

XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

GERENCIAMENTO HÍDRICO UTILIZANDO SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E COMPUTACIONAIS DE UM MODELO MATEMÁTICO DE DESPOLUIÇÃO APLICADO A LAGOA DAS BATEIAS EM VITÓRIA DA CONQUISTA - BA.

Ranaya Silva Barbosa⁽¹⁾; Andresa Sampaio Santos Soares⁽²⁾; Deisy de Assis Coelho⁽³⁾; Djan Almeida Santos⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Graduanda de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *Campus* Vitória da Conquista, Bahia. ranaya.barbosa@ifba.edu.br; ⁽²⁾ Graduanda de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *Campus* Vitória da Conquista, Bahia. andreasampaio@ifba.edu.br; ⁽³⁾ Graduanda de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *Campus* Vitória da Conquista, Bahia. deisy.coelho@inema.ba.gov.br; ⁽⁴⁾ M.Sc. Djan Almeida Santos. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), professor pesquisador, *Campus* Vitória da Conquista, Bahia. djan.santos@ifba.edu.br.

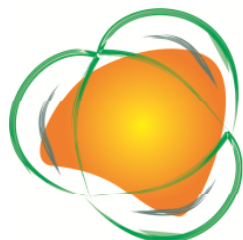
Eixo temático: Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos

RESUMO – A poluição das fontes hidrológicas varia desde o despejo de resíduos sólidos até microrganismos patogênicos. Isso pode ser simulado utilizando-se de modelos matemáticos ambientais. Uma simulação matemática visa demonstrar o funcionamento de um sistema ambiental real e possibilita encontrar maneiras de mitigar um impacto ambiental. Observa-se, portanto, a importância de se compreender a dinâmica da despoluição por meio da técnica de simulação utilizando-se modelos matemáticos. Neste artigo pretendemos discutir um modelo matemático baseado em equações diferenciais ordinárias envolvendo a despoluição na lagoa da Bateias em Vitória da Conquista-BA, avaliar os resultados das simulações computacionais e apresentá-la como ferramenta de gerenciamento de recurso hídrico.

Palavras-chave: Modelagem Ambiental. Simulação. Gestão de Recurso Hídrico.

ABSTRACT – The pollution from hydrologic sources ranges from pour solid residues to pathogenic microorganisms. And can be simulated using environmental mathematical models. A mathematical simulation intends to demonstrate the functioning of the real environmental system and possibility to find way of mitigate the environment impact. It's observed, therefore, the importance of understand the depollution dynamics through investigation technique by mathematical models. In this article we intend to discuss a mathematical model based on ordinary differential equations involving elimination of pollution in Bateias' pond in Vitória da Conquista – BA, evaluate the computational simulation results and to introduce the mathematical model as management hydric tool.

Keywords: Environmental Modeling. Simulation. Environmental Management.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Introdução

Segundo relatório divulgado pelas Nações Unidas (2015) as reservas hídricas do mundo podem encolher 40% até 2030. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016) mostram que do efluente doméstico do Brasil gerado em 2014 apenas 70,9% são coletados, sendo que desse percentual somente cerca de 40% são tratados, de forma que grande parte do esgoto doméstico é descartado de forma inadequada nos corpos hídricos.

Uma das causas do descarte irregular do esgoto gerado se dá devido à urbanização desordenada que ocorre nos centros urbanos. Em Vitória da Conquista no Estado da Bahia é possível verificar caso semelhante no Parque Municipal Lagoa das Bateias. A Lagoa é uma unidade de conservação de grande importância e vem sofrendo com os impactos diretos e indiretos do meio urbano, uma vez que se situa dentro da zona urbana. Vitória da Conquista possui aproximadamente 343.230 habitantes (IBGE, 2015), e tem uma taxa de urbanização de 85,8%.

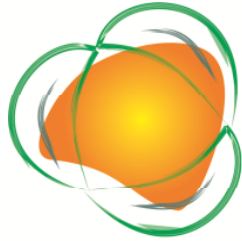
Apesar da existência de rede coletora de esgoto, em grande parte das residências há relatos de moradores cujas casas não estão interligadas a esta rede. Segundo Silva (2015) existem vários pontos de lançamento clandestino de esgoto nas redes pluviais de coleta de água do município, onde a rede pluvial conduz até a Lagoa das Bateias causando poluição hídrica, assoreamento, de forma que a lagoa das Bateias tem funcionado como uma lagoa de estabilização.

