

Considerações sobre a Utilização de Modelagem Hidrodinâmica para Propagação de Cheias em Reservatórios

Giancarlo Castanharo

COPEL – Companhia Paranaense de Energia
giancarlo.castanharo@copel.com

Miriam Rita Moro Mine

UFPR – Universidade Federal do Paraná
mrmine.dhs@ufpr.br

Recebido: 21/12/04 – revisado: 08/02/06 – aceito: 25/09/06

RESUMO

Neste trabalho apresentam-se algumas contribuições para a utilização de modelos hidrodinâmicos na simulação de escoamento não-permanente em trechos de canais que alimentam reservatórios. A representatividade da curva cota-volume do reservatório, pelo modelo hidrodinâmico, é uma das questões abordadas neste trabalho. Nesta questão é proposto um simples método para representação da curva cota-volume do reservatório através de uma adaptação das seções transversais fornecidas ao modelo hidrodinâmico. Analisou-se também o efeito das imprecisões dos linigramas, fornecidos como condição de contorno de jusante nos modelos hidrodinâmicos, sobre as vazões calculadas nos trechos de reservatório. As simulações executadas para validação do método proposto e das investigações apresentadas foram realizadas num trecho de 110 km do rio Iguaçu, estado do Paraná, entre os municípios de União da Vitória (PR)/Porto União (SC), e o reservatório da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia.

Palavras-chave: modelos hidrodinâmicos, propagação de cheias, condição de contorno de jusante.

INTRODUÇÃO

A aplicação de modelos hidrodinâmicos para propagação de cheias em trechos de canais dotados de reservatórios é uma atividade necessária no contexto de sistemas de previsão de afluências de curto prazo a reservatórios. Um sistema deste tipo é normalmente composto de modelos chuva-vazão, que dependendo da classificação podem ser ainda apoiados por resultados de previsão de precipitação. Sistemas de previsão de vazões com discretização semi-distribuída possuem diversos hidrogramas previstos, por modelos chuva-vazão, nas exutórias das sub-bacias que afluem ao longo do curso principal da bacia hidrográfica. Para correta modelagem do fenômeno é necessário que estes hidrogramas previstos sejam propagados ao longo do canal principal até o reservatório, onde a previsão de afluências é uma variável indispensável para as rotinas de operação de reservatórios.

A aplicação de modelos hidrodinâmicos neste tipo de sistema foi explorada por Castanharo (2003), e as conclusões parciais deste trabalho serão

aqui apresentadas. A utilização deste tipo de modelo em sistemas de previsão de afluências a reservatórios implica na necessidade da correta representação da curva cota-volume do mesmo, e da estabilidade das vazões calculadas nas seções do reservatório.

A representação da curva cota-volume do reservatório, pelo modelo hidrodinâmico, se não for analisada criteriosamente conduz a resultados irreais e insatisfatórios para um sistema de previsão de afluências a reservatórios. Além disso, a condição de contorno de jusante pode provocar instabilidades nas vazões calculadas nas seções dentro do reservatório, tornando-as inadequadas para um sistema de previsão de afluências ou para qualquer outra finalidade que exija este tipo de modelagem.

A REPRESENTATIVIDADE DOS VOLUMES DOS RESERVATÓRIOS PELOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Devido à morfologia dos reservatórios e ao convencional posicionamento das seções transversais

no canal principal, os volumes armazenados nos vales dos afluentes, em braços laterais dos reservatórios, não são reconhecidos pelos modelos hidrodinâmicos. Esta constatação pode ser visualizada no desenho esquemático da figura 1. Os modelos de escoamento utilizam seções transversais de modo que a calha principal do rio é modelada por diversos prismas irregulares de base igual às seções transversais delimitadoras de um trecho. Por este motivo os volumes localizados fora do canal principal não são reconhecidos pelos modelos de escoamento.

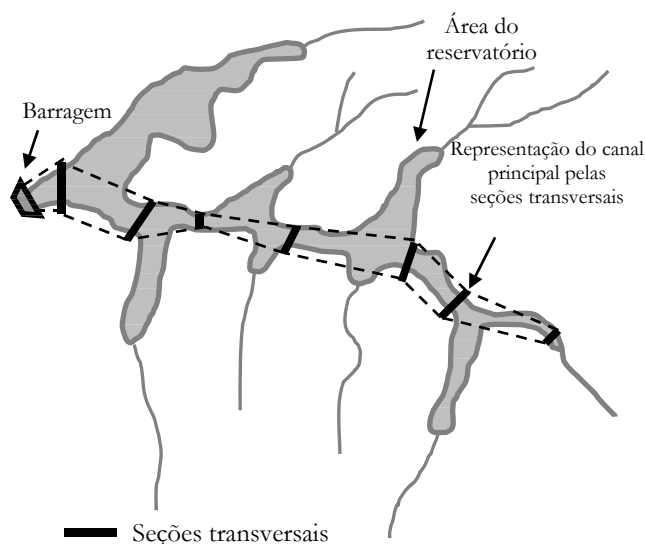


Figura 1 - Ilustração da diferença entre o volume real do reservatório e o volume representado pelas seções transversais do canal principal.

