

PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO ALTO IGUAÇU ATRAVÉS DO MONITORAMENTO E MODELAÇÃO MATEMÁTICA- PARTE I: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE CENÁRIOS

**Josete Fátima de Sá¹ Tânia Lúcia Graf de Miranda¹
Júlio Alberto Habitzreuter Jr.²**

RESUMO - A bacia do Alto Iguaçu engloba total ou parcialmente vários municípios da Região Metropolitana de Curitiba, os quais freqüentemente são assolados por enchentes, derivando destes processos muitos danos materiais, naturais e humanos. Assim, o Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba - PROSAM, integrou entre seus demais projetos, como de singular importância o Projeto de Monitoramento e Modelos de Simulação em Recursos Hídricos para Controle de Cheias, o qual fornece instrumentos para o monitoramento e acompanhamento da quantidade e qualidade da água, permitindo o gerenciamento eficaz da bacia do Alto Iguaçu. Torna-se possível a análise do impacto que novas obras ou qualquer outra ação externa pode ter sobre o comportamento dos rios que compõe a bacia. O modelo hidrodinâmico constitui o núcleo do sistema MIKE11. Os dados de entrada e os registros (ou previsão) de níveis de água são obtidos do modelo hidrológico implantado e calibrado para esta região. O modelo gera os fluxos no rio principal e no canal extravasador paralelo, como também a vazão afluyente da área modelada. Assim, os cenários montados para a discussão descrevem o evento crítico ocorrido, simulado sem/com as obras de melhorias e alguns eventos críticos que geram problemas em regiões específicas. De acordo com o exposto, este trabalho apresenta a simulação de um evento crítico proposto e a simulação da cheia ocorrida em 1995, na configuração atual do Alto Iguaçu, demonstrando assim, como é possível fornecer informações para as estratégias decisórias das instituições envolvidas no sistema de alerta de enchentes.

1- INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Alto Iguaçu abrange praticamente toda a Região Metropolitana de Curitiba, com área total de aproximadamente 2700 km², correspondendo ao trecho que estende-se desde o rio Iraí, na ponte PR-415 até o rio Iguaçu em Balsa Nova, com cerca de 83,5 km de extensão. É uma região predominantemente plana, apresentando grande extensão de várzeas naturais em ambas as margens, caracterizando as planícies de inundação. A maior parte destas, foram desapropriadas entre 1970 e 1980, pois encontram-se na área do Parque Regional do Iguaçu, cujo objetivo é evitar a conurbação urbana e amortecer as enchentes provenientes do rio Iguaçu. Infelizmente, nos últimos anos cresceram as ocupações irregulares em locais críticos.

Os principais afluentes, na área em estudo, são os rios Palmital, Atuba, Belém, Barigüi, Passaúna e Verde, na margem direita e Piraquara, Itaqui, Pequeno, Miringuava, Cotia e Maurício na margem esquerda, como pode ser visto na figura 1. As sub-bacias mais urbanizadas, tais como, Belém, Barigüi e, mais recentemente, Atuba apresentam hidrogramas típicos de áreas intensamente impermeabilizadas, atingindo picos em poucos minutos para eventos intensos de curta duração.

1.1- Formulação do Problema

As áreas mais atingidas por enchentes localizam-se junto à foz das sub-bacias, onde as declividades dos afluentes são mais baixas. Para chuvas de durações maiores, quando o rio principal encontra-se alto, ocorrem problemas resultantes da influência do remanso destes rios, impossibilitando o escoamento de vazão proveniente dos afluentes. Em janeiro de 1995 ocorreu uma cheia que atingiu gravemente esta região. Obras, tais como, a ampliação das seções e retificação do canal, a construção de diques na planície de inundação e a construção do canal extravasador foram propostas após o evento de 1995, para aumentar a capacidade de escoamento das cheias.

