

PREDIÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS RELACIONADAS À DINÂMICA DA CLOROFILA *a* NO LAGO GUAÍBA (RS) POR MEIO DE MODELO MULTIPLICATIVO NÃO-PARAMÉTRICO

Paula Ivana Riediger^{1} & Lúcia Ribeiro Rodrigues² & David da Motta Marques³*

Resumo – Este trabalho objetivou avaliar a resposta da comunidade fitoplanctônica do Lago Guaíba, RS, por meio da clorofila *a*, frente à dinâmica das variáveis de qualidade da água, condições meteorológicas e hidrodinâmicas. Para isso, o estudo verificou a capacidade de previsão de um modelo de regressão multiplicativa não-paramétrica (NPMR). Neste estudo foram considerados fatores relacionados à bacia hidrográfica do Lago Guaíba e aos rios formadores, que possuem influência na dinâmica da comunidade fitoplanctônica. Como resultados, foram gerados modelos avaliando seis pontos monitorados pelo DMAE, considerando doze variáveis de qualidade da água, sete meteorológicas e seis hidrodinâmicas. Foram utilizados dois tipos de modelos: uniforme e gaussiano. Ambos os modelos indicaram maior influência das variáveis hidrodinâmicas, como as vazões dos tributários como principais preditores da dinâmica da clorofila *a* no Lago Guaíba, e importância da variável nitrogênio. Para validação dos modelos, deverão ser realizados testes de sensibilidade dos parâmetros. A abordagem utilizada neste estudo consiste em uma ferramenta de gestão para previsão de eventos de floração de cianobactérias e para a gestão de recursos hídricos.

Palavras-Chave – *Clorofila a; Qualidade da água; Regressão Multiplicativa Não-Paramétrica.*

PREDICTION OF EXPLANATORY VARIABLES RELATED TO CHLOROPHYLL DYNAMICS IN LAKE GUAÍBA (RS) BY NON-PARAMETRIC MULTIPLATIVE MODEL

Abstract – This work aimed to evaluate the response of the phytoplankton community of Lake Guaíba, RS, through chlorophyll *a*, related to the dynamics of variables of water quality, meteorological and hydrodynamic conditions. Therefore, this study verified the predictive capacity of a non-parametric multiplicative regression model (NPMR). In this study, factors related to the Lake Guaíba watershed and their tributaries were considered, that influence the dynamics of the phytoplankton community. As results, models were generated evaluating six points monitored by the DMAE, considering twelve variables of water quality, seven meteorological and six hydrodynamics. Two types of models were used: uniform and Gaussian. Both models indicated greater influence of the hydrodynamic variables, such as the flows of the tributaries as the main predictors of the chlorophyll *a* dynamics in Lake Guaíba, and greater relation with the nitrogen variable. To validate the models, parameter sensitivity tests should be performed, consisting of management tools to predict cyanobacteria blooms and for water resources management.

Keywords - *Chlorophyll a; Water quality; Non Parametric Multiplicative Regression.*

^{1*}Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Profágua, IPH/UFRGS; paula_riediger@hotmail.com.br

²Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS; luciarrodrigues@gmail.com

³Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS;dmm@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Efluentes urbanos, industriais e agrícolas podem causar impactos severos no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, sendo que o uso de fertilizantes no solo, que acabam sendo carregados para os corpos hídricos, e o lançamento de efluentes domésticos, sem o devido tratamento, acarretam o enriquecimento nutricional dos corpos hídricos, alterando as suas características naturais.

Uma das consequências do incremento de nutrientes na água, principalmente por nitrogênio e fósforo, é o processo conhecido como eutrofização (Chorus e Bartram, 1999). Este processo, que tem diversas consequências para o ecossistema aquático, está associado à proliferação excessiva de algas e cianobactérias, conhecidas por florações (Von Sperling, 2007). As cianobactérias são potenciais produtoras de toxinas, sendo que a presença de cianotoxinas na água de consumo humano implica em sérios riscos à saúde pública, pelo fato de serem hidrossolúveis, e não serem removidas pelo sistema de tratamento convencional (Carvalho *et al.*, 2013). Desta forma, o conhecimento dos principais fatores associados às florações em corpos hídricos, principalmente aqueles destinados ao abastecimento público, é imprescindível.