Na figura 2 ilustram-se as considerações do parágrafo anterior através da consideração de duas curvas cota-volume. Neste gráfico nota-se a variação de volumes entre uma curva e outra, proveniente da desconsideração dos volumes armazenados em vales e braços laterais do reservatório. Se esta diferença não for considerada na modelagem de propagação de vazões, certamente os linigramas ou hidrogramas, calculados pelo modelo hidrodinâmico sofrerão grandes distorções em relação ao comportamento real do balanço hídrico do reservatório, isto porque estas grandezas estão relacionadas pela primeira equação de Saint-Venant, a equação da continuidade, apresentada na equação (1). A equação (2) representa a segunda equação de Saint-Venant, equa-

ção da quantidade de movimento, que é obtida a partir da segunda lei de Newton e modela as forças envolvidas no escoamento de um dado trecho do canal. Os dois primeiros termos referem-se às acelerações locais e convectivas, e os demais termos representam respectivamente as forças de pressão, as tensões tangenciais no perímetro do canal e as perdas de energia localizadas.

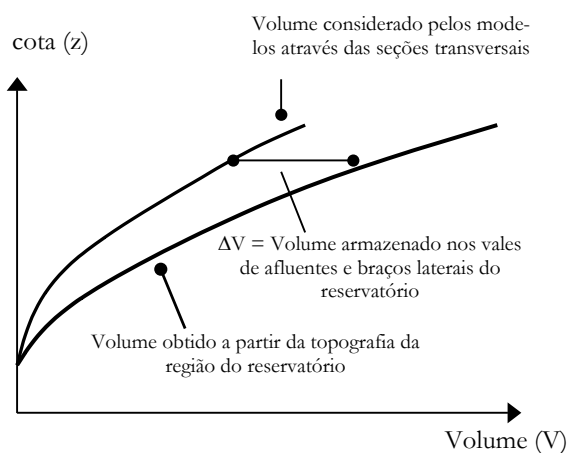


Figura 2 - Diferença entre a curva cota-volume de um reservatório e a curva representada pelas seções transversais da calha principal do reservatório.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) = 0 \quad (2)$$

onde:

x = distância longitudinal ao longo do canal;

t = tempo;

A = área da seção transversal do canal;

h = elevação da superfície da água;

q = vazão lateral por unidade de comprimento;

Q = vazão;

S_f = declividade da linha de energia;

S_e = perdas de energia localizadas;

g = aceleração da gravidade.

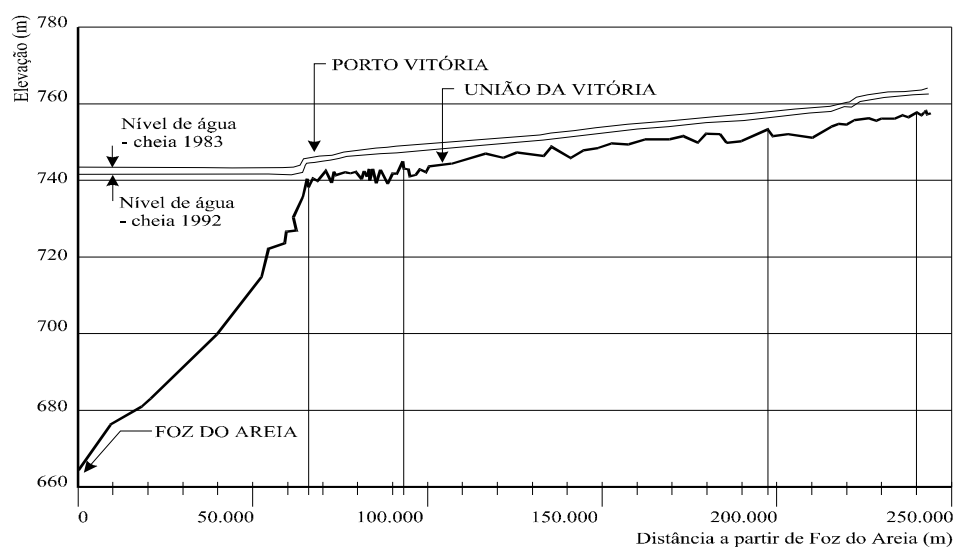


Figura A-1 - Perfil do rio Iguaçu no local do estudo.

Fonte: MINE (1998).