Os modelos de simulação hidrológica, hidrodinâmica e de qualidade de água são instrumentos para o monitoramento e acompanhamento da quantidade e qualidade da água, possibilitando a análise do

¹ FUNPAR/PROSAM - Fundação da Universidade Federal do Paraná / Programa de Saneamento Ambiental. Rua Santo Antonio, 239 Rebouças 80230-120 Curitiba-PR, fone (041)3334774 r. 2186, fax 3334774 r. 2197, e-mail : josete@pr.gov.br e tgraf@pr.gov.br

² SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Rua Santo Antonio, 239 Rebouças 80230-120 Curitiba-PR, fone(041)3334774 r.2145, fax r.2197, e-mail : jjunior@pr.gov.br

impacto que essas novas obras ou qualquer outra ação externa possa ter sobre o comportamento dos rios que compõe a bacia. Portanto, são instrumentos que permitem o planejamento das ações necessárias para o gerenciamento eficaz desta bacia.

Este projeto faz parte do PROSAM (Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba) que vem sendo executado na SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), através do consórcio DHI-VKI-INTERTECHNE. O software adotado é o MIKE11, desenvolvido pela DHI (Danish Hydraulic Institute).

2- DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO DO SISTEMA

O modelo hidrodinâmico (HD) constitui o núcleo do sistema MIKE11 de modelagem de rios, pois tanto o modelo de qualidade quanto o de previsão de cheias utilizam os resultados deste. Trata-se de um modelo unidimensional que aplicado com as equações de ondas hidrodinâmicas, resolve as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento integradas na vertical (equações de "Saint Venant"). Esta resolução baseia-se no esquema implícito de diferenças finitas desenvolvido por Abbott e Ionescu (1967), descrito em MIKE11-Reference Manual (1995). Considera-se que o fluxo é sub-crítico, embora seja possível modelar fluxos super-críticos dadas as condições mais restritivas. Os dados de entrada e os registros de níveis de água requeridos, bem como os aportes dos afluentes e aportes laterais ao longo do trecho modelado são obtidos a partir do modelo hidrológico NAM.

Parte integrante do MIKE11, o módulo NAM foi implantado e calibrado para esta região. A bacia do Alto Iguaçu foi dividida em 24 sub-bacias, conforme a figura 1. A calibração foi feita com séries de registros de 10 anos de dados (1985-95) de 18 estações pluviométricas, 1 pluviográfica e 17 fluviométricas (sendo 4 localizadas no canal principal e as outras nos afluentes). Foram selecionados 4 eventos críticos isolados neste período para a verificação.

O módulo de previsão de cheias (FLOODWATCH) é capaz de simular as enchentes na área, a partir dos resultados dos modelos NAM e HD e dos dados hidrológicos telemétricos transmitidos em tempo real, estações estas que ainda estão em fase de implantação. Portanto, a forma de previsão que pode ser feita no estágio atual do projeto é a simulação de cenários prováveis com eventos críticos.

Para a calibração e verificação do modelo hidrodinâmico foram utilizadas as séries de registros de níveis de água e de vazões de 1992 a 1995. Foi considerado somente este período, para compatibilizar as séries dos registros com os levantamentos das seções transversais de março/95. Após a cheia de janeiro de 1995 foram realizadas obras emergenciais para aumentar o escoamento. A figura 2 apresenta a planimetria do canal obtida em julho/97, incluindo o trecho do canal extravasor paralelo ao rio Iguaçu, já construído. Assim, a configuração do canal posterior a março/95 foi atualizada para a continuidade das simulações.

Foram elaborados três modelos hidrodinâmicos : um modelo primário do canal principal, com topografia de 1995 (pré-obras) e sem caracterizar os afluentes, pois não havia esta informação ; outro modelo do canal principal que inclui o canal extravasor em seu estado atual, com topografia de 1997 (pós-obras), e; um modelo que inclui a topografia de 1997 dos afluentes e a topografia de 1995 para o canal principal, sem incluir o canal extravasor.

3- PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE

Nos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico primário calibrado, IGUACU95P, observa-se claramente a necessidade da revisão das seções transversais após a implantação das obras emergenciais. A figura 3 apresenta a saída deste modelo, onde estão plotados os dados observados (pontos) com o hidrograma calculado (linha), podendo-se observar as alterações verificadas a partir de março/95.

