

# Avaliação da variabilidade de parâmetros ambientais numa lagoa urbana (Campos dos Goytacazes, RJ) com auxílio do sistema MOHID

*Evaluation of environmental parameters variability in an urban lagoon (Campos dos Goytacazes / RJ) using the MOHID System*

Carlos Henrique Oliveira Precioso\*  
Francine de Almeida Kalas\*\*  
Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues\*\*\*  
Jader Lugon Junior\*\*\*\*

## Resumo

Modelos computacionais têm sido largamente utilizados na geração de cenários e na tomada de decisões sob o prisma ambiental. Neste trabalho, o comportamento de parâmetros ambientais num corpo d'água lacustre impactado (Lagoa do Vigário/RJ) foi avaliado com auxílio da plataforma MOHID. Os resultados experimentais juntamente com os mapas de dispersão gerados na interface gráfica GIS permitiram um diagnóstico acerca da qualidade das águas da lagoa de forma satisfatória. Na interface GUI, as simulações de diferentes cenários (descargas sanitárias e escoamento fluvial) nos pontos amostrados favoreceram a calibração do modelo quanto aos parâmetros Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio, Temperatura.

**Palavras-chave:** Qualidade de água. Modelagem ambiental. Mohid.

## Abstract

Computational models have been widely used in the generation of scenarios and decision making in environmental studies. In this paper, the behavior of environmental parameters in a highly impacted lagoon (Vigario Lagoon, Campos / RJ) was evaluated, with the aid of the MOHID system. Results obtained in the field and dispersion maps obtained with the GIS graphical user interface (GUI), allowed for a satisfactory diagnosis

\* Secretaria de Meio Ambiente de Campos dos Goytacazes, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, *campus* Macaé, RJ, Brasil. E-mail: chop.rj@gmail.com.

\*\* Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – UERJ, *campus* Nova Friburgo, RJ, Brasil. E-mail: fakalas@iprj.uerj.br.

\*\*\* Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – UERJ, *campus* Nova Friburgo, RJ, Brasil. E-mail: pwatts@iprj.uerj.br.

\*\*\*\* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, *campus* Macaé, RJ, Brasil. SENAI RJ Ambiental - CTS-A, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: jljunior@ifff.edu.br.

of the water quality of the lagoon. In the interface, the simulations of different scenarios (sanitary discharges and river outflow) in the points facilitated the calibration of the model regarding the following parameters: Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand, Total Nitrogen and Temperature in Vigario Lagoon.

**Key words:** Water quality. Ambiental modeling. Mohid.

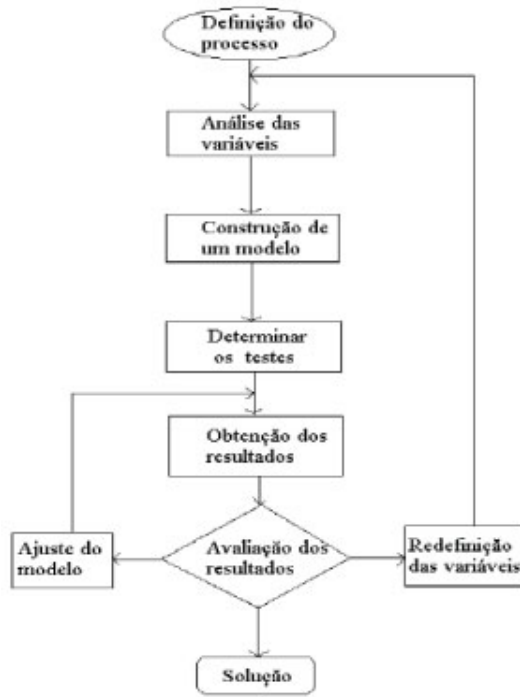
## **Introdução**

Os ecossistemas costeiros têm sofrido grandes alterações nas últimas décadas como resultado da crescente evolução tecnológica. Essas alterações refletem, sobretudo, na deterioração da qualidade das águas, principalmente decorrente do processo de eutrofização<sup>1</sup>. A intensidade e diversificação no uso dos recursos hídricos têm gerado uma necessidade crescente de implantação de ações para o monitoramento e gestão desses ecossistemas.

Nesse sentido, a utilização de modelos computacionais tem se tornado a cada dia mais relevante, tendo em vista a capacidade de relacionar causas e efeitos, e o acompanhamento das alterações provenientes da ação do homem, permitindo previamente aos gestores a possibilidade da tomada de decisões. Ainda que sejam simplificações da realidade, os modelos, se adequadamente calibrados e validados, são extremamente úteis, principalmente pela capacidade de gerar diferentes cenários e manipular uma grande quantidade de variáveis (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Eutrofização – Processo em que a produção de matéria orgânica no corpo d'água é superior à capacidade de autodepuração do mesmo, ocasionando uma ruptura do equilíbrio ecológico e em alterações no metabolismo do sistema.



**Figura 1:** Esquema sequencial no processo de simulação computacional  
 Fonte: Evora & Giorgeti, 1997

O sistema MOHID<sup>2</sup> (*Water Modelling System*) é uma ferramenta numérica cuja linguagem foi desenvolvida em ANSI FORTRAN 95 (compatível com qualquer sistema operacional) e a filosofia de programação orientada por objetos. As equações fundamentais que governam os escoamentos em corpos d’água são deduzidas a partir da aplicação dos princípios básicos de leis de conservação de massa, momentum e energia. Sendo assim, os modelos hidrodinâmicos (MH) fundamentam-se em equações bem estabelecidas pela Mecânica dos Fluidos, sendo utilizadas na simulação de velocidades e coeficientes de difusão necessários como dados de entrada para o módulo de transporte euleriano.

Por outro lado, os modelos de transporte de substâncias conservativas (MTSC)

<sup>2</sup> O MOHID é um programa de modelagem computacional aplicado à gestão dos recursos hídricos e foi desenvolvido pela empresa MARETEC, em parceria com a Universidade de Lisboa/Portugal.

são expressos por uma equação em que a principal incerteza está na definição dos coeficientes de dispersão, enquanto que nos modelos de transporte de substâncias não conservativas (MTSNC), a incerteza está na dependência funcional das reações que representam remoção ou produção da substância em meio aquático (LIMA et al., 2009).