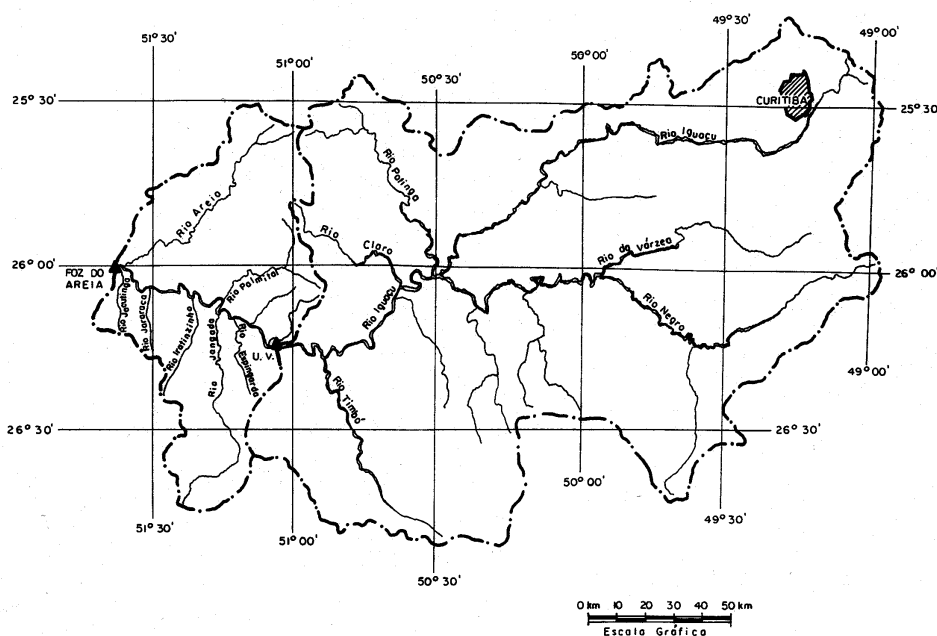


Figura A-2 - Localização do trecho em análise na bacia hidrográfica do rio Iguaçu.

Fonte: MINE (1998).

ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso desenvolvido no trabalho de Castanharo (2003) esta questão foi analisada no reservatório da usina hidrelétrica de Foz do

Areia, localizada no rio Iguaçu, estado do Paraná. Nas figuras A-1 e A-2 (em anexo) pode-se observar respectivamente um perfil e um mapa da bacia hidrográfica do rio Iguaçu até a seção da barragem da usina hidrelétrica de Foz do Areia. Neste local o rio Iguaçu drena uma área de 29.800 km², o reservató-

rio da usina possui uma área de 138,5 km² na cota de operação normal (742 m) e o volume total armazenado nesta cota é de 5.800 hm³.

A figura 3 apresenta a curva cota-volume do reservatório de Foz do Areia, obtida a partir de um levantamento aerofotogramétrico na escala 1:5000, e a curva cota-volume calculada pelo modelo hidrodinâmico com base nas seções transversais do rio Iguaçu.

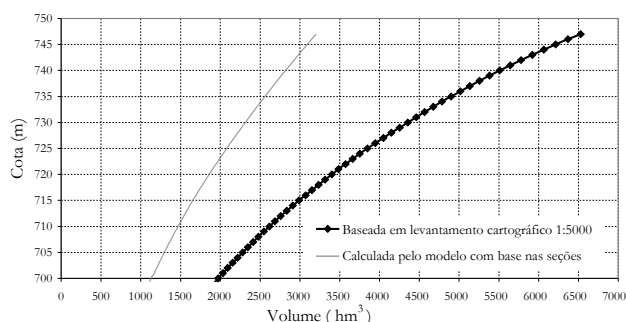


Figura 3 - Curvas Cota-Volume do reservatório de Foz do Areia obtidas a partir da topografia do reservatório e a partir das seções transversais do rio Iguaçu.

Na figura 3 é possível observar a grande diferença entre o volume calculado com base nas seções transversais e com base na topografia do terreno. Para a cota de operação do reservatório, os volumes da curva verdadeira, baseada na topografia, atingem valores equivalentes ao dobro do volume representado pelas seções transversais.

METODOLOGIA EMPREGADA PARA REPRESENTAÇÃO DA CURVA COTA-VOLUME PELO MODELO HIDRODINÂMICO

Para consideração, nos modelos hidrodinâmicos, dos volumes das regiões de armazenamento lateral, Liggett e Cunge (1975) apresentam um método baseado em condições de contorno internas. Este método consiste em considerar uma curva cota-área na região de armazenamento lateral. Esta relação cota-área é considerada na discretização da equação da continuidade, equação (1), de tal forma que variações positivas ou negativas de nível na região de armazenamento, equivalem a trocas de volume entre o canal principal do rio e as regiões de armazenamento.

O método citado não foi utilizado para o reservatório de Foz do Areia devido à complexidade para determinação dos volumes armazenados nas diversas regiões de armazenamento lateral existentes neste local. Seriam necessários procedimentos baseados numa base cartográfica detalhada para poder estimar as curvas cota-área de todos os braços laterais do reservatório, o que resultaria numa atividade extremamente exaustiva e onerosa, que demandaria diversos contornos internos no modelo, dada a localização dos braços e vales laterais do reservatório, além de extensos levantamentos de campo. Ao invés deste método, realizou-se um procedimento de ajuste do tamanho de algumas seções transversais, com objetivo de considerar implicitamente o déficit de volume considerado pelas seções transversais da calha do rio principal.

