

# PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO ALTO IGUAÇU ATRAVÉS DO MONITORAMENTO E MODELAÇÃO MATEMÁTICA II - ANÁLISE QUALITATIVA DA ÁGUA

Ely Carlos de Alvarenga<sup>1</sup>, Tânia L. Graf de Miranda<sup>1</sup>, Josete de Fátima de Sá<sup>1</sup>, João Lech Samek<sup>2</sup>

**Resumo** - A SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) tem desenvolvido vários trabalhos relativos à qualidade d'água na Região Metropolitana de Curitiba. Recentemente foi editada a publicação "Qualidade das Águas Interiores do Estado do Paraná no Período de 1987/95". Com os dados analíticos de 66 estações de coleta situadas na citada região, foram calculados os IQA's - Índices de Qualidade d'Água no período, podendo-se acompanhar a variação dessa qualidade, bem como verificar adequação da mesma às diversas utilizações dos recursos hídricos, principalmente para abastecimento público. Foi também desenvolvido um instrumento computacional (modelo matemático) que permite aos tomadores de decisões realizar uma previsão dos efeitos que podem ocorrer na qualidade da água na região. Através da conjugação dos dados disponíveis na publicação acima citada e as informações procedentes do Modelo de Qualidade de Água, será possível acompanhar a evolução da qualidade dos cursos d'água na Região Metropolitana de Curitiba, os quais apresentam intensa degradação. O modelo permite uma descrição dos efeitos de indicadores como oxigênio dissolvido, amônia, matéria orgânica ( $DBO_5$ ) e coliformes, os quais permitem realizar uma avaliação dos efeitos das cargas poluidoras na região. É, portanto uma ferramenta muito útil no planejamento do desenvolvimento urbano e industrial da região.

## 1- INTRODUÇÃO

A SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento ambiental do Estado do Paraná contratou junto ao consórcio DHI-VKI-INTERTECHNE o desenvolvimento e implantação de vários modelos matemáticos para auxiliar a gestão dos recursos hídricos na Bacia do Alto Iguaçu, que compreende parte da área metropolitana de Curitiba. O modelo global é o chamado MIKE-11, tendo sido instalados quatro módulos: (1) modelo hidrológico (NAM); (2) modelo hidrodinâmico; (3) modelo de previsão de enchentes em tempo real; (4) modelo de qualidade de água (cargas pontuais). O modelo hidrodinâmico (HD) constitui o núcleo do sistema de modelagem de rios, MIKE 11, foi desenvolvido pela DHI (Danish Hydraulic Institute).

O modelo de qualidade d'água é complementado por um outro (cargas distribuídas) desenvolvido no sistema ARC-VIEW e baseado em Sistema de Informações Geográficas - SIG. O presente trabalho irá abordar apenas os modelos de qualidade d'água. Todos os modelos já estão prontos e calibrados.

## 2- CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS MODELOS DE QUALIDADE

Os modelos de qualidade, antes de serem rodados, necessitam dos dados de vazão, que são fornecidos pelos modelos hidrológico e hidrodinâmico. Este último fornece as vazões e velocidades ao longo do curso d'água, bem como as cotas dos níveis d'água, ou seja a profundidade em cada seção, que é um parâmetro importante no cálculo dos coeficientes de reaeração dos rios e nas enchentes. O modelo hidrodinâmico necessita portanto, das condições hidráulicas dos rios. No presente caso, foram incluídos 80 km do rio Iguaçu, desde as nascentes, com o levantamento físico de 52 seções nesses trechos. Nos tributários há pouca disponibilidade de dados das seções, e as vazões dos mesmos são calculada pelo NAM, sem as cotas dos níveis d'água.

O modelo de cargas distribuídas (non-point) faz um levantamento das cargas poluidoras, em peso seco, para os seguintes parâmetros:  $DBO_5$ , nitrogênio total, fósforo total e coliformes. Ele trabalha com um sistema de informações geográficas, que são fornecidas em "camadas". Assim, são

---

<sup>1</sup> Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA/PROSAM/FUNPAR.