Neste contexto, está inserido o Lago Guaíba, importante manancial de água doce, situado no Estado do Rio Grande do Sul, onde os eventos de florações são recorrentes, principalmente, nos meses de verão (Porto Alegre, 2012; Maizonave *et al.*, 2005). Em termos quantitativos, o Lago Guaíba não apresenta riscos de escassez, no entanto, a qualidade da água, em algumas regiões, encontra-se bastante comprometida (Bendati *et al.*, 2003; ECOPLAN, 2016). Os efluentes provenientes da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba e das bacias hidrográficas de montante impactam o Lago, comprometendo os usos mais nobres, além de dificultar e encarecer o tratamento da água para consumo.

Além da disponibilidade de nutrientes, fatores meteorológicos e hidrodinâmicos podem estar relacionados à dinâmica das florações de cianobactérias. Por isso, visando a compreensão dos principais preditores relacionados a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no Lago Guaíba, este trabalho se propôs a utilizar modelos de regressão multiplicativa não-paramétrica. Este tipo de modelagem estatística procura a relação entre a variável resposta e um ou mais preditores, considerando a interação entre eles (McCune, 2006). Além disso, ela não busca coeficientes de uma equação matemática, e sim, ela visa a otimizar o ajuste dos dados sem referência para um modelo global específico.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da comunidade fitoplanctônica do Lago Guaíba, por meio da clorofila *a*, frente à dinâmica das variáveis de qualidade da água, condições meteorológicas e hidrodinâmicas. Para isso, o estudo visou a verificação da capacidade de predição de um modelo de regressão multiplicativa não-paramétrica, bem como dos principais fatores relacionados a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no Lago Guaíba.

METODOLOGIA

Obtenção e processamento dos dados

Os dados de qualidade da água do Lago Guaíba foram fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), no período compreendido entre 2000 e 2014, sendo analisados os dados dos seis pontos que possuem monitoramento de clorofila *a*: 36, 41B, 45C, 47-8B, 64H e 86A, totalizando 172 amostras. A localização dos pontos, da bacia hidrográfica em estudo e dos rios afluentes, pode ser observada na Figura 1.

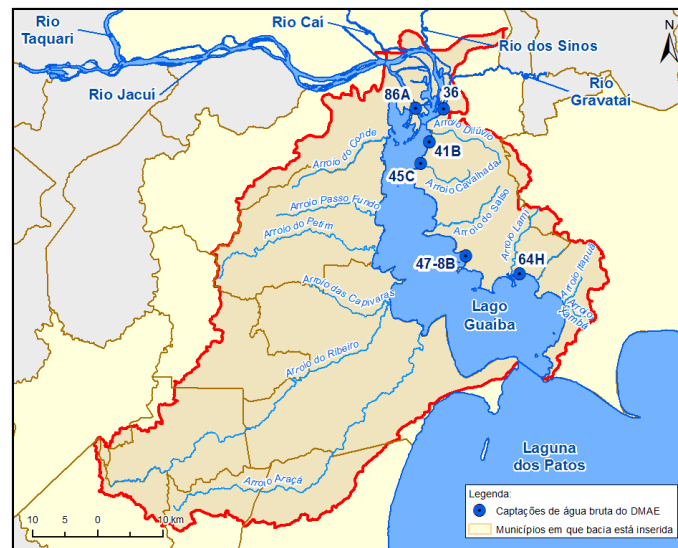


Figura 1: Localização dos pontos analisados.

Para a seleção dos parâmetros considerados na modelagem foram selecionadas as variáveis relacionadas ao crescimento fitoplanctônico, de acordo com a disponibilidade dos dados, sendo: Clorofila *a*, Oxigênio Dissolvido (OD), Amônia, Nitrato, Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT), Ortofosfato, pH, Turbidez (Turb), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). Além destes, foi incluída na análise a relação Nitrogênio Total/Fósforo Total (NT/PT). Somente foram consideradas na análise as datas em que haviam coletas e resultados de todas as variáveis selecionadas simultaneamente. Em função disso, os dados de qualidade da água foram os principais limitantes utilizados, devido à grande quantidade de falhas nos dados observadas.