Neste tipo de procedimento, adotado neste estudo, as seções transversais a serem modificadas para modelar o volume real do reservatório devem estar posicionadas em locais do reservatório nos quais a velocidade do escoamento seja pequena, e não haja perda de energia suficiente para causar declividades consideráveis da superfície livre. Obedecendo-se esta hipótese, o perfil longitudinal da superfície livre não é distorcido nas modelagens. Em outras palavras, isto equivale a não alterar a ordem de grandeza do valor do quarto termo da equação dinâmica do escoamento em regime não-permanente (equação 2), termo que representa a perda de energia no canal. Para o caso do reservatório de Foz do Areia existem seções profundas e largas o suficiente, de forma que mesmo para grandes vazões não se originam perdas de energia suficientes para provocar declividade na superfície livre do escoamento.

Considerando a inexistência de remanso no trecho entre a barragem de Foz do Areia e o local da seção transversal D5, correspondente à seção n.º 26 da Figura 4, decidiu-se ajustar as seções localizadas neste trecho, não alterando desta forma o perfil da superfície livre do escoamento nos trechos do reservatório onde existe remanso. No caso do reservatório de Foz do Areia a representatividade das cotas calculadas na seção de montante do reservatório é de importância indispensável, pois nestas seções estão localizadas as cidades de União da Vitória (PR) e Porto União (SC), 110 km a montante da barragem. As seções alteradas foram: D0, D1, D2, D3 e D4, cuja posição está ilustrada na figura 4, e correspondem respectivamente às seções de número 31, 30, 29, 28 e 27.

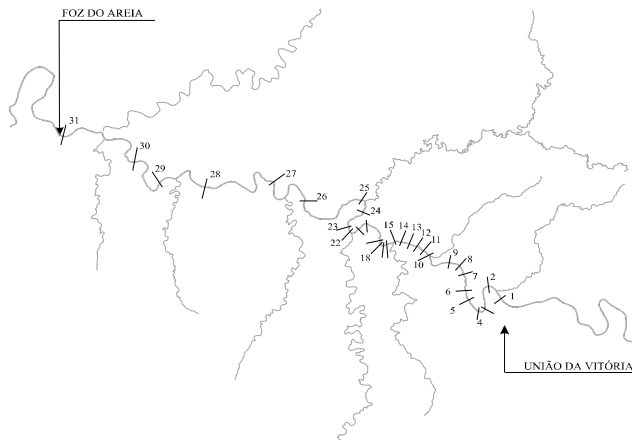


Figura 4 - Posicionamento das seções transversais levantadas no rio Iguaçu entre a cidade de União da Vitória (PR) e a barragem da usina de Foz do Areia.

Fonte: MINE (1998).

Para o ajuste das seções transversais no trecho determinado foi construída uma rotina computacional, na qual, dadas as condições iniciais de largura e cota do fundo das seções, podem ser arbitradas de forma iterativa inclinações dos taludes laterais. Com base nestas inclinações, determina-se a geometria das seções nos incrementos de cota previamente definidos. Inicialmente, tentou-se manter, nas seções a serem ajustadas, a cota do fundo original. As primeiras tentativas de construção destas seções ajustadas foram frustradas. Constatou-se a partir delas que não seria apenas necessário representar corretamente a curva cota-volume, mas também a curva cota-área do reservatório, sendo esta última a derivada de primeira ordem da curva cota-volume. Por esta razão o problema se tornou mais complexo, pois além da determinação do volume em função da cota, é necessário representar a derivada desta grandeza em relação à cota. A idéia inicial de iterações sucessivas para determinação da inclinação dos taludes foi abandonada, pois a seleção da combinação exata destas inclinações seria uma tarefa matematicamente trabalhosa diante da diversidade de incógnitas deste problema. Por este motivo foi adotada a hipótese de ajustar todas as seções por um mesmo perfil transversal, desrespeitando a cota original do fundo. O problema foi contornado a partir da determinação numérica da curva cota-área, e o perfil transversal a ser ajustado foi concebido das cotas mais altas para as cotas mais baixas,

de forma que a largura e a cota do fundo da seção foram as últimas características calculadas.

Com base na curva cota-área foi definida a largura inicial das seções na cota do nível máximo *maximorum*. A partir deste ponto foram realizados dois procedimentos consecutivos, referenciados por “*via Área*” e “*via Volume*”. O primeiro deles consiste em determinar a largura das seções transversais, em função da cota, de forma a obedecer à curva cota-área do reservatório. No segundo procedimento a largura das seções, em função da cota, é determinada de acordo com o volume existente ΔV entre dois níveis sucessivos da curva cota-volume, de forma que este volume esteja contido num prisma de base trapezoidal que delimita o volume compreendido entre estas duas cotas. Estes dois procedimentos foram realizados de forma descendente no reservatório, para intervalos de cota Δz de 1 m. De posse das larguras das seções transversais são determinadas as tabelas $x-y$ que definem o perfil das seções transversais.