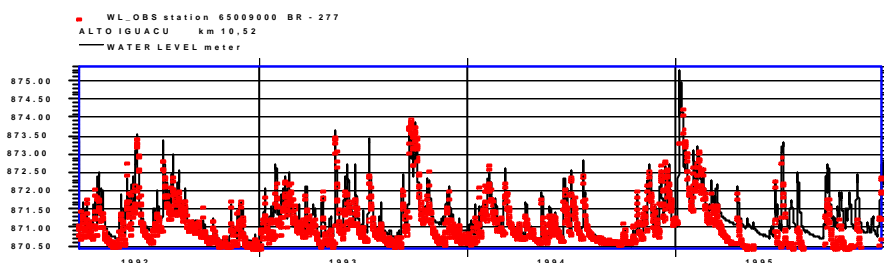


Figura 3 - Hidrograma com dados calculados e observados do modelo hidrodinâmico IGUACU95P - calibração e verificação.

Uma das etapas previstas nos trabalhos executados pelo Consórcio foi a execução do levantamento topográfico em julho/97, das seções transversais do canal principal, dos principais afluentes e das seções do canal extravasor, para que o modelo fosse calibrado com a configuração mais atual. Com as informações dos afluentes, uma versão mais detalhada do modelo pode ser montada (IGUACU95R), capaz de verificar o remanso criado no canal principal junto a foz de cada afluente. Já as seções atualizadas permitem a calibração de um modelo para as simulações atuais, gerando os fluxos no rio principal e no canal extravasor paralelo.

O modelo atual IGUACU97EP possibilita a simulação dos cenários para eventos críticos propostos em reuniões com os órgãos de meteorologia, de assuntos metropolitanos, saneamento e defesa civil, integrando as vivências destes em situações emergenciais. Os técnicos das instituições envolvidas podem familiarizar-se com a metodologia e organizar-se, antecipadamente para as ações de alerta. Assim, as seções transversais a serem observadas ao longo do Alto Iguaçu são definidas, de acordo com as proximidades das aglomerações urbanas, a partir da experiência destas instituições.

Os resultados das simulações são fornecidos através do perfil longitudinal do canal principal (figuras 4a e 4b), das seções transversais desenhadas com os níveis obtidos de cada evento simulado (figura 6b), dos gráficos (níveis \times tempo) que apresentam a evolução dos níveis no durante todo o evento chuvoso (figura 6a).

4- SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE INTERESSE

As simulações com os modelos hidrodinâmicos montados para antes da cheia de 95 e após a cheia, podem ser utilizados para diferentes avaliações de planejamento. A evolução dos níveis d'água durante a cheia é observada pelo modelo IGUACU95P, apresentado na figura 4a, onde estão representados os níveis de 6/janeiro/95 às 21h (quando o período mais crítico inicia) e de 8/janeiro/95 às 0h (quando ocorre o pico), portanto a evolução do evento em 51 horas. Novas simulações devem ser feitas durante a fase de projeto para avaliações, bem como durante a construção das obras, onde já é possível avaliar o real funcionamento. Finalmente, o último modelo definido com o projeto totalmente implantado, será utilizado na operacionalização, através da análise de cenários dos eventos críticos, paralelamente à implantação do modelo de previsão de cheias. A simulação da mesma cheia de 95 (a mais grave dos últimos anos) com o modelo mais atual, IGUACU97EP, conforme a figura 4b, onde estão representados os níveis de 6/janeiro e de 8/janeiro/95. No trecho próximo ao canal extravasor já construído (entre o km 10,53 e km 20,20), houve uma redução nos níveis de cerca de 1,50 m e a jusante deste trecho, onde foram feitas obras de retificação e dragagem, as reduções são da ordem de 0,20 m a 0,70 m, variável conforme os trechos que foram alterados.

Na criação dos cenários, a definição dos eventos críticos pode ser feita a partir das experiências práticas, conjuntamente com as análises das séries históricas de precipitação e níveis do canal principal. É adequado observar o período do ano que se deseja representar (estação do ano), para que

se estabeleça a situação antecedente da bacia hidrográfica. É possível, através da simulação de anos anteriores, observar os níveis críticos em determinadas estações, mais ou menos úmidas, influenciadas ou não pelo fenômeno El Niño, por exemplo, conforme as informações dos meteorologistas integrados a equipe.

