UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

**Variabilidade Climática, qualidade da água para abastecimento
público e impactos à saúde**

Sofia Lizarralde Oliver

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientadora: Profa. Tit. Helena Ribeiro

São Paulo
2018

Variabilidade Climática, qualidade da água para abastecimento público e impactos à saúde

Sofia Lizarralde Oliver

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientadora: Profa. Tit. Helena Ribeiro

**Versão Revisada
São Paulo
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Ficha elaborada pelo Sistema de Geração Automática a partir de dados fornecidos pelo(a) autor(a)
Bibliotecária da FSP/USP: Maria do Carmo Alvarez - CRB-8/4359

Lizarralde Oliver, Sofia
Variabilidade Climática, qualidade da água para
abastecimento público e impactos à saúde / Sofia
Lizarralde Oliver; orientador Helena Ribeiro. -- São
Paulo, 2018.
109 p.

Tese (Doutorado) -- Faculdade de Saúde Pública da
Universidade de São Paulo, 2018.

1. Saúde Pública. 2. Saúde Urbana . 3. Climatologia .
4. Cianobactérias . 5. Água Doce . I. Ribeiro, Helena ,
orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo à todos os professores e professoras que tive até hoje, mas principalmente aos primeiros e mais importantes, meus pais Daniel Luiz e Silvia Elsa, e meu irmão Teo.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos de um trabalho científico normalmente se referem aos elementos e pessoas que contribuíram para que o mesmo acontecesse. Veja bem, posso me aproveitar da amplitude desta definição para incluir, sem aviso, nos meus agradecimentos tudo e todos que apoiaram este cérebro e este coração durante a jornada do doutorado. Incluindo o café, os chás cafeinados e o bolo de chocolate. Serei, portanto, honesta, um doutorado não são quatro anos de trabalho, são quatro anos de vida. Porque o cérebro não desliga, o amadurecimento é constante e o trabalho não acaba, embora os prazos costumem apresentar fim, invariavelmente.

São destinados à estes meus últimos quatro anos que foram o doutorado os meus agradecimentos. Mais, na verdade sete anos, dado que foi um processo de doutorado direto que devido aos entraves burocráticos terminou por se tornar um mestrado e um doutorado convencionais. As benesses e os ensinamentos foram proporcionais ao tempo de duração.

Agradeço muito à minha orientadora Helena Ribeiro que me mostrou o caminho da ciência inovadora, interdisciplinar, ética e sem fronteiras. Agradeço por sempre me apoiar e a contribuir com o meu crescimento enquanto pesquisadora e enquanto ser humano. Por seu exemplo também aprendi a ser mais forte nas adversidades da vida que permeiam o “estar vivo” simplesmente. À ela minha admiração e respeito são sem tamanho.

Agradeço também ao meu orientador de Sanduíche na Universidade da Califórnia, em Berkeley, Jason Corburn, por ter me recebido tão bem no Instituto de Desenvolvimento Urbano e Regional dentro do Departamento de Planejamento Ambiental de Berkeley, me mostrando que as vezes o caminho da multi e interdisciplinaridade é árduo mas que está sendo pavimentado a muitas mãos.

Da minha passagem por Berkeley agradeço à Laura Pedatta, pelas e trocas sobre planejamento urbano na Itália, Albânia e Brasil. Mas principalmente pela amizade iluminada e pela paciência. Também agradeço à Luiza Lena Bastos, pela amizade também iluminada e trocas sobre saúde coletiva no Brasil e na Califórnia.

Agradeço também aos Professores da banca, Prof. João Lima Sant’Anna Neto, que também foi meu orientador durante a graduação, Profa. Edelci Nunes da Silva, e Prof. José Luiz Mucci, agradeço por terem aceitado fazer parte da banca mas principalmente por me ajudarem a polir meu trabalho e por terem participado do

processo enquanto ele acontecia. Ao Professor José Luiz agradeço especialmente por ter acolhido tantas dúvidas durante todo o processo e por ter sido sempre acolhedor na generosidade da ciência.

Agradeço à Priscilla Ikefuti pela contribuição na modelagem dos dados do Manuscrito 3, sempre com muita paciência de ensinar e explicar, como a excelente profissional e veterana que é, desde a nossa graduação. Obrigada principalmente pela amizade sempre pronta e a companhia nessa nossa caminhada pela pós graduação stricto sensu.

Agradeço à Denise Piccirillo, Michele Toledo, Ximena Roncancio e Bruna Breternitz pela amizade companheira para além do coleguismo de portas de laboratório, por terem me mostrado que o ser mulher tem suas complexidades sociais e o ser mulher na ciência outras tantas. Ainda fico maravilhada com a inteligência, generosidade, capacidade de trabalho e talentos paralelos dos mais variados estarem concentrados nos corredores da Saúde Ambiental da FSP.

Agradeço aos colegas de laboratório Rafael Buralli, Tiago Canelas, Nancy Val y Val Peres, Viviana Mendes, Adriana Braga e Thomas Ficarelli pelas trocas dos últimos anos.

Agradeço aos colegas de Representação Discente: Carol Rogel, Antonio Neto e Elizangela Junqueira por me mostrarem que a luta tem que continuar forte, consciente e lúcida, mas que também pode ser leve e afetiva. Obrigada.

Agradeço à Denise Sant´ana pelo apoio desde as primeiras semanas de FSP e por ser uma luzinha no meu caminho. Assim como à Carol Abílio, milênial sempre pronta para contribuir e a construir novos patamares de trabalho eficiente.

Agradeço profundamente aos meus amigos que sempre tiveram toda a paciência do mundo com as minhas ausências e não desistiram de mim: Bruna Castanheira, Rodrigo Leitão, Ana Terra Camilo, Pedro Murara e Heide Vitola. Também por não desistirem de mim e pela generosidade de ainda sempre me receberem de braços abertos, agradeço à Luli Toledo e à Carol Castanhedi-Coradini.

Joana Rizzo, Fernanda Cavalieri, Andrea Paleari, Andrea Augusto, Alessandra Sen e Natalia Menegazzo, agradeço por serem o tempo todo um porto seguro pra mim.

Luciana, Tia Carmen, Brunno e Gigio Gastaldo, agradeço por completarem a minha família, que é que o me mantém de pé quando tudo parece nublado e o que me dá segurança para sorrir quando o sol aparece de novo.

Por fim, agradeço principalmente, aos meus pais Silvia e Daniel, que sempre me apoiaram de todas as maneiras que se pode apoiar o sonho de uma filha, incondicionalmente, e com a iluminação que só pessoas como eles poderiam ter. Não importa as palavras que escolha, nunca serão suficientes para agradecer ou descrever a sorte que tive de ser filha destes dois corajosos imigrantes e iluminados pensadores que são os meus pais. Assim como ao meu irmão Teo, obrigada pela sensibilidade de me apoiar sempre e com a sua destreza com as palavras, agradeço à você e aos nossos pais por você existir e por continuar vivo. Obrigada.

EPÍGRAFE

“Caminante, no hay camino, se hace camino al andar.”
(Antonio Machado)

RESUMO

OLIVER, S.L. **Variabilidade Climática, qualidade da água para abastecimento público e impactos à saúde.** 2018. TESE – Faculdade de Saúde Pública da USP, 2018.

INTRODUÇÃO: A urbanização em bacias hidrográficas contribui para a eutrofização antrópica dos seus corpos d'água, propiciando proliferações de algas tóxicas como as cianobactérias. Existe um padrão característico de sazonalidade nas florações de algas e comunidades de cianobactérias, embora estas algas possam estar presentes ou mesmo dominantes, na maior parte do ano, trazendo problemas práticos associados à elevada biomassa de cianobactérias e potenciais ameaças à saúde pelo aumento de toxinas. A hipótese desta tese é de que as variações do tempo e do clima podem influenciar a qualidade da água de abastecimento ao propiciar florações das algas tóxicas, cianobactérias, que geram toxinas dificilmente filtradas pelos mecanismos comuns, gerando um problema de saúde pública que pode ser agravado com as mudanças climáticas conjuntamente o fenômeno de urbanização crescente nos países de economia emergente. **OBJETIVO:** O objetivo deste estudo foi investigar qual a influência do tempo e do clima na qualidade da água de abastecimento público de bacias urbanizadas através do indicador de algas tóxicas chamadas cianobactérias. **MATERIAL E MÉTODOS:** Para tanto investigou-se em primeiro lugar qual o contexto das proliferações de cianobactérias em reservatório de abastecimento público e suas consequências bem como qual o estado da arte sobre a qualidade da água de reservatórios eutrofizados em bacias urbanizadas, foi elaborado um mapeamento bibliográfico para saber qual a extensão do problema e do que se sabe a respeito. E, por fim, correlacionou-se a influência do tempo e do clima na qualidade da água para abastecimento no caso da bacia urbanizada da Represa Guarapiranga, localizada ao sul da Cidade de São Paulo, com vistas à previsibilidade e prevenção do fenômeno das florações das cianobactérias. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Chegando-se a conclusão de que a pressão antrópica e o uso do solo são um fator determinante para a eutrofização de reservatórios de abastecimento e que, por tanto, bacias hidrológicas ocupadas pelo espraiamento urbano são particularmente propensas a apresentar reservatórios de água contaminados com algas tóxicas, ao mesmo tempo que são as mais visadas para abastecer a população em seu entorno. O mapeamento bibliográfico mostrou que a proliferação de cianotoxinas em reservatórios eutrofizados é prevalente

em diferentes latitudes e climas. A modelagem de correlação teve sucesso em explicar de 16% à 30% das florações na Guarapiranga de acordo com episódios de Irradiação e de precipitação pluviométrica, sendo resultados coerentes com a literatura, embora sejam baixo para gerar um modelo preditivo. **CONSIDERAÇÕES FINAIS:** A pressão antrópica da urbanização de bacias hidrográficas sem planejamento ou infra-estrutura sanitária se mostrou uma questão de Saúde Pública e Saúde Urbana. As florações de cianobactérias se apresentaram como fenômenos presentes em diferentes latitudes, climas e graus de organização do espaço, mostrando assim serem uma questão global de saúde pública. A modelagem para o caso de São Paulo resultou em valores de explicação insuficientes para gerar um modelo preditivo do fenômeno das florações, evidenciando o sistema complexo de interação ambiente-ocupação humana-uso do solo-clima, exigindo assim que sejam acrescentadas demais variáveis ao modelo.

Palavras-chave: Saúde Pública, Saúde Urbana, Climatologia, Cianobactérias, Água Doce.

ABSTRACT

OLIVER, S.L. Climate variability, water quality for drinking water supply and its health impacts. 2018. DISSERTATION – School of Public Health of the University of São Paulo, 2018.

