

## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **SIMULAÇÃO DE LARGA ESCALA DA QUALIDADE DA ÁGUA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO LESTE BAIANO**

*Bibiana Rodrigues Colossi<sup>1</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>2</sup>; Paulo Rógenes Pontes<sup>3</sup>; Luiz Fernando de Abreu Cybis<sup>4</sup> & Fernando Meirelles<sup>5</sup>*

**RESUMO** – A simulação de qualidade da água é uma ferramenta que permite a extrapolação dos dados disponíveis, em geral bastante escassos, para diagnosticar a situação de rios de bacias hidrográficas em grande escala. O estudo aqui realizado emprega a modelagem de qualidade de água para inferir sobre a situação das Bacias Hidrográficas do Leste (BHL), no sul da Bahia. Foram simulados os parâmetros Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Empregou-se para tanto o software SIAQUA-IPH. As limitações da modelagem concentram-se, sobretudo, na dificuldade de estimar as cargas lançadas na bacia, e na quantidade e qualidade dos dados de monitoramento disponíveis.

**ABSTRACT**– Water quality simulation is a tool that allows the extrapolation of available data, generally quite scarce, to assess the situation of rivers on large scale basins. This study employs water quality modeling to infer about the situation of the Bacias Hidrográficas do Leste (BHL) in southern Bahia. The parameters simulated were Dissolved Oxygen (DO) and Biochemical Oxygen Demand (BOD). SIAQUA-IPH software was employed for this purpose. The limitations of the modeling lay, mainly, on the difficulty of estimating the organic load discharged into the basin, and in the availability and quality of monitoring data.

**Palavras-Chave** – Qualidade, BHL, SIAQUA-IPH.

#### **1 - INTRODUÇÃO**

Problemas relacionados com qualidade da água figuram entre as maiores preocupações ambientais da atualidade. Os corpos hídricos são frequentemente utilizados como receptores de diferentes tipos de despejos de poluentes, que causam alterações em suas características e podem causar impactos diversos a ecossistemas e ao homem.

Para avaliar estes problemas, e suas potenciais soluções, são utilizadas muitas vezes as ferramentas matemáticas denominadas de modelos de qualidade da água. Esses modelos

---

1) Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. 91501-970 - Porto Alegre/ RS – Brasil. bibiana.colossi@gmail.com

2) Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. 91501-970 - Porto Alegre/ RS – Brasil. fernando.fan@ufrgs.br

3) Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. 91501-970 - Porto Alegre/ RS – Brasil. p.rogenes@gmail.com

4) Professor adjunto. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. 91501-970 - Porto Alegre/ RS – Brasil. Telefone: (51) 33166567. Fax: (51) 33167291. lfcybis@uol.com.br

5) Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. 91501-970 - Porto Alegre/ RS – Brasil. fernandomeirelles@gmail.com

matemáticos permitem a realização de simulações da qualidade da água estimada em corpos hídricos a partir de dados de entrada que descrevem a realidade local.

Os modelos de qualidade da água são especialmente importantes em bacias de grande escala, da ordem de milhares de quilômetros quadrados, onde geralmente a quantidade de dados disponíveis é bastante reduzida. Nesses casos, o uso da modelagem permite também um melhor uso dos dados existentes, considerando uma extrapolação com embasamento físico das condições de qualidade medidas de forma pontual.

Neste trabalho foi realizada uma modelagem de qualidade dos cursos d'água nas Bacias Hidrográficas do Leste, no sul da Bahia. Foram simulados os parâmetros oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_{5, 20}$ ). Empregou-se para tanto o software SIAQUA-IPH, modelo semi-distribuído de qualidade de água, desenvolvido para simular diferentes cenários de impacto de lançamentos de efluentes em rios com grandes bacias hidrográficas.

O presente estudo tem por objetivo investigar a condição de qualidade das águas das BHL quanto aos parâmetros OD e DBO, através de uma modelagem de qualidade da água, bem como discutir as dificuldades em realizar tal simulação, dadas as limitações existentes de dados relativos à cargas lançadas nos rios e de monitoramento local. Acredita-se que esta análise seja relevante para orientar as práticas relacionadas aos recursos hídricos locais, e também para orientar possíveis tomadas de decisão em relação à necessidade de melhorar os conhecimentos da situação atual das bacias hidrográficas estudadas.