Uma lagoa de estabilização consiste em um local (lago ou lagoa) onde ocorre processos físicos, químicos e biológicos como o objetivo de reter a matéria orgânica e gerar água potencialmente tratada. Não existe depuração absoluta, ou seja, o ecossistema atinge um novo equilíbrio diferente das condições de equilíbrio anterior a inserção do afluente (VON SPERLING, 1996).

Visando compreender a dinâmica da degradação e mitigar os impactos nesse recurso, pode-se estudar separadamente as variáveis ambientais capazes de poluir ou despoluir um efluente, utilizando a matemática como instrumento para a compreensão e possível tomada de decisões mitigadoras, empregando por exemplo modelagem matemática e simulação do sistema (SILVA, 2010).

A modelagem matemática também permite o estudo desses processos sem que haja a necessidade de qualquer perturbação nesses sistemas, uma vez que os estudos acontecem por via de simulação computacional. A simulação é definida como o processo de projetar e/ou realizar experimentos a partir de um sistema real através de um modelo matemático com o intuito de entender o comportamento deste sistema e avaliar possíveis soluções e/ou estratégias de mitigação (BARBOSA, 2016).

Devido à complexidade de resolução dos modelos de forma manual, surge a necessidade da utilização de softwares, uma vez que possibilitam cálculos mais



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

precisos, velocidade na produção de resultados, além da tradução destes resultados em formas de gráficos ou tabelas.

A partir deste cenário, discutiremos neste artigo a utilização de simulações matemáticas para o modelo de autodepuração de lagoas visando o gerenciamento hídrico por meio da compreensão qualitativa da dinâmica do meio, os fatores (como a taxa de despoluição, taxa de poluentes lançados no lago, vazão, pluviosidade) que influenciam e interagem no sistema e a capacidade de autodepuração da Lagoa das Bateias em Vitória da Conquista - BA.

Material e Métodos

Segundo Christofletti (1999) existe uma grande diversidade de modelos que descrevem os fluxos hídricos nos geossistemas, que oscilam desde a caracterização do ciclo hidrológico na escala global até os fluxos nas vertentes e nos solos. O que torna a preocupação com os recursos hídricos inerentes a todas as civilizações.

Dentre os diversos modelos matemáticos que descrevem os sistemas hidrológicos, iremos analisar e discutir o comportamento qualitativo do processo de autodepuração de uma lagoa baseado em modelagem computacional de Equações Diferenciais Ordinárias (BASSANEZI, 1988).

Para simular o processo de autodepuração da lagoa situada no Parque Municipal Lagoa das Bateias, utilizaremos o modelo composto por uma equação diferencial de primeira ordem (1). O modelo é facilmente encontrado na literatura de aplicações de equações diferenciais em sistemas reais.

As equações diferenciais ordinárias são compostas unicamente de derivadas ordinárias de uma ou mais variáveis dependentes em relação a uma variável independente (ZILL, 2003). A resolução destas equações diferenciais pode ser obtida por método analítico (quando todas as equações podem ser resolvidas algebricamente, de forma exata) e método numérico (quando há equações não-lineares, em que não é possível encontrar solução exata, apenas uma aproximação da solução verdadeira).

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{rP}{V} \quad (1)$$

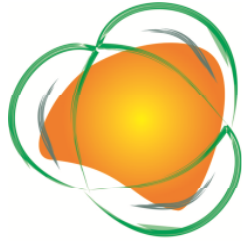
Onde,

r = vazão de entrada e saída em l/dia

P = quantidade de coliformes totais em $coliformes\ totais/l$

V = volume da lagoa em l

Para melhor entendimento de como funciona o processo de autodepuração da lagoa, serão feitas abaixo um conjunto de simplificações que objetivam substituir as relações complexas que ocorrem no meio por relações simplificadas que permitem o estudo do problema real.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

A despoluição de lagoa será simulada apenas para o mecanismo de autodepuração lento e por substituição gradual da água, não considerando a sedimentação dos poluentes e ações biológicas, portanto o processo de despoluição ocorrerá apenas por diluição das concentrações de carga orgânica. Nas simulações também serão consideradas as seguintes hipóteses: *a)* a vazão de água na entrada do sistema é a mesma vazão de saída da lagoa, portanto a vazão é constante e representada por r (litros/dia); *b)* o volume da lagoa também será constante e dado por V (litros); e *c)* o poluente está uniformemente distribuído pela lagoa e só será retirado através da extremidade de saída.