Realizando estes dois procedimentos surgiram dois perfis de seções transversais ajustados. Foram determinadas as curvas cota-volume do trecho baseadas nos perfis transversais ajustados pelos dois métodos descritos. A comparação entre estas curvas foi realizada de forma mais detalhada tendo como base a determinação da diferença de volume entre estas curvas e a curva original, e a transformação, para cotas de 1 m em 1 m, desta diferença de volume em altura equivalente de reservatório, definida pela variável h_{RES} . Esta comparação está apresentada na figura 5, onde a diferença de volume em termos de altura do reservatório (h_{RES}) está plotada em função da cota do reservatório.

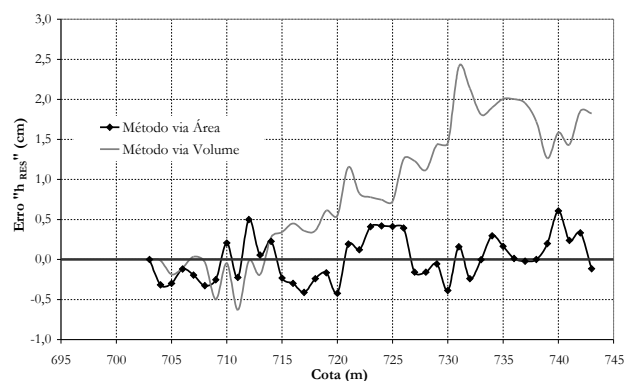


Figura 5 - Curvas Cota-Volume definidas a partir dos procedimentos “Via Área” e “Via Volume” comparadas em termos de altura de reservatório.

A comparação apresentada na figura 5 mostra um resultado satisfatório para a representação de curvas cota-volume através do ajuste de seções transversais. As diferenças máximas entre volumes das curvas foram da ordem de 700.000 m³ para o procedimento “*via Área*” e de 2.300.000 m³ para o procedimento “*via Volume*”, quando comparadas com relação à curva cota-volume obtida a partir da topografia da região do reservatório. Estas diferenças de volume, se transformadas em altura de nível do reservatório para as cotas em questão, resultam em erros máximos de 0,6 e 2,4 cm respectivamente. Na figura 5 observa-se que os erros do método “*via Área*” oscilam em torno do valor zero, ao contrário dos erros do método “*via Volume*” que se tornam positivos acima da cota 715 m, significando uma representação superestimada da curva cota-volume acima desta cota. Com base nesta consideração, o formato de seção transversal definido no método “*via Área*” foi adotado para substituição dos perfis originais das seções transversais D0, D1, D2, D3 e D4.

Na figura 6 as seções originais do trecho D4 – D0 estão comparadas com a seção transversal proposta através da metodologia “*via Área*”. Esta seção ajustada foi utilizada no local das seções D0, D1, D2, D3 e D4, para a realização das modelagens hidrodinâmicas realizadas no trabalho de Castanharo (2003).

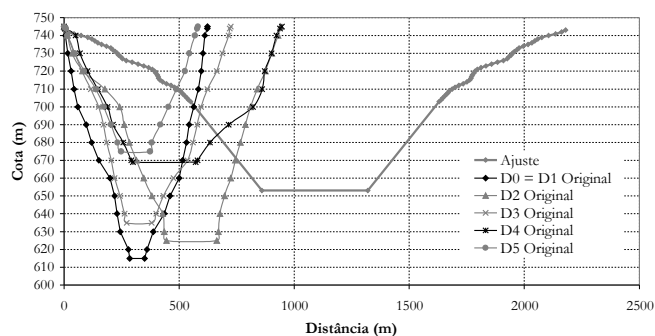


Figura 6 - Ilustração da seção transversal definida pela aplicação do método “Via Área”.

Esta metodologia aplicada para consideração dos volumes armazenados em regiões laterais ao reservatório tem a desvantagem de desconfigurar a posição destes volumes ao longo do canal principal, desrespeitando desta maneira o verdadeiro tempo de propagação destes volumes ao longo do reservatório. Considerando-se que o reservatório de Foz do Areia tem grande profundidade, sabe-se, com base no comprimento e na profundidade, que as perturbações do escoamento se deslocam ao longo

bações do escoamento se deslocam ao longo deste reservatório em aproximadamente 1 hora. Por esta razão espera-se que esta desconfiguração na localização dos volumes cause distorções de poucos minutos no tempo de propagação destes volumes.

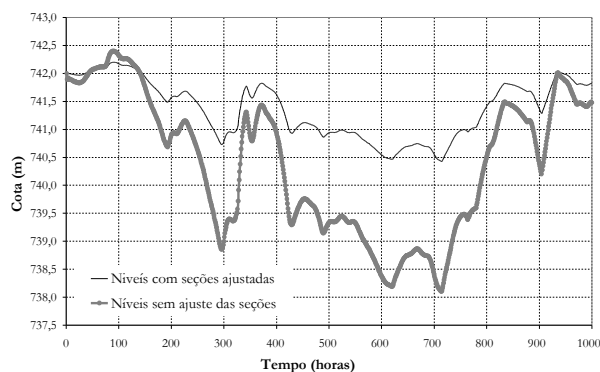


Figura 7 - Comparação entre linigramas calculados pelo modelo hidrodinâmico Channel-III e o linigrama registrado no reservatório.