## **2 - AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO LESTE**

As Bacias Hidrográficas do Leste, no sul do estado da Bahia, possuem uma área de aproximadamente 9.000 km<sup>2</sup>, e apresentam uma diversidade de ambientes naturais e antrópicos, que em função da sua fisiografia e dos usos preponderantes, permitem observar os diferentes estados de conservação destes ambientes fluviais. De modo a entender a dinâmica que rege a qualidade das águas superficiais desta região, a análise a seguir será feita em termos das suas três principais bacias: rio Almada, rio Cachoeira e rio Una. A Figura 1, apresenta a delimitação destas bacias.

A maior bacia hidrográfica das BHL é a bacia do rio Cachoeira (4.500 km<sup>2</sup>), formado pela união dos rios Colônia e Salgado. Ela apresenta vazões médias anuais da ordem de 24,0 m<sup>3</sup>/s na estação fluviométrica mais a jusante da bacia. A bacia do rio Almada ocupa uma área de 1.500 km<sup>2</sup> e apresenta vazões médias anuais características da ordem de 19 m<sup>3</sup>/s, junto à foz. A bacia do rio Una possui 1.700 km<sup>2</sup>, ocupa a porção sul desta região, a regionalização das vazões de bacias vizinhas aponta valores de vazão média anual de 16 m<sup>3</sup>/s no seu exutório.

A principal referência na literatura, que pode ser utilizada para obter um melhor entendimento das BHL, é o trabalho “Tipologias Hidroquímicas das Bacias Hidrográficas do Leste da Bahia”, realizado por de Paula *et al* (2012).

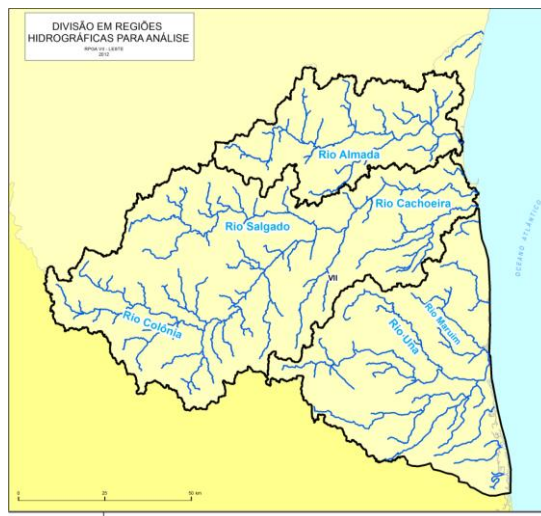


Figura 1 – Bacias hidrográficas analisadas.

Do ponto de vista da pressão de uso antrópico, as características das BHL podem ser sumarizadas da seguinte forma: a bacia do Rio Cachoeira está submetida à maior pressão urbana e agrícola, principalmente pela presença das cidades de Itabuna e Ilhéus e também pelo predomínio de pastagens em substituição à vegetação original nas suas bacias formadoras, rios Colônia e Salgado; a bacia do Rio Almada encontra-se em grau intermediário de preservação, com apenas pequenas cidades e parte de sua região de cabeceiras ocupadas por pastagens; e a bacia do rio Una possui cobertura vegetal preservada, sem presença de pecuária e apenas quatro pequenas cidades, representando a bacia hidrográfica sob menor pressão de uso.

### 3 - O SIAQUA-IPH

A simulação de qualidade de água das BHL foi realizada com o software SIAQUA-IPH (Fan, 2013). O Programa Simulador Analítico de Qualidade da Água (SIAQUA-IPH) é um modelo semi-distribuído de qualidade de água, desenvolvido para simular diferentes cenários de impacto de lançamentos de efluentes em rios com grandes bacias hidrográficas. O modelo utiliza na simulação de DBO-OD em regime permanente um equacionamento baseado no modelo de Streeter-Phelps. O SIAQUA-IPH utiliza como dados de entrada as seguintes informações:

- Arquivo com informações espaciais da bacia (arquivo de geometria), derivado de um SIG;
- Vazões de referência, obtidas na simulação hidrológica com o modelo MGB-IPH (Fan e Collischonn, 2014);
- Shapefile da rede de drenagem;
- Shapefile da bacia.

## 4 - DADOS UTILIZADOS

### 4.1 - Resultados do MGB-IPH

São necessários para utilização do SIAQUA-IPH dois arquivos de entrada, que podem ser fornecidos diretamente pelas saídas do modelo hidrológico MGB-IPH. Um dos arquivos é o arquivo de geometria da bacia que é obtido na etapa de pré-processamento do MGB-IPH (Fan e Collischonn, 2014), e traz informações físicas sobre cada mini-bacia. Já o segundo arquivo é a saída do modelo hidrológico que contém as vazões de referência (Q10, Q30, Q50, Q70 e Q90) e velocidades correspondentes, para cada mini-bacia.