Para o desenvolvimento do estudo serão considerados os casos abaixo:

- 1º caso: A inserção de poluentes nesse sistema cessa completamente;
- 2º caso: A inserção de poluentes no sistema é contínua, ou seja, é mantido o ritmo de despejo pelas fontes poluidoras;
- 3º caso: A inserção de poluentes nesse sistema cai gradativamente até que não haja mais despejo de efluente.

Após o desenvolvimento das hipóteses simplificadoras para o modelo, foram coletados os dados de vazão através de medições realizadas na seção transversal do canal principal que conduz água pluvial e esgoto à lagoa das Bateias, o volume foi encontrado em Costa (2014).

Para as taxas de coliformes foram utilizados valores padrões para a classe 1 presente na Resolução CONAMA 357 de 2005. A resolução dispõe sobre o conjunto de condições e padrões que enquadram o corpo hídrico de acordo com sua destinação e uso. Para as águas doces de classe 1 são permitidos 200 coliformes termotolerantes para cada 100 mililitros de água (BRASIL, 2005).

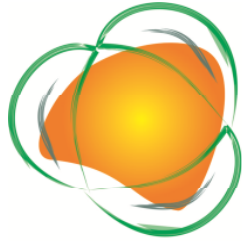
Em virtude da complexidade de se obter soluções analíticas com precisão de forma manual, será utilizado um software de linguagem de programação matemática. Os resultados obtidos com o programa serão apresentados na próxima seção.

Resultados e Discussão

Foi simulada a autodepuração do lago através da implementação do modelo de despoluição de lagoa em linguagem matemática computacional.

A Lagoa das Bateias é caracterizada por uma superfície irregular de aproximadamente 26 hectares com profundidade média de 2 metros, que corresponde a um volume (V) de 520.000.000 litros. Os dados de vazão foram obtidos através de amostragem do canal de saída durante o período de um ano, tendo como resultado uma vazão média (r) de 2.426.399,99 litros por dia.

Devido à dificuldade de se aferir a quantidade de poluentes já existentes na Lagoa, estima-se que independente das concentrações de poluentes lançados, já existem depositados no interior da lagoa 25000 coliformes totais por litro (P), o que



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

segundo a Resolução CONAMA já citada enquadra o corpo hídrico em classe 3, cujo uso se restringe a recreação de contato secundário e irrigação de arbóreas.

Primeiro Caso: A inserção de poluentes no sistema cessa completamente

Após cessado o despejo de efluente doméstico ocorre no sistema uma diminuição na variação da concentração de poluentes. A concentração de coliformes depende apenas do fluxo de vazão, ou seja, um aumento na vazão do sistema ocasiona maior diluição do poluente no meio e conseqüentemente um aumento na velocidade de autodepuração do corpo hídrico. Conforme a Figura 1 a quantidade de poluente no sistema decai rapidamente nos primeiros dias e posteriormente diminui de forma mais gradativa até não haver mais poluente. A interrupção da poluição na lagoa poderia ser justificada por melhorias nas políticas públicas de saneamento básico, gerenciamento e maior conscientização da população.

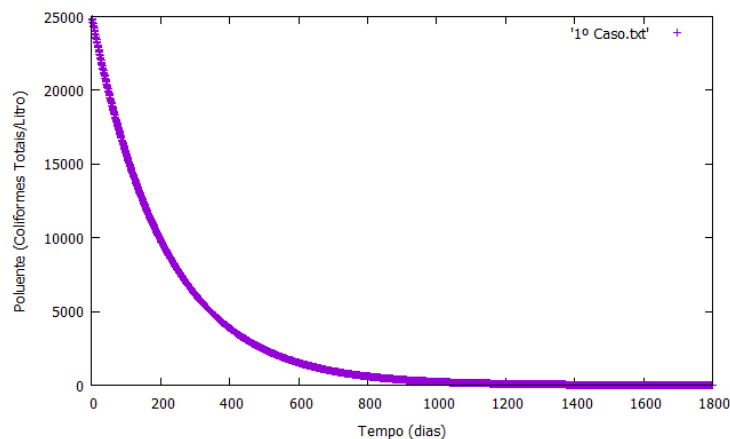
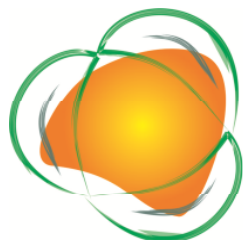


Figura 1: Simulação do modelo no caso de a inserção de poluentes cessar completamente. Parâmetros: $V=520.000.000$ litros; $r= 2.426.399,99$ litros; $P= 25000$ coliformes total/litro.