Rua Santo Antônio, 239 - Rebouças  
CEP 80230-120, Curitiba, Paraná, Brasil.  
tgraf@pr.gov.br

<sup>2</sup> Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA.

Rua Santo Antônio, 239 - Rebouças  
CEP 80230-120, Curitiba, Paraná, Brasil.  
Samek@pr.gov.br

introduzidos no modelo mapas com divisão da área em sub-bacias, topografia do terreno, densidade populacional, locação de indústrias, precipitações, uso do solo, rede hidrográfica, etc.

O modelo divide a área em células de aproximadamente 1,0 km<sup>2</sup>, e cruzando as camadas de informações, ele calcula para cada célula as cargas poluidoras de origem doméstica, industrial e "run-off" superficial. A carga de cada célula é autodepurada por um processo expedito, em função de sua distância até o corpo principal do rio Iguaçu, através de uma exponencial. Localizando uma célula qualquer, o modelo fornece a carga bruta originada nesta célula, a carga autodepurada que é lançada no rio Iguaçu, e a carga acumulada, incluindo as células de montante. Localizando a foz do tributário, obtém-se as cargas totais de cada sub-bacia.

A denominação de "cargas distribuídas" para este modelo não corresponde totalmente à realidade, pois cargas puntiformes, como as indústrias, podem ser introduzidas no mesmo. O modelo de qualidade propriamente dito (point model) simula as concentrações dos seguintes parâmetros ao longo do rio Iguaçu: DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica da oxigênio), OD (oxigênio dissolvido), temperatura, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e coliformes (totais e fecais). Ele recebe as cargas poluidoras das sub-bacias calculadas pelo modelo "non-point" e pode receber cargas pontuais (e também distribuídas) lançadas diretamente no rio Iguaçu.

As vazões dos tributários são fornecidas pelo NAM, e as vazões ao longo do Iguaçu são calculadas pelo modelo hidrodinâmico. O modelo de qualidade é também dinâmico, podendo, simular as concentrações ao longo de um período de tempo pré determinado.

A determinação da temperatura leva em conta a latitude, a perda por irradiação e a duração da insolação diária (função senoidal). A temperatura é um parâmetro muito importante, pois afeta a maioria dos parâmetros que influem na autodepuração. A equação da DBO<sub>5</sub> leva em conta o consumo bacteriano, a sedimentação e a eventual suspensão de sedimentos de fundo. A equação do DO considera a oxidação da matéria orgânica por bactérias, a aeração atmosférica, a nitrificação da amônia, a respiração de plantas e animais, a fotossíntese e a demanda bentônica. A equação da amônia leva em conta a degradação da matéria orgânica, a nitrificação e o consumo por plantas e bactérias. A equação dos nitratos considera a nitrificação da amônia e a desnitrificação. O decaimento de coliformes leva em conta a temperatura, a salinidade e a intensidade da luz.

### 3- O MODELO DE QUALIDADE E AS CONDIÇÕES ATUAIS DA ÁREA METROPOLITANA

O modelo de qualidade d'água foi elaborado para a bacia do Alto Iguaçu em sua porção contida na Região Metropolitana de Curitiba, conforme figura 1. A população considerada foi de 1.959.038 habitantes, distribuída nas diversas sub-bacias. Foram ainda consideradas 20 indústrias de porte significativo, mais um acréscimo percentual na carga doméstica, por conta de pequenas indústrias. As cargas do "run-off" foram obtidas atribuindo-se concentrações médias de poluentes ao escoamento superficial, em função do uso do solo.