Estes dados foram obtidos para este trabalho através da preparação do modelo hidrológico para as BHL. Esta etapa de modelagem hidrológica não é detalhada no presente trabalho.

### 4.2 - Estimativa de Cargas

Considerando-se a geração per capita de 54 g DBO<sub>5, 20</sub>/hab.dia (CETESB,2014 ), estimou-se a carga de DBO no esgoto sanitário gerada pela população de cada município parcial ou totalmente inserido na bacia. De forma semelhante, estimou-se a carga gerada por outros setores, empregando-se dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de forma a estimar-se as cargas totais por município, conforme tabela a seguir.

Considerou-se, ainda, que 5% da carga total de cada município chega aos cursos d'água. Municípios parcialmente inseridos na bacia, a saber, Almadina, Caatiba, Camacan, Canavieiras, Coaraci, Itacaré, Itambé, Itapetinga, Santa Luzia e Uruçuca, tiveram sua carga abatida proporcionalmente à área do município na bacia. Para municípios com mais de 90% de sua área dentro da bacia, porém, considerou-se 100% da carga gerada pelo município referente às BHL. A Figura 2 mostra os limites municipais na bacia, e a Tabela 1, mostra a estimativa de carga gerada por município.

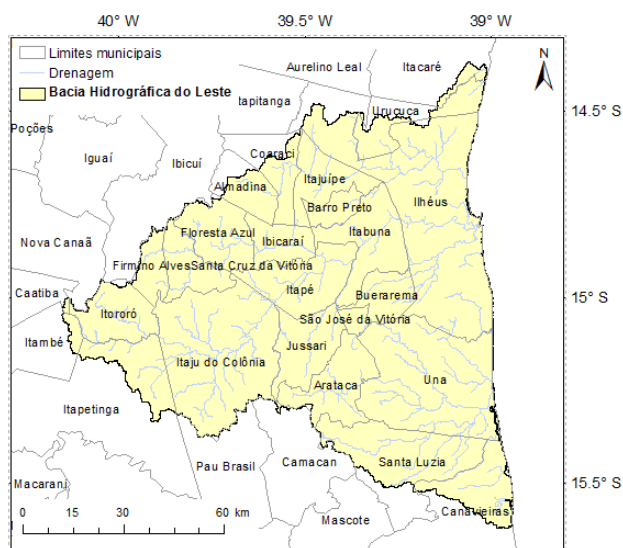


Figura 2 - Limites municipais.

Tabela 1 - Estimativa de cargas geradas de DBO<sub>5,20</sub> para os municípios integrantes das BHL.

Município	Carga total gerada por município (kg DBO/dia)	Carga total gerada por município (g DBO/s)	Carga total por município que atinge os cursos d'água (g DBO/s)	Carga total por município que atinge os cursos d'água na bacia (g DBO/s)	Carga específica por município (mg DBO/s.km <sup>2</sup> )
Almadina	17300,72	200,24	10,01	6,56	39,87
Arataca	2855,89	33,05	1,65	1,65	4,22
Barro Preto	1313,96	15,21	0,76	0,76	6,29
Buerarema	8428,59	97,55	4,88	4,88	23,33
Caatiba	11738,19	135,86	6,79	0,08	13,17
Camacan	6145,52	71,13	3,56	0,04	5,68
Canavieiras	4635,23	53,65	2,68	0,57	2,02
Coaraci	11991,15	138,79	6,94	3,99	24,55
Firmino Alves	14008,10	162,13	8,11	8,11	53,40
Floresta Azul	21761,40	251,87	12,59	12,59	36,88
Ibicaraí	14882,25	172,25	8,61	8,61	40,20
Ilhéus	49089,70	568,17	28,41	28,41	18,58
Itabuna	18313,34	211,96	10,60	10,60	23,91
Itacaré	5069,76	58,68	2,93	0,19	3,98
Itaju do Colônia	66112,24	765,19	38,26	38,26	31,51
Itajuípe	4808,82	55,66	2,78	2,78	9,47
Itambé	26331,47	304,76	15,24	0,44	10,83
Itapé	32402,74	375,03	18,75	18,75	42,34
Itapetinga	38156,09	441,62	22,08	4,14	13,57
Itororó	17540,92	203,02	10,15	10,15	31,72
Jussari	22083,38	255,59	12,78	12,78	35,80
Santa Cruz da Vitória	22363,35	258,84	12,94	12,94	52,03
Santa Luzia	5334,17	61,74	3,09	2,44	3,98
São José da Vitória	3536,20	40,93	2,05	2,05	38,44
Una	9109,49	105,43	5,27	5,27	4,77
Uruçuca	3786,28	43,82	2,19	1,19	5,59

## 5 - SIMULAÇÃO

A simulação foi realizada para o lançamento de matéria orgânica, em regime permanente. Foram simulados os parâmetros OD e DBO<sub>5,20</sub>, sendo a DBO o poluente considerado como entrada no modelo. A simulação foi realizada para o período de estiagem, tomando como base a Q90 – vazão com 90% de permanência no tempo.