Os dados meteorológicos considerados referem-se aqueles fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Aeroespaciais – INPE/INMET, da Estação A801, localizada em Porto Alegre. Foram selecionadas as seguintes variáveis climatológicas: Temperatura do Ar (°C) (T_{ar}); Umidade Relativa (%) (UR); Pressão Atmosférica (hPa) (P_{atm}); Vento, intensidade (m/s); Vento, direção (Graus); Rad (KJ/m^2) e Precipitação (mm), totalizando sete (7) variáveis. Para as análises no modelo, foi realizada a média diária de todos os parâmetros, visando a obtenção da aproximação dos valores médios nos dias em que havia dados de qualidade da água.

Quanto às variáveis hidrodinâmicas, foram selecionadas as estações fluviométricas dos rios formadores do Lago Guaíba. Os rios Jacuí, Sinos, Cai e Gravataí foram utilizados como condições de contorno a montante, enquanto a estação de nível de água Ponta de Itapuã foi assumida como a condição de contorno à jusante. Os dados para as estações foram obtidos por meio do site da Agência Nacional de Águas, por meio da plataforma *Hidroweb*. As estações utilizadas foram: 85900000, 87170000, 87382000, 87400000, 87510001, 87500020, 87270000, 87160000, sendo as três últimas utilizadas para a regionalização das vazões e de cotas. Foram realizados procedimentos simplificados de preenchimento de falhas para estimativa das vazões, por meio da correlação entre estações fluviométricas próximas. Foram realizadas também regionalizações das vazões para o exutório dos rios formadores, sendo as vazões estimadas com base em um método de regionalização pela área (Tucci *et al.*, 1993), sendo os fatores calculados para cada afluente multiplicados pelos dados diários de vazão de cada posto fluviométrico.

Visando a obtenção do tempo de residência (T_r), foi necessária a elaboração de uma curva cota-volume para o Lago Guaíba, sendo o tempo de residência calculado a partir do volume do Lago Guaíba em relação à vazão afluente. A estimativa do volume do Lago Guaíba foi realizada com base na batimetria do corpo hídrico, correspondente ao levantamento batimétrico realizado pela Diretoria

de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha em 1964. Utilizou-se o *software Idrisi* com a batimetria do Lago Guaíba com resolução de 200 m, sendo realizada uma reclassificação das cotas com intervalos de 0.2 m, conforme o método utilizado por Albertin *et al.*(2010).

Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada em duas etapas, sendo que a primeira consistiu na elaboração dos modelos multiplicativos não-paramétricos, e a segunda, que levou em consideração os resultados da primeira, na análise dos dados por meio de uma regressão múltipla. Para a análise dos dados da primeira etapa foram elaboradas três matrizes avaliando, simultaneamente, os seis pontos monitorados pelo DMAE, que possuíam dados de clorofila *a*. As matrizes consistiram, em todos os casos, em uma matriz resposta, que corresponde aos valores de clorofila *a*, que é avaliada com uma segunda matriz de preditores, que serão listados nos itens a seguir:

Modelo I - Clorofila *a* x Matriz com as 25 variáveis (qualidade da água, meteorológicas e hidrodinâmicas);

Modelo II - Clorofila *a* x Matriz com as 12 variáveis de qualidade da água; e,

Modelo III - Clorofila *a* x Matriz com as 13 variáveis de meteorológicas (7) e hidrodinâmicas (6).

Cabe esclarecer que as 12 variáveis de qualidade da água do modelo II são: OD, Amônia, Nitrito, NT, PT, Ortofosfato, pH, Turbidez, ST, SST e SDT e a razão NT/PT. Para o modelo III, as variáveis hidrodinâmicas são: vazões dos quatro tributários (rios Gravataí, dos Sinos, Caí e Jacuí), Tempo de residência e Cota em Itapuã, e as meteorológicas são todas as sete descritas anteriormente. Além destes três grupos de análise (I, II e III) foram gerados modelos para cada um dos seis pontos, com todas as variáveis (25 fatores – Modelo I). Esta escolha foi feita visando a comparação das respostas dos modelos avaliado todos os pontos em conjunto e os pontos individualmente, devido a tendência que cada um dos pontos possui de ser influenciado por diferentes variáveis.