Na figura 7 apresentam-se dois linigramas calculados num evento de cheia no reservatório de Foz do Areia, pelo modelo hidrodinâmico CHANNEL-III. Este modelo foi desenvolvido por Fill(1980). O modelo CHANNEL-III foi criado com a finalidade de estudar os efeitos de uma onda de cheia, mediante a integração numérica das equações de Saint-Venant, segundo os métodos implícitos de Vasiliev e pelo método de Preissmann. Nota-se que o linigrama obtido sem a consideração do ajuste de seções transversais, ou seja, com as seções originais da calha do rio Iguaçu, apresenta oscilações mais rápidas nos períodos de enchimento ou deplecionamento do reservatório, como consequência da representação de uma curva cota-volume inferior à curva real do reservatório. Já o linigrama calculado com a correção do ajuste de seções transversais se sobrepõe ao linigrama registrado no reservatório.

IMPORTÂNCIA DA PRECISÃO DOS LINIGRAMAS FORNECIDOS COMO CONDIÇÃO DE CONTORNO DE JUSANTE AOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Durante a realização de simulações de balanço hídrico no reservatório de Foz do Areia, com a

finalidade de validar o ajuste de seções transversais do modelo hidrodinâmico para representação da curva cota-volume do reservatório, observaram-se oscilações nas vazões calculadas pelo modelo hidrodinâmico na seção da barragem de Foz do Areia. Estas oscilações foram observadas em várias simulações realizadas. Nestas simulações, assumiram-se hidrogramas como condições de contorno de montante e de jusante. Estes cenários foram simulados pelo modelo hidrodinâmico CHANNEL-III. Como resposta, obtiveram-se os linigramas no reservatório de Foz do Areia. De acordo com as conclusões do item anterior os linigramas calculados pelo modelo CHANNEL-III aproximam-se satisfatoriamente dos linigramas observados no reservatório durante os eventos de cheia. Estes cenários foram novamente simulados, desta vez tendo como condições de contorno os respectivos hidrogramas afluentes a montante, e como condição de contorno de jusante os linigramas recém calculados na primeira etapa destas simulações. Realizadas as simulações da segunda etapa destes cenários, constatou-se que as vazões defluentes calculadas pelo modelo CHANNEL-III representam os hidrogramas defluentes observados na usina de Foz do Areia, mas nestes hidrogramas observaram-se diversas oscilações em torno da vazão defluente observada, como ilustrado na figura 8. Estas oscilações coincidem com as dificuldades na simulação dos hidrogramas na região da barragem de Foz do Areia, citadas no trabalho de Mine (1998).

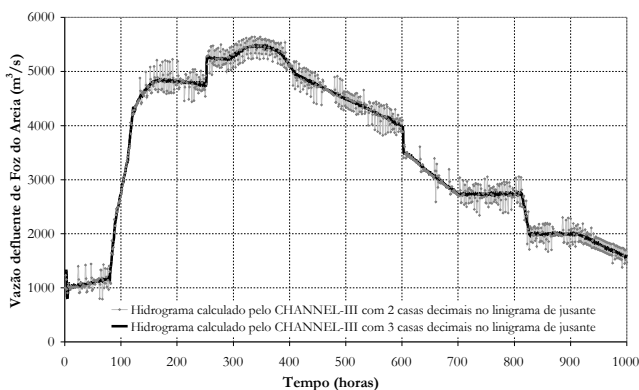


Figura 8 - Hidrogramas defluentes calculados pelo modelo Channel-III tendo como condição de contorno de jusante linigramas com duas e três casas decimais de precisão.

Inicialmente estas oscilações foram atribuídas as possíveis instabilidades resultantes do esquema de discretização das equações de Saint-Venant, ou ainda, devido a possíveis erros numéricos decorrentes da linearização das equações de Saint-Venant

pelo esquema de Preissmann. Posteriormente através de uma análise detalhada dos linigramas fornecidos como condição de contorno de jusante, foi possível concluir que estas oscilações nas vazões calculadas no reservatório são produtos da precisão das cotas observadas ou medidas na barragem.