Para que seja possível a solução das equações envolvidas na simulação do ambiente em estudo, utilizam-se soluções numéricas, substituindo o domínio contínuo por um domínio discreto, o que resulta em equações algébricas cujas soluções podem ser obtidas através de algoritmos computacionais (WROBEL, 1989). A ideia é o uso de funções de interpolação para alcançar soluções aproximadas do problema.

A importância de simulações numéricas na geração de cenários sob o âmbito ambiental é apresentada neste trabalho. A avaliação do comportamento de parâmetros ambientais em um corpo d'água lacustre altamente impactado (Lagoa do Vigário, Campos/RJ) é abordado com auxílio da plataforma MOHID, sobretudo através de suas interfaces gráficas – GIS<sup>3</sup> e GUI<sup>4</sup>.

## **Metodologia**

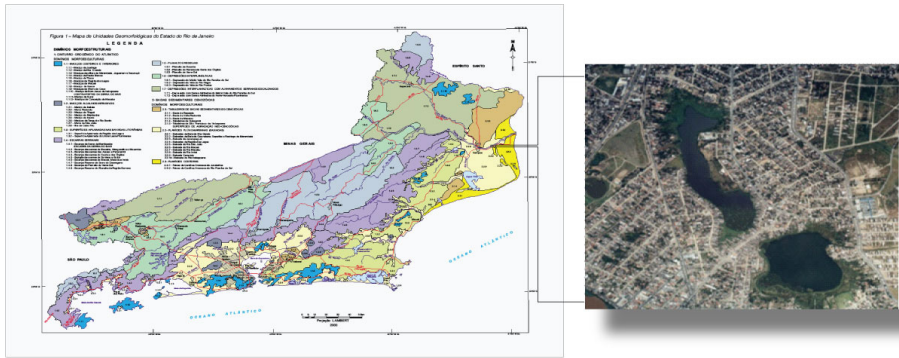
### *Caracterização da Área de Estudo*

A lagoa do Vigário é um corpo lacustre com aproximadamente 0.3 km<sup>2</sup> localizado no município de Campos dos Goytacazes, região norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 2). A área urbana em que está inserida apresenta coordenadas geográficas situadas entre 21° 45' 15" S e 41° 19' 28" O, estando compreendida entre os bairros Jardim Carioca e Parque Calabouço (SANTOS, 2007).

O seu entorno, devido à ausência de planejamento do poder público, foi totalmente ocupado irregularmente por residências e atividades econômicas que impõem à lagoa uma série de impactos ambientais que aceleraram ano a ano o processo de eutrofização de suas águas, em decorrência do aporte, via lançamentos diretos e indiretos, de materiais orgânicos e inorgânicos.

<sup>3</sup> A interface GIS (*Geographical Information System*) é uma ferramenta gráfica com objetivo de transformar informações geográficas em dados discretos do modelo. Ele gera arquivos com dados de informações sobre batimetria, profundidades, grades computacionais, etc.

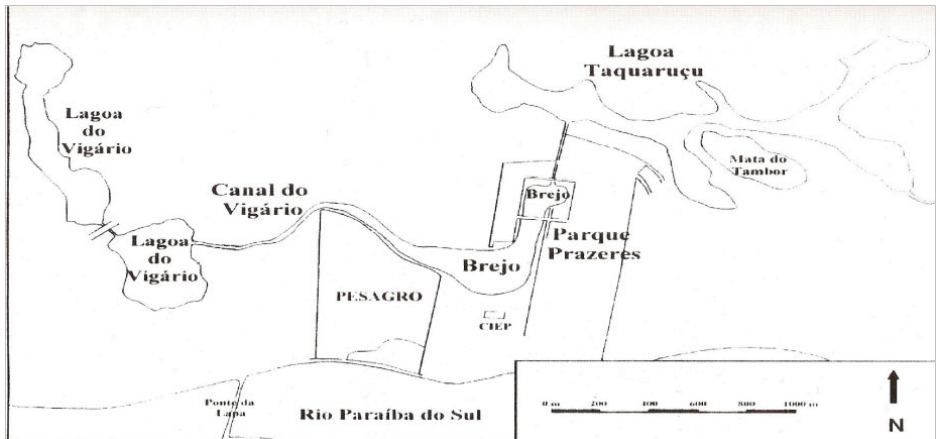
<sup>4</sup> A interface GUI (*Graphical User Interface*) é uma ferramenta gráfica que organiza os arquivos do GIS e cria pastas para armazenar os resultados de diferentes simulações geradas. É nessa interface que são geradas as simulações em um pré e pós-processador.



**Figura 2:** Mapa Geomorfológico do Rio de Janeiro (à esquerda) com indicação da Lagoa do Vigário, município de Campos dos Goytacazes / RJ (à direita)

Fonte: elaboração própria a partir de dados do DRM, 2009

Na Figura 3 percebe-se ainda que a lagoa do Vigário não é um corpo isolado, apresentando um “canal defluente” na sua porção Sul, o canal do Vigário, que está ligado ao brejo dos Prazeres e à lagoa Taquaruçu, cujas águas são reguladas por comportas que permanecem a maior parte do ano fechadas. No período de estiagem, a maior contribuição por aporte de efluentes orgânicos ocorre por lançamentos pontuais ao longo das margens, provenientes não só de residências, pequenas fábricas e comércios, mas da própria rede pública de galerias pluviais, cuja lagoa é a principal bacia de acumulação.



**Figura 3:** Desenho Esquemático da Ligação da lagoa do Vigário, através do canal do Vigário, com o Brejo Prazeres e Lagoa do Taquaruçu

Fonte: Lannes, 2004

A campanha de amostragem foi estabelecida, portanto, de forma a abranger as principais fontes de descargas orgânicas, respectivamente LV1, LV2, LV3, LV4, LV5 e LV6, conforme a Tabela 1. Os pontos de amostragem foram escolhidos seguindo o fluxo natural da bacia, que deflui na direção Noroeste-Sudeste. A Tabela 1 apresenta a localização das estações de coleta na lagoa do Vigário.