Segundo Caso: A inserção de poluentes no sistema é contínua

Para o caso de introdução contínua de poluição na lagoa, o modelo é alterado adicionando-se uma nova variável que corresponde as concentrações diárias inseridas no meio, portanto, além do valor inicial (P_0) já existente na lagoa também será considerado o incremento diário da taxa de poluente.

A Figura 2 mostra que quando não há interrupção da poluição, a taxa de concentração de coliformes aumenta exponencialmente até chegar ao ponto de saturação da lagoa, ou seja, a lagoa perde completamente a sua capacidade de autodepuração, não sendo possível se recuperar mais do poluente. Após chegar ao ponto de saturação as substâncias poluidoras começam a se sedimentar e o corpo hídrico passa a ser completamente eutrofizado. Este cenário é encontrado em situações em que há um



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

descaso completo tanto da população que não se preocupa na manutenção da qualidade da lagoa, quanto do poder público que não investe nos instrumentos de comando e controle capazes de fiscalizar as possíveis irregularidades no sistema de saneamento.

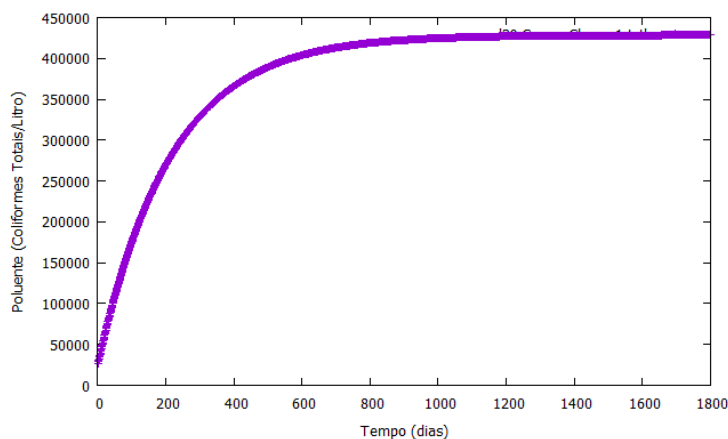
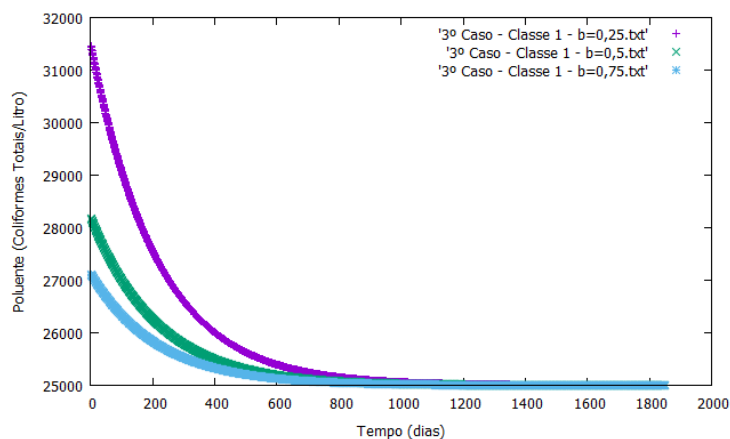
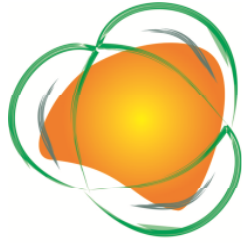


Figura 2: Simulação do modelo no caso de a inserção de poluentes ser contínua. Parâmetros: $V=520.000.000$ litros; $r= 2.426.399,99$ litros; $P= 2000$ coliformes totais/litro; $P_0= 25000$ coliformes totais/litro.

Terceiro Caso: A inserção de poluentes nesse sistema cai gradativamente

Para este caso iremos considerar a variação de b em 0,25, 0,5 e 0,75, que respectivamente é a redução da poluição por efluente doméstico em 25%, 50% e 75%. Neste caso consideramos a eficiência das políticas públicas de saneamento básico, que têm sido executadas de forma gradual e, portanto, a deposição do efluente doméstico começa a diminuir gradativamente. Na Figura 3 assim como na Figura 1 há uma diminuição rápida dos poluentes em um primeiro momento para posterior despoluição gradativa. A diferença entre os dois casos é o tempo total necessário para a completa autodepuração do corpo hídrico e o retorno ao seu estado inicial.





XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Figura 3: Simulação do modelo no caso a inserção seja gradativa de poluentes.
Parâmetros: $V=520.000.000$ litros; $r= 2.426.399,99$ litros; $P= 2000$ coliformes totais/litro;
 $P_0= 25000$ coliformes totais/litro.

A participação da gestão pública como agente é fundamental na conscientização da população local acerca da poluição de corpos hídricos. A falta de saneamento básico corresponde ao fato de se ter canais clandestinos despejados na lagoa, o que, em caso de não ser cessado, pode atingir a região limitante mostrada na Figura 2, ocasionando a eutrofização do meio e possível desaparecimento do espelho d'água, como afirma Silva (2015).

A suspensão total dos poluentes só é possível na ocorrência de melhorias proporcionadas pelas políticas públicas de saneamento básico e coleta efetiva de esgoto doméstico, de forma a possibilitar a recuperação da Lagoa.

O modelo apenas evidencia de forma qualitativa a despoluição da Lagoa, uma vez que são feitas simplificações na construção que afetam diretamente na representatividade do modelo, como por exemplo, a consideração de que parâmetros como vazão e volume se mantêm constantes ao longo do tempo.

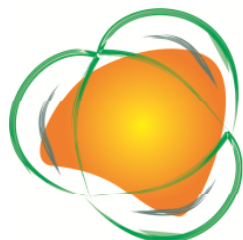
As simulações de modelos ambientais é uma ferramenta essencial no gerenciamento de recurso hídricos, pois além de poder demonstrar como funciona um determinado sistema ambiental real possibilita encontrar maneiras de mitigar um impacto ambiental como é o caso da poluição em lagoas através da introdução no modelo de variáveis de despoluição como métodos de dragagem de sedimento, técnicas de biorremediação e em escala mais simplificada a estimulação da população para não poluir os recursos hídricos.

Conclusões

A simulação de modelos ambientais juntamente com políticas públicas ambientais efetivas são ferramentas essenciais no gerenciamento dos recursos hídricos.

Através das simulações apresentadas observar-se que a suspensão total dos poluentes só é possível na ocorrência de melhorias na gestão pública, como saneamento básico e coleta eficaz do esgoto doméstico.

Podemos inferir que apesar das simulações e do modelo proposto evidenciar apenas de forma qualitativa a despoluição da Lagoa, uma vez que são feitas simplificações na construção que afetam diretamente na representatividade do modelo, é possível entender a dinâmica entre a quantidade de poluentes depositados e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico. As simulações também possibilitam a investigação maneiras de mitigação do impacto, através da introdução no modelo de



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

variáveis de despoluição como métodos de dragagem de sedimento, técnicas de biorremediação e até mesmo sensibilização da população em relação à deposição de resíduos domésticos nos recursos hídricos.

Referências

BARBOSA, R. S., SOARES, A. S. S., COELHO, D. A., SANTOS, D. A. Software de simulações dos modelos Sir e Seir como ferramenta de gerenciamento ambiental de doenças epidemiológicas. 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente Bento Gonçalves – RS, Brasil, 2016. (no prelo)

BASSANEZI, R. C., FERREIRA, W. C. Equações Diferenciais com Aplicações. São Paulo. Habra, 1988. 572 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.

BRASIL. Resolução 357. CONAMA Brasília, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

JORNAL DO BRASIL. Estudo Mostra que Poluição Tomou 70% das Águas de Rios do Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.jb.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticias/2008/03/22/estudo-mostra-que-poluicao-tomou-70-das-aguas-de-rios-do-brasil/>>. Acesso em: 23 de abril de 2016. Online.

PRESS, W. H. et al. Numerical Recipes in C - The Art of Scientific Computing – Second Edition. New York: Cambridge University Press, 1992.

SILVA, A. R. S., COELHO, D. A., SANTOS, R. C., ROCHA, F. A. R. Diagnóstico e Monitoramento Socioambiental do Parque Lagoa das Bateias em Vitória da Conquista-Bahia. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre 2015.

SILVA, P.M. I. Modelos matemáticos: Despoluição de Lagoas e Digestão de Ruminantes. Monografia. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2010.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Editora UFMG, 1996.

WATER, U. N. World Water Assessment Programme. Water in a Changing World: Facts and Figures. Paris: Unesco.2015.

ZILL, D. G. Equações diferenciais com aplicações em modelagem. Cengage Learning Editores, 2003.