. O autor se baseou em várias medições de vazão obtendo um valor médio. Provavelmente este coeficiente foi calculado assumindo-se uma declividade muito baixa, o que explicaria a subestimativa do fator, a qual leva a uma subestimativa do comprimento de remanso.

Por fim, a vazão de $943 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ é um valor médio para a seção de Amolar, que recebe as vazões do Alto Paraguai e de grande parte do rio Cuiabá. A extrapolação deste valor para todo o perfil até Cáceres é uma simplificação muito exagerada, uma vez que a vazão média em Cáceres é de cerca de $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, em Descalvados é de cerca de $440 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, em Porto Conceição é de cerca de $340 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e em Bela Vista do Norte é de apenas $144 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Resumidamente, o trabalho de Ponce (1995) faz quatro simplificações básicas, algumas acarretando em subestimativa do comprimento do remanso e outras agindo de forma a superestimar o mesmo. Não é possível avaliar *a priori* qual o peso que cada uma das simplificações tem sobre o erro na estimativa do remanso, não se podendo afirmar se de forma geral o trabalho de Ponce (1995) subestima ou superestima o comprimento de remanso. A idéia deste trabalho é elaborar mais o procedimento de forma a melhorar a estimativa, mesmo considerando a complexidade da hidrologia do Pantanal e a pouca disponibilidade de dados existente.

As simulações foram realizadas no *software* HEC-RAS (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002), em regime permanente. O *software* usa o método *direct-step* de Chow, dispondo ainda de uma saída gráfica que permite a visualização rápida dos resultados.

Ao invés de se considerar uma seção constante ao longo de todo o perfil, foram introduzidas algumas seções medidas. Além disso, foi incorporada a confluência do rio Cuiabá no Paraguai, de forma a fazer com que a simulação se aproxime da realidade encontrada. As seções usadas na simulação foram: Cáceres, Descalvados, Porto Conceição, Bela Vista do Norte, Refúgio das Três Bocas e Amolar, no Rio Paraguai, e Porto do Alegre, no Cuiabá. As seções foram obtidas da base de dados *HIDROWEB* da ANA, bem como de DNOS (1974). As cotas absolutas das seções foram igualmente extraídas deste último trabalho, bem como de AHIPAR (2000). Com isso, se corrigem as simplificações relativas à geometria, uma vez que as declividades passam a ser fixadas por trechos, de acordo com a altitude de cada seção. As distâncias entre seções foram obtidas de Ministério dos Transportes (2001), que mediu o comprimento ao longo do talvegue do rio. O comprimento do trecho entre Porto do Alegre e o Refúgio das Três Bocas foi estimada a partir do mapa hidrográfico do alto Paraguai. Foram interpoladas seções de 10 em 10km nos trechos entre duas seções medidas.

Adotou-se para esta simulação um coeficiente de rugosidade de Manning de $0.03 \text{ s m}^{-1/3}$, que parece condizer melhor com o encontrado na literatura.

Por fim, restava escolher vazões características dos rios Cuiabá e Paraguai. A tabela 1 apresenta as vazões médias históricas nas seções usadas.

Tabela 1. Vazões médias de longo período nas seções de estudo

Seção	Rio	Vazão média ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
Porto do Alegre	Cuiabá	702
Cáceres	Paraguai	382
Descalvados	Paraguai	437
Porto Conceição	Paraguai	341
Bela Vista do Norte	Paraguai	144
Amolar	Paraguai	943

A adoção de um valor único de vazão para todas as seções de cada um dos rios é discutível, uma vez que a mesma deve ser representativa de todas elas. Como se pode ver na tabela 1, o rio Paraguai perde água para a planície de montante para jusante no trecho analisado, em especial no trecho entre Porto Conceição e Bela Vista do Norte. Esta é uma das conseqüências da extrema complexidade da hidrologia do pantanal. Devido ao relevo muito plano e à interação com os corixos e braços mortos do rio, grandes volumes de água se perdem de montante para jusante. A baixa declividade faz com que as vazões não escoem por uma calha única, e sim, se subdividam em vários canais. Este é o caso da seção em Bela Vista do Norte, pela qual escoam apenas uma fração da vazão do rio propriamente dito. Neste trecho foi introduzida uma bifurcação no rio, com a mesma seção transversal de Bela Vista do Norte, e se considera que cada um dos braços conduz 50% da vazão afluyente. Esta simplificação ainda é bastante grande, porém se aproxima um pouco mais da configuração hidrográfica local. A figura 1 mostra o esquema simulado em planta.