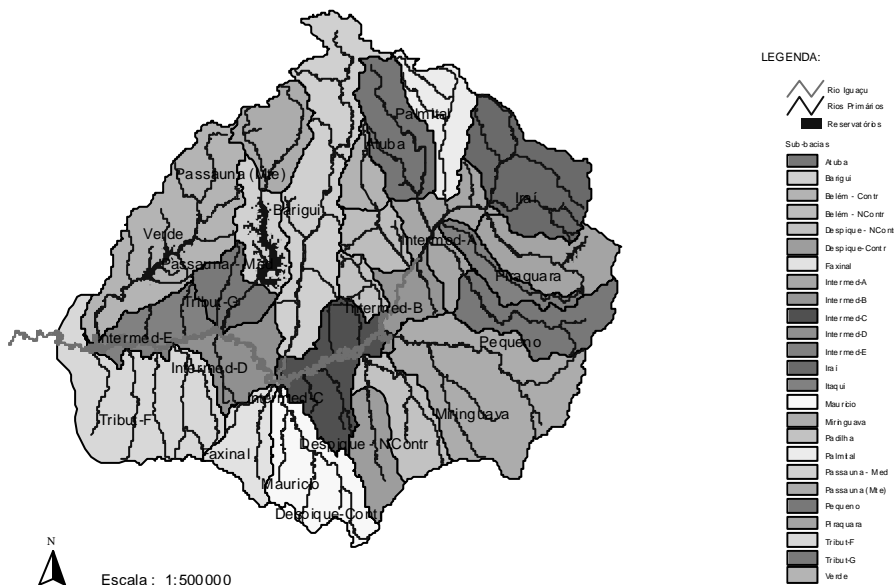


Figura 1 - Região Metropolitana de Curitiba - Bacia do Alto-Iguaçu

Com relação ao tratamento de esgotos existe a ETE-Belém (valo carrossel) que atende cerca de 300.000 habitantes com uma eficiência de 97% em termos de remoção de  $DBO_5$ , mais 70 RALF's (reatores anaeróbicos de leito fluidizado) de pequeno porte, espalhados pela área, que atendem cerca 87.500 habitantes. A operação dos RALF's é de difícil operacionalização e sua eficiência média é de 56%. A população que tem esgoto tratado é cerca de 20% da população total. A ETE-Belém atende cerca da metade da população da sub-bacia.

O modelo foi aplicado ao período de junho-julho de 1997 e calibrado com base nos dados de quatro campanhas de campo para coleta de amostras efetuadas nesse período, sendo duas delas intensivas, com coleta de três em três horas. Os parâmetros calibrados são mostrados na tabela - 1.

Parâmetro	Valor	Unidade
Fator de dispersão	15	m <sup>2</sup> /s
Equação de reaeração	O'Connor-Dubbins	
Valor máximo diário de produção por fotossíntese	0,5	g/m <sup>2</sup> .dia
Respiração por animais e plantas	0,3	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .dia
Taxa de decaimento de DBO de 1ª. ordem, 20°C (valor global)	0,1	dia <sup>-1</sup>
Valor local, 0-20 km	0,15	dia <sup>-1</sup>
Valor local, 20-30 km	0,15 → 0,1	dia <sup>-1</sup>
Demanda de oxigênio dos sedimentos	0,5	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .dia
Resuspensão de matéria orgânica	0,5	g BOD/m <sup>2</sup> .dia
Taxa de sedimentação da de matéria orgânica (valor global)	1,0	m/dia
Valor local, 20-83 km	0,5 → 1,0	m/dia
Velocidade crítica para resuspensão (valor global)	0,6	m/s
Valor local, 20-83 km	0,6 → 1,0	m/s
Taxa de nitrificação a 20°C	1,54	dia <sup>-1</sup>
Taxa de denitrificação a 20°C (valor global)	1,0	dia <sup>-1</sup>
Valor local, 0-20 km	10	dia <sup>-1</sup>
Valor local, 20-83 km	10 → 1	dia <sup>-1</sup>
Taxa de decaimento de coliformes fecais de 1ª. ordem, 20 °C	0,7	dia <sup>-1</sup>
Taxa de decaimento de coliformes totais de 1ª. ordem, 20 °C	1,0	dia <sup>-1</sup>

Tabela 1 - Parâmetros básicos de calibragem utilizados no modelo MIKE 11 AD/WQ.