INTRODUCTION: Urbanization in hydrographic basins contributes to the anthropic eutrophication of their water bodies, propitiating toxic algae proliferation such as cyanobacterias. There is a characteristic pattern of seasonality in algae blooms and cyanobacteria communities, although theses algae may be present or even dominant during most part of the year. They cause practical problems associated with high biomass volumes, and potential health threats by the rise of toxins. This thesis' hypothesis is that weather and climate variations can influence the quality of drinking water supply, because toxins are hardly filtered by ordinary mechanisms. The problem can be aggravated by climate change conjointly with the rapid widespread of urbanization in low and middle income countries. **OBJECTIVE:** This study's aim was to investigate the influence of weather and climate variables on the quality of water from the public drinking water supply system of an urbanized watershed through the indicator of toxic algae – denominated cyanobacterias. **MATERIALS AND METHODS:** First, the cyanobacterias' blooms in eutrophic reservoir and its' consequences, was studied by literature review and by an exploratory analysis of monthly weather variables and cyanobacterias data. Secondly, a bibliographical mapping review was drafted in order to know the extension of the problem and what is known regarding it. Finally, data of weather and climate were correlated with the quality of supply water of the, Guarapiranga reservoir, located on the south of São Paulo metropolitan area, acknowledging predictability and prevention of the phenomenon of cyanobacteria bloom. **FINDINGS AND DISCUSSION:** The conclusion was that the anthropic pressure and land use are determinant factors to the eutrophication of supply reservoir and, therefore, hydrological basins occupied by urban sprawling are particularly at risk of presenting water reservoirs contaminated with toxic algae. They are the most targeted to supply water to their neighbor population. The bibliographic mapping showed that the proliferation of cyanotoxins in eutrophized reservoirs is prevalent in different latitudes and climates. The correlation modeling was successful in explaining 16% to 30% of blooms in Guarapiranga according to episodes of irradiation and low precipitation, matching results found in literature, although they are low for the

creation of a predicative model. FINAL CONSIDERATIONS: The anthropic pressure of urbanization on hydrographic basins without planning or sanitary infrastructure guidelines was shown to be a matter of public and urban health. Cyanobacterias' blooms was shown to be a phenomena present in different latitudes, climates and degrees of space organization, proving to be a matter of global public health. The modeling for the case of São Paulo has resulted in insufficient explanation values to generate a predictive model of the phenomena of flowering, indicating the complex interaction system involving environment, human occupation, land use and climate, and demanding that more variables be acknowledged in the model.

Key words: Public Health, Urban Health, Climatology, Cyanobacterias, Fresh Water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1a - Esquema representando ciclo da eutrofização de corpos d'água em bacias urbanizadas.	19
Figura 2a - Rio Yang-tsé, China, próximo a Usina das Três Gragantas.	21
Figura 3a - Rio Detroit, na fronteira entre USA e Canadá.....	21
Figura 4a -Represa Guarapiranga.....	22

FIGURAS DO MANUSCRITO 1

Fig.1: Satellite image showing human occupation around the Guarapiranga reservoir	33
Fig.2: Monthly totals of rainfall and cyanobacteria density per month (2010 through 2012) at GU 104... ..	36
Fig.3: Total monthly values of rainfall and cyanobacterial density accumulated per month (2010 through 2012) at GU 101.....	37
Fig.4: Absolute maximum annual temperatures (1970-2014). Source: EM-IAG/USP, 2015	38
Fig.5: Deviation of maximum annual temperatures as compared to the average of maximum temperatures (°C) from 1970 to 2014.....	38
Fig.6: Yearly accumulated rainfall 1970-2014.....	39
Fig.7: Days with rainfall in São Paulo per year (1970-2014)	39
Fig.8: Rainfall accumulated for the months of January each year (1970-2014).....	40

Figura 5^a - Represa Guarapiranga e Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP) na malha urbana da Zona Metropolitana de São Paulo.....	49
--	-----------

ESTUDO EXPLORATÓRIO

Figura 6 - Distribuição de internações por neoplasias malignas totais e por neoplasias malignas do intestino delgado, cólon e fígado, no município de São Paulo - SP entre 2008 e 2014.....	55
Figura 6a - Áreas abastecidas pelos principais sistemas de abastecimento de água da Região da área Metropolitana de São Paulo.....	56

FIGURAS DO MANUSCRITO 2

Figure 1: Number of studies on eutrophic urban reservoirs published per year.	63
Figure 2: Countries where the eutrophic urban reservoirs were located 1992-2018	74
Map 1. Spatial distribution of studies and climatic classification of Koppen-Geiger.....	76

FIGURAS DO MANUSCRITO 3

Figura 1 - Represa Guarapiranga e Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP) na malha urbana da Zona Metropolitana de São Paulo.....	91
Figura 2 - Foto de proliferação de algas na Represa Guarapiranga próxima à margem urbanizada	92
Figura 3 - Histogramas dos dados dos pontos de coleta GU101 e GU104 antes da transformação (a e b) e após a aplicação do $\log_{10}$ (c e d)	94
Figura 4 - Matriz de Regressão Linear dos dados variação d cianobactérias dos pontos de Coleta GU101 e GU104 da Represa Guarapiranga dos Dados Meteorológicos do IAG	96
Figura 5 - Gráfico de comparação visual para o ponto GU 104.....	98
Figura 6 - Gráfico de comparação visual para o ponto GU 101	98

LISTA DE TABELAS

Table 1: Deterioration of the quality of surface water and groundwater.....	28
Table 1: Valid results of mapping literature review on "urban" and "eutrophic reservoirs"	64
Tabela 1. Tabela descritiva dos dados empregados na regressão linear	95
Tabela 2. Resultados da Regressão Linear para o ponto GU101	97
Tabela 3. Resultados da Regressão Linear para o ponto GU104.	97

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	17
1. INTRODUÇÃO... ..	18
1.2 MANUSCRITO 1	23
Water supply, climate change and health risk factors: example case of São Paulo – Brazil	24
1. Introduction... ..	25
1.1 Human intoxication and public health.....	30
2. Study Area	32
3. Methods	34
3.1 Literature Review	34
3.2 Analyses	34
3.3 Meteorological variables adopted.....	35
4. Debate and outcomes.....	36
5. Conclusion.....	41
References	42
2. HIPÓTESE.....	45
3. OBJETIVOS	46
3.1 Objetivo Geral.	46
3.2 Objetivos específicos.....	46
4. MÉTODOS.....	47
4.1 Caracterização da área de estudo.....	49
4.2 Represa Guarapiranga.....	50
4.2.1 Ocupação da Bacia do Guarapiranga	50
4.3 Estudo exploratório	53
4.3.4 Comparação espacial.....	56
4.4 Considerações sobre o método.....	57
5. RESULTADOS	58
5.1 MANUSCRITO 2.....	58
Challenges regarding water quality of Eutrophic Reservoirs in urban landscapes: a mapping literature review	59
Introduction	60

Methods.....	62
Results	63
Discussion	77
Conclusion	79
References	80
5.2 MANUSCRITO 3...	87
As variações de cianobactérias estão relacionadas a variáveis atmosféricas?	
Estudo na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil	88
Introdução.....	89
Área de estudo.....	91
Método	93
Resultados	95
Discussão	99
Conclusão.....	101
Recomendação para futuros estudos	102
REFERÊNCIAS	103
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
7. CONCLUSÃO.....	106
REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
CURRICULUM LATTES	109

APRESENTAÇÃO

Esta tese segue o modelo proposto pelo Programa de Pós-graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo. O projeto foi previamente submetido à aprovação do exame de qualificação previsto pelo programa de Pós-graduação. O texto, inicialmente, apresenta uma introdução composta pelo Manuscrito 1 que busca sistematizar o conhecimento existente e justificar o trabalho realizado. Em seguida, são apresentados os objetivos da tese. No item seguinte, descreve-se a metodologia geral da pesquisa que não foi contemplada nos Manuscritos. Após a metodologia, são apresentados os resultados da pesquisa, Manuscritos 2 e 3, assim como produtos intermediários da tese que não foram incluídos nos manuscritos apresentados, mas foram utilizados para elaboração de todas as variáveis propostas no modelo de análise. Em seguida, são apresentadas as considerações finais e conclusão e, por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas mas não contempladas nos manuscritos.

1. INTRODUÇÃO

Este é um trabalho caracterizado pela multi e interdisciplinaridade. Foi desenvolvido na Faculdade de Saúde Pública da Universidade São Paulo, no Departamento de Saúde Ambiental, abordando temas da Saúde Ambiental no contexto da segurança hídrica e saúde urbana, perspassando por limnologia, planejamento urbano e uso do solo, ciências atmosféricas e demais tangentes áreas do conhecimento.

A Saúde Ambiental, como parte inerente da ciência da Saúde Pública, é relativamente recente, datando da segunda metade do século XX, embora sua origem date há mais de 2000 anos, com a obra de Hipócrates *Dos ares, das águas e dos Lugares* (RIBEIRO e CANELAS, 2018). Desde os estudos de John Snow, na Londres de 1854, porém, a relação entre água de abastecimento e saúde pública tem sido objeto de estudo da saúde ambiental. John Snow descobriu que a água contaminada de um poço era o foco de transmissão do cólera (ALMEIDA FILHO, 1986).

Hoje, por tanto, definições de Saúde Ambiental podem contemplar elementos como fatores do meio ambiente que causam danos à saúde, sobretudo como referência à prevenção. A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1993, considerou, na carta de Sofia: Saúde Ambiental são todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão, determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos do meio ambiente que, potencialmente, possam prejudicar a saúde de gerações atuais e futuras.

O *National Environmental Health Association* (NEHA), define a Saúde Ambiental como a ciência e prática de prevenir o dano e a doença do ser humano e de promover o bem-estar, por meio da identificação e a avaliação de fontes e agentes perigosos e, pelo estabelecimento de limites a agentes danosos físicos, químicos e biológicos, no ar, na água, no solo, nos alimentos, e em outros meios e ambientes, que possam afetar de forma adversa a saúde humana.

Assim, este trabalho, dentro do escopo da Saúde Ambiental, teve o intuito de investigar qual o potencial de influência da variabilidade climática na saúde da população abastecida com água de reservatórios de bacias urbanizadas. A característica inerente de bacias eutrofizadas é a possível floração de algas tóxicas, como as cianobactérias, cujas toxinas maléficas ao corpo humano e difíceis de retirar da água com tratamento convencional geram um risco de intoxicação para a população abastecida por essa água, podendo apresentar desfechos epidemiológicos relacionados

às desordens gastrointestinais, disfunções neuromusculares, reações alérgicas, neoplasias e inclusive morte (AZEVEDO, 1998; SALVO e ISAAC, 2002). As cianotoxinas implicam sérios riscos à saúde pública porque são hidrossolúveis e passam pelo sistema de tratamento convencional, sendo resistentes mesmo à fervura.

Figura 1a - Esquema representando ciclo da eutrofização de corpos d'água em bacias urbanizadas.

O esquema descreve o processo que leva um reservatório de água, localizado em bacia urbanizada a se tornar e permanecer eutrófico: o aporte de carga difusa, que é o escoamento das águas superficiais pelo solo, e do esgoto não tratado, são representados por P (fósforo); material particulado (Mp10) gerado pela queima de combustíveis fósseis, que é carregado pela precipitação para os corpos d'água e solo; o aumento da temperatura atmosférica, que favorece as florações de cianobactérias. Estas, por serem potencialmente tóxicas e não serem facilmente removidas da água, muitas vezes permanecendo na água tratada, oferecem risco à saúde pública, representado pelo triângulo com símbolo de exclamação no centro. Portanto, o monitoramento das cianobactérias tóxicas e cianotoxinas nos mananciais de água para abastecimento público é imprescindível para mapear os locais com risco potencial (CETESB, 2013).

Estas dinâmicas do ciclo da eutrofização de corpos d'água em bacias urbanizadas, bem como os malefícios gerados à saúde humana e as influências climáticas estão melhor descritos no **Manuscrito 1**, que consiste em um capítulo de

livro intitulado “Water supply, climate change and health risk factors: example case of São Paulo – Brazil”, com vistas a diagnosticar o problema das proliferações e explicar sobre as possíveis relações com o clima de São Paulo e as Mudanças Climáticas, à luz de uma visão mais ampla, levando em conta os processos de urbanização predatória do meio ambiente, em todo o planeta. Coloca-se em evidência que é um processo com consequências em comum para várias cidades, a exemplo de São Paulo-SP. O capítulo serve como uma introdução mais aprofundada ao tema da tese. Os **Manuscritos 1 e 3**, foram baseados em estudos de caso da Represa Guarapiranga. O **Manuscrito 3**, intitulado “As variações de cianobactérias estão relacionadas a variáveis atmosféricas? Estudo na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil” teve a intenção de encontrar, através de modelos matemáticos, especificamente quais eram as condições meteorológicas que favoreciam as proliferações, com vistas a uma futura ferramenta de prevenção do fenômeno das florações e, por consequência, do aumento das toxinas geradas e presentes na água de abastecimento.