Figura 1. Esquema da drenagem montado no HEC-RAS

Foram escolhidas vazões representativas de períodos de estiagem. Inicialmente simulou-se considerando uma vazão de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no rio Paraguai (em cada um dos braços da bifurcação do Paraguai em Bela Vista do Norte passam, portanto, $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no Cuiabá. A jusante do Refúgio das Três Bocas passa a soma das vazões dos dois rios, neste caso $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Como

condição de contorno de jusante foi inserida a curva-chave do posto de Amolar. Para se avaliar o remanso foram propostos dois cenários:

- No primeiro cenário, o nível d'água em Amolar foi elevado em 50cm e 1m. Este cenário considera que há um controle geológico neste local e que perturbações aí se manifestam a montante.
- No segundo cenário, a vazão do rio Cuiabá foi aumentada para 550, 650 e 750 $m^3 \cdot s^{-1}$, considerando um eventual controle hidráulico do Cuiabá sobre o Paraguai.

Em cada cenário, observou-se por quantos quilômetros o nível d'água se elevou.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Cenário 1: Elevação do nível de água devido ao controle geológico em Amolar

A figura 2 mostra as linhas d'água para a situação inicial e considerando elevações de 0,5 m e 1 m respectivamente. A elevação do nível de água em 0,5m em Amolar, sem alterar a vazão, provoca elevação do nível de água até 260 km a montante, ou seja, até 46 km a montante de Porto Conceição. Elevando-se o nível em 1m em Amolar, há alteração dos níveis até 269 km a montante.

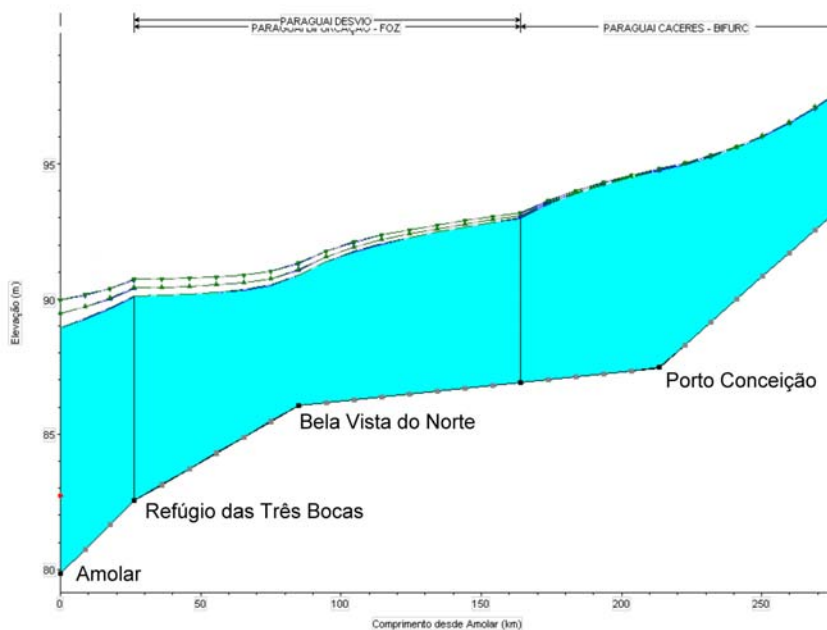


Figura 2. Curvas de remanso no rio Paraguai causadas pela elevação do nível em Amolar

A tabela 2 mostra, para este cenário e para cada uma das elevações em Amolar, qual foi a elevação no nível de água em cada uma das seções do rio Paraguai analisadas.

Tabela 2. Elevações do nível de água devido à elevação do nível em Amolar

Seção	Elevação para $\Delta h=0,5m$ em Amolar (m)	Elevação para $\Delta h=1m$ em Amolar (m)
Amolar	0,50	1,00
Refúgio Três Bocas (seção 26 km)	0,32	0,64
Bela Vista do Norte (seção 85 km)	0,20	0,45
Porto Conceição (seção 214 km)	0,03	0,06
Seção 260 km	0,01	0,01
Seção 269 km	0,01	0,00

Da mesma forma, a elevação do nível em Amolar provocou modificação na linha d'água do rio Cuiabá. A figura 3 mostra as curvas de remanso provocadas pelas elevações em Amolar ao longo do rio Cuiabá.