A carga de DBO gerada por cada município que atinge os cursos d'água nas BHL foi dividida pela área do município na bacia, de forma a se obter um valor de g DBO/s.km<sup>2</sup>. Esta carga específica foi então multiplicada pela área de cada mini-bacia simulada, de forma a se encontrar a carga de DBO produzida por cada mini-bacia. O valor resultante foi então, no SIAQUA, “lançado” em trecho da rede de drenagem na mini-bacia em questão, como um efluente com vazão igual à Q, onde Q é a Q90 (vazão com 90% de permanência no tempo) da mini-bacia simulada menos a Q90

na mini-bacia a montante, ou seja, a vazão incremental de cada mini-bacia. Quando a Q90 da minibacia é menor que a soma da Q90 das mini-bacias a montante, utilizou-se a vazão incremental específica (m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup>) da mini-bacia com menor vazão incremental específica, multiplicada pela área da mini-bacia em questão, para determinar-se a vazão de lançamento da carga de DBO. Porém, quando a Q90 da mini-bacia em questão é nula, ou seja, o trecho seca, considerou-se que nesta mini-bacia não há lançamento, uma vez que não há meio pelo qual a carga orgânica atinja os cursos d'água, já que não há escoamento superficial, nesta situação. Já quando a concentração do efluente resultou em um valor superior a 200 mg DBO/L, utilizou-se na simulação uma concentração igual à metade da concentração calculada, ou seja, equivalente à chegada de 2,5% da carga gerada chegando na rede de drenagem.

O coeficiente de remoção, kr, é igual a soma dos coeficiente de decomposição, kd, e do coeficiente de sedimentação, ks. O valor de ks foi adotado como 0,1 dia-1 para todas as mini-bacias. O coeficiente kd (dia-1) foi estimado pela seguinte equação, para cada mini-bacia:

$$kd = 0,3 \left( \frac{h}{2,4} \right)^{-0,434} \quad (1)$$

Onde h é a profundidade do canal em metros e kd é medido em dia-1. Quando o kd calculado resultou em um valor superior à 3,0 dia-1, adotou-se o valor de 0,3 dia-1. Considerou-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) do lançamento igual à 1 mg/L.

## 5.1 - Resultados

A figura a seguir mostra o resultado da simulação para a condição atual das BHL, conforme estimativa de cargas realizada.

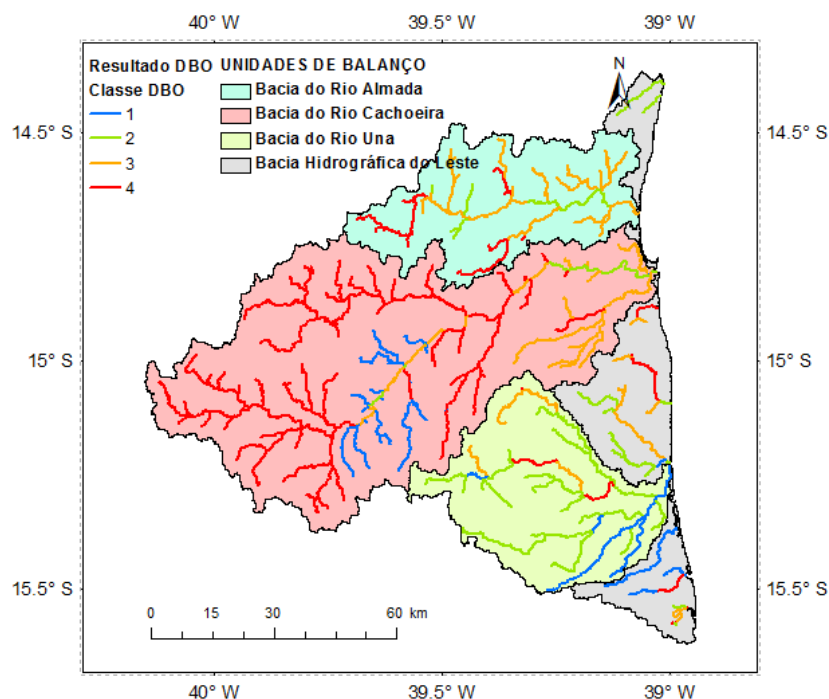


Figura 3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio por trecho de rio.