A proposição desta primeira experiência foi de simular um evento para o outono, a partir de um estado antecedente semelhante aos observados em abril/maio de 1992 e 1993, anos estes que apresentaram invernos chuvosos. Os eventos ocorridos no final do verão que mereceram atenção, mencionados na reunião dos técnicos do sistema de alerta foram chuva de 70 mm distribuída em 1 dia, de 110 mm em 2 dias e 150 mm em 3 dias. Assim, esta chuva uniforme foi considerada. O hietograma é apresentado na figura 5.

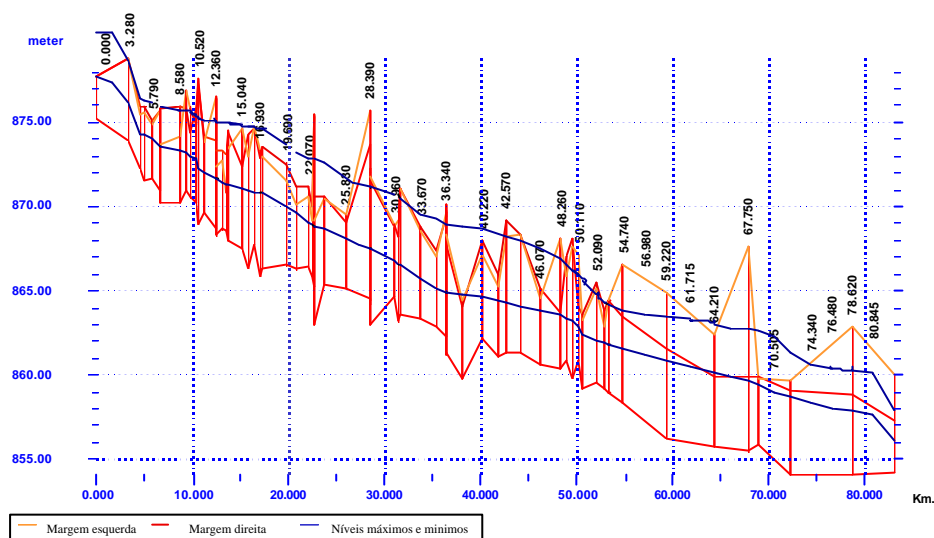


Figura 4a - Perfil do Alto Iguaçu 1995 com o nível de 6/janeiro/95 às 21h elevando-se até o pico da cheia em 9/janeiro/95 às 0h0.

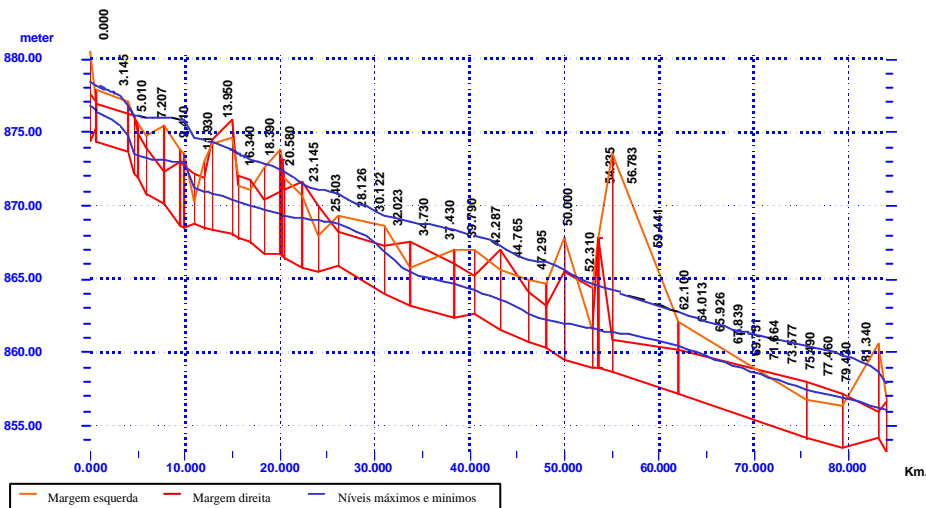


Figura 4b - Perfil do Alto Iguaçu 1997 com o nível de 6/janeiro/95 às 21h elevando-se até o pico da cheia em 9/janeiro/95 às 0h0.