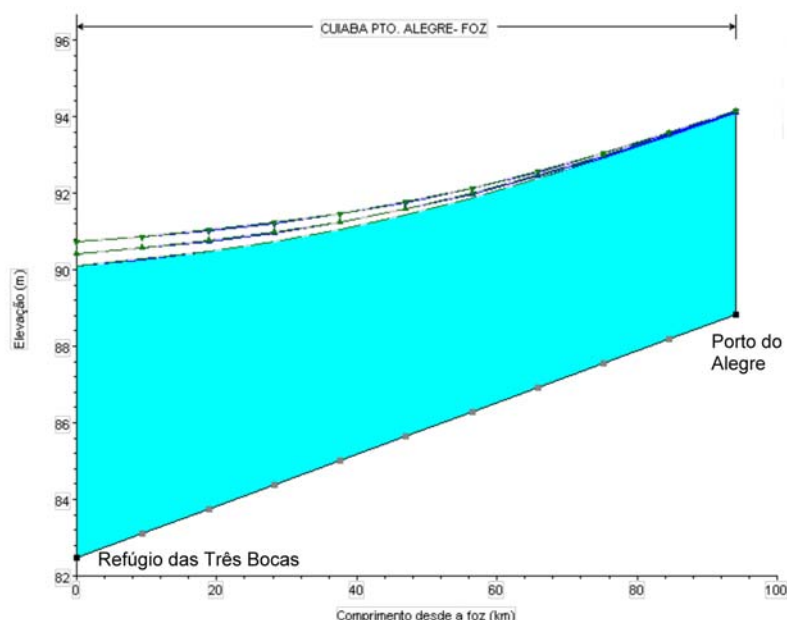


Figura 3. Curvas de remanso no rio Cuiabá causadas pela elevação do nível em Amolar

Para a elevação de 0.5m em Amolar, o remanso se estende até a seção de Porto do Alegre. Deve-se ressaltar que há um grau de incerteza quanto à distância real desta seção até a foz no Paraguai, devido ao fato de que não há seção medida neste intervalo. Além disso, nesta simulação se considerou que existe uma única foz do Cuiabá em Refúgio das Três Bocas, porém este rio deságua de forma muito mais difusa, sendo que alguns braços têm sua confluência no Paraguai a jusante de Amolar. Por estas razões, o resultado apresentado na figura 3 deve ser encarado com certa cautela.

Cenário 2: Remanso é causado pela confluência das águas do Cuiabá.

A figura 4 e a tabela 3 mostram os resultados do cenário 2, no qual se supõe que o remanso é causado pela confluência das águas do Cuiabá.