Para minimizar problemas relacionados às grandes variações nas ordens de grandeza dos dados (Cristofolini *et al.*, 2008), todas as variáveis foram log transformadas com a transformação $\log_{10}(x+1)$ conforme sugerido por Berryman e McCune (2006). As matrizes foram analisadas por modelos multiplicativos não-paramétricos (NPMR) (McCune, 2006), utilizando o software *Hyperniche 1,0* (McCUNE e MEFFORD, 2004). Foram selecionados os melhores modelos que descreveram as relações entre a variável resposta (clorofila *a*) e as variáveis ambientais (variáveis de qualidade de água, meteorológicas e hidrodinâmicas).

Foram gerados dois tipos de NPMR para cada combinação de matrizes. Os dois NPMR possuem um modelo de média local e diferem no tipo de *kernel* (ponderação em torno de cada ponto de destino): um modelo é denominado uniforme dentro de uma janela ecológica (Modelo de Ocorrência de Espécies - SpOcc - NPMR), identificado pela letra U, e o outro modelo é do tipo gaussiano (LR-NPMR) (McCUNE e MEFFORD, 2004), identificado pela letra G.

Foram selecionados os modelos com o melhor xR^2 , considerando o máximo de cinco preditores, devido a observação que o xR^2 aumentava (melhor aproximação) com o aumento no número de preditores. No entanto, os testes mostraram que a partir de cinco preditores, o xR^2 não aumentava mais, sendo, somente, adicionados mais preditores, sem apresentar vantagens à análise. A avaliação dos modelos foi realizada a partir do teste de permutação de Monte Carlo (100 permutações). Foram considerados significativos apenas os modelos com $p < 0,05$.

RESULTADOS

Foram gerados três tipos de modelo ((I) todas variáveis, (II) variáveis de qualidade da água, e (III) variáveis meteorológicas e hidrodinâmicas), além de um modelo considerando cada ponto em separado e todas as variáveis ambientais. Os resultados dos modelos de regressão multiplicativa não-paramétrica se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da modelagem SpOcc (U) e gaussiano NPMR (G).

Modelo	Modelo SpOcc –NPMR (U)			Modelo Gaussiano-NPMR (G)		
	XR ²	p	Variáveis (Tolerância)	XR ²	P	Variáveis (Tolerância)
Modelo I	0,74*	0,03	pH; UR; Q Gravataí; Q Jacuí; Q Sinos.	0,71*	0,01	OD; Turb; Q Gravataí; Q Jacuí; Tr.
Modelo II	0,47*	0,009	Nitrato; OD; NT/PT; Turb.	Não foi gerado modelo		
Modelo III	0,54*	0,009	T ar; UR; Precipitação; Q Gravataí; Q Sinos.	0,43	0,09	P atm; Q Sinos
Ponto 36	0,67*	0,05	Nitrato; T ar; P atm; Vento, direção; Q Sinos.	0,54*	0,009	NH ₄ ; T ar; Precipitação; Rad Glob; Q Sinos.
Ponto 41B	0,81*	0,02	Ortofosfato; Turb; T ar; UR; Precipitação.	0,51	0,09	PT; NT/PT; Turb; T ar; P atm.
86A	0,93*	0,009	NH ₄ ; OD UR	0,6	0,45	NT; OD Rad; Tr.
45C	0,72	0,15	OD; Turb; Rad. Glob.	0,62*	0,04	pH; Rad Glob; Cota Farol de Itapuã
64H	0,87	0,13	NH ₄ ; ST; P atm.	0,59	0,38	ST; Turb; T ar
47-8b	0,6	0,58	NH ₄ ; NT/PT	0,69	0,57	pH; Q Sinos

*p<0,05

Conforme pode ser observada na Tabela 1, os modelos gerados apresentaram resultados indicando boas aproximações, variando xR² de 0,93 a 0,43, com nível de significância de p <0,05. Salienta-se que os valores que não possuem asterisco (*) ao lado do xR², embora tenham apresentado correlação, não apresentaram significância (p >0,05). Possivelmente, a limitação para os modelos nas análises por pontos (64H e 47-8B) esteja relacionada ao número de dados, haja visto que nestes pontos a disponibilidade de dados é menor.