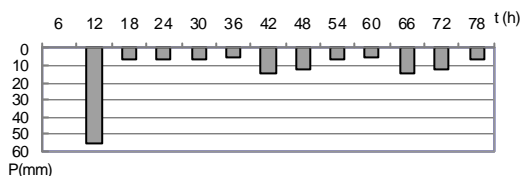


Figura 5 - Hietograma da precipitação proposta.

Conforme estudo estatístico de série histórica de 101 anos da estação de Curitiba, representativa da bacia do Alto Iguaçu apresentado por Tucci (1996), para um evento de 70 mm com 1 dia de duração o tempo de retorno é 2 anos, para 110 mm em 2 dias, é de 5 anos e para 150 mm em 3 dias, é de 10 anos.

O evento crítico de outono, foi então simulado, utilizando como período inicial (hotstart) de 1/abril a 13/maio/93. Os resultados obtidos estão representados em três seções transversais de interesse (figura 6b), sendo a evolução dos níveis representada ao longo de 3 dias de duração, respectivamente para as seções correspondentes (figura 6a).

Todas as informações gráficas (perfil longitudinal, níveis em diferentes momentos, em cada seção) podem ser fornecidas como tabelas ou boletins.

5- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os níveis para os 3 dias de duração do evento chuvoso proposto, representados nas seções transversais da figura 6b, podem ser observados com os níveis da cheia de 95. Para duas das seções, os níveis da chuva proposta não ultrapassa nem se iguala à cheia de 95, no entanto a seção de Balsa Nova resulta em níveis superiores à cheia mencionada. É importante salientar que a simulação foi realizada como uma primeira aproximação, considerando uma chuva uniforme para toda a bacia, o que não condiz com a realidade. O trecho próximo a Balsa Nova que é mais plano, está recebendo todo o escoamento das cabeceiras, bem como o aporte lateral de sub-bacias, tudo com uma chuva de mesma intensidade e duração. É necessário se fazer a consideração da distribuição espacial da chuva pela bacia, ou por observação de eventos anteriores na mesma estação do ano, ou ainda, pelos conhecidos métodos da literatura.

Os modelos se baseiam em simulação hidrológica das sub-bacias contribuintes e a simulação hidrodinâmica do canal principal do Iguaçu e do canal extravasor que tornam o cálculo mais rápido, contudo são menos sensíveis e sujeitos a eventuais erros nas condições iniciais. São mais apropriados para previsões de menor tempo de simulação como, por exemplo, para previsão de cheias ou para simulações de transporte e difusão de contaminantes. É aconselhável que se trabalhe simultaneamente com a modelação que inclui os braços afluentes, pois é mais sensível às condições iniciais e demonstra as interações entre o canal principal e os afluentes, requerendo um passo de tempo pequeno de cálculo e mais horas de trabalho computacional (devido às menores dimensões de altura de água dos canais afluentes).