O ciclo da eutrofização de bacias urbanizadas é bastante comum ao redor do globo, como foi demonstrado no **Manuscrito 2**, intitulado “Challenges regarding water quality of Eutrophic Reservoirs in urban landscapes: a mapping literature review” em que foi feito um mapeamento da produção de conhecimento a respeito de reservatórios eutróficos urbanos. Destes, três registros emblemáticos são as bacias urbanizadas do rio das Três Gargantas na China (Fig 2), o do Rio Detroit, na região dos Grandes Lagos, entre a fronteira dos EUA e Canadá (Fig. 3). A Fig. 4 representa a Bacia da Represa Guarapiranga, em São Paulo no Brasil. Nota-se nas imagens (Figuras 2, 3 e 4) que a macha urbana adentra as margens dos corpos d’água, invadindo o ecossistema de várzea. Todos os três reservatórios são de grande importância local e foram pesquisados em mais de um estudo na temática proposta, pois representam risco para a saúde pública local.

As imagens (Figuras 2, 3 e 4) foram retiradas do Gogle Earth, durante a elaboração do **Manuscrito 2**, software usado como ferramenta para a localização geográfica dos reservatórios estudados.

Figura 2a - Rio Yang-tsé, China, próximo a Usina das Três Gragantas.

Fonte: Mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas e geradas pelo software Google Earth Pro, 2018.

Figura 3a - Rio Detroit, na fronteira entre USA e Canadá.

Fonte: Mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas e geradas pelo software Google Earth Pro, 2018.

Figura 4a - Represa Guarapiranga.

Fonte: Mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas e geradas pelo software Google Earth Pro, 2018.

As imagens evidenciam a relação do uso do solo com a qualidade da água de reservatórios urbanos, e por conseguinte, com a saúde ambiental. Dada a característica interdisciplinar, a tese foi construída, através de multilateralidades do conhecimento neste recorte de estudo que é um tema transversal às ciências da saúde, biológicas e humanas, e uma questão central de segurança hídrica, do uso do solo e do desenvolvimento regional.

Como parte do doutorado foi feito o estágio Sanduíche no *Institute of Urban and Regional Development* (IURD), localizado no *College of Environmental Design* da Universidade da Califórnia, Campus Berkeley CA/USA, sob a orientação do Prof. Jason Corburn. No estágio foram estudados o desenvolvimento regional e as dinâmicas sócio ambientais, bem como as suas repercussões para a saúde da população, levando em consideração diversos recortes sociais, tendo em vista o direito à cidade e a seus equipamentos e serviços como determinante da saúde urbana. O estágio contribuiu para a elaboração do **Manuscrito 2**.

1.2 MANUSCRITO 1

Capítulo de livro publicado na Climate Change and Health Improving Resilience and Reducing Risks. 1ed.Suiça: Springer International Publishing, 2015, v. 1, p. 1-480.

Water supply, climate change and health risk problems: example case of São Paulo- Brazil

Autoras:

Sofia Lizarralde Oliver – Doutoranda em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP).

Helena Ribeiro – Orientadora de Doutorado, Professora Titular na Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP).

Water supply, climate change and health risk factors: example case of São Paulo – Brazil

Sofia Lizarralde Oliver¹, Helena Ribeiro²

Studies indicate the potential carcinogenic and other harmful effects on health of *Microcystis aeruginosa* (cyanobacteria) in drinking water. Cyanobacteria blooms are becoming an increasingly common phenomenon worldwide, especially in urban lakes and reservoirs. The aim of this paper is to demonstrate the potential relationship between cyanobacteria in the drinking water from the Guarapiranga Reservoir and climate change in the Metropolitan Region of São Paulo, as well as health risks factors associated. Methods used: literature review and analysis of data on water quality and climate parameters. Results: The Guarapiranga Reservoir in São Paulo-Brazil, accountable for supplying water to 3.8 million inhabitants of this city, has shown frequent cyanobacterial blooms when the temperature rises and in rainy weather (summer). Climate change in the city of São Paulo can worsen these problems related to drinking water once the ideal climatic conditions for the proliferation of cyanobacteria are increasing in frequency. Especially in the last 20 years, the maximum temperatures are higher and episodes of heavy rain are more frequent. This scenario can magnify a public health problem related to cyanobacteria in São Paulo and around the world. Climate change may increase public health risks related to drinking water quality as associated with land use.

Keywords: drinking water; climate change; megacities; public health; environmental health

¹S.L. Oliver

Department of Environmental Health, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
e-mail: s.oliver@usp.br

²H. Ribeiro

Department of Environmental Health, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
e-mail: lena@usp.br

1.Introduction

Overall, 54 percent of the world population lived in urban areas in 2014, (United Nations 2014). In 1950, 30 percent of that population was urban and, in 2050, 66 percent of the world population is expected to be living in urban environments. The world's urban population has increased rapidly since 1950, from 746 to 3,900 million in 2014.

In 2014, the World Urbanization Prospects recorded 28 megacities in the world, home to 453 million people, or about 12 percent of the world population. Sixteen of them are located in Asia, four in Latin America, three in Africa and Europe and two in North America. Most megacities and large cities are located in the global South. The fastest growing cities are located in Asia and Africa, in developing countries. Most of them lack sanitary infrastructure such as sewage collection and treatment that is efficient and sufficient for the entire population.

The continual environmental degradation in water basins with intense human occupation has significantly altered the quality of water bodies predominantly used for public supply. The artificial enrichment of aquatic ecosystems – the eutrophication – is due to nutrients, such as nitrogen and phosphorus from industrial effluent and domestic sewage discharge without proper treatment, destruction of riparian vegetation around water sources, high urbanization rate, poor sanitation, air pollution, and use of fertilizers in agriculture (Esteves and Meirelles-Pereira 2011). According to Vidotti and Rollemberg (2004), algae are directly affected by chemical or household effluents that have nitrogen (N) and phosphorus (P) as macronutrients. In addition to the concentration of nutrients, favorable conditions of temperature, pH, and stability of the water column, there is the rapid algae population growth – a phenomenon known as blooms – a condition that indicates deterioration of the water quality. In accordance with seasonality, there is a greater or lesser proliferation of cyanobacteria, also known as blue algae.

According to WHO (1999), that year, 28% of lakes in Africa were eutrophic; 41% in South America; 48% in North America; and in East Asia the eutrophic lakes amounted to 54%.

Climate change, characterized by the intensification of natural phenomena - such as periods of intense rainfall or extended periods of drought - may result in ideal

environments for blooms of cyanobacteria, when associated with other environmental factors. Although eutrophication can occur naturally, in most cases, it is linked to discharges of untreated or inadequately treated sewage in water bodies. The weather elements are also predispositors.

Following WHO (2011), whenever the conditions of temperature, light and nutritional status are favorable, the surface of fresh or seawater may host an increase in the amount of cyanobacteria. However, there are major differences in cyanobacterial blooms in temperate and in tropical waters.

There is a characteristic pattern of seasonality in algal blooms and cyanobacterial communities. In temperate countries, in eutrophic and hypertrophic waters, cyanobacteria often dominate the environment in the summer period. As winter approaches, the increased turbulence and absence of light lead to their replacement by diatoms. In the tropics, however, the seasonal differences in environmental factors are often not large enough to induce the replacement of cyanobacteria by other species of phytoplankton. Thus, cyanobacteria may be present or even dominant for the most part of the year, bringing practical problems associated with high biomass of cyanobacteria and potential health hazards by increasing toxin (WHO 1999).

According to Fonseca et al. (2010), the cyanobacterial proliferation in eutrophic environments occurs in the months when the water temperature is around 22°C. Water at an average temperature above 25°C was sufficient to trigger the flowering of cyanobacteria. In freshwater environments with basic pH, temperatures ranging from 15°C to 30°C and high concentrations of nitrogen and phosphorus, this microorganism has its growth accelerated. They have identified the increase in cyanobacteria density during the rainy season. They argue that this behavior is directly related to increased availability of nutrients in the period. Esteves and Suzuki (2011) state that the availability of nutrients is controlled not only by the artificial addition of compounds and also chemical and organic elements, but by external ecosystem factors as well, such as wind, rainfall and incident radiation.

For Esteves and Meirelles-Pereira (2011), the climate changes in recent decades are potential causes of variations in the hydrological cycle. Designed models of the changes to which the planet is submitted show the increase in global average temperature. Besides, Esteves and Suzuki (2011) claim that long-term studies have also allowed to observe, in addition to seasonal variations, interannual variations related to the phenomena La Niña and El Niño Southern Oscillation (ENSO), noting, in periods of

influence of La Niña the massive dominance of cyanobacteria and, under the influence of El Niño, besides cyanobacteria, diatoms and cryptomonads. Although the blooms are not exclusive of low latitude countries that is where cyanobacteria meet the best conditions to proliferate. By 2030, 41 megacities with 10 million inhabitants or more are projected. According to the United Nations (2014), China and India will contribute more than one third of the increase in the urban population between 2014 and 2050.

In large cities, it is common to import water from other river basins for local supply. This water, which comes through the supply network, goes out the sewer, reaching the rivers and causing increased runoff volume (Ribeiro et al. 2010). The increase in heat causes a movement tendency of the wind, from the periphery to the central region of the urban area with the formation of one or more convection cells, causing more cloud formation and bringing up the total rainfall. Moreover, it can favor the creation of vectors of waterborne diseases. The additional rainfall may increase the larval habitat and the vector population as it creates a new habitat, so as the lack of rain can have more mosquitoes breeding in containers as it forces water storage (Patz 2010).

Thus, the variation in the intensity of rainfall patterns may pose risks to the population health. In after-torrential rain periods, waterborne diseases are more spread.

The waters that reach urban river basins after torrential rains come heavily contaminated with garbage and dirt from the streets of the runoff loads. Furthermore, they often mix with the sanitation and sewage system due to the large volume of water passing through the channels in a short span of time, which causes the drainage system to be insufficient.

Primavesi et al. (2007) state that the environmental impacts and interference on the urban water cycle cause delay in the rainy seasons, more frequent and more intense dry spells during the rainy seasons (less durable frontal rainfalls as a result of shorter cold fronts), more intense tropical (convective) rains caused by warmer air masses saturated with water which results in greater water flow, more flooding and more erosive power of rainfall, although the annual rainfall volume may remain unchanged, reduction in the water replacement to groundwater tables, major droughts and intensification of sedimentation processes, of contamination of water bodies and of water eutrophication increased risk of appearance of phytoplankton, such as cyanobacteria. The Table 1 illustrates the various aspects of deterioration in the quality of surface waters.

Table 1: Deterioration of the quality of surface water and groundwater

State of	Source*	Consequences*
Eutrophication	Raw sewage waste water, industrial and agricultural effluents	Excessive algae blooms which may contain toxic strains, high levels of total suspended solids
Contamination	By heavy metals and organic substances as hydrocarbons, pesticides e herbicides	Excessive algae blooms, soil and fresh-water acidificaton
High levels of total suspended solids	Excessive algae blooms, storm water runoff	Visibility or clarity decreases, surface water temperature increase
Acidification	Disposal of industrial and agricultural waste	The contamination of the air, soil and surface and groundwater
Increase of waterborne and vector-borne disease	Surface and underground waters quality deterioration	Increased incidence and spread of waterborne and vector-borne diseases
*examples		

Data Source: Adapted from Tundisi 2008

In developing countries, urban planning, when it occurs, is held in cities occupied by the population of middle and high income. According to Tucci (2008), what is left for the low-income population are the invasion and occupation of areas at risk of flooding and landslide, with frequent losses – both material and human – especially during the rainy seasons, which is the case of Brazilian cities in the states of Rio de Janeiro and São Paulo. A major part of the population tends to live in some kind of substandard housing. Tucci (2008) argues that there is a formal city and an informal city, and that urban management usually only reaches the first of them.