Todas as extensões (km) se referem ao Alto Iguaçu. Os resultados da simulação para parâmetros  $DBO_5$ , OD e nitrogênio amoniacal são mostrados nos desenhos anexos. O modelo fornece perfis sanitários dinâmicos ao longo do rio, bem como gráficos fixos dos parâmetros para uma seção escolhida qualquer, cobrindo o período de tempo considerado. Os perfis anexos mostram más condições de qualidade para o curso do rio Iguaçu, com  $DBO_5$  na faixa de 5,0- 55,0 mg/l, nitrogênio amoniacal na faixa de 1,0 - 11,8 mg/l, OD na faixa de 0,5 -7,0 mg/l, com valores médios em torno de 3,0 mg/l e coliformes totais na faixa entre 10.000 - 450.000 C/100ml. Os gráficos anexos mostram as condições de qualidade nas seções da Av. da Torres (km 13,66) e Guajuvira (km 61,71). Na primeira a  $DBO_5$  variou na faixa de 12-45 mg/l e na segunda em 10,0 -25,0 mg/l; para a amônia as faixas foram de 2,0 - 9,0 mg/l e 1,0 - 4,5 mg/l respectivamente; para o OD 1,0 - 5,5 mg/l e 1,0 - 4,0 mg/l; coliformes totais na faixa de 10.000-450.000 C/100ml.

#### 4 - ALTERAÇÕES NO CENÁRIO A CURTO PRAZO

A SANEPAR está prestes à inaugurar três estações de tratamento de esgotos ( ETE's ) importantes, sendo uma na sub-bacia do rio Palmital, outra no rio Atuba e a terceira no rio Barigüi. Por outro lado o Programa PARANÁSAN prevê a implantação de mais cinco ETE's nas bacias dos rios Barigüi e Padilha, nos próximos 2-3 anos. O sistema de tratamento previsto é por RALF's, combinados com um tratamento complementar com filtros biológicos , ou eventualmente o sistema de "wet-lands".

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.  
Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

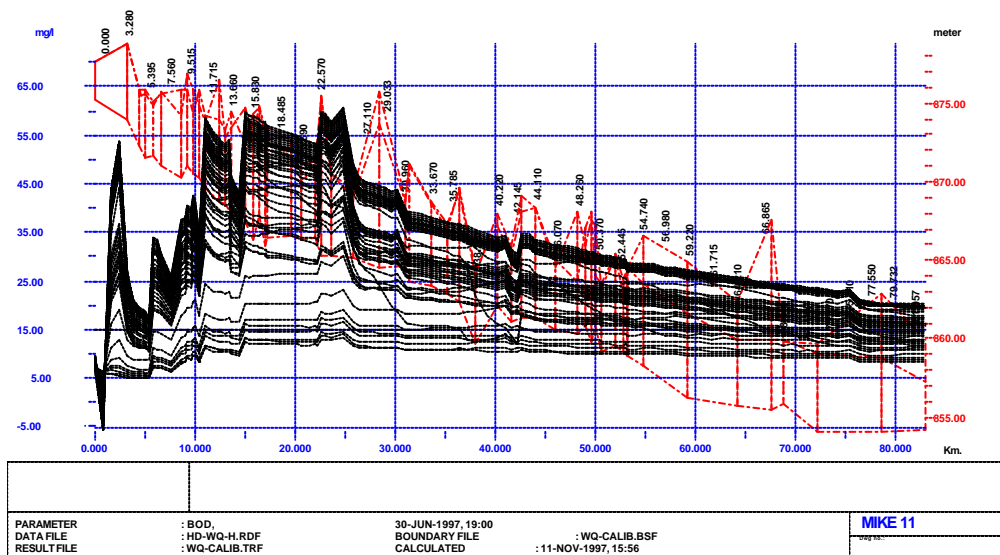
Com isso pretende-se tratar os esgotos de toda a população das sub-bacias. Os planos para a bacia do rio Belém não estão bem definidos, e ela não foi incluída neste estudo.