**Tabela 1:** Localização dos pontos amostrados na Lagoa do Vigário (coordenadas UTM)

<b>Estações</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
LV1*	0260247 E	7593728 S
LV2*	0260407 E	7593693 S
LV3*	0260571 E	7593775 S
LV4*	0259944 E	7594583 S
LV5*	0260006 E	7594218 S
LV6*	0260149 E	7594022 S
LV7	0260564 E	7593714 S
LV8	0260493 E	7593678 S
LV9	0260335 E	7593605 S
LV10	0260234 E	7593507 S
LV11	0260415 E	7593562 S
LV12	0260620 E	7593547S
LV13	0260524 E	7593425 S
LV14	0259894 E	7594473 S
LV15	0259958 E	7594421 S
LV16	0259981 E	7594374 S
LV17	0259969 E	7594205 S
LV18	0260062 E	7594167 S
LV19	0260186 E	7594130 S
LV20	0260174 E	7593958 S

\* Pontos Amostrais cujos parâmetros foram simulados.

### **Modelagem dos Dados**

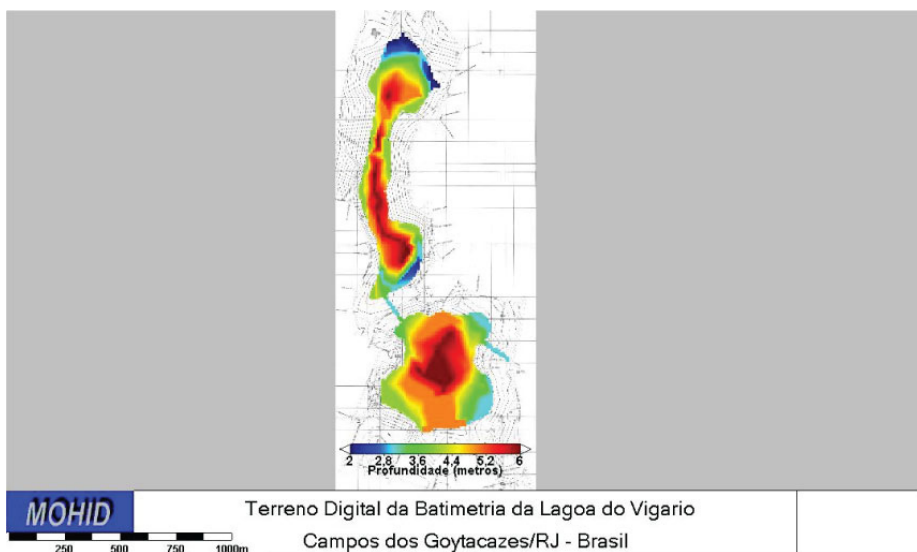
Os seguintes parâmetros ambientais foram analisados para a avaliação da qualidade das águas na lagoa do Vigário neste estudo: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Particulado (NTP),

Temperatura, pH e Condutividade, sendo que alguns deles foram medidos no próprio local de amostragem, com auxílio de instrumentação apropriada, e outros submetidos à análise laboratorial específica, realizadas no Centro de Tecnologia Ambiental (CTS-A) SENAI do sistema Firjan/RJ.

O acompanhamento da simulação de alguns desses parâmetros foi realizado com auxílio das interfaces gráficas do sistema MOHID.

Na interface gráfica GIS foi realizado todo o embasamento da batimetria da região de estudo, necessária para a alimentação do modelo hidrodinâmico. A discretização do domínio utilizou uma malha de 95 X 35 nós.

Para geração do terreno digital batimétrico foi necessário dispor das profundidades da lagoa do Vigário (valores entre 4 e 8 metros) em relação a um referencial, ou seja, a uma profundidade arbitrária. Adotou-se uma profundidade arbitrária de 10 metros e, dessa forma, os valores gerados na planta batimétrica (2 a 6 metros) são relativos a esse referencial (Figura 4).



**Figura 4:** Terreno Digital da Batimetria, gerado na interface gráfica GIS da Plataforma MOHID

A simulação dos diferentes cenários (hipóteses) de descarga na interface GUI tornou-se possível somente depois de gerado o terreno digital da batimetria na interface GIS. Isto se deve ao fato de que o domínio de discretização no qual o modelo computacional aplica sua formulação numérica (MVF) é utilizado na interpolação dos pontos amostrados.

Além do mapa digital batimétrico, também foram gerados, na interface GIS, mapas de dispersão dos parâmetros ambientais estudados. Os mapas de dispersão podem ser utilizados como uma ferramenta adicional, juntamente com as simulações geradas na interface GUI para diferentes descargas d'água na região, na abordagem sobre a qualidade das águas da lagoa. Todavia, os resultados serão discutidos no próximo item.

A próxima etapa de trabalho foi a geração de 2 (dois) diferentes cenários (hipóteses), a partir dos dados levantados em campo, na interface GUI (simulador) da Plataforma Mohid. Para tal, foi necessário fixar condições iniciais (valores de fronteira), dispostas da seguinte forma:

- 20 °C, para o parâmetro Temperatura;
- Concentração inicial de 4 mg.L<sup>-1</sup>, para o parâmetro OD;
- Concentração inicial de 6 mg.L<sup>-1</sup>, para o parâmetro DBO;
- Concentração inicial de 2 mg. L<sup>-1</sup>, para o parâmetro NTP;
- Velocidade média de 1.1 m.s<sup>-1</sup> para ventos na direção SE-NO;
- Radiação solar do dia (19/05/2010), de 170 watts/m<sup>2</sup>;
- Cobertura de nuvens, em percentual, de 10%.

O primeiro cenário proposto (hipótese 1), foi o do lançamento de uma descarga com volume de efluentes da ordem de 27.777 m<sup>3</sup>/dia, que representaria o volume total de todos os despejos na lagoa (2.777 m<sup>3</sup>/dia, sem operação da ETE), mais um incremento de aumento de consumo e de população, 10 (dez) vezes maior. Dessa forma, foi introduzida uma descarga com volume de 27.777 m<sup>3</sup>/dia (considerando a descarga diária de 2.777 m<sup>3</sup>/dia, segundo informações obtidas na companhia *Águas do Paraíba*), ou seja, 0,3214 m<sup>3</sup>/s. A descarga de efluentes do Cenário 1 tem as seguintes características: Volume de 0,3214 m<sup>3</sup>/s, DBO de 30 mg/L, OD de 2mg/L, Nitrogênio de 10 mg/L e temperatura de 30 °C.