Observa-se na Figura 3 acima que os trechos de rio nas cabeceiras do rio Cachoeira estão em classe 4 em relação à DBO, conforme resolução CONAMA 357/2005. Isto ocorre porque estes trechos de rio estão em mini-bacias que recebem uma grande carga, mas que possuem uma vazão em estiagem muito baixa, de forma a atingir níveis bastante altos de DBO. Estes trechos estão localizados, sobretudo nos municípios de Firmino Alves, Santa Cruz da Vitória, Jussari, Ibicaraí, Floresta Azul, Itaju da Colônia e Itororó, municípios geradores de alta carga específica, conforme Tabela 1.

As figuras Figura 5, Figura 6 e Figura 7 a seguir mostram os perfis longitudinais de DBO dos rios Almada, Cachoeira e Una, conforme trecho mostrado na Figura 4. Ressalta-se a concentração de DBO extremamente alta nos trechos mais a montante do rio Cachoeira devido à carga específica bastante alta referente ao município de Itaju da Colônia.

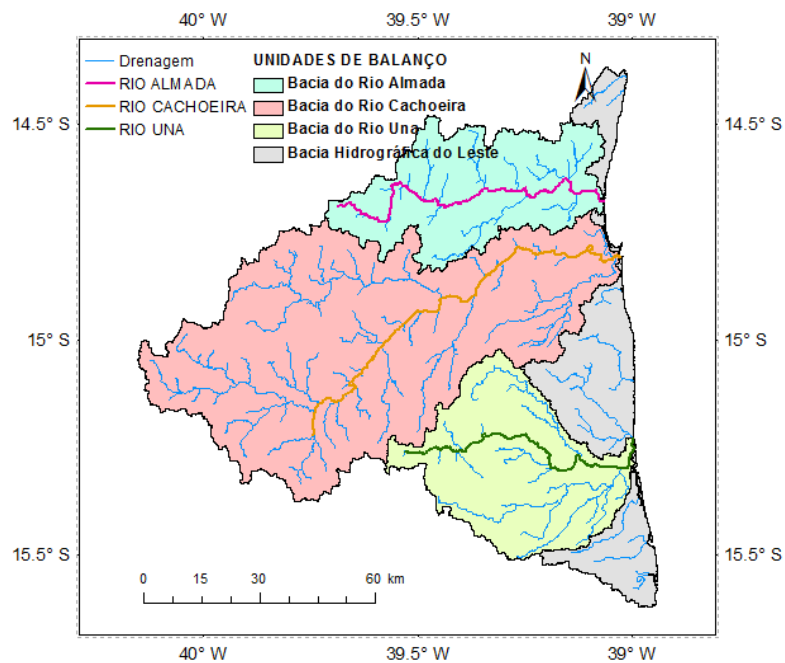


Figura 4 - Rios Almada, Cachoeira e Una.