Isto pode ser visualizado nos hidrogramas apresentados na figura 8. O hidrograma defluente com maior oscilação numérica corresponde à resposta da modelagem hidrodinâmica, na qual utilizou-se o linigrama resultante da simulação deste cenário, considerando-se duas casas decimais de precisão, ou seja, os centímetros. O outro hidrograma defluente apresentado nesta figura apresentou oscilações menores, pois nesta simulação hidrodinâmica a precisão considerada no linigrama da condição de contorno de jusante foi de três casas decimais para a unidade do metro, ou seja, foram considerados os milímetros da cota do reservatório. Estas simulações com três casas decimais foram realizadas tendo como base o linigrama teórico resultante da simulação do balanço hídrico do reservatório, onde foram utilizados como condições de contorno o hidrograma afluente e defluente, pois nos linigramas reais de reservatórios não se encontra precisão superior a 1 cm. Na figura 9 apresentam-se as diferenças de vazões entre os hidrogramas afluentes calculados com duas e três casas decimais e o hidrograma afluente definido como base na figura 8.

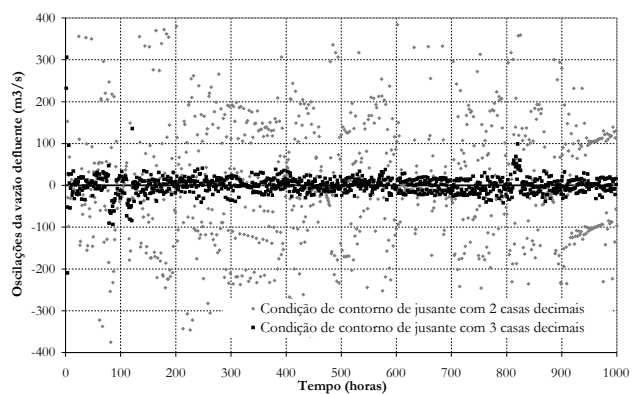


Figura 9 - Diferença entre os hidrogramas calculados pelo Channel-III para diferentes precisões do linigrama da condição de contorno de jusante.

Os arredondamentos realizados nos linigramas medidos nos reservatórios, dada à impossibilidade de se medir com maior precisão esta grandeza, representam a desconsideração de um volume significativo para o balanço hídrico do reservatório. Este volume pode ser estimado através da simples

multiplicação da área do reservatório pela altura da lâmina desconsiderada no arredondamento da cota do reservatório. Para o caso do reservatório de Foz do Areia, onde existe uma área de 138,5 km² de superfície livre na cota 742 m, a desconsideração de 6 mm devido ao arredondamento das cotas observadas, conforme exemplo da figura 10, resultaria na desconsideração de um volume da ordem de 830.000 m³.

Os efeitos da desconsideração de volumes devido à precisão atribuída à cota dos reservatórios podem ser avaliados a partir de uma análise da primeira equação de Saint-Venant, a equação da continuidade (equação 1).

As aproximações da cota do reservatório equivalem a aproximações introduzidas na segunda derivada parcial da equação 1. Arredondamentos da cota da superfície livre se refletem em termos de arredondamento dos valores das áreas das seções transversais do reservatório. As imprecisões desta grandeza ocasionarão imprecisões na determinação do valor da primeira derivada parcial, ou seja, serão induzidos erros no cálculo da variação das vazões ao longo do reservatório devido a este problema volumétrico inserido no domínio da primeira equação de Saint-Venant. Sendo dadas vazões na condição de contorno de montante, é de se esperar que as oscilações induzidas na derivada da vazão ao longo da direção longitudinal do canal, causem distorções numéricas nos hidrogramas das demais seções.

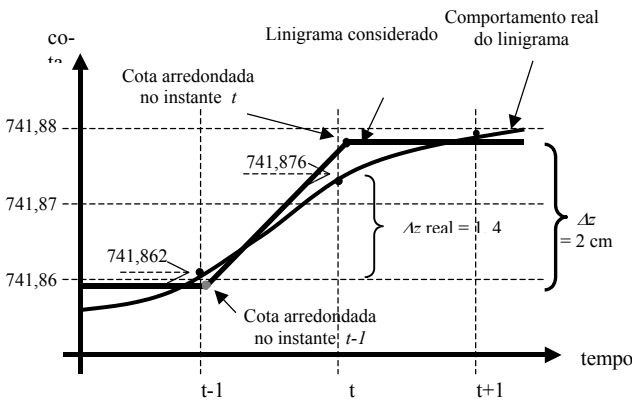


Figura 10 - Exemplo do arredondamento de cotas de um linigrama de reservatório.

Estas distorções serão tanto maiores quanto menor for o intervalo de tempo de cálculo da discretização das equações de Saint-Venant. Isto pode ser explicado de forma que a desconsideração do volume armazenado em forma de altura de reservatório, será transformada em acréscimos ou decré-

scimentos de vazão defluente do reservatório. De acordo com os termos da equação da continuidade (equação 1), estes acréscimos ou decréscimos de vazão defluente serão equivalentes ao volume desprezado, transformado em vazão através da divisão pelo intervalo de tempo de cálculo. Na tabela 1 apresenta-se uma análise de sensibilidade destas oscilações na vazão defluente, em função da altura de reservatório desprezada, e do intervalo de tempo de cálculo considerado. Nota-se que valores elevados de oscilações no hidrograma defluente devem ocorrer para arredondamentos grosseiros da cota do reservatório e para pequenos intervalos de cálculo. A análise dos resultados apresentados nas figuras 8 e 9 pode ser melhor interpretada com a análise de sensibilidade da tabela 1.