O segundo cenário (hipótese 2) caracterizou-se por um escoamento (*run off*) da ordem de 43.200 m<sup>3</sup>, ou seja, 0,5 m<sup>3</sup>/s. Este segundo cenário tem características semelhantes à descarga de efluentes sanitários (orgânicos). As descargas de efluentes do Cenário 2 têm as seguintes características: Volume de 0,5 m<sup>3</sup>/s, DBO de 30 mg/L, OD de 2mg/L, Nitrogênio de 10 mg/L e temperatura de 30 °C.

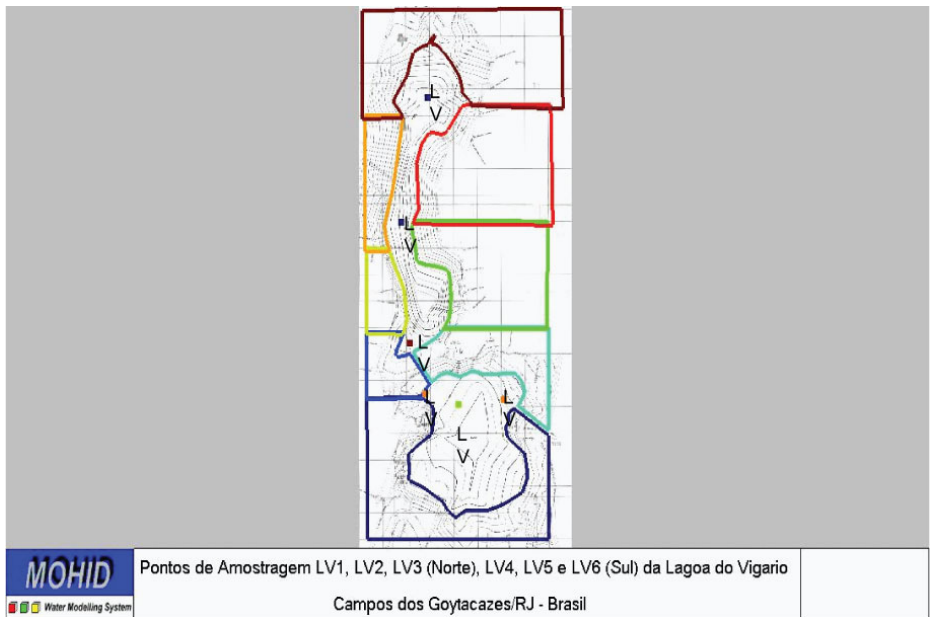
As simulações dos cenários (hipóteses) geradas foram divididas em blocos de parâmetros, sendo utilizada uma série temporal de simulação de 7 (sete) meses, ou seja 120 x 456 segundos (120 quadros de 456 segundos) para o Cenário 1, e 120 x 598 (120 quadros de 598 segundos) para o Cenário 2.

Os cenários (hipóteses) de simulação previstos envolvem o lançamento de efluentes, considerando a não existência da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do



Jardim Carioca, como dito acima. Os lançamentos propostos foram locados em 5 (cinco) células (i,j), 3 (três) na porção norte e 2 (duas) na porção sul, onde se concentram as principais descargas e os pontos amostrados (LV1, LV2, LV3, LV4, LV5 e LV6) de forma a coincidir com os mesmos (Figura 5).

No caso em tela, optou-se pelos volumes de  $0,3214 \text{ m}^3/\text{s}$  (Cenário 1) e  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (Cenário 2) para cada uma das descargas, sem dividi-las. Tal metodologia foi adotada em virtude de a grande difusividade dos lançamentos não representar volumes de descargas visíveis no simulador GUI, ou seja, o lançamento pontual difuso de pequenos volumes não é visualizável e não apresenta um resultado consistente no simulador GUI.



**Figura 5:** Pontos Amostrados da lagoa do Vigário para DBO, OD, NTP e Temperatura.

Elaborado na interface GIS do Mohid

Fonte: Elaborado pelos autores.

## Resultados e Discussão

### Diagnóstico para a Qualidade das Águas na Lagoa do Vigário

O diagnóstico acerca da qualidade das águas da lagoa do Vigário foi traçado a partir dos dados levantados em campo para os seguintes parâmetros: OD, DBO, NTP, Temperatura, pH e condutividade (Tabela 2). No entanto, os parâmetros simulados foram OD, DBO, NTP e Temperatura, com base nos pontos amostrais da Figura 5.

**Tabela 2:** Resultados obtidos para os parâmetros OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), NTP ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e Condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) na Lagoa do Vigário

Estações	Região da Lagoa	OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	NTP ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )
LV1	NORTE	6,0	7,0	< ld	23,6	8,95	0,654
LV2		4,6	6,0	< ld	24,6	9,12	0,658
LV3		5,3	7,0	< ld	24,4	9,15	0,667
LV4	SUL	4,3	4,0	7,0	24,6	7,28	0,858
LV5		4,9	7,0	6,0	24,4	7,50	0,860
LV6		3,7	8,0	6,6	24,5	7,59	0,844
LV7	NORTE	5,6	NM	NM	23,7	8,92	0,669
LV8		4,9	NM	NM	24,8	9,24	0,662
LV9		4,3	NM	NM	24,0	9,20	0,665
LV10		4,4	NM	NM	25,0	9,16	0,668
LV11		5,0	NM	NM	24,0	9,09	0,666
LV12		5,6	NM	NM	23,4	9,17	0,667
LV13		5,0	NM	NM	23,8	9,23	0,663
LV14		SUL	3,8	NM	NM	25,6	7,36
LV15	4,5		NM	NM	24,4	7,48	0,870
LV16	4,0		NM	NM	23,8	7,22	0,866
LV17	4,2		NM	NM	23,5	7,30	0,865
LV18	4,2		NM	NM	24,2	7,60	0,858
LV19	5,2		NM	NM	24,3	7,66	0,857
LV20		4,1	NM	NM	24,0	7,62	0,848

ld – limite de detecção do método ( $2 \text{ mg.L}^{-1}$ ); NM – não mensurado

De acordo com Santos (2007) e Lannes (2004), inclusive de informações da Concessionária 'Águas do Paraíba' (em entrevista pessoal, 2010), ambas as porções da lagoa do Vigário (norte e sul) apresentam um aporte significativo de carga orgânica proveniente de efluentes domésticos, comerciais e de pequenas indústrias, águas pluviais com óleos e graxas, e uma grande quantidade de material lixiviado do solo que poluem a lagoa e tornam sua qualidade ambiental bastante insatisfatória para usos múltiplos, principalmente os de contato humano (recreação).