The larger the share of "informal city" the greater the proportion of untreated sewage being added to the water bodies fit to help form the nearest reservoir. Although the "informal city" share may be subject to more negative consequences related to climate dynamics, such as floods and landslides, the entire population of the city

supplied with water from a contaminated reservoir, whether belonging to the formal or informal city, is subject to variations in the quality and healthiness of this well.

Urban settings of megacities generate intrinsically potential risks to the water supply of the population.

The "contamination and the increase in toxic substances in water and in vectors of waterborne diseases are closely related to sanitation and improper treatment conditions of water contaminated by various processes" (Tundisi 2008). According to the author, one of the most serious problems nowadays is the deterioration of water quality – usually for lack of wastewater treatment – which is worrying, "the toxicity of aquatic environments and water bodies and also the countless organic substances dissolved in water, which cause multiple direct or indirect impacts on human health" (Tundisi 2008).

The occurrence of cyanobacterial blooms in eutrophic reservoirs has been regarded as a worldwide problem (Fonseca et al. 2010). According to the World Health Organization (WHO), the eutrophication process has admittedly become a pollution problem in many lakes and reservoirs in Europe and North America since the mid-twentieth century. Since then, the eutrophication of surface waters has become increasingly frequent, causing deterioration of aquatic environments and serious problems for the use of water, especially in the treatment of drinking water (WHO 1999).

In 1995, the American Water Works Association Guide (AWWA), "Cyanobacterial Blue-Green Algae", compiled 94 cases of poisoning of domestic animals, rural animals and wildlife by cyanotoxins in countries such as Australia, United States, Canada, Finland, Russia, South Africa, Bermuda, New Zealand, England, Argentina, France, Scotland and Germany. The poisoning of human populations by the ingestion of contaminated water with cyanotoxins has been described in several countries, such as Australia, England, China and South Africa.

1.1 Human intoxication and public health

Cyanobacteria are widely known for their potential to produce cyanotoxins. Depending on the type of toxin, a slower poisoning may occur, such as those caused by microcystin, nodularins and cylindrospermopsins (hepatotoxins), which are the most common and can cause the death of the animals within a few hours or a few days, due to liver hemorrhage and hypovolemic shock. However, there is also the poisoning by anatoxin, anatoxin-a(s) and saxitoxins (neurotoxins), which cause rapid death of animals by respiratory arrest (Esteves and Suzuki 2011). The effects on human health can range from liver, gastrointestinal disorders, neuromuscular dysfunction, allergic reactions, cancer and death.

The cyanotoxins entail problems to human and environmental health because they are water-soluble and pass through the conventional treatment system, being even resistant to boiling. Therefore, the monitoring of toxic cyanobacteria and cyanotoxins in water sources for public supply is essential to map the locations with potential risk.

Cases of poisoning have been recorded in countries located in several continents and latitudes; however, there has been a predominance of reports concerning the Northern Hemisphere. This may be related to the earlier industrialization process that took place in that region while the peripheral regions are subsequent, with their urban agglomerations and related issues.

In the literature in this regard some cases are emblematic, as reported by Falconer (2001) in Australia. Falconer (2001) describes the constant cyanobacterial blooms in Australian history, characterized as a common issue, especially for agriculture and for human water supply; but that the first case of poisoning by water in that country was described in 1878, and the environmental disaster is still reflected in the names of streams that cross the country; for example, in the designation of "Poison Creek Waterhole".

And the case among the most serious ones of poisoning by cyanotoxins became known as the Caruaru syndrome, for the death of 52 patients with symptoms of acute hepatotoxicosis caused by microcystins in Caruaru, in the state of Pernambuco, Brazil, after the use of contaminated water in hemodialysis (Carmichael et al. 2001). Thus, toxic events are not uncommon, as well as blooms in different types of weather.

The aim of this paper is to demonstrate the potential relationship between cyanobacteria in the drinking water from the Guarapiranga Reservoir and climate

change in the Metropolitan Region of São Paulo, as well as health risks factors associated.

Studies report the bloom of potentially toxic cyanobacteria in surface waters in many cities in Brazil. In São Paulo, blooms in Guarapiranga were studied and, in them, toxic strains found in the most endangered reservoir region (Rodrigues et al. 2010; Oliver and Ribeiro 2014). Along with the Billings reservoir, the Guarapiranga reservoir feeds the second largest supply system of the metropolitan region, which produces 14,000 liters of water per second and supplies 3.7 million people in the South and Southwest zones of the Capital, according to the Basic Sanitation Company of the State of São Paulo; which is equivalent to about 18% of the population of the Metropolitan Area of São Paulo.

2. Study Area

The city of São Paulo – in the State of São Paulo – Brazil, is bisected by the Tropic of Capricorn and located in the range between 23°20' and 24°00' S latitude and 46°20' and 46°50' longitude W, 760 meters above sea level. With these features, it sets up a climatic reality of transition between the humid tropical climates of altitude, with dry period defined, and the permanently humid subtropical climates, typical of Southern Brazil. Due to its location in this transition zone, the Metropolitan region of São Paulo is distinguished by the alternation between the two types of climate, outlining a hot and humid season in summer, and a cold and dry one in winter. According to the Köppen-Geiger classification, the climate in São Paulo is Subtropical Cwa.

To the South, the city is limited by the Serra do Mar mountains. To the West, North and East it is surrounded by the 39 municipalities that make up the metropolitan region of São Paulo, in a 7497.3 km² conurbation. Of the 20,820,093 inhabitants of the region, more than half live in the city of São Paulo, with its 11.376.685 inhabitants, according to the 2010 Brazilian census.

The Metropolitan Region of São Paulo is the main economic hub in the country and one of the most densely populated regions of the world. Such characteristics favor the occurrence of serious environmental problems such as contamination of drinking water supply sources (Richter et al. 2007). According to Whately and Cunha (2006), in 2006, the areas of protected water supply already housed more than 10% of the urbanized area and 18% of substandard housing areas in the entire metropolitan area, totaling a population of over 1.6 million people. The urban setting and the way the urban area have expanded toward the springs compromise the water quality, leading to problems both in its raw condition as in the water already treated, especially overlapping problems of anthropogenic pollution to climate change in the region, as is common in densely populated locations (Fig. 1).

Fig.1: Satellite image showing human occupation around the Guarapiranga reservoir.
Source: Image 2013, DigitalGlobe 2013 accessed Google Earth in 23/05/2013. Image date: 13/07/2012, altitude of eye point 28.30 km.

3.Methods

3.1 Literature Review

A search of relevant literature to the topic addressed in the research was conducted. Search tools in databases and virtual libraries were used (LILACS; PubMed; SciELO; SIBiUSP and Web of Science), as well as visits to the physical libraries of the University of São Paulo.

In this search, the following keywords were used, either alone or in combinations: cyanobacteria (Portuguese), cyanobacteria (English), cyanobacterial proliferation, cyanobacteria blooms, water supply systems, water supply, urban water supply, urban water supply systems, urban water sources, water sources, climate change, climate variability, climatic variations, climate and the Metropolitan Region of São Paulo.

Papers have been chosen for combining at least two of the defined keywords (cyanobacteria, water for public supply and climate). Of these, the reading of the abstracts has caused the exclusion of those not addressing the research focus. Papers cited in the references of the studies researched have also been consulted, as well as some appointed by professors and researchers in the area.

Data and information from electronic sites of Brazilian, São Paulo State and São Paulo City government agencies were also accessed, as well as non-governmental organizations.

2Meteorological data were provided by the meteorological station of the Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences Institute, University of São Paulo (EM-IAG/USP). The EM-IAG/USP is located within the Ipiranga Water sources State Park (PEFI) at 23°39'S latitude and 46°37'W longitude in the Água Funda district, in the southern area of the municipality, 799.2 meters above sea level. It is registered with the World Meteorological Organization under nr. 83.004. The meteorological variables used were atmospheric temperature daily average, daily maximum and minimum temperatures ($T^{\circ}C$); Rainfall (PMM) in rain millimeters accumulated per day;

All graphs were generated with Microsoft®Excel15.0 software (Office 2013)

3.2 Meteorological variables adopted:

- Atmospheric temperature ($T^{\circ}\text{C}$) in Celsius degrees
- Rainfall (Pmm) in millimeters of rain

4. Debate and outcomes:

Blooms in reservoirs of the Metropolitan Region of São Paulo have been reported (Rodrigues et al. 2010) highlighting the Guarapiranga Reservoir, where toxic strains were found. The study conducted by Oliver and Ribeiro (2014) relating the cyanobacteria with the climate of São Paulo had as results evidence that cyanobacteria are sensitive to climatic change in the Metropolitan Region of São Paulo. The study mentioned has concluded that the hot and rainy periods may enhance the proliferation of cyanobacteria in the Guarapiranga reservoir, especially at higher maximum temperatures such as those seen in the summer.

The study has relied on data from the years 2010, 2011 and 2012 of rainfall and water quality of the Guarapiranga Reservoir. Figures 2 and 3 show the accumulated rainfall per month, adding the values for the corresponding months of each year. Therefore, the totals sum January precipitation of 2010, January 2011 and January 2012, and so on for each month of the three years. The same has been done with the monthly totals of gross values of cyanobacteria density in two different collection points of Guarapiranga Reservoir, the GU 101 in the middle of the reservoir and the GU 104 in the water capture to the treatment plant.

Fig.2: Monthly totals of rainfall and cyanobacteria density per month (2010 through 2012) at GU 104

Data Source: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013

Figure 2 shows the typical pace of annual rainfall in São Paulo. In a way, cyanobacteria values at GU 104 collection point follow the rainfall variation, albeit in a milder way. It is clear, however, that the onset of the rains after the dry season, in October and November, contributes to the cyanobacteria proliferation. This phenomenon can be explained by the increased supply of nutrients due to both the natural process and the wash made by the rain with runoff water in the metropolitan area, carrying debris deposited on the reservoir banks. In addition, the increase in nutrients converges from tributaries of the reservoir that are connected to the sewer galleries and sluice gates of the metropolitan region. This cyanobacteria density remains high during the hot rainy season, but decreases slightly during the cold and dry season.

Fig.3: Total monthly values of rainfall and cyanobacterial density accumulated per month (2010 through 2012) at GU 101

Data Source: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013

In **Figure 3**, the relation between cyanobacteria density and rainfall becomes more clear: the same phenomenon of increasing proliferation at the start of the rainy season is observed in the early spring (October), maintained at a high level until the decrease of rainfall and temperature in April.

It is necessary to point out that the difference in results between a collection point and another is due to the fact that one of them is in the middle of the dam (GU 104) while the other is in the capturing inlet (GU 101) of the Guarapiranga Reservoir System, a dam characterized by lentic system. Thus, the movement of organic matter present in the water body is limited, except in episodes of rain. There is a difference in

the distribution of organic matter as a result of the water column depth and the proximity of the shore.

Fig.4: Absolute maximum annual temperatures (1970-2014). Source: EM-IAG/USP, 2015.

Figure 4, with data of absolute maximum annual temperatures shows a raise in a series of 44 years.

Fig.5: Deviation of maximum annual temperatures as compared to the average of maximum temperatures (°C) from 1970 to 2014
Data Source: EM-IAG/USP, 2015

Figure 5 demonstrates the increase in maximum temperatures and their frequency in the last two decades. A change in the pattern starting from 1988 is noticeable, but from 1993 on, the increase in the frequency of maximum temperatures is evidenced.