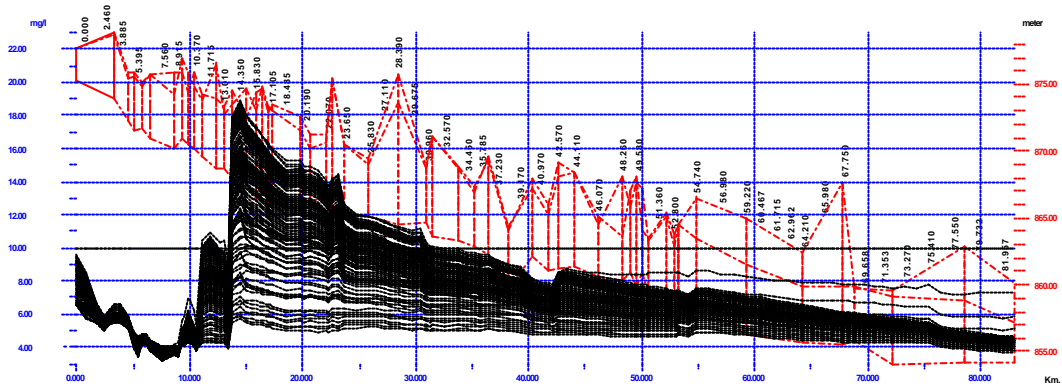
Surgiu então a idéia de utilizar-se o modelo de qualidade para avaliar as melhorias que estas obras trariam para a qualidade da água do rio Iguaçu. Para tanto, os tratamentos previstos foram introduzidos nas respectivas bacias e rodou-se o modelo para as novas situações de cargas poluidoras, utilizando-se as mesmas vazões do período junho-julho de 1997. A tabela - 2 ilustra os dados básicos utilizados.

Sub-bacia	População atendida (habitantes)	Vazão média esgotos (l/s)	DBO <sub>5</sub> efluente (mg/l)	N-NH <sub>4</sub> efluente (mg/l)
Palmital	63.484	135	30	8
Atuba	415.749	885	30	8
Padilha	142.330	303	30	8
Barigüi	451.363	961	30	8

Tabela 2- Dados básicos das novas estações

As populações são as mesmas utilizadas no cenário de 1997 ( Censo Demográfico de 1991 do IBGE), para possibilitar a comparação. A população com tratamento representará cerca de 70% da população total, e a carga poluidora total, em termos de DBO<sub>5</sub>, representa 57% da carga do cenário inicial. Os resultados obtidos mostram uma sensível melhora nas condições do rio Iguaçu. Os perfis sanitários (figuras 3 e 4), mostram que a DBO<sub>5</sub> passou a variar na faixa de 3,0 - 19,0 mg/l, o nitrogênio amoniacal atingiu a faixa de 0,2 - 3,5 mg/l, o OD subiu para a faixa de 1,8 - 8,0 mg/l, com valores médios em torno de 4,5 mg/l e os coliformes totais caíram para a faixa de 5.000 - 65.000 C/100ml. Os gráficos para as seções da Av. das Torres e Guajuvira mostram que a DBO<sub>5</sub> variou na faixa de 6,0 - 18,0 mg/l e 4,0 - 9,0 mg/l, respectivamente; o nitrogênio amoniacal na faixa de 0,1 - 3,3 mg/l e 0,5 - 1,0 mg/l, o OD subiu para as faixas de 5,0 - 6,5 mg/l e 3,0 - 6,0 mg/l. As sub-bacias Palmital e Atuba estão a montante da Av. das Torres, e as quatro bacias consideradas à montante da seção Guajuvira. Note-se que a melhoria das condições sanitárias do rio ocorre principalmente nos 15 km do seu trecho inicial, refletindo na diminuição da concentração de poluentes ao longo de todo o trecho estudado.





PARAMETER	: BOD	30-JUL-1997 19:00		
DATA FILE	: HD-WQH.RDF	BOUNDARY FILE	: ETES.RSF	MIKE 11
RESULT FILE	: ETES.TRF	CALCULATED	: 28-MAY-1998 11:15	

Figura 2 - Perfis sanitários de DBO<sub>5</sub> ao longo do Rio Iguaçu, no período junho-julho/97, com a situação atual (acima) e com as novas ETE's (abaixo).