A campanha de amostragem permitiu observar que a porção norte da lagoa do Vigário possui águas mais turbidas em relação àquelas da porção sul. Na porção norte pode-se ainda observar, *in loco*, a presença de grande quantidade de vegetação flutuante e fixa (algas macrofíticas submersas e emersas – taboa [*Tiphia domingensis*] e gigoga); prova de que o processo de eutrofização é acelerado pela carga crescente de matéria orgânica para a região. Esse fato é corroborado por Lannes (2004) e Santos (2007), quando asseveram que o metabolismo da lagoa é planctônico e oxidativo, e onde o processo de respiração sobressai. Nesse caso, há mineralização da matéria orgânica *in natura* e, portanto, um grande incremento de nutrientes nas águas, que favorece o crescimento de algas e o acúmulo de sedimentos de fundo.

Na Figura 6, observam-se fotografias obtidas na campanha de amostragem e que ilustram a presença desse tipo de vegetação na região de estudo.



**Figura 6:** Fotos representativas da vegetação flutuante e fixa presentes na lagoa do Vigário  
Fonte: Elaborada e editada pelos autores.

Pode-se perceber, de acordo com os dados amostrados em campo (Tabela 2), que os parâmetros Temperatura e OD não apresentaram variabilidade significativa para ambas as partes da lagoa. Além disso, averigua-se que os teores de OD na porção norte são ligeiramente menores, é possível que eles estejam associados aos processos oxidativos de descargas de efluentes orgânicos. Os resultados referentes à condutividade, com valores mais acentuados na porção norte, também tendem a confirmar essa hipótese. A presença de concentração de sais hidrossolúveis na água está relacionada a altos valores de condutividade, principalmente em período seco.

Com relação ao pH, existe uma diferenciação clara entre as porções norte e sul, sendo que esta última apresenta valores mais altos. Essa característica pode estar associada ainda aos teores obtidos de OD e condutividade.

No contexto legal, mais especificamente relacionado à norma da Resolução CONAMA N° 357/2005, averigua-se que a lagoa do Vigário apresenta valores de nitrogênio total (NTP), na porção norte, inferiores à norma ( $1,27 \text{ mg/L} < x < 2,0 \text{ mg/L}$ , parágrafo 3º, art. 10), enquanto os valores para DBO extrapolam (até  $3 \text{ mg/L}$ ).

Os resultados obtidos para DBO, da ordem de  $7 \text{ mg.L}^{-1}$ , são considerados elevados para um corpo hídrico. Tais valores refletem um elevado consumo de oxigênio na degradação da matéria orgânica proveniente do lançamento de efluentes na lagoa. No caso do oxigênio dissolvido (OD), a norma fixa o valor em não inferior a  $6,0 \text{ mg/L}$ , contudo, as amostragens revelaram valores bem inferiores (da ordem de  $3,5$  a  $4,5 \text{ mg/L}$ ).

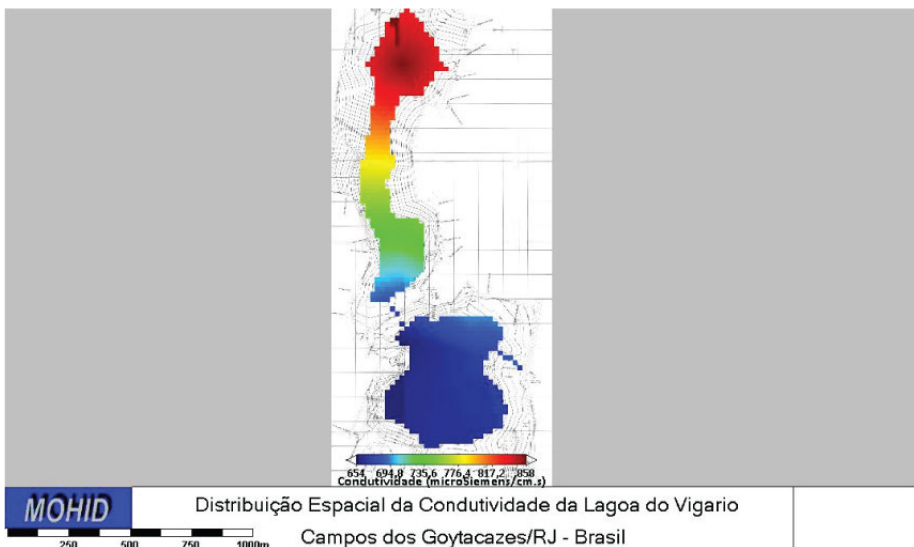
Assim, no âmbito da legislação ambiental, poder-se-ia inferir um enquadramento para este corpo lacustre, no que caberia a aplicação da Classe 3, haja vista a menor exigência de balneabilidade e dessedentação animal, excluídos os usos humanos de contato.

Lannes (2004) assevera em seu trabalho que a população do entorno da lagoa do Vigário, inclusive alguns pescadores amadores, não devem ter contato com suas águas, em razão da sua poluição.

#### *Simulações geradas na Plataforma Mohid*

Os mapas de dispersão gerados na interface GIS (gráfica) permitem inferir qualitativamente, de acordo com a escala numérico-cromática gerada pelo modelo, algumas observações face à qualidade de suas águas. Nesse sentido, é apresentado a seguir, o mapa gerado para um dos parâmetros (condutividade) com relação a sua distribuição espacial na Lagoa (Figura 6).

Ressalta-se aqui que os mapas de dispersão gerados a partir dos dados de campo são apenas uma ferramenta gráfica para melhor visualização da qualidade das águas na região. Dessa forma, eles vêm a confirmar os resultados discutidos na seção anterior. Os demais parâmetros não puderam, por ora, ser apresentados devido ao limite para a explanação do tema.



**Figura 7:** Distribuição Espacial do parâmetro condutividade, gerado na interface gráfica GIS da Plataforma MOHID

Contemplou-se a construção de diferentes cenários sob a variabilidade espaço-temporal dos seguintes parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Particulado (NTP) e Temperatura, com base nos pontos amostrados da Figura 5. Os parâmetros selecionados para a aplicação das simulações possuem sua importância fundamentada em relação ao metabolismo, respiração e eutrofização.