Analysis of data in the figures indicates that the temperature has risen by an average of 0.27°C per decade in the Metropolitan Region of São Paulo. In Figure 10, deviations from the maximum annual temperature between 1970 and 2014 may be compared to the climatological average in the same period. Looks like from the year

1991 only six years have had maximum temperatures lower than the average 34.35°C, while the opposite is true for the previous series, 1970-1990, in which only 6 out of 20 years have had absolute maximum temperatures above the period average. It is still possible to see that the ten years with the highest maximum temperatures have happened after 1988.

Fig.6: Yearly accumulated rainfall 1970-2014

Data Source: EM-IAG/USP, 2015

Figure 6 shows the time series of annual rainfall from 1970 to 2014 in São Paulo. During this period, rainfall has increased, as shown in the trend line. There has been an average increase of 121.7 mm per decade between 1970 and 2014.

Fig.7: Days with rainfall in São Paulo per year (1970-2014)

Data Source: EM-IAG/USP, 2015

Figure 7 portrays the rainy days each year from 1970 to 2014. Year after year, the reduction in the number of days with rainfall can be observed.

Fig.8: Rainfall accumulated for the months of January each year (1970-2014)
Data Source: EM-IAG/USP, 2015

Using the month of January as a reference, since it is the wettest month of the year, the trend in Figure 8 suggests an increase of rainfall even more pronounced than the trend of accumulated rainfall per year. Adding to the information that the number of days when there is rainfall per year has been decreasing since 1970 (Figure 7) a scenario unfolds in which, in addition to the increasing rainfall in the city of São Paulo, the days when it occurs are decreasing and more focused on episodes of more intense rainfall that overload the city's drainage system causing more frequent floods, as well as the diffuse charge density that is added to rivers and reservoirs in the region.

Besides this addition of nutrients through the diffuse load from runoff, sparse rainfall episodes can find a more polluted atmosphere when they occur, causing the precipitated water to reach the surface already loaded with nutrients, once it is a major natural source of phosphate (inorganic version of phosphorus) and nitrogen. The rainfall is more important as a source of nutrients in regions of intense air pollution, and industrial regions may have higher average values of phosphate. Reservoirs near highways may receive additional intake of phosphate and nitrogen due to vehicle traffic, especially during the rainy season (Esteves and Meirelles-Pereira, 2011).

Results found confirm the studies (Pereira Filho et al. 2007; Nobre et al. 2010; Marengo et al. 2013) and indicate the strong climate variability over the last two decades.

5. Conclusion

According to the findings of this study, the ideal climatic conditions for the proliferation of cyanobacteria in the Guarapiranga Reservoir have been accentuated in the last four decades and more so in the last twenty years. According to the climatological trends presented, this is a scenario to worsen.

One can infer, therefore, that the frequency and intensity of cyanobacterial blooms in the Guarapiranga Reservoir and the resulting risks to human health can increase while the foregoing conditions are accentuated.

The growth of megacities is noted as producing an environment more often featuring reservoir eutrophication. This study has showed an example of a megacity with all urban problems common to most of the megacities in developing countries, especially those located in low latitude tropical and subtropical climates. This is the case of the city of São Paulo, where a problem that already occurs and deserves attention regarding prophylaxis in public health can be further aggravated when found in the scenario of climate change with increasing temperature in these regions and their influence on rainfall and air and soil pollution, closing a cycle of influence in the hydrological cycle.

Therefore, attention to adaptations to climate change in megacities is needed, especially with respect to infrastructure and urban planning to minimize impacts to the environment, safety and public health. These are adaptations that also apply to solve other usual public health problems of megacities in tropical and subtropical climates, as they derive from climate impacts such as water shortage, floods, waterborne disease epidemics, vector increase seasonality, among others.

References

- AWWA – American Water Works Association (2005) AWWA Journal. 97(5)
- Carmichael WW, Azevedo SMFO, Na JS, Molica RJR, Jochimsen EM, Lau S, Rinehart KL, ShawGR, Eaglesham GK (2001). Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environ Health Perspect.* 2;109(7):663-8.
- Esteves FA and Meirelles-Pereira F. (2011) Eutrofização artificial. *In* Esteves FA (coord.). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência 625-656.
- Esteves FA and Suzuki MS (2011) Comunidade Fitoplanctônica. *In* F.A ESTEVES (coord.). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência 375-377.
- Falconer, R. (2001) Toxic cyanobacterial bloom problems in Australian waters: risks and impacts on human health. *Phycologia*. 40(3):228-233
- Fonseca FS *et al.* (2010) Influência de fatores climatológicos na ocorrência de microcistina. *Revista do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo* 69(4) 461-466
- Marengo JA, Valverde MC, Obregon GO (2013) Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. *Climate Research* (57):61–72
- Nobre *et al.* (2010) MRSP e as vulnerabilidades as mudanças climáticas INPE/UNICAMP/USP/IPT/UNESP – Rio Claro. Available at: <http://www.issonaoenormal.com.br/CLIMA_SP_FINAL.pdf> Access: Sep. 2012.
- Oliver SL and Ribeiro H (2014) Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. *Estud. av., São Paulo* 28(82):95-128
- Patz JA (2010) Cambio climático. *In*: *Salud Ambiental de lo Global a lo Local*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud 257-290
- Pereira-Filho AJ *et al.* (2007) Caracterização do Clima e sua Evolução na Região Metropolitana de São Paulo. *In* PEREIRA FILHO A.J. *et al* (orgs.) *Evolução do Tempo e do Clima na Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Linear B/IAG/USP 99-122
- Primavesi O, Arzabe C, Pedreira MS (2007) Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste
- Ribeiro H *et al.* (2010) Alterações no clima urbano. *In*: Saldiva PHN (coord.) *Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles*. 1.ed. São Paulo: Ex Libris (1)67-87
- Richter EM *et al.* Avaliação da composição química de águas do Sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003. *Química Nova*, 30(5):1147-52

Rodrigues L, Sant'anna CL, Tucci A. (2010) Chlorophyceae das Represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo. 33(2):247-264

Vidotti EC and Rollemberg MC (2004) Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. *Química Nova* 27 (1)139-145

Tucci, CEM (2008) Águas urbanas. *Estud. av. São Paulo* 22(63):97-112. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>

Tundisi JG (2008) Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estud. av. São Paulo* 22(63):7-16

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights* (ST/ESA/SER.A/352)

Whately M and Cunha, PM (2006) Guarapiranga 2005: Como e por que São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo, Instituto Socioambiental.

WHO (1999) *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO, London

WHO (2011) *Guidelines for drinking-water quality*. WHO, Geneva (4)

Sofia Lizarralde Oliver holds an undergraduate degree in Geography from Universidade Estadual de São Paulo (2010) and a Masters in Science from Universidade de São Paulo. She is currently Ph.D. Student at the Public Health School of the Universidade de São Paulo. Her main research areas include environmental health, climate variation, urban health, drinking water, climate risks and climate vulnerability.

Helena Ribeiro earned a master degree in Geography at the University of California, Berkeley and PhD in Physical Geography at the University of São Paulo. She is a full professor at the Environmental Health Department of the School of Public Health of the University of São Paulo. She is the coordinator of the PhD Program in Global Health and Sustainability of that same school. She has experience in Geography of Health, Atmospheric environment (air pollution and climate factors) on health, and Global Environmental Health.

2. HIPÓTESE

A hipótese desta tese é de que as variações do tempo e do clima podem influenciar a qualidade da água de abastecimento em reservatórios que recebem aportes de nutrientes, gerando proliferação de algas tóxicas com risco à saúde pública. Este problema pode ser agravado com as mudanças climáticas, conjuntas ao fenômeno de urbanização crescente nos países de média e baixa renda.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi investigar qual a influência do tempo e do clima na qualidade da água de abastecimento público de bacias urbanizadas através do indicador de algas tóxicas chamadas cianobactérias.

3.2 Objetivos específicos

- Investigar qual o contexto das proliferações de cianobactérias em reservatório de abastecimento público e suas consequências.

- Investigar qual o estado da arte da pesquisa sobre qualidade da água de reservatório eutróficos em bacias urbanizadas.

- Modelar a influência do tempo e do clima na qualidade da água para abastecimento no reservatório Guarapiranga, em bacia urbanizada de São Paulo, com vistas à previsibilidade e à prevenção do fenômeno.

4. MÉTODOS

Esta tese de doutorado foi elaborada seguindo o método de delineamento ecológico. Foi organizada no formato de artigos, sendo composta por três manuscritos além de resultados intermediários e estudos exploratórios.

Segue uma linha de desenvolvimento do problema apresentado no Manuscrito 1: “Water supply, climate change and health risk problems: example case of São Paulo-Brazil”. O manuscrito, apresentado na introdução desta tese, consistiu um capítulo de livro a respeito de Mudanças Climáticas e Saúde: Melhorando a Resiliência e Reduzindo os Riscos, do inglês *Climate Change and Health Improving Resilience and Reducing Risks*, publicado pela Editora Springer no ano de 2015. Sua elaboração contou com pesquisa bibliográfica, utilizando-se ferramentas de busca em bases de dados e em bibliotecas virtuais, além das bibliotecas físicas da Universidade de São Paulo:

Bases de Dados:

§ LILACS – Literatura Latino-Americana e do Caribe

§ PubMed – Literatura Internacional em Saúde

§ SciELO – *Scientific Electronic Library Online*

Bibliotecas Virtuais:

§ SIBiUSP – Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo

§ BVS – Biblioteca Virtual em Saúde Pública

§ BIREME – Biblioteca Virtual em Saúde

Nessa busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave, sozinhas ou em combinações: cianobactéria, *cyanobacteria*, proliferação de cianobactérias, *cyanobacteria blooms*, sistemas de abastecimento, *water supply*, *urban water supply*, sistemas de abastecimento urbanos, mananciais urbanos, mananciais, mudanças climáticas, variabilidade climática, alterações climáticas, clima e Região Metropolitana de São Paulo. Também foram acessados dados e informações diretamente nos sítios eletrônicos de órgãos dos governos brasileiro, paulista e paulistano, bem como de organizações não governamentais.

Para o **Manuscrito 2** “Challenges regarding water quality of Eutrophic Reservoirs in urban landscapes: a mapping literature review”, foi feita revisão

sistemizada (Grant; Booth, 2009) dos artigos encontrados por busca na plataforma Web of Science, plataforma unificada e multidisciplinar que inclui periódicos científicos de todo o mundo, com indexação no JCR – Journal of Citation Reports. A busca foi feita em novembro de 2017, utilizando como palavras-chave os termos *eutrophic reservoirs* e *urban*, sem recorte de tempo.

As variáveis meteorológicas utilizadas foram: Temperatura média do ar (Tmed), média das Temperaturas Máximas do ar (Tmax), Temperatura Média Absoluta (Tmas_abs), média da Temperatura mínima do ar (Tmin), Temperatura mínima do ar (Tmin), Irradiação solar (Irrad), Irradiação Total (Irr_tot), Pressão Atmosférica (Press), Precipitação total (Prec_tot), Dias de precipitação (Dias_prec), Precipitação máxima diária (Prec_dia_max), Direção média do vento (Dir_vento_med), Média de vento (Vento_med) e Máxima de Vento (Vento_max), todas em dados diários e reagrupados em outros recortes de tempo de acordo com cada estudo. Os valores de densidade de cianobactérias foram adquiridos junto à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Todos os dados meteorológicos e de contagem de cianobactérias foram tabelados utilizando o Software Microsoft Excel. As correlações e modelos estatísticos do **Manuscrito 3** foram rodadas no Software livre R.

Para a elaboração do Mapa de Distribuição de internações por neoplasias malignas totais e por neoplasias malignas do intestino delgado, cólon e fígado, no município de São Paulo-SP entre 2008 e 2014, do item **1.3 Estudo exploratório** (Figura 6a, p. 56), foram utilizados dados de internações hospitalares do Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade da Prefeitura de São Paulo (PRO-AIM), divididos por subprefeituras, dos anos de 2008 a 2014. Os mapas temáticos foram feitos com o software Quantum GIS 1.4.