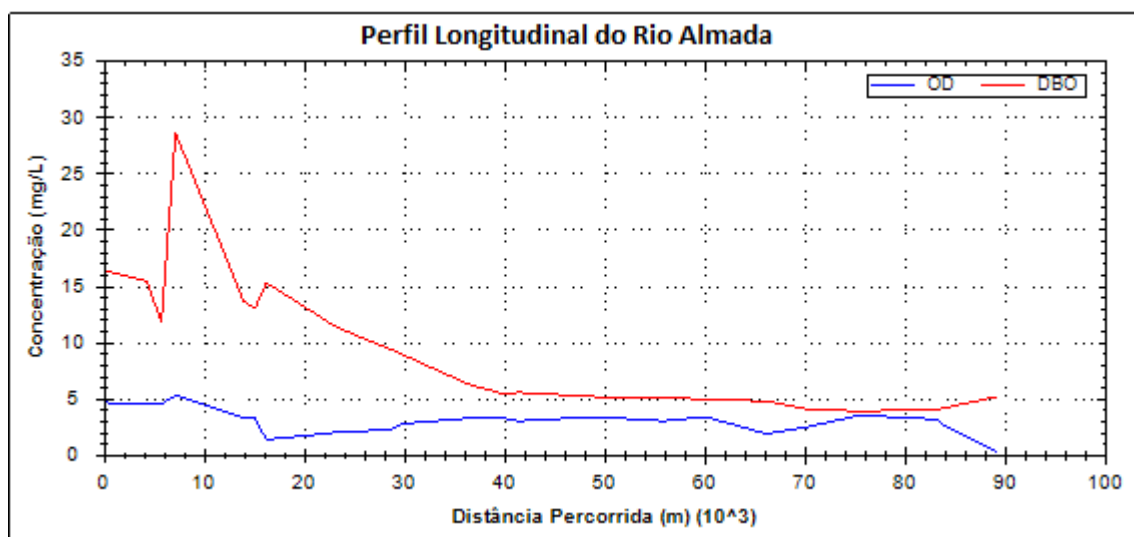


Figura 5 - Perfil longitudinal do rio Almada.

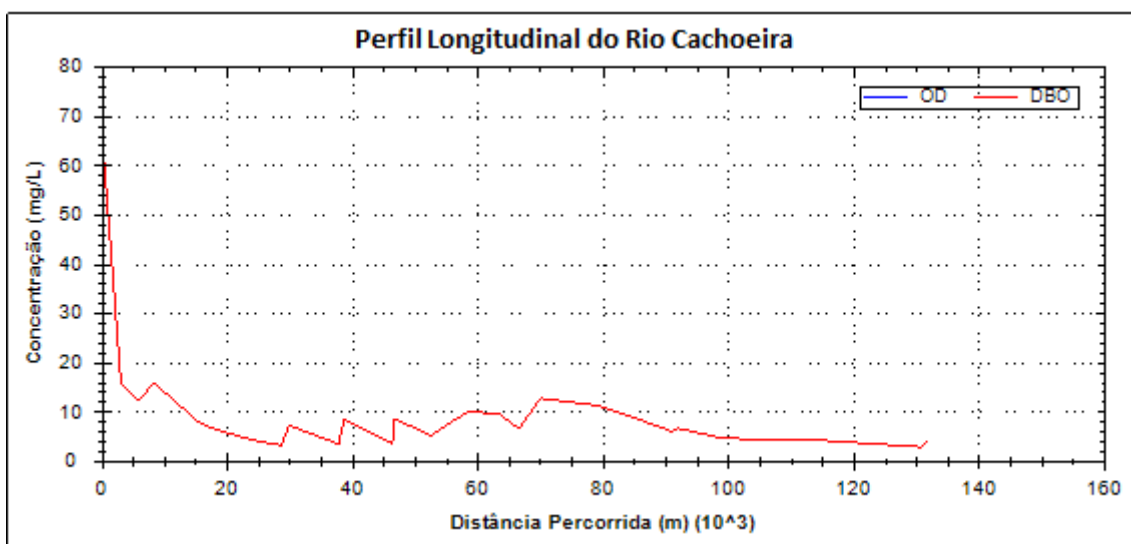


Figura 6 - Perfil longitudinal do rio Cachoeira.

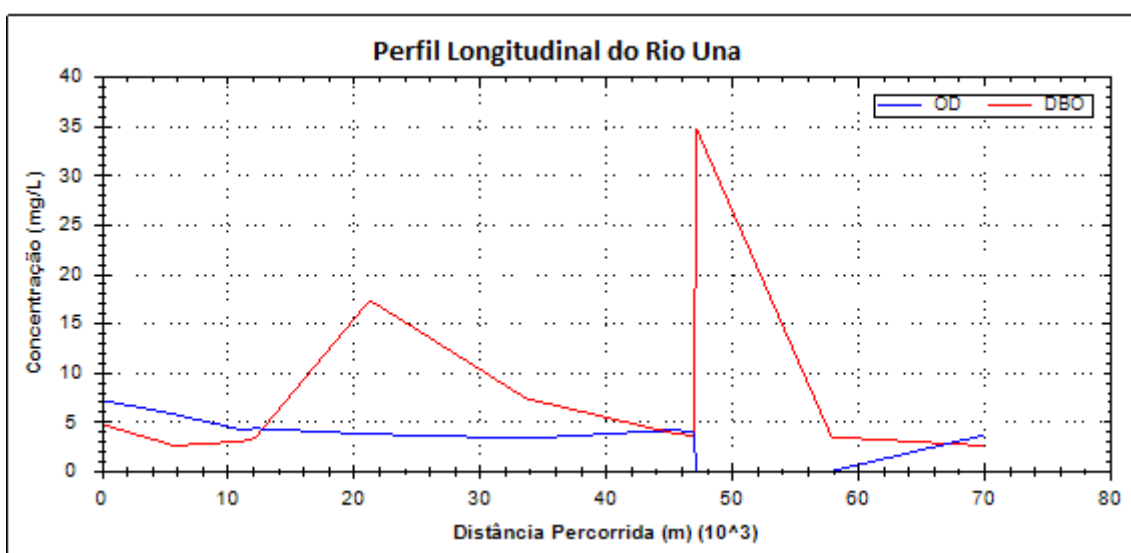


Figura 7 - Perfil longitudinal do rio Una.