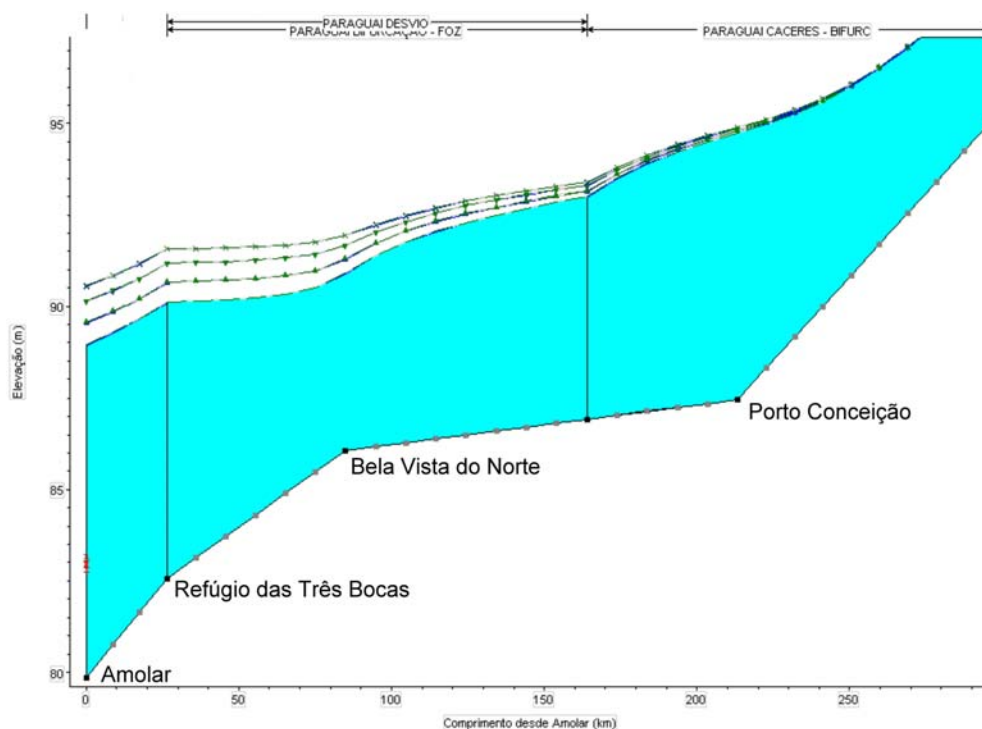


Figura 4. Curvas de remanso no Paraguai devido à confluência do rio Cuiabá

Tabela 3. Elevação do nível d'água devido à confluência do rio Cuiabá

Seção	Elevação para $Q_{\text{Cuiabá}}=550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (m)	Elevação para $Q_{\text{Cuiabá}}=650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (m)	Elevação para $Q_{\text{Cuiabá}}=750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (m)
Refúgio 3 Bocas	0,55	1,08	1,47
Bela Vista Norte	0,40	0,79	1,06
Porto Conceição	0,16	0,31	0,41
Seção 278	0,01	0,01	0,01

Como a seção de Refúgio das Três Bocas se encontra 26km a montante de Amolar, o comprimento do remanso devido à confluência do Cuiabá é de 252 km.

Estes resultados são corroborados pela constatação, feita por observadores *in loco*, de que nos arredores de Porto Conceição começa a haver deposição de sedimentos mais finos, provocada pela desaceleração do escoamento resultante do remanso. Medições de sedimento de leito, como as apresentadas em IPH/PNMA/FEMA/SEMA (1997), também mostram esta tendência. Em Descalvados, o D_{50} medido foi de 0.311 mm, enquanto que a montante de Porto Conceição este valor foi de 0.229 mm e próximo de Bela Vista do Norte foi de apenas 0.176 mm.

Assim, o resultado parece ser mais coerente do que obtido em estimativas anteriores, que provavelmente superestimam o comprimento do remanso. De qualquer forma, o resultado é interessante, porque ainda assim o comprimento estimado é significativo, dado que remansos em rios dificilmente alcançam tal magnitude. O resultado atesta a singularidade da hidrologia local.

Futuramente, à medida que novas medições de seção transversal se tornarem disponíveis, se pretende refinar mais a simulação, procurando refletir mais fielmente a complexa estrutura da drenagem local, representando perdas de água de montante para jusante, bifurcações e outras singularidades.

Finalmente, se pretende estender o modelo de remanso para jusante, procurando contemplar outros controles ao longo do rio Paraguai, como Fecho dos Morros e Porto da Manga. Ressalta-se mais uma vez o caráter preliminar desta estimativa, que visa a contribuir com o quadro de conhecimento (ainda bastante incompleto) da hidrologia pantaneira.

BIBLIOGRAFIA

AHIPAR, 2000. Rio Paraguai de Cáceres a Porto Murtinho – Determinação de Nível de Redução para as sondagens batimétricas – Volume I – Nivelamento das Estações fluviométricas.

ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. Modelo de simulação hidrológica na Bacia do Alto Paraguai – Relatório final da primeira etapa. IPH, Porto Alegre.

CHOW, Ven Te, 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill. New York.

DNOS 1974. Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai – Fluviometria. Departamento Nacional de Obras e Saneamento. Ministério do Interior.

IPH/PNMA/FEMA/SEMA, 1997. Hidrossedimentologia do Alto Paraguai – Levantamentos nos Rios Cuiabá e Paraguai. Porto Alegre.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2001. Modelo matemático do Rio Paraguai – Trecho entre Cáceres/MT e a foz do rio Apa/MS – 1º Relatório de Acompanhamento – Perfil Longitudinal.

PONCE, Victor Miguel, 1995. Impacto hidrológico e ambiental da hidrovía Paraná-Paraguai no Pantanal Matogrossense – um estudo de referência.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002. HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. Versão 3.1.