Para a elaboração do Mapa **Map 1- Spatial distribution of studies and climatic classification of Koppen-Geiger** do **Manuscrito 2** (p.76), foi utilizado o ArcGIS 10.1. Para a elaboração da Figura 5a, referente à Represa Guarapiranga e à Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP) na malha urbana da Zona Metropolitana de São Paulo foi utilizado o software Google Earth.

4.1 Caracterização da área de estudo

Tanto para os resultados citados no **Manuscrito 1** como para a modelagem de correlação resultado do **Manuscrito 3** “As variações de cianobactérias estão relacionadas a variáveis atmosféricas? Estudo na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil?” foram utilizados dados meteorológicos cedidos pela Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP), que localiza-se dentro do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) à latitude 23°39’ S e longitude 46°37’ W, no bairro da Água Funda, na zona sul do município, a 799,2 metros de altitude (**Figura 5a**). Está registrada na Organização Meteorológica Mundial sob o n° 83.004.

Figura 5a - Represa Guarapiranga e Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP) na malha urbana da Zona Metropolitana de São Paulo.

Fonte: Mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas e geradas pelo software Google Earth, 2017.

4.2 Represa Guarapiranga

Como estudo de caso, foi escolhida a Represa Guarapiranga, onde já haviam sido encontradas e estudadas florações de cianobactérias e assim, tanto o **Manuscrito 1** quanto o **Manuscrito 3**, se apoiaram em dados sobre o reservatório eutrófico da bacia urbanizada na Região Metropolitana de São Paulo, a Represa Guarapiranga. A sua localização em bacia urbanizada, o acesso aos dados de qualidade da água, bem como o acesso aos dados de uma estação meteorológica confiável nas proximidades, fez da Represa Guarapiranga a melhor escolha para a finalidade da pesquisa.

4.2.1 Ocupação da Bacia do Guarapiranga

O principal processo que a cidade de São Paulo viveu nos primeiros anos do Novecentos foi a sensível transformação do uso da terra decorrente de intervenções urbanas que começaram a se processar no final do século XIX. A construção da cidade como centro econômico financeiro, responsável pela comercialização do café e pela implantação de indústrias diversas, gerou um adensamento populacional, intensificado com a chegada dos imigrantes estrangeiros e com a formação de uma burguesia local. A expansão do núcleo urbano para além do “triângulo histórico” deu-se com o loteamento de antigas chácaras próximas ao perímetro central (MENDES e CARVALHO, 2000, p. 46).

Segundo Mendes e Carvalho (2000), no capítulo A Ocupação da Bacia do Guarapiranga: Perspectiva Histórico-Urbanística, dentro da obra Guarapiranga: recuperação urbana e ambiental no Município de São Paulo, as mudanças de uso de solo decorrentes do desenvolvimento econômico do começo do século XX, fizeram com que os arredores do município ficassem como espaços de chácaras para extrativismo e plantio de hortaliças, bem como locais de veraneio e lazer da classe burguesa, e que, após a instalação da via férrea, passou a ser procurada “por um grande número de pessoas que vão saturar-se de seu bom ar” (LANGENBUCH apud MENDES e CARVALHO, 2000). Denota-se deste excerto que a cidade já apresentava o adensamento urbano característico de grandes cidades do começo do século. Este inchaço populacional e industrial, porém, cobrou seu quinhão energético e a geração de energia já não era suficiente. Assim veio o audacioso projeto da Light, Companhia de energia, que transformaria a Represa Guarapiranga, até então apenas um reservatório regulador de vazão do Rio Tietê. Em conjunto com a então Represa Billings, formada a

partir da reversão do Rio Pinheiros, a Guarapiranga passou a ser utilizada para a geração de energia elétrica através da instalação de turbinas hidrelétricas.

A partir de 1928, outra função foi dada à Represa Guarapiranga, a do abastecimento de água para São Paulo. O estado preservado da represa e o acesso à ela, devido às obras da Light, fizeram da Guarapiranga a melhor escolha, sobretudo pela localização mais próxima da cidade. No ano seguinte, 1929, a então Repartição de Águas e Esgotos (RAE), órgão estadual responsável pelo abastecimento de água, já tinha instalado na Represa o maquinário de captação.

A bacia Hidrográfica do Guarapiranga estende-se por 643 Km² na porção sul da Região Metropolitana de São Paulo, abrangendo áreas dos municípios de São Paulo, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu, Cotia, São Lourenço da Serra e Juquitiba; no caso do Município de São Paulo, trata-se de uma área de 229 Km², o que representa 36% da área total da bacia. (MENDES e CARVALHO, 2000, p. 24).

A demanda por água potável crescia e o problema de abastecimento dos paulistanos se via resolvido aparentemente, mas como na época a região não sofria ainda as consequências da urbanização, nem a Light nem a RAE, ou mesmo os governos, tomaram medidas para prevenir as adversidades da futura ocupação das áreas de várzea da região.

A Light, que já havia percebido o potencial recreativo do lago formado pela Represa, instalou bondes para acesso à região desde 1913. Na década de 1930 ainda foi instalada uma auto-estrada. A facilidade de acesso fomentou, nos anos 50, a especulação imobiliária na região da “praia paulista”. A partir dessa década, houve a estruturação do que viria a ser o bairro de Santo Amaro, com a construção de grandes casas de lazer para as famílias mais abastadas da cidade.

A partir dos anos 1940 São Paulo sofreu um forte adensamento populacional

com crescimento da parcela de população de baixa renda, constituída por trabalhadores das indústrias que se instalaram próximas ao perímetro urbano. Esta população não possuía condições econômicas que a permitissem habitar áreas nobres e centrais e, por tanto, passou a buscar terrenos mais distantes e com preços mais acessíveis. Nesse processo de ocupação periférica a zona sul começou a receber a classe trabalhadora. MENDES e CARVALHO, 2000, p. 51).

Nos anos 1960 e 1970, a implantação das vias marginais e mais um fluxo de inchaço populacional, sobretudo da classe trabalhadora que procurava São Paulo como centro econômico e polo de oportunidades de trabalho, fomentaram as ocupações

irregulares da várzea da Guarapiranga. As ocupações ficaram cada vez mais frequentes e densas à medida em que o crescimento econômico da cidade e seu desenvolvimento industrial acolhiam a classe trabalhadora. Com a escassez de alternativas para moradia, esta área foi procurada por ser próxima de indústrias que aí se localizaram.

As áreas de ocupação irregular não eram reconhecidas por órgãos oficiais e assim eram impedidas de receber serviços e equipamentos urbanos, como saneamento básico, energia elétrica, coleta de resíduos sólidos ou arruamento. Parte das famílias instaladas nessa porção do município estão assentadas em regiões de risco de toda a sorte (FRANÇA, 2000). Dessa maneira, o impacto ambiental do que se tornou um grande bolsão de pobreza e segregação contribuiu muito para a poluição das águas da Represa.

4.3 Estudo exploratório

ÁGUA DE ABASTECIMENTO, RITMO CLIMÁTICO E SAÚDE¹

¹Da página 50 a 52, o texto foi publicado como parte do artigo *RITMO CLIMÁTICO E GEOGRAFIA DA SAÚDE*

Helena Ribeiro, Edelci Nunes da Silva, Maria Aparecida Oliveira, Sofia Lizarralde Oliver. Revista de Geografia (Recife) V. 33, No. 4, 2016.

Estudos têm indicado o potencial carcinogênico das cianobactérias, bem como outros efeitos nocivos à saúde, da mais comum entre as cianobactérias tóxicas: *Microcystis aeruginosa*. Os efeitos para a saúde humana podem variar de distúrbios hepáticos, gastrointestinais, disfunção neuromuscular, reações alérgicas, câncer e morte (AZEVEDO, 1998; SALVO e ISAAC, 2002). As cianotoxinas implicam sérios riscos à saúde pública porque são hidrossolúveis e passam pelo sistema de tratamento convencional, sendo resistentes mesmo à fervura. Portanto, o monitoramento das cianobactérias tóxicas e cianotoxinas nos mananciais de água para abastecimento público é imprescindível para mapear os locais com risco potencial (CETESB, 2013).

Além das cianobactérias serem potenciais produtoras de toxinas por si mesmas, também o são ao serem combinadas ao cloro. O cloro é o agente mais utilizado devido a sua capacidade de destruir ou inativar organismos causadores de enfermidades, agindo à temperatura ambiente e em tempo relativamente curto. Sua aplicação é simples, e exige equipamentos de baixo custo, por tanto é o método mais utilizado para o tratamento de águas no Brasil e no mundo.

Embora seja inquestionável a enorme contribuição da prática da cloração para o declínio de doenças transmissíveis pela água, os riscos no processo de cloração estão associados mais aos seus subprodutos do que aos agentes utilizados (ESTANISLAO, 2009). Existe, normalmente, um grande número de compostos orgânicos na água bruta, estes reagem com o cloro livre levando à formação de diversos subprodutos, entre eles os denominados trihalometanos, também conhecidos como THMs (TOMINAGA e MIDIO, 1999). Quanto maior a quantidade de matéria orgânica na água, maior a possibilidade de reação ao cloro e por tanto maior ainda a presença de subprodutos da cloração na água potável. Os trihalometanos são rapidamente absorvidos por via oral, pelo trato gastrointestinal e em contato com a pele. Quantidades significativas atingem rapidamente a corrente sanguínea e, então, os pulmões (ESTANISLAO, 2009). Dependendo do tempo de exposição e dos níveis de concentração do agente, a

toxicidade dos THMs pode ser identificada em efeitos hepatotóxicos (danos ao fígado) e nefrotóxicos (danos ao rim), mas efeitos mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos ganham importância especial. (WHO, 2011).

Estudos sugerem que existe alta probabilidade de relação entre câncer de bexiga, cólon e reto e a exposição a esses compostos (TOMINAGA; MIDIO, 1999; VINCENTINI ET AL, 2004, CHANG ET AL, 2007 ESTANISLAO, 2009, DINIZ, 2011). Em estudo exploratório, foi feita uma análise espacial de alguns tipos de internação por câncer, possivelmente relacionados às cianotoxinas, no Município de São Paulo. Para tanto, foram utilizados dados de Saúde do PRO-AIM (Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade do Município de São Paulo), referentes às internações por neoplasias malignas acumuladas, entre os anos de 2008 a 2014. Foram elaborados mapas temáticos, utilizando-se o software Quantum GIS 2.4.0. E o shapefile do município foi coletado no site da própria prefeitura que o disponibiliza. Como resultado, foi comparada a distribuição do total de casos de internação por neoplasias de todos os tipos e a distribuição de internações por tipos de câncer possivelmente relacionados às cianotoxinas e aos THMs.

Nota-se, comparando os dois mapas (Figura 6), que a distribuição de internações por neoplasias malignas totais tem tendência a se concentrar mais ao centro do município. Uma possibilidade de explicação para este fenômeno é que a área central do município de São Paulo apresenta uma maior concentração de pessoas idosas, que costumam ser mais acometidas por este tipo de mal. No segundo mapa, em que foram separados e agrupados somente os casos de internações por neoplasias possivelmente relacionadas às cianotoxinas, houve uma distribuição menos concentrada no centro. As subprefeituras pertencentes às áreas sul e sudoeste apresentaram concentrações de internações somente neste segundo mapa, o que é bastante significativo, pois são as áreas abastecidas com água do sistema Guarapiranga.

Figura 6 - Distribuição de internações por neoplasias malignas totais e por neoplasias malignas do intestino delgado, cólon e fígado, no município de São Paulo-SP entre 2008 e 2014.