## 5.2 - Análise dos Resultados

A tabela a seguir traz os resultados de uma campanha de monitoramento dos postos do INEMA, e os resultados calculados pela modelagem. Nesta tabela, analisaram-se os dados da campanha de monitoramento mais recente disponível para consulta, realizada em período de estiagem, nos dias 27 e 28/08/2013. Os postos LES-ALM-400 e LES-UNA-500 não apresentam medições para a data de interesse, não sendo, então, mostrados nos resultados. Ressalta-se, porém, que mesmo tendo-se avaliado um período de estiagem, não necessariamente a vazão no dia do monitoramento é igual à Q90, o que resulta em concentrações de DBO atenuadas.

Tabela 2 - Valores calculados e observados de DBO e OD.

Código	Rio	Latitude	Longitude	Município	DBO calc (mg/L)	DBO obs (mg/L)	OD calc (mg/L)	OD obs (mg/L)
LES-ALM-200	Rio Almada	14°38'54,5"	39°20'41,1"	Ilhéus	5,1	2	3,0	4,85
LES-ALM-300	Rio Almada	14°39'18,5"	39°11'23,1"	Ilhéus	3,9	<2	3,5	8,8



LES-COL-200	Rio Colônia	15°7'16,4"	40°4'6,0"	Itapetinga	28,7	<2	5,1	5,5
LES-COL-300	Rio Colônia	15°8'39,0"	39°43'24,2"	Itaju do Colônia	16,0	<2	0,0	6,63
LES-JUC-900	Não informado	14°40'45,0"	39°26'47,0"	Itajuípe	4,5	<2	4,1	5,72
LES-LEN-500	Lagoa Encantada	14°37'11,3"	39°8'28,9"	Ilhéus	7,2	<2	5,1	8,48
LES-MRM-600	Rio Maruim	15°10'27,8"	39°3'27,9"	Una	5,2	<2	4,9	8,38
LES-RCH-500	Rio Cachoeira	14°53'52,8"	39°25'39,5"	Itapé	12,8	<2	0,0	7,51
LES-RCH-700	Rio Cachoeira	14°47'18,2"	39°16'12,1"	Itabuna	6,7	<2	0,0	5,93
LES-RCH-800	Rio Cachoeira	14°48'9,6"	39°9'10,4"	Ilhéus	4,3	<2	0,0	6,5
LES-SLD-100	Rio Salgado	14°57'19,7"	39°56'38,7"	Firmino Alves	60,3	<2	4,4	7,44
LES-SLD-200	Rio Salgado	14°54'9,9"	39°42'51,4"	Floresta Azul	31,7	<2	0,0	6,3
LES-SLD-400	Rio Salgado	14°52'33,4"	39°29'13,0"	Ibicaraí	20,1	<2	4,8	7,7
LES-SLM-500	Ribeirão Salomé	14°48'34,0"	39°39'3,0"	Ibicaraí	46,6	<2	3,7	7,84
LES-TIJ-800	Não informado	14°23'55,2"	39°2'34,6"	Uruçuca	3,6	<2	5,5	8,46
LES-UNA-100	Rio de Una	15°4'23,5"	39°19'18,0"	Una	6,2	<2	5,3	7,61
LES-UNA-400	Rio de Una	15°17'50,6"	39°3'49,3"	Una	3,4	<2	0,0	8,26