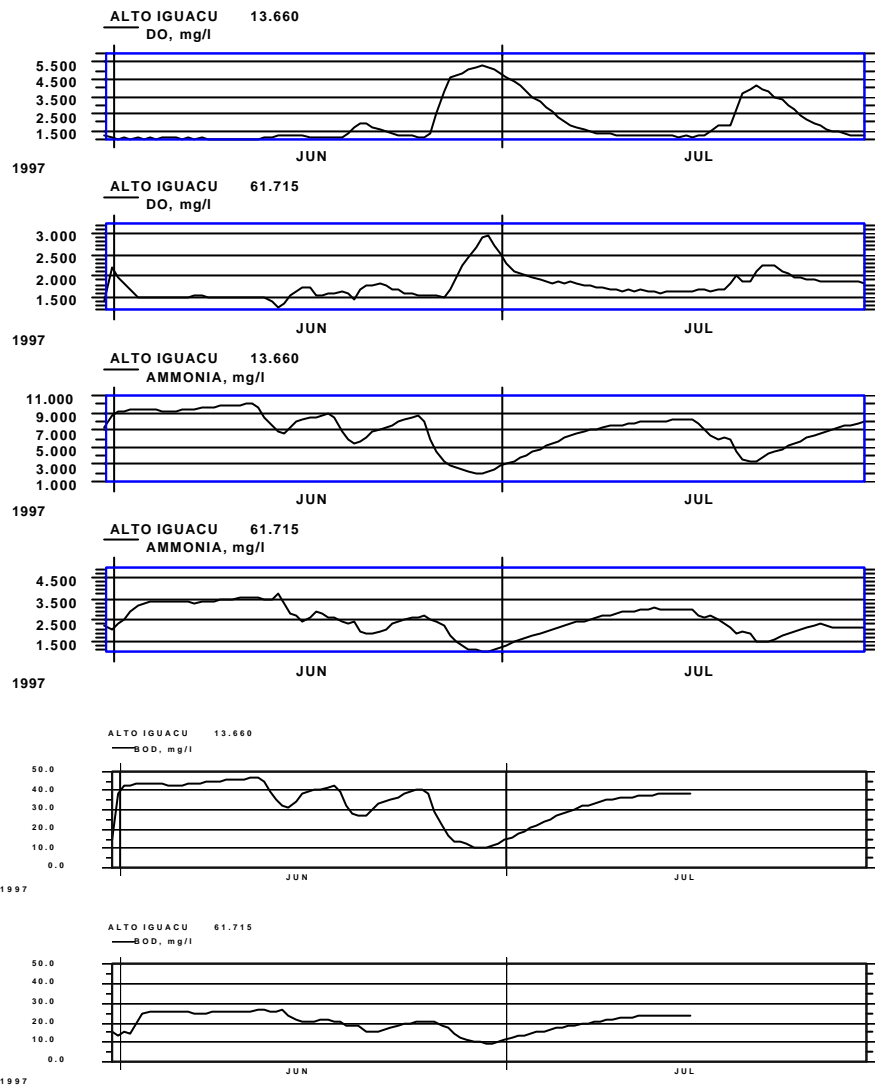


Figura 3 - Perfis sanitários do rio Iguaçu nas seções Av. das Torres (13,66 km) e Guajuvira (61,715 km) resultantes da simulação com a situação em junho-julho de 1997.