Os resultados, em ambos os cenários (hipóteses) propostos, permitem dizer que o simulador retorna com valores para os parâmetros analisados, bem próximos aos *inputs* do pré-processador. Contudo, isso dependerá da série temporal processada e do volume de descargas. Aliás, em fase de teste, não se pode concluir definitivamente acerca desses resultados, haja vista a necessidade do incremento de outras ferramentas da plataforma Mohid.

Em cada cenário (hipótese) foram padronizados valores de referência (*'default\_value'*) para a temperatura (20 °C), a DBO (8 mg/L), o OD (54mg/L) e o Nitrogênio (7 mg/L).

Um caráter mais dispersivo do que advectivo imposto ao modelo, elevou seus coeficientes de dispersão de modo a visualizar o encontro das plumas de descarga com os pontos amostrados da Figura 5, a fim de conferir – ou não – a sua calibração.

A série temporal de simulação foi de 7 (sete) meses, dispostas pelo simulador com saídas de respostas a cada 120 minutos. Assim, foram dispostos para o Cenário 1 o montante de 456 quadros de 120 minutos, e para o Cenário 2 foram 598 quadros de 120 minutos.

A calibração parcial do modelo foi feita a partir dos dados amostrados em campo, com pequenas variações de valores para cada parâmetro simulado. Na Tabela 3, a seguir, são apresentados os cálculos estatísticos básicos de média e desvio padrão para os parâmetros amostrados, em ambas as porções da lagoa do Vigário, comparativamente às respostas provenientes do simulador.

**Tabela 3:** Comparação dos Resultados Estatísticos, Amostrados e Modelados, para Efeito de Calibração do Modelo

Parâmetros	Resultados Experimentais		Resultado da Simulação Após 456/598 x 120 seg.
<b>OD</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	P. Norte	5,07 ± 0,55	4,5 (1)
	P. Sul	4,29 ± 0,47	3,5 (2)
<b>DBO</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	P. Norte	6,67 ± 0,58	7,5 (1)
	P. Sul	6,03 ± 2,08	13,0 (2)
<b>NTP</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	P. Norte	(< ld)	3,0 (1)
	P. Sul	6,53 ± 3,57	3,5 (2)
<b>Temperatura</b> (°C)	P. Norte	24,13 ± 0,54	22,5 (1)
	P. Sul	24,33 ± 0,56	22,0 (2)
<b>pH*</b>	P. Norte	9,12 ± 0,11	NS
	P. Sul	7,46 ± 0,16	
<b>Condutividade*</b> (µS.cm <sup>-1</sup> )	P. Norte	0,66 ± 0,01	NS
	P. Sul	0,86 ± 0,01	

ld – limite de detecção ; NS – não simulado; (1) Cenário 1; (2) Cenário 2

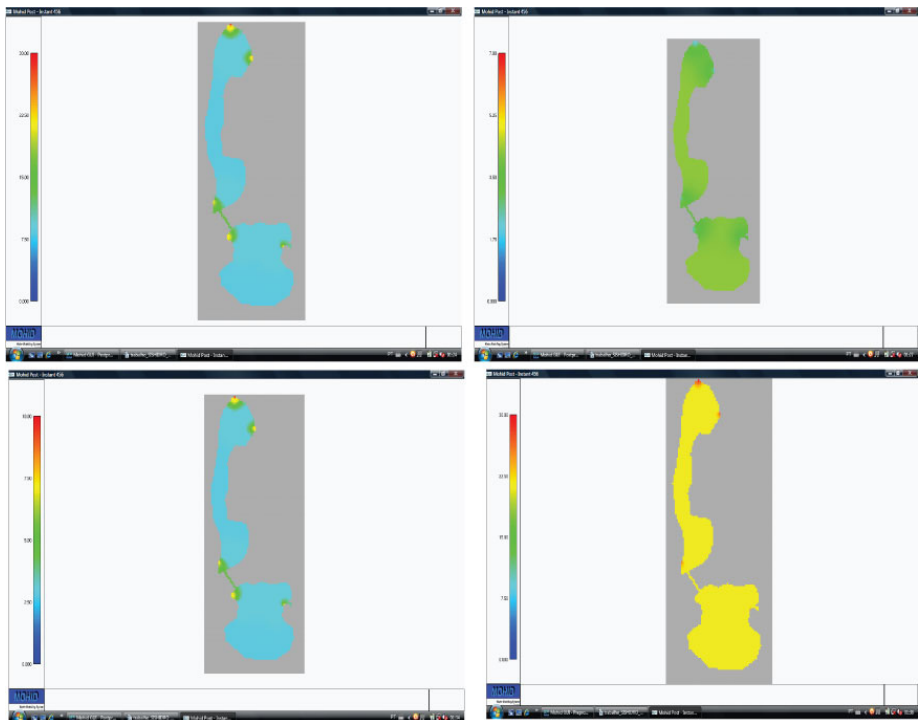
\* Parâmetros não simulados; \*\* Valores abaixo do limite de detecção do método.

Em ambos os cenários (hipóteses), observa-se que – apesar dos desvios, os parâmetros OD e DBO mantiveram-se coerentes aos valores amostrados em campo, após o decurso de 7 (sete) meses. Entretanto, observa-se que há variações de concentração de acordo com o volume de descargas – dependendo somente da condição de reaeração diária, decaimento, oxidação, etc. Dadas as circunstâncias, os dados simulados se mantêm na média amostrada de 4,5 mg/L a 3,5 mg/L para OD (Cenário 1), e 7,5 mg/L a 10,0 mg/L (Cenário 2), para DBO, respectivamente (Tabela 3). Da mesma forma, os parâmetros temperatura e nitrogênio total particulado (NTP) também apresentam resultados simulados coerentes aos obtidos experimentalmente em campo.

No cenário 1 (Figura 8), os resultados obtidos ilustram que a atividade microbiológica e a degradação da matéria orgânica são elevados, ocorrendo em todo momento e em toda a extensão da lagoa. Os parâmetros simulados ilustram um alto consumo de OD e elevada DBO em decorrência desse fato, uma vez que, para oxidar a matéria orgânica, os microrganismos (plâncton) demandam oxigênio nesse processo, inclusive no de respiração aeróbia.

É possível perceber na Figura 8 e 9 que os parâmetros simulados, nos 5 (cinco) pontos de descargas, atingiram os pontos LV1, LV3, LV4 e LV6, possibilitando calibrá-los parcialmente, dentro das condições de simulação já anunciadas na metodologia.