Analisando os oito modelos com nível de significância p<0,05 (Tabela 1), foram identificadas as variáveis preditoras mais frequentes (mais de três vezes) nos modelos gerados, sendo elas: temperatura do ar, vazões dos rios dos Sinos, Gravataí e Jacuí, nitrogênio (Nitrato e amônia), OD e turbidez. Os melhores modelos gerados foram aqueles com todas as 25 variáveis preditoras, sendo o Modelo I, Uniforme (U) e Gaussiano (G) e os modelos Uniformes dos pontos 36 (Localizado na região do Delta do Rio Jacuí, na foz dos rios dos Sinos e Gravataí), Ponto 41B (localizado na foz do Arroio Dilúvio) e ponto 86A (foz do Rio Jacuí), com XR² superior a 0,65.

Analisando os resultados, observou-se que para o modelo tipo I, o modelo G tende a explicar melhor a variável resposta (clorofila *a*). Neste modelo, identifica-se a importância das vazões dos formadores do Lago Guaíba, conforme exposto por Paz (2003). Complementarmente, os trabalhos de Carvalho *et al.* (2013) e Maizonave (2004) mostraram que as florações de cianobactérias estão associadas a elevados tempos de residência no Lago Guaíba. A turbidez e o OD estão associados aos

eventos de florações, pois quando tais eventos ocorrem, observa-se aumento da turbidez devido a proliferação de algas (Fragoso, 2009), sendo que o crescimento excessivo de algas também causa a desoxigenação da água. No entanto, no início do processo de produção primária das algas ocorre a produção de oxigênio (Von Sperling, 2007). Ainda, a baixa turbidez também pode estar associada às florações à medida que possibilita a entrada do sol na coluna d'água. A presença de nutrientes na água (nitrato), assim como a razão NT/PT, pode dar indícios de que o nutriente limitante para o crescimento algal, possa ser o nitrogênio, como identifica o trabalho de Carvalho (1999).

Em relação aos modelos por ponto, foram observadas variações consideráveis entre os modelos gerados, indicando que cada um sofre influência de diferentes variáveis. As variáveis nitrogenadas se apresentaram como variáveis explicativas da clorofila *a* nos pontos 36 e 86A. Altas temperaturas, alta radiação e baixa precipitação são variáveis que podem explicar o crescimento algáceo. No ponto 41B, na foz do Arroio Dilúvio, as condições de baixa precipitação e alta concentração de fósforo, associada a elevadas temperaturas se mostraram as condições requeridas para o crescimento algal. Objetivando a comparação entre os resultados dos modelos de regressão multiplicativa não-paramétrica com regressões lineares múltiplas, foram realizadas regressões lineares múltiplas com os mesmos dados utilizados para os modelos II e III (variáveis de qualidade da água e meteorológicas/hidrodinâmicas, respectivamente). Considerando o modelo I, foram selecionadas apenas as variáveis preditoras para todos os modelos tipo U e para os modelos tipo G (Tabela 1), totalizando 13 variáveis. Os principais resultados encontram-se na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Resultados da regressão linear múltipla.