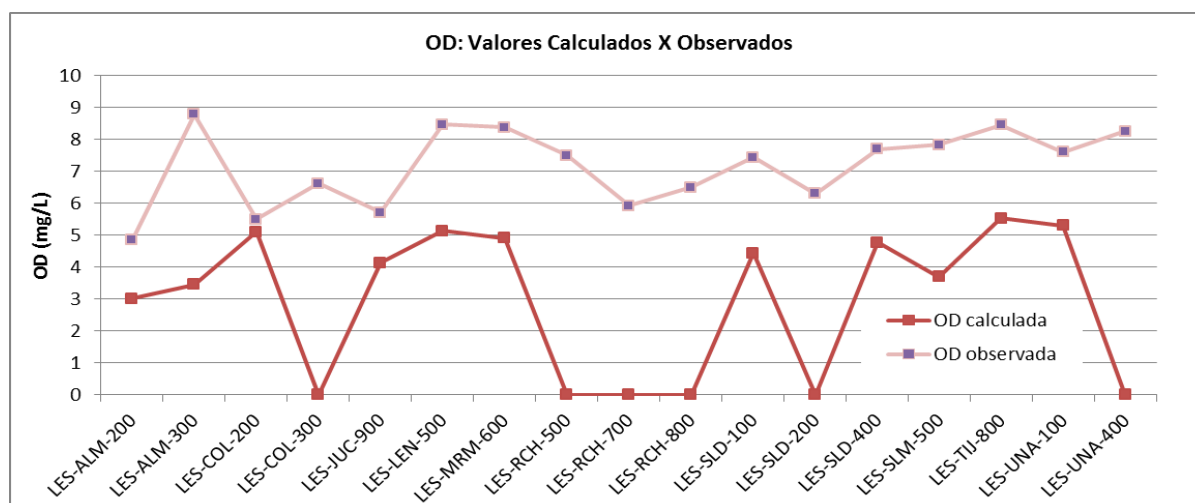


Figura 8 - Comparação valores de OD.

Observa-se na tabela e no gráfico acima que os valores de OD gerados na simulação seguem a tendência observada nos dados de monitoramento, em geral. Há um aumento nos níveis de OD de montante para jusante no rio Almada; uma diminuição de montante para jusante no rio Cachoeira; e um aumento de OD, na mesma direção, no rio Salgado.

Porém, observa-se que os valores de OD calculados não se ajustaram aos dados observados nos rios Una e Colônia com precisão. Isto se deve principalmente a carência nos dados de entrada utilizados na modelagem, que foram em sua maioria estimados. Além disso, ressalta-se que a campanha de monitoramento, ainda que realizada em época de estiagem, dificilmente retrata exatamente a condição de Q90, simulada.

## 6 - CONCLUSÕES

A principal limitação do estudo aqui realizado está relacionada à estimativa de carga orgânica lançada na bacia. Tal estimativa foi realizada com base em dados populacionais e econômicos dos municípios da bacia, porém, este processo está atrelado a grandes incertezas, sobretudo por considerar cargas médias por unidade (habitante, por exemplo). Com vistas a contornar tais dificuldades, o processo de calibração do modelo envolveu, também, um ajuste das cargas a serem consideradas. Além dos parâmetros comumente calibrados em processos semelhantes de simulação de qualidade, o coeficiente de amortecimento das cargas que efetivamente chegam à rede de drenagem foi também ajustado.

Os valores calculados de OD, de maneira geral, ajustaram-se à tendência dos dados de monitoramento realizado pelo INEMA. Contudo, o mesmo não ocorre com os resultados de DBO, dado que os resultados do monitoramento estão, na grande maioria das vezes, na campanha analisada e nas demais existentes, abaixo do limite de detecção. Uma vez que a quantidade de carga orgânica entrando na bacia é bastante alta, seja pela avaliação dos dados quantitativos das cargas geradas, ou pela análise qualitativa das características e atividades desenvolvidas na bacia, os resultados de DBO encontrados na simulação mostram-se mais prováveis que os resultados do monitoramento. É possível que os resultados do monitoramento estejam sendo comprometidos por problemas no processo de análise da água. Esta análise está sujeita a vários fatores intervenientes: a respiração das algas presentes nos corpos hídricos utiliza oxigênio, o qual não será utilizado no processo de biodegradação; a presença de substâncias tóxicas aos microrganismos responsáveis pela biodegradação podem reduzir o processo; o tempo para análise desta variável pode dar origem a resultados distintos; a falta de diluições adequadas pode fazer com que tenha faltado oxigênio na garrafa; além de erros de fixação no momento da coleta da amostra, entre outros.

## 7 - BIBLIOGRAFIA

CETESB. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis\\_quimicas/demanda\\_bioquimica\\_de\\_oxigenio.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_bioquimica_de_oxigenio.pdf)>, acesso em maio de 2014.

DE PAULA, F. C. F., Silva, D. M. L.; Souza, C. M. “Tipologias Hidroquímicas das Bacias Hidrográficas do Leste da Bahia”. Rev. Virtual Quim. 2012, 4 (XX), no prelo.

FAN, F. Simulação dos Impactos de Lançamentos de Poluente sobre a Qualidade da Água de Bacias Hidrográficas Integrada com Sistema de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 243-254, 2014.