Percebe-se que no Cenário 1, as descargas do efluente ( $0,3214 \text{ m}^3/\text{s}$ ) com DBO de  $30 \text{ mg/L}$  atingem os pontos amostrados após os 7 (sete) meses, estabelecendo-se com concentrações entre  $7,0 \text{ mg/L}$  e  $9,0 \text{ mg/L}$ . No caso, a concentração amostrada nos pontos estão entre  $7,0 \text{ mg/L}$  e  $8,0 \text{ mg/L}$ . O OD, lançado com  $2,0 \text{ mg/L}$ , após a simulação, ficou entre  $3,5 \text{ mg/L}$  e  $4,0 \text{ mg/L}$ , ao passo que na amostragem obteve-se concentrações entre  $3,5 \text{ mg/L}$  a  $6,0 \text{ mg/L}$ . O nitrogênio lançado foi de  $10 \text{ mg/L}$ , na amostragem a concentração para a porção norte ficou abaixo de  $2,0 \text{ mg/L}$ , e acima de  $6,0 \text{ mg/L}$  na porção sul. Na simulação a concentração se estabeleceu entre  $3,5 \text{ mg/L}$  e  $4,0 \text{ mg/L}$ , no caso, dentro da média, salvo os ajustes futuros do modelo. Com relação à temperatura, a descarga foi de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , com retorno de simulação de  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , próximo inclusive às condições iniciais da lagoa.



**Figura 8:** Simulações para os parâmetros OD, DBO, NTP e Temperatura (nesta sequência), utilizando a descarga de  $0,3214 \text{ m}^3/\text{s}$  (cenário 1), na interface Mohid GUI

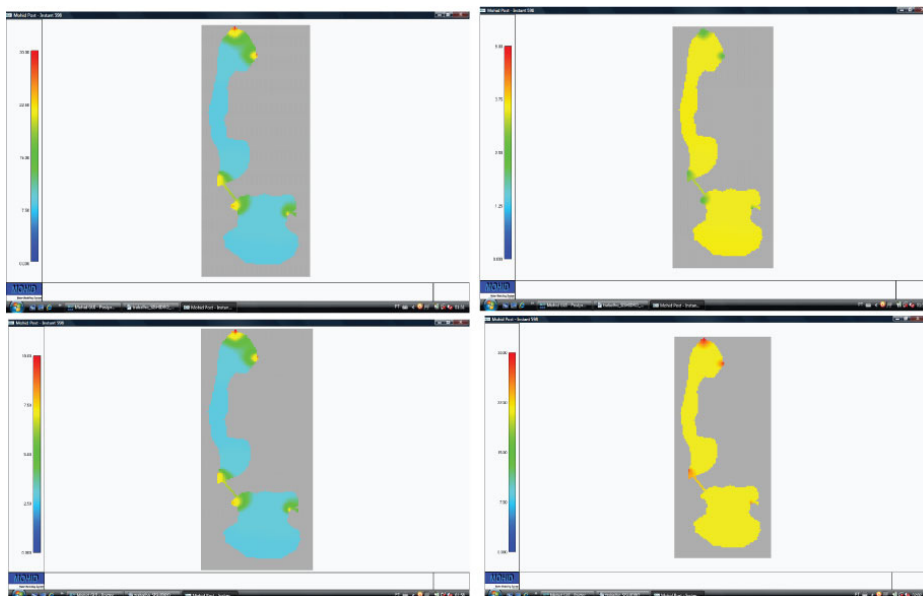
Fonte: Elaborado pelos autores

No cenário 2 (Figura 9), observa-se que a descarga, de maior volume ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), apresenta valores de parâmetros mais elevados, isso em decorrência da maior quantidade de água e das características de dispersão da lagoa, onde o processo de mistura é mais lento. Embora isso ocorra, os valores simulados se mostram coerentes aos amostrados em campo, corroborando com a ideia de que a atividade microbiológica e a oxirredução na lagoa é intensa. Com pequenas descargas de efluentes orgânicos, difusas ou pontuais, a regra é que a lagoa, mesmo com baixo fluxo d'água, tenha concentrações elevadas de matéria orgânica *in natura* e variações de parâmetros em toda a sua extensão, dependendo da sinergia de outros fatores bióticos e abióticos ora não previstos.

Percebe-se que no Cenário 2, as descargas do efluente ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) com DBO de  $30 \text{ mg/L}$  atingem os pontos amostrados após os 7 (sete) meses, estabelecendo-se com concentrações entre  $12,0 \text{ mg/L}$  e  $15,0 \text{ mg/L}$ . No caso, a concentração amostrada nos pontos estão entre  $7,0 \text{ mg/L}$  e  $8,0 \text{ mg/L}$ . O OD, lançado com  $2,0 \text{ mg/L}$ , após a simulação, ficou entre  $3,5 \text{ mg/L}$  e  $3,80 \text{ mg/L}$ , ao passo que na amostragem obteve-se concentrações entre  $3,5 \text{ mg/L}$  e  $6,0 \text{ mg/L}$ . O nitrogênio lançado foi de  $10 \text{ mg/L}$ , mas na amostragem a concentração para a porção norte ficou abaixo de  $2,0 \text{ mg/L}$ , e acima de  $6,0 \text{ mg/L}$  na porção sul. Na simulação a concentração se estabeleceu entre  $3,5 \text{ mg/L}$  e  $5,0 \text{ mg/L}$ , no caso, dentro da média, salvo os ajustes futuros do modelo. Com relação à temperatura, a descarga foi de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , com retorno de simulação de  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , próximo inclusive às condições iniciais da lagoa.

Nesse Cenário 2, percebe-se que a concentração de DBO simulada foi bastante elevada, isto, talvez, em decorrência do volume da descarga ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), em ambas as porções.





**Figura 9:** Simulações para os parâmetros OD, DBO, NTP e Temperatura (nesta sequência), utilizando a descarga de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (cenário 2), na interface Mohid GUI

Fonte: Elaborado pelos autores

Outro fato importante ora observado é no canal de ligação das porções norte-sul. Verificou-se que neste canal de ligação, apesar de coberto por uma galeria celular, as concentrações de LV3 e LV4 se uniram e mostraram valores elevados ao longo da simulação, em todos os parâmetros. Este fato talvez acontece devido ao sombreamento, à ausência de ventos, ao assoreamento e ao trânsito permanente de efluentes orgânicos.