	Modelo I Fatores de U	Modelo I Fatores de G	Modelo II	Modelo III
	$r^2 = 0,31$	$r^2=0,32$	$r^2=0,23$	$r^2=0,34$
Fatores	Turb $p=0,02$	Turb $p=0,02$	OD $p=0,001$	T $p=0,02$
	T $p=0,0006$	T $p=0,02$	pH $p=0,006$	Radiação $p=0,005$
	Q Gravataí $p=0,01$	Radiação $p=0,03$	Ortofosfato $p=0,02$	
			SDT $p=0,05$	
			Turb $p=0,0009$	

Analisando os resultados das Tabela 1 e 2, observou-se que a correlação entre as variáveis explicativas (ambientais) e variável resposta (clorofila *a*) foi melhor nos modelos utilizando NPMR do que nos modelos através de regressão linear múltipla. Nos modelos de regressão linear múltipla, a variável resposta apresentou valores de correlação muito baixos, sendo que, para o modelo considerando as variáveis explicativas de U, o r^2 foi de apenas 0,31, e as variáveis explicativas foram: Turbidez, temperatura e Q Gravataí. Considerando as variáveis explicativas do modelo G, o modelo de regressão linear múltipla obteve um $r^2=0,32$, sendo que os preditores foram semelhantes ao anterior. Para os modelos II e III, os r^2 foram de 0,23 e 0,34, respectivamente. Portanto, nota-se que em ambos os modelos a clorofila *a* obteve fraca correlação com os preditores.

A partir da análise integrada dos resultados, considerando as diferentes abordagens metodológicas, observa-se que a utilização de ferramentas estatísticas para análises de preditores ambientais, baseadas em modelos de regressão multiplicativa não-paramétrica (NPMR), é mais promissora, para a predição da dinâmica da clorofila *a* no Lago Guaíba, considerando o banco de dados utilizado neste estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo os objetivos inicialmente propostos foram alcançados. Foi avaliada a resposta da comunidade fitoplanctônica do Lago Guaíba, expressa por meio da clorofila *a*, frente à dinâmica das variáveis de qualidade da água, condições meteorológicas e hidrodinâmicas. O estudo ainda verificou, com sucesso, a capacidade de predição de um modelo de regressão multiplicativa não-paramétrica, para os principais fatores relacionados a dinâmica da comunidade fitoplanctônica.

Os resultados evidenciaram que os modelos I, tanto o modelo U quanto o modelo G, mostraram forte influência das variáveis hidrodinâmicas, sendo que três dos cinco preditores, foram relacionados a elas. O XR^2 foi de 0,74 e para U, de 0,71 para G. O Rio Gravataí e o Rio Jacuí foram preditores para o modelo geral nos dois casos. Considerou-se que o modelo G tenha sido mais representativo para a predição biomassa algácea. Para o modelo II, o XR^2 foi de 0,47. Os fatores explicativos foram nitrogênio e a relação do NT/PT, turbidez e o oxigênio dissolvido (igualmente preditores para o modelo I G). Para o modelo III, o XR^2 foi de 0,54 para o modelo U, sendo que os preditores foram: temperatura, UR, precipitação e vazão do rio Gravataí e dos Sinos. Dentre os modelos gerados por ponto, o que obteve melhor xR^2 de 0,93 foi o ponto 86 A (foz do Rio Jacuí). Todos os modelos acima citados foram significativos ($p < 0,05$) com o teste de Monte Carlo (100 permutações). Estes modelos indicaram as variáveis preditoras da clorofila *a*, apresentando diferentes resultados por ponto, indicando que cada ponto sofre influência de diferentes variáveis.

Foram realizadas também análises de regressão linear múltipla para verificar como se comportam os dados com esta outra abordagem, e observou-se que tais análises apresentaram fraca correlação entre as variáveis, com baixa explicabilidade (r^2 de 0,23 a 0,34), com $p < 0,05$. Tais resultados evidenciaram que modelos de regressão multiplicativa não-paramétrica (NPMR) tendem a ajustar melhor (r^2 médio de 0,64) para estas matrizes de dados. Desta forma, a partir da análise integrada dos resultados considerando as diferentes abordagens metodológicas, fica evidente que a utilização de ferramentas estatísticas para análises de preditores ambientais, baseadas em NPMR, é mais promissora para a predição da dinâmica da clorofila *a* no Lago Guaíba. Salienta-se que os modelos gerados não preveem concentrações de clorofila *a*, e sim, eles definem os principais preditores desta variável.

Considera-se importante a continuidade destas análises, visando obtenção de melhores modelos NPMR para o Lago Guaíba, que deverão passar por testes de sensibilidade e novos testes de calibração, com outros dados de entrada. Após validados, os modelos poderão consistir em uma ferramenta de gestão para predição de eventos de floração de cianobactérias no Lago Guaíba, com potencial aplicação para outros ambientes. Como proposta de trabalhos futuros, pode-se citar: i) Considerar as “condições hidrodinâmicas de referência”, utilizadas na fase C do Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (ECOPLAN, 2016); ii) Obter dados de vazão dos formadores e dos arroios contribuintes por meio de modelos matemáticos e comparar com as respostas dos modelos obtidos neste estudo; iii) Incluir a estação fluviométrica localizada no Arroio Dilúvio como variável hidrodinâmica; iv) Verificar períodos com disponibilidade de dados considerando o Ferro³⁺ para verificar a resposta dos modelos.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, L. L.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. (2010). Cálculo do Volume e Análise da Deposição de Sedimentos do Reservatório de Três Irmãos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 15 n.4 Out/Dez 2010, pp. 57-67.

BENDATI, M. M.; SCHWARZBACH, M.; MAIZONAVE, C.; ALMEIDA, L. E BRINGHENTI, L. (2003). Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba. Subsídios para a gestão da bacia hidrográfica. *Revista Pesquisa ECOS*. Porto Alegre - RS. Ano 4. Nº7.

BERRYMAN, S.; MCCUNE, B. (2006). Estimating epiphytic macrolichen biomass from topography, stand structure and lichen community data. *Journal of Vegetation Science* 17: 157-170,IAVS; Opulus Press Uppsala .

CARVALHO, E. N. (1999). Avaliação zonal de variáveis limnológicas e grupos fitoplantônicos na foz dos principais rios formadores do Lago Guaíba (RS) com ênfase em *Microcystis aeruginosa* Kutz. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre (RS).

CARVALHO, M.C.; AGUJARO, F.L. PIRES, D.A.; PICOLI, C. (2013). Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, CETESB.

CHORUS, I; BARTRAM, J. (1999). Toxic Cyanobacteria in water: a guide to public health, consequences, monitoring and management. *World Health Organization*. London and New York, 416p.

CRISTOFOLINI, F; GIORDANI, P; GOTTARDINI, E; MODENESI, P. (2008). The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps. *Science Direct, Environmental Pollution*, v151, Issue 2, Jan 2008, pp. 308-317.

ECOPLAN (2016). Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba-Fase C- Relatório Final Síntese, Revisão 01. Porto Alegre, 619p.

FRAGOSO, C. R. J. (2009) Modelagem tridimensional da estrutura trófica em ecossistemas aquáticos continentais rasos. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MAIZONAVE, C. R. M., BENDATI, M. M.; WERNER, V, R.; CYBIS, L. F. A.; CARVALHO, E.N. (2005). Avaliação planctônica do reservatório da Lomba do Sabão (Porto Alegre/RS) com ênfase na ocorrência de cianobactérias: implicações para o abastecimento público. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: 23º, Campo Grande. ABES, 2005.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. (2004). Nonparametric multiplicative regression for habitat modeling version 1. Gleneden Beach, OR: MjM Software.

MCCUNE, B. (2006). Non-parametric habitat models with automatic interactions. *Journal of Vegetation Science*. 17: 819-830.

PAZ, A. R; REIS, L. G. M; LIMA, H.V.C. (2005). Uso de modelagem hidrodinâmica visando a segmentação corpos d'água rasos para enquadramento: o caso do Lago Guaíba (RS) Disponível em: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005a.pdf. Acesso em 20 de abril de 2015.

PORTO ALEGRE. (2012). A ocorrência de florações no Lago Guaíba. Departamento Municipal de Água Disponível em: < <https://portoimagem.wordpress.com/2012/04/14/o-guaiba-fica-verde-novamente/guaiba-verde> > acesso em 10 de Junho de 2015.

TUCCI, C.E.M. (1993). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre. Ed. da Universidade. ABRH: EDUSP. 943p.

VON SPERLING, M. (2007). *Estudos da modelagem da qualidade da água de rios*. Volume 7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.