Tabela 1 - Oscilações causadas nas vazões defluentes em função do alisamento das cotas utilizadas como condição de contorno de jusante nos modelos hidrodinâmicos.

Erros na cota do reservatório	Intervalo de tempo de cálculo			
	$\Delta t=15$ min ΔQ (m ³ /s)	$\Delta t=30$ min ΔQ (m ³ /s)	$\Delta t=1$ hora ΔQ (m ³ /s)	$\Delta t=2$ hora ΔQ (m ³ /s)
2,0 cm	3077,8	1538,9	769,4	384,7
1,0 cm	1538,9	769,4	384,7	192,4
0,5 cm	769,4	384,7	192,4	96,2
0,1 cm	153,9	76,9	38,5	19,2
0,5 mm	76,9	38,5	19,2	9,6
0,1 mm	15,4	7,7	3,8	1,9

** Valores de oscilação de vazões defluentes considerando uma área de reservatório igual a 138,5 km².

CONCLUSÕES

O método aplicado para representação do volume do reservatório pelo modelo hidrodinâmico, apesar de simplificado, respondeu perfeitamente ao princípio da continuidade, como comprovado nos balanços hídricos realizados, não causando alterações significativas no perfil longitudinal da superfície livre e conduzindo a bons resultados em termos de representação do linigrama do reservatório ou do hidrograma defluente.

A substituição de seções transversais do canal principal por seções fictícias, com intuito de igualar o volume modelado do reservatório ao volume real, deve considerar duas premissas básicas: i)

as seções transversais devem estar localizadas em trechos do reservatório onde a declividade da linha de energia seja muito baixa, de tal forma que um aumento da área das seções não cause mudanças significativas na declividade da linha de energia; ii) o canal fictício formado por estas novas seções, quando considerado em conjunto com as demais seções transversais do reservatório, deve representar a curva cota-área e a curva cota-volume obtidas a partir da topografia do reservatório.

Este método apresenta-se como uma alternativa para solução do problema da representação da curva cota-volume do reservatório, quando o modelo hidrodinâmico não considera áreas laterais de armazenamento na discretização da 1ª equação de Saint-Venant, ou ainda, quando a morfologia do reservatório conduzir a um extenso e complexo trabalho de determinação das exatas relações cota-área ou cota-volume dos inúmeros “braços” e vales laterais que compõem um reservatório.

A investigação a respeito da importância da precisão dos linigramas nas condições de contorno de jusante dos modelos hidrodinâmicos comprova a necessidade de uma atenção especial antes da entrada destes dados no modelo hidrodinâmico. Usualmente as cotas de reservatório são armazenadas nos banco de dados hidrológicos com duas casas decimais de precisão, ou seja, os centímetros. Precisão esta, que se origina no processo de leitura convencional. Entretanto, para reservatórios com grandes áreas de superfície-livre estes linigramas devem ser analisados criteriosamente, e se possível corrigidos dos arredondamentos do processo de leitura. Sem esta consideração, certamente os hidrogramas calculados nas seções do reservatório apresentarão oscilações numéricas, que dependendo da aplicação, inutilizam o resultado da modelagem.

REFERÊNCIAS

- CASTANHARO, G. “Aplicação de modelos hidrodinâmicos no contexto de previsão de aflúências a reservatórios.” Curitiba, UFPR, 2003. 194p. Dissertação (Mestrado), UFPR.
- FILL, H. D. O. A. **Programa Channel-III: Descrição do programa e manual de utilização.** Curitiba: COPEL-SPE, 1980. não paginado. Relatório Técnico.

LIGGETT, J.A., CUNGE, J. A. Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equations. In: MAHMOOD, K., YEVJEVICH, V. **Unsteady Flow in Open Channels.** Fort Collins: Water Resources Publications, 1975. p. 29-62

MINE, M. R. M. “Método determinístico para minimizar o conflito entre gerar energia e controlar cheias”. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 146 p. Tese (Doutorado), UFRGS.

Considerations Regarding the use of Hydrodynamic Models in Flood Propagation in Reservoirs

ABSTRACT

This paper presents some contributions to the use of hydrodynamic models when simulating non-permanent flow in channels feeding reservoirs. The adherence of the elevation-capacity curve to the natural phenomenon is evaluated here. We propose a simple method for the elevation-capacity curve that employs adaptations of the cross-sections of the channels that are inserted in the hydrodynamic model. The effect of the lack of precision of the limnographs, used as downstream boundary conditions in the hydrodynamic models, over the computed discharges is also reviewed. The validation of the investigation and the proposed method was performed through simulation of a 110 km stretch of the Iguaçu River, in the State of Paraná, from the cities of União da Vitória (PR) and Porto União (SC) to the Foz do Areia Reservoir.

Key-words: hydrodynamic models, flood propagation, downstream boundary conditions.