De acordo com Santos (2007) e Lannes (2004), a produtividade primária é predominantemente fitoplancônica na lagoa do Vigário, culminando em baixos teores de nitrogênio (NTP) e pouca mineralização de matéria orgânica, apesar de o ambiente ser oxidante. Lannes (2004) assevera, entretanto, que, na porção norte, as concentrações orgânicas acarretam o processo de eutrofização, favorecendo ao acúmulo de sedimentos e à colmatação do corpo hídrico. Segundo as fontes citadas, é no período seco que a lagoa apresenta baixas concentrações de nitrogênio, sob a forma orgânica e inorgânica, sendo esta considerada geralmente imprópria para uso humano.

No bojo desse trabalho, percebeu-se que pequenos volumes de descargas pouco afetam a lagoa em curtos espaços de tempo, entretanto, as descargas continuadas, ao longo dos anos, comprometem sua qualidade ambiental, pelo que se observa na simulação de 7 meses.

Embora esse trabalho seja preliminar, ele não é conclusivo, pois alguns ajustes e funções de decaimento de primeira ordem não foram verificados, ficando sugerido para futuros estudos.

Num contexto amplo, a modelagem dos parâmetros aqui apresentada mostrou-se bastante eficaz e coerente nos dados amostrados em campo, revelando-se uma boa ferramenta para a análise e a gestão ambiental de recursos hídricos.

## **Conclusão**

O presente estudo focou uma avaliação preliminar qualitativa da dispersão dos principais parâmetros físico-químicos de um corpo d'água (pH, temperatura, condutividade, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido e nitrogênio total). De um modo geral a utilização desse tipo de ferramenta, elaborada na interface gráfica GIS da plataforma MOHID, permitiu correlacionar os diferentes parâmetros ambientais bem como inferir um diagnóstico acerca da qualidade das águas da região de interesse.

Num segundo momento foram realizadas simulações, na interface GUI da Plataforma Mohid, utilizando descargas de água características da lagoa, no intuito de diagnosticar o comportamento de alguns parâmetros ambientais. Os parâmetros escolhidos (Temperatura, OD, DBO e NTP) são variáveis que refletem significativamente a qualidade ambiental de um corpo hídrico diante de seu uso e por esta razão foram focadas no processo de simulação.

Os cenários simulados permitiram situar a importância da lagoa do Vigário no contexto urbano de Campos dos Goytacazes/RJ. Essa lagoa urbana caracteriza-se por ser bastante poluída e eutrofizada, sobretudo devido à presença de ocupações e construções humanas nas suas margens, contribuindo negativamente para a qualidade desse ambiente e para a saúde da população do entorno.

A calibração parcial do modelo, feita com as amostragens de campo, retornaram com um resultado coerente e satisfatório, incluídos a média e o desvio padrão das amostragens. Na Tabela 3, e nas Figuras 8 e 9, observam-se esses resultados (...).

Embora as simulações previssessem o comportamento de variáveis físicas e físico-químicas, com as amostragens de campo que puderam calibrar parcialmente o modelo, os resultados desse trabalho não são conclusivos na sua totalidade, pois dependem de ajustes relacionados a uma série de dados intervenientes no processo, que ainda não foram previstos. Esses ajustes e dados adicionais a serem aplicados são as entradas subterrâneas, o aumento das estações de amostragens, a série temporal, novas amostragens no período seco e chuvoso, os coeficientes de reações cinéticas, etc.

Como o assunto envolve a modelagem de substâncias não conservativas (MTSNC), e os cenários previstos foram limitados à exemplificação deste trabalho, deixa-se como sugestão de trabalhos futuros – para ampliação desses estudos e aplicação do modelo,

principalmente noutros cenários que envolvam o estudo de novos lançamentos –, a medição da contribuição subterrânea, a ausência de lançamentos de matéria orgânica, a reação de primeira e segunda ordem (decaimento  $\beta$ ), a recalibração e a validação do modelo, entre outros.

Nesse sentido, pode-se verificar que o uso da ferramenta MOHID tem se mostrado de grande relevância na avaliação e acompanhamento da qualidade dos recursos hídricos em várias partes do mundo, e, aqui, se torna uma ferramenta muito útil e de simples inferência no que tange à avaliação da qualidade ambiental da lagoa do Vigário.

### Referências

AMARAL, K. Estuário do rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, 2003.

CONAMA. Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <[www.mma.br/conama](http://www.mma.br/conama)>.

EVORA, J.E.M; GIORGETI, M.F. Simulação de processos de engenharia sanitária e ambiental utilizando o programa SAAM for Windows. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 19., 2007. 10p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/saam.pdf>>.

DRM, 2009. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <[www.drm.rj.gov.br](http://www.drm.rj.gov.br)>.

FERNANDES, R. M. A. S. Modelação Operacional no Estuário do Tejo. Dissertação (Mestrado) - IST/Universidade de Lisboa, 2005.

GOOGLE EARTH, 2010. Disponível em: <[www.google.com/googleearth](http://www.google.com/googleearth)>.

LANNES, L.S. Avaliação de Pequenos Alagados Artificiais na Modificação da Qualidade de Água Utilizando a Macrófita Aquática *Typha domingensis*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2004. 65p.

LIMA, E. B.; SILVA NETO, A. J.; RODRIGUES, P. P. G. W. Simulação Bidimensional do Escoamento e Transporte no Estuário do rio Macaé. In: ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2008, Volta Redonda.

ROSMAN, P. Modelos de Circulação em Corpos d'Água Rasos. In: SILVA, R.C. Vieira (Ed.). Numerical Methods in Water Resources. Rio de Janeiro: ABRH, 1989.

RODRIGUES, P. P. G. W.; LIMA, E. B.; SILVA NETO, A. J.; LUGON JUNIOR, J. Modelling and Sensitivity Analysis for Estuarine Hydrodynamics. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AUTOMATIZACION, 9., 2009, Havana, Cuba.

SANTOS, J.M.C.O. Avaliação da Produção de Metano em Alagados Construídos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007.

WROBEL, L.C. Introdução aos Métodos Numéricos. In: \_\_\_\_\_. Métodos Numéricos em Recursos Hídricos. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1989. 381 p.