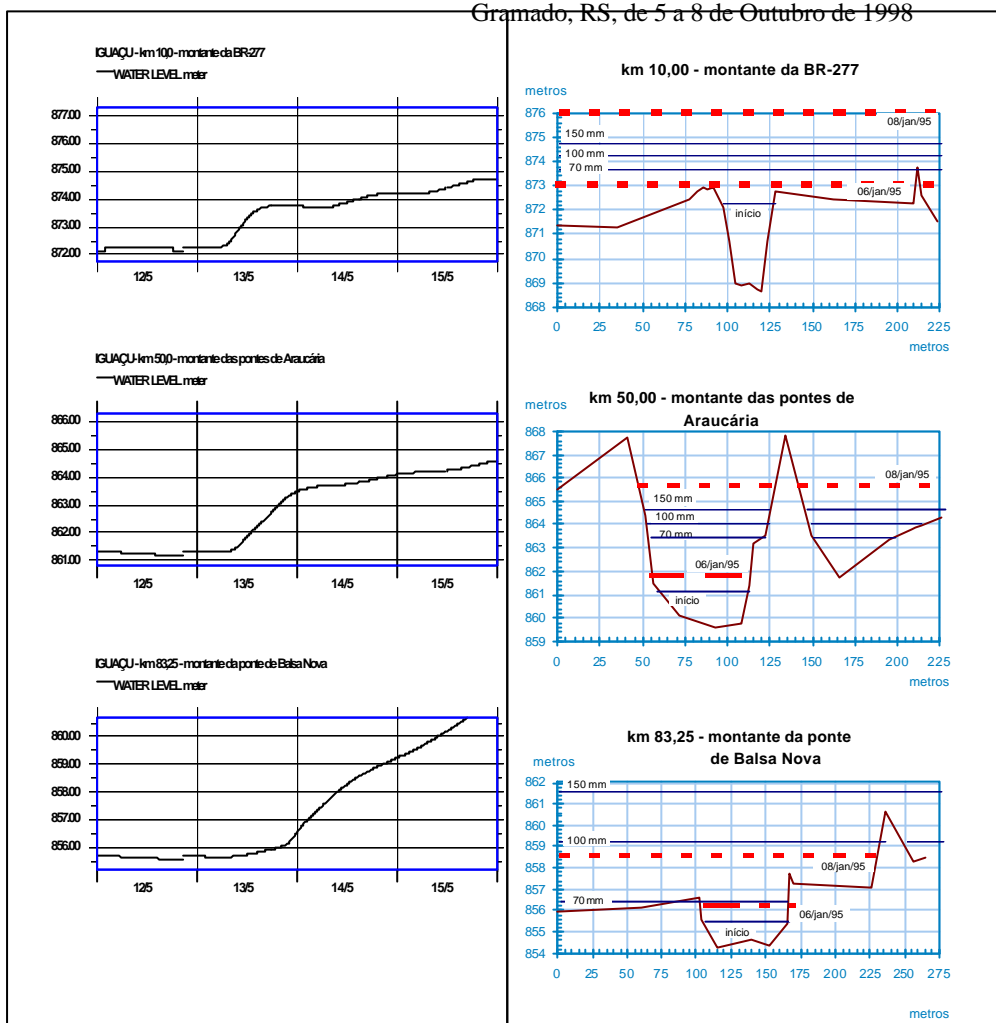


Figura 6a-Gráfico nível d'água x tempo para três seções transversais de interesse.

Figura 6b - Seções transversais com níveis críticos.

Partindo da análise dos cenários propostos, verifica-se a capacidade de auxiliar no monitoramento de áreas sujeitas à enchentes nos diferentes municípios, bem como, a contribuição com as informações para as instituições envolvidas no sistema de alerta, levando em conta sempre o princípio da precaução.

É importante salientar que o desenvolvimento deste sistema aplicado, inicialmente à bacia Alto Iguaçu, por ser utilizado em outras bacias, desde que estejam disponíveis, ou se crie a possibilidade de obtenção, dos dados necessários à simulação.

Este trabalho proporcionou uma primeira simulação crítica, dando condições de avaliar as saídas disponíveis do modelo hidrodinâmico, para utilização junto ao sistema de alerta, além de possibilitar a integração entre os técnicos envolvidos. Permitiu, principalmente que as falhas existentes possam ser avaliadas, como por exemplo, a necessidade de melhorar as saídas gráficas, em termos de torná-las mais amigáveis (uma vez que houve a necessidade de retoques nas saídas do modelo) e abriu as discussões a respeito dos boletins de alerta. As instituições envolvidas passam a defender a necessidade da atualização periódica dos levantamentos das seções transversais e da atualização das curvas-chave em todo o sistema.

As melhorias na utilização desta metodologia serão incrementadas à medida que este trabalho tenha continuidade, como já vem sendo desenvolvida a integração ao sistema de informações geográficas para refinamento e espacialização das informações.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DHI - Danish Hydraulic Institut, 1995. MIKE11 - Reference Manual Version 3.20, 1º ed.
- DHI - Danish Hydraulic Institut, 1996. MIKE11 - User's Guide Version 3.20, out.
- DHI - Danish Hydraulic Institut, 1997. MIKE11 - Relatório do Modelo Hidro-lógico, nov.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.

Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

DHI - Danish Hydraulic Institut, 1997. MIKE11 - Relatório do Modelo Hidro-dinâmico, dez.

TUCCI, C.E.M.. 1996. MP03 - Estudos hidrológicos-hidrodinâmicos do rio Iguaçu na RMC, COMEC/SUCEAM, fev.