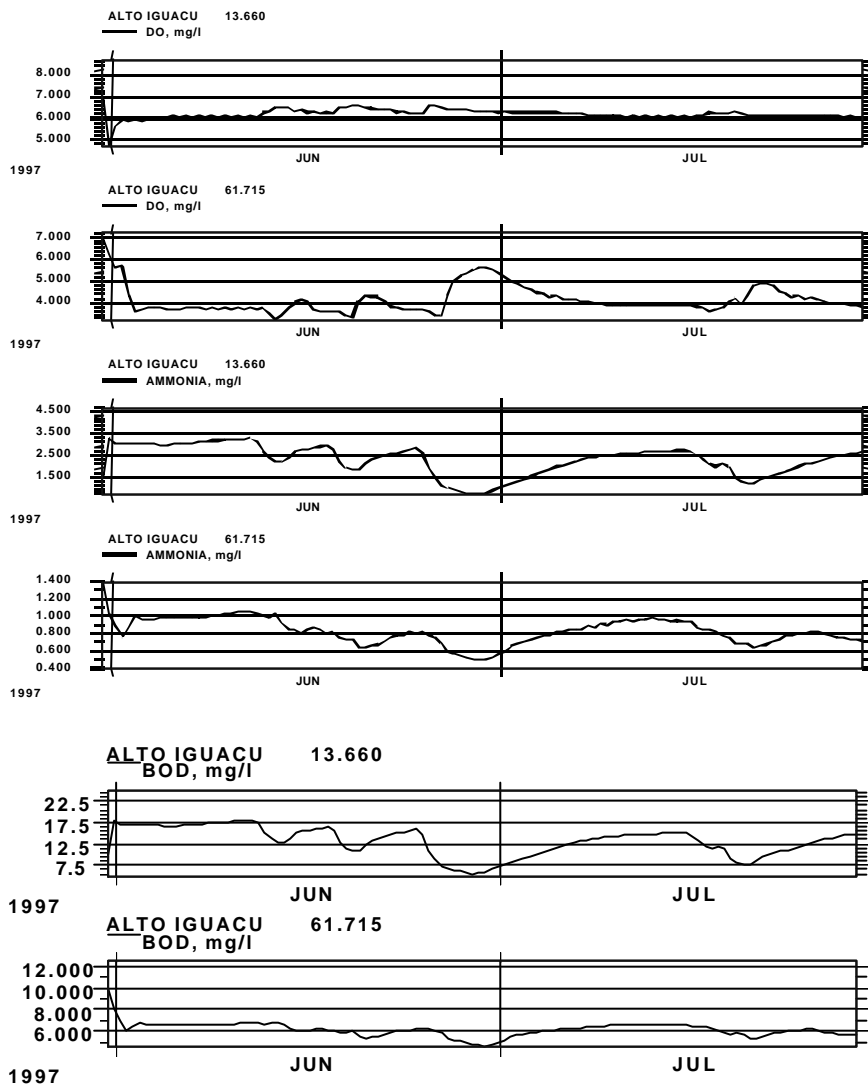


Figura 4 - Perfis sanitários do rio Iguacu nas seções Av. das Torres (13,66 km) e Guajuvira (61,715 km) resultantes da simulação à partir da inclusão das novas ETE's no cenário junho-julho 1997.

## **5 - CONCLUSÕES**

As obras que estão sendo implantadas proporcionarão uma melhora significativa na qualidade da água do rio Iguaçu, notadamente com relação às concentrações de OD e nitrogênio amoniacal. Quanto a DBO<sub>5</sub>, apesar da melhora verificada, a carga da população remanescente sem tratamento, mais a carga residual das ETE's, é suficiente para manter as concentrações de DBO<sub>5</sub> acima do limite de 5,0 mg/l para rios de classe 2 como o Iguaçu. O OD, na metade inferior do trecho considerado, estaria, na maior parte do tempo, abaixo do limite de 5,0 mg/l para a classe 2.

Deve ser lembrado que o modelo foi aplicado aos meses de junho-julho, que são críticos em termos de poluição hídrica, pois correspondem à estação com menor incidência de precipitações pluviométricas. Pode-se dizer que melhorias adicionais dependem fundamentalmente do tratamento dos esgotos de toda a população da sub-bacia do rio Belém, que é a mais populosa.

O modelo de qualidade d'água revelou-se um instrumento útil e versátil para avaliar os benefícios ambientais provenientes dos investimentos em estações de tratamento de esgotos efetuados pela SANEPAR. Ele pode ainda ser utilizado para outras finalidades, como definir os graus de tratamento necessários para o completo enquadramento dos rios em suas respectivas classes e avaliar o impacto ambiental causado por empreendimentos específicos como distritos industriais, conjuntos residenciais, instalação de uma indústria de grande porte, etc.

## **6 - REFERÊNCIAS**

DHI - Danish Hydraulic Institut. (1995). MIKE 11 - Reference Manual Version 3.20., 1º. Ed.

DHI - Danish Hydraulic Institut. (1996). MIKE 11 - User's Guide version 3.20, out.

DHI - Danish Hydraulic Institut. (1997). MIKE 11 - Relatório Final do Modelo de Qualidade da Água, dez.