Fonte: PRO-AIM em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/asude/epidemiologia_e_informacao/mortalidade/

Neste estudo verificou-se uma sobreposição de mais altas taxas de internações por câncer de intestino delgado, cólon e fígado à região abastecida pela água da Guarapiranga. Geralmente, casos de câncer relacionados a causas ambientais têm um longo período de latência, podendo levar de 10 a 15 anos para aparecer. Assim, o ritmo temporal do clima que influencia a proliferação de cianotoxinas não é o mesmo daquele que impacta a saúde da população, no caso de efeitos de longo prazo. Esta complexidade maior da relação entre o ritmo climático e os efeitos à saúde recomenda a continuidade de pesquisas mais aprofundadas a esse respeito.

4.3.4 Comparação espacial

Figura 6a - Áreas abastecidas pelos principais sistemas de abastecimento de água da Região da área Metropolitana de São Paulo.

Acesso em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/02/1586679-rodizio-de-agua-em- apenas-um-sistema-de-sp-visa-reduzir-desgaste-politico.shtml>

A **Figura 5a** ilustra as áreas abastecidas pelos principais sistemas de abastecimento de água da Região da área Metropolitana de São Paulo. É possível notar, em sobreposição ao mapa de distribuição de internações por neoplasias malignas do intestino delgado, cólon e fígado, no município de São Paulo-SP (Figura 6, p.54), que a distribuição ao sul do Município coincide com a área abastecida pelo sistema Guarapiranga. É possível ressaltar a importância de se continuar investigando o tema das proliferações de cianobactéria como geradoras de risco de intoxicação, tanto por cianotoxinas como por trihalometanos, havendo a possibilidade de relação entre intoxicação por essas causas e desfechos relatados na literatura.

Estabelecer esta causa-efeito, porém, não pode ser contemplada pelo método de distribuição espacial, exigindo outros estudos de cunho epidemiológico e toxicológico.

4.4 Considerações sobre o método

Nesta tese foi realizado um estudo essencialmente ecológico, em contextos da saúde ambiental e da geografia da saúde. Não cabe a este método de pesquisa determinar causalidade de desfechos, e sim proporcionar “conhecimentos que sirvam para compreender as relações que se estabelecem entre as condicionantes da saúde, os resultados efetivos das políticas e da organização dos serviços na saúde das populações e as suas consequências no desenvolvimento do território” (SANTANA, 2014, p. 13). Foi, portanto, realizado estudo em etapas, em foi feito o mapeamento dos dados relativos ao espaço (FORATINI, 1992) com a finalidade de lançar hipóteses etiológicas, tendo como base a matriz territorial e as interações meio ambiente- produção do espaço pelo ser humano, as consequências da transição da paisagem natural para a paisagem antrópica. Quanto à saúde da população, as hipóteses devem, posteriormente, ser esclarecidas por estudos epidemiológicos, a partir dos ecológicos.

5. RESULTADOS

5.1 MANUSCRITO 2

Challenges regarding water quality of Eutrophic Reservoirs in urban landscapes: a mapping literature review

Autores:

Sofia Lizarralde Oliver – Doutoranda em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP).

Jason Corburn – Orientador no Programa Sanduíche, Diretor do IURD (Institute fo Urban and Regional Development) e Professor do Departamento de Planejamento Urbano e Regional e da Escola de Saúde Pública da Universidade da Califórnia, Berkeley.

Helena Ribeiro – Orientadora de Doutorado, Professora Titular na Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP).

A SER SUBMETIDO PARA PERIÓDICO

Challenges regarding water quality of Eutrophic Reservoirs in urban landscapes: a mapping literature review

Sofia Lizarralde Oliver¹, Jason Corburn², Helena Ribeiro³

¹Geographer, PhD c., University of São Paulo, School of Public Health s.oliver@usp.br

²Professor, University of California Berkeley, School of Public Health
jcorburn@berkeley.edu

³Professor, University of São Paulo, School of Public Health [lena@usp.br](mailto:lana@usp.br)

Abstract

Urbanized river basins usually suffer from anthropogenic pressure, compromising the quality of water. It creates a risk to public health, especially when there are occurrences of HABs (Harmful Algae Blooms) as in the case of cyanobacteria, which cause different human health problems such as hepatic, neurological, gastric and carcinogenic. In this paper we aimed to review the scientific literature documenting what has been studied in the scope of the stratified reservoirs of urbanized basins. An additional purpose was to locate the geographical distribution of these affected reservoirs and the studies carried out. A mapping literature review was undertaken with articles found in the Web of Science Platform, a unified and multidisciplinary database that includes scientific journals all over the world, indexed to JCR - Journal Citation Report. The mapping review method was used to categorize existing literature on urbanized watersheds and eutrophic reservoirs. This method allows to have a wide picture of what is being done about a specific topic, as well as to identify gaps in research literature. Using the keywords "Eutrophic Reservoir" and "Urban" and selecting all the years of open publication on the Science web page, we obtained 69 results, 53 of them meeting the requirements established for the search. Many of the studies mention as the most important determinant for eutrophication of reservoirs and the proliferation of algae, the anthropogenic influence through the diffuse load of streets, domestic and industrial sewage, and even drainage water from agricultural areas in the drainage basin. The results of this study reinforce the premise that the absence of urban planning and sanitary infrastructure may be aggravating the deterioration of water quality in urban water sources and therefore posing a risk to public health.

Introduction

Scarcity of water may be absolute lack of water, or may be due to its exploitation and distribution, lack of access, and in the case of drinkable water, related to its quality. In this work we draw attention to deficiencies in the access to water due to lack of quality, an issue not only present in the arid and distant backlands of the continents, but also where human life and technology abound: the cities.

The pressure of the uncontrolled urban grid growth has been compromising existing water sources around the world. There is a paucity of basic sanitation that results in domestic sewage dumped into bodies of water; the shortage of adequate and sufficient drainage confronted with increasing waterproofing of the soil by construction materials and asphalt. This water-resistance prevents the recharge of water in the soil by the natural cycle of water; and the consequent contaminated runoffs, floods and torrents are the main factors of quality loss. The springs are particularly vulnerable in urbanized areas as a result of human occupation pushing towards sources and water reservoirs as the city grows. In this process the riparian vegetation is removed to allow for improvised dwellings, compromising the health of the ecosystem and the population that occupy these spaces. The poorest and most vulnerable population often occupies them, even though those are areas designated by law for preservation, because they are not part of the formal real estate market. However, there are also frequent irregular occupations by commercial ventures, clubs and high-level residences that enjoy the scenic advantages that the reservoirs offer.

The environmental impact of urban pressure on water sources is compounded by contamination by untreated clandestine industrial effluents and atmospheric pollution from industrial or motorized transport that is carried by precipitation. This set of nutrients flows into water bodies contributing to the eutrophication of aquatic ecosystems.

The limnological imbalance caused by excess of nutrients triggers a succession of hindrances to the drinking water's potability, even after treatment. This is the case of favoring the formation of blooms of cyanobacteria, toxic algae that benefit from the abundance of organic matter and higher temperatures. These toxic algae are not filtered by conventional water treatment methods and are harmful to animals and humans. Cyanotoxins, as they are called, can be hepatotoxic, neurotoxic, cytotoxic and

dermatotoxic, as well as being carcinogenic and gastric irritants. (FALCONER, 2005; PEARSON, 2010; BORTOLI e PINTO, 2015)

Chronic exposure to cyanotoxins is potentially alarming given the scale of exposure of an urban population. The blooms confer different color, odor and flavor to the water, causing a series of problems for the public supply. Cyanotoxins produced by cyanobacteria in blooms can be accumulated by the organisms composing the aquatic community and later be transferred to other levels (BORTOLI e PINTO, 2015)

Frequent proliferations of these algae in eutrophic environments have been observed in springs close to the cities that are used for their supply. The growing urbanization of the world population and climate change can accentuate the proliferation of these species of algae and the contamination of water distribution, transforming it in a global phenomenon. (OLIVER e RIBEIRO, 2015)

In this way, eutrophic urban reservoirs constitute a public and environmental health problem, given the risk they pose to the health of the population consuming contaminated water. In order to avoid the ethical and economic consequences of a sick population, as well as to improve the limnological balance, it is necessary to heal the eutrophic reservoirs. The lack of planning affecting the development of cities ends up having serious economic consequences for municipalities in order to avoid environmental and health impacts through control of algae blooms and remediation of eutrophic reservoirs. Only remediation can avoid the eutrophication cycle and prevent constant infestation in the reservoir. The greater the problem, the greater the expenditure on services, products and infrastructure; as well as larger obstacles to the transfer and adaptation of a population that is already territorially established.

In order to provide a better understanding of these issues, this article aimed to review the scientific literature documenting what has been studied in the context of eutrophic reservoirs of urbanized basins. Additionally it tried to verify the geographic distribution of the affected reservoirs as well as the studies carried out.

Methods

A mapping literature review was undertaken (Grant; Booth, 2009) with articles found at the Web of Science Platform, a unified and multidisciplinary database that includes scientific journals from all over the world indexed to JCR - Journal Citation Report.

The mapping review method was used (Grant; Booth, 2009) in order to map out and categorize existing literature on urbanized watersheds eutrophic reservoirs. This method allows to have a wide picture of what is being done about one specific topic, as well as to identify gaps in research literature.

Previous searches used the following keywords: water supply, supply watersheds, drinking water supply, reservoirs, urban reservoirs, among others. We chose the term "reservoir" after finding a great frequency of the word in the literature and because the objective of the research is to perceive situations of stress created by the urban mesh on such reservoirs, regardless of their use in the current days.

To reach this result and method, however, other previous searches were made. We first looked for Eutrophic reservoirs resulting in 1,586 studies, so we refined for Eutrophic reservoirs and Cyanobacteria, in order to know which of these contemplated this algae and resulting in 357 studies, without limits of date or area. Among the indexed studies found in this initial phase Brazil ranked as the first in number of articles with 72 publications; China follows with 38 publications; USA, 35; Poland, 26; and France, 23. We found less than 5 publications per country in Ethiopia with 3 publications; Morocco, Nigeria, South Africa, Tunisia, Uganda, Vietnam and Singapore with 2 publications each.

From this starting point we refined the search by adding the term urban, in order to know which of these studies were located in urbanized basins but the results were very scarce. We then chose to map out the eutrophic reservoirs found in urban basins using those results to explore further information. This search was done in November 2017, using the keywords eutrophic reservoirs and urban, setting no time span. From the 69 articles found, 16 were discarded because they did not fulfill the study requirements: the study had to refer both to eutrophic reservoirs and to urban settings. Therefore 53 articles have been selected and then systematized and mapped.

Results

Using the keywords "Eutrophic Reservoir" and "Urban" and selecting all the years of open publication on the Science web page, we obtained 69 results, of which 53 met the desired criteria, while 16 of them were excluded because they did not attend any of the aspects of research. Those discarded either were not urban as the case of aquaculture studies in rural environment or they did not receive runoff like in the case of a lagoon located in the crater of a dormant volcano near the Mexico City.

Figure 1: Number of studies on eutrophic urban reservoirs published per year.

As shown in figure 1, there has been a growing interest in the problem of eutrophication of urban reservoirs in the last decade. This interest certainly shows an increase in the problem.

Of the total, 32 of the studies were done to monitor the water quality of reservoirs, 11 studies aimed at the dynamics and peculiarities of living organisms in the limnological / aquatic environment. Ten (10) of the studies reported cases and techniques for reservoir recovery. Thus, this categorization was made to analyze the reviewed articles (table 1).

Results are exhibited in **Table 1** with fields "Cy" (Cyanobacteria), "OA" (Other Algae) and "S/C" (Seasonality or Climate) refer to whether there was direct mention in

the study of these terms and are indicated by "y" of yes, which means that the phenomenon was present and by "n" of "no" if the term was not contemplated. The "Country" field refers to the country in which the studied reservoir is located, regardless of the affiliation of the study researchers.

Table 1: Valid results of mapping literature review on "urban" and "eutrophic reservoirs".

Water quality studies						
Study	Country	Results	Cy	OA	S/C	
Macrophyte-induced thermal stratification in a shallow urban lake promotes conditions suitable for nitrogen-fixing cyanobacteria. (Vilas, M.P. et al. 2018)	Australia	Submerged macrophytes can promote blooms of nitrogen-fixing cyanobacteria once they are sufficiently tall and dense to induce stable water column conditions.	y	y	n	
Long-term variations in sediment heavy metals of a reservoir with changing trophic states: Implications for the impact of climate change. (Wu, Q. et al. 2017)	China	Algae-dominant TOC had strong positive correlation with temperature, which can be explained by increased temperature that accelerated the growth of algae.	n	y	y	
Antibiotic resistance genes in surface water of eutrophic urban lakes are related to heavy metals, antibiotics, lake morphology and anthropic impact. Yang, Y. et al. 2017	China	The results of redundancy analysis and variation partitioning analysis showed that antibiotic and co-selection with heavy metals were the major factors driving the propagation of antibiotic resistance genes in six urban lakes.	n	n	n	
Tempo-spatial analysis of water quality in tributary bays of the Three Gorges Reservoir region, China. (Tang, J. et al. 2015)	China	TGR bays had been moderately polluted with averaged nitrogen (N) concentration over 2 mg L ⁻¹ and phosphorus (P) concentration less than 0.1 mg L ⁻¹ in dry season, and high P over 0.2 mg L ⁻¹ and low N of 1.54 mg L ⁻¹ in average in flooding season. The interaction of dam regulation and flooding events influenced the temporal pattern of water quality in the TGR bays, in which particulate nutrients dynamic played an important role. Urban effluents and agricultural catchment area also influenced water quality in the bays, showing local spatial distribution characteristics via diffusion mechanism.	n	n	y	
Nitrous oxide emissions from river network with variable nitrogen loading in Tianjin, China. (Liu, X. et al. 2015)	China	Eutrophied urban rivers in Tianjin were oversaturated with respect to N ₂ O with saturation levels ranging from 252% to 3116% and acted as source of N ₂ O, whereas rural rivers were generally undersaturated, with saturation levels ranging from 3% to 354% and acted as N ₂ O sink.	n	n	y	

Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). (De Oliveira, F. et al. 2014)	Brazil	Higher values mean phytoplankton biomass (26.3mm(3).L-1) occurred in the dry season, especially <i>Planktothrix agardhii</i> and <i>Geitersonema amphibia</i> , which occurred in 100% of samples. High trophic state index was detected throughout the year. Seasonality exerted some influence on both biotic and abiotic variables, leading to changes in water quality of the reservoir.	y	y	y
Responses of periphytic diatoms to mechanical removal of <i>Pistia stratiotes</i> L. in a hypereutrophic subtropical reservoir: dynamics and tolerance. (Matias de Faria, D. et al. 2014)	Brazil	The composition of the diatom community was influenced by seasonal changes in temperature and rainfall. Canonical Correspondence Analyses confirmed a correlation between higher diatom densities and the increased photic zone following macrophyte removal.	n	y	y
Variability of water quality, metals and phytoplankton community structure in urban stormwater ponds along a vegetation gradient. (Vincent, J. et al. 2014).	Canada	The blue-green genus <i>Microcystis</i> was detected in all ponds, and was the dominant taxon in most SPs. This raises concern that SPs may serve as reservoirs of toxin-producing algae. Multivariate analyses of metals, water quality variables, and algal species composition showed considerable dissimilarity among SPs, yet comparably high similarity among reference ponds.	y	y	y
Phytoplankton growth in relation to network topology: time-averaged catchment-scale modeling in a large lowland river. (Istvanovics, V. et al. 2014)	Romania	Growth of river phytoplankton is intrinsically linked with network topology, including spatial distribution of nutrient inputs. Stochastic variability in discharge tends to destabilize, while specific network properties may stabilize phytoplankton growth in large rivers. Shallow rivers support meroplanktonic diatoms that, depending on discharge, may have adequate time to develop summer blooms, making shallow rivers particularly susceptible to eutrophication.	n	y	y
From Eutrophic to Mesotrophic: Modeling Watershed Management Scenarios to Change the Trophic Status of a Reservoir. Mateus, M. et al. 2014	Portugal	Model estimates show that a 10% reduction in nutrient loads will suffice to change the state to mesotrophic, and should target primarily Waste Water Treatment Plants effluents, but also act on diffuse sources. The method applied in this study should provide a basis for water environmental management decision-making.	n	n	n
Assessment of organic and inorganic contaminants in sediments of an urban tropical eutrophic reservoir. (Mozeto, A. A. et al, 2014)	Brazil	The degradation of Ibitiré reservoir and its tributaries cannot be solely attributed to the input of hydrocarbons, but predominantly to the discharge of raw urban sewage and effluents from other industrial sources.	n	n	n

Sediment and total phosphorous contributors in Rock River watershed. (Mbonimpa, E. G. et al 2014)	USA	Urban land use and agricultural land growing corn rotated with non-leguminous crops are associated with total suspended sediment (TSS) and Total phosphorous (TP) in streams. Increase in corn soybean rotation acreage within the watershed is associated with reduction in stream's TSS and TP. Forest and water bodies were associated with reduction in TSS and TP. Authors recommend adoption of the Low Impact Development (LID) approach in urban dominated subwatersheds.	n	n	n
Assessment of Cyanobacterial toxicogenic genotypes and estimation of toxin in urban lakes. (Morais, J. et al 2014)	Portugal	The presence of toxic cyanobacteria and their toxins was detected throughout the sampling period, from July 2008 until February 2009. The highest amount of microcystins (MC) reached 10.2 $\mu\text{g MC-LR equivalents/L}$ in November.	y	n	y
Past, Present, and Future Nutrient Quality of a Small Southeastern River: A Pre-Dam Assessment. (Miller, J. M et al. 2013)	USA	Historical and current nutrient concentrations were elevated throughout the watershed, in most cases above suggested criteria, and indicated that water quality of the river was and continues to be nutrient rich. A future reservoir at recent levels of water quality will likely be highly eutrophic, and anthropogenic influences will further stress this ecosystem and its water quality as the urban region expands.	n	n	y
Understanding the patterns and mechanisms of urban water ecosystem degradation: phytoplankton community structure and water quality in the Qinhuai River, Nanjing City, China. (Zhao Z. et al. 2013)	China	Canonical correspondence analysis (CCA) between environmental parameters and phytoplankton communities showed that Chlorophyta could tolerate the higher concentrations of the permanganate index, nitrogen, and phosphorus in eutrophic water; Bacillariophyta could adapt well to changing water environments; and the TN/TP ratio had obvious impacts on the distributions of Cyanophyta, Euglenophyta, and some species of Chlorophyta. CCA analyses for autumn and winter data revealed that the main environmental parameters influencing phytoplankton distribution were water temperature, conductivity, and total nitrogen.	y	y	y
The influence of land use and occupation on the quality and genotoxicity of water in the Itupararanga reservoir, Sao Paulo, Brazil. (Taniwaki, R. H. et al. 2013)	Brazil	The quality of water and sediment at the Itupararanga reservoir is compromised by land use, human occupation and natural vegetation removal, requiring emergency managements to ensure the sustainability of water resources.	n	y	n

Environmental quality of the La Polvora urban lagoon in the Grijalva river watershed. (Sanchez, A. J. et al. 2012)	Mexico	This lagoon is undergoing environmental degradation, as indicated by its hyper-eutrophic state, high values for fecal coliforms, low values for diversity of epibenthic macrofauna and fish, the percentage of exotic species and low values for the conditional factor of 11 fish species. Findings suggest the need to review the management program and its operations in this ecosystem.	n	n	y
Algae community and trophic state of subtropical reservoirs in southeast Fujian, China. (Yang, J. et al. 2012)	China	The degradation of water quality associated with excess levels of nitrogen and phosphorus in Fujian reservoirs may be impacted by interactions among agriculture and urban factors. A watershed-based management strategy, especially phosphorus control, should be developed for drinking water source protection and sustainable reservoirs.	y	y	y
Response of cyanobacteria and algae community from small water bodies to physicochemical parameters. (Richter, D. et al. 2012)	Poland	Results distinguished four groups of basins (I - artificial basins within urban areas; II - old river-beds within urban areas; III - ponds in rural areas; IV - an old river-bed in forest areas). Distinction shows major relevance of reservoirs' origins and their presence in the landscape. Additional principal components analysis (PCA) and redundancy analysis (RDA) of the basins have shown that the biological parameters are more efficient in diversifying the basins in respect of their origins than the physicochemical parameters.	y	y	n
Hydrochemical Consequences of Feeding Flow-through Reservoirs with Contaminated Water. (Jagus, A. et al. 2012)	Poland	Individuality of reservoirs in terms of their impact on fluvial transportation of substances. Each reservoir fed with contaminated water will have at least partly (selectively) contaminating impact in the course of time. That should be related to increasing eutrophication in conditions of limited capacity of accumulation of contaminants in the limnic environment.	n	n	n
Effects of air-drying on phosphorous sorption in shallow lake sediment, China. (Xiao, W. et al. 2012)	China	In contrast with the field-moist samples, the air-dried ones showed a significantly positive relationship between organic matter (OM) content and EPC0 value, suggesting that the breakdown of OM during drying may be a major source of P upon reflooding	n	n	n

Limiting factors for phytoplankton growth in subtropical reservoirs: the effect of light and nutrient availability in different longitudinal compartments. (Fernandes, C. et al. 2011)	Brazil	Putting Itapararanga reservoir in a regional context allowed assessment of potential influences of land use on trophic state. Within the subtropical dataset, TP explained a greater percentage of variance in Chl-a ($R^2 = 0.70$) than T*N ($R^2 = 0.17$). The main land use type within the reservoirs drainage area significantly influenced the concentrations of TP, TN, and Chl-a ($p = 0.05$, MANOVA), with different relationships between nutrients and chlorophyll in forested ($R^2 = 0.12-0.33$), agricultural ($R^2 = 0.50-0.68$) and urban ($R^2 = 0.09-0.64$) watersheds	n	y	y
Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças Pond): the assemblage index application. (Crossetti, L.O. et al., 2008)	Brazil	Twenty one functional groups 'sensu' Reynolds were identified. Cyanobacteria contribution played the main role during the drastic alterations that occurred after water hyacinth removal. Results of ecological status of reservoir using Q index showed statistical difference among the 3 limnological phases (one way ANOVA; $F = 119.4$; $P = 0.000$). Regarding Q index classification, Garças Reservoir limnological phases were characterized as follows: (1) phase I: $0 \leq Q \leq 2.9$, medium to bad; (2) phase II: $1.4 \leq Q \leq 3$, tolerable to medium; and (3) phase III: $0 \leq Q \leq 1.5$, bad to tolerable ecological states.	y	y	n
The importance of excretion by Chironomus larvae on the internal loads of nitrogen and phosphorus in a small eutrophic urban reservoir. (Henry, R. et al., 2008)	Brazil	Dependence in relation to recorded temperature for the ammonium and phosphate excretions was significantly higher at 25 degrees C than at 20 and 15 degrees C. Values showed that internal loads by excretion from Chironomus larvae correspond to approximately 33% of the external loads of phosphorus in the lake and, in the case of nitrogen, to only 5%.	y	y	n
Enhanced source-water monitoring for New York City: summary and perspective. (Sweeney, B. W. et al., 2006)	USA	Streams and rivers located west of Hudson River (WOH) deliver good to very good water to most of the receiving reservoirs. The project confirmed the eutrophic condition of the WOH Cannonsville reservoir and further linked that condition to nutrient inputs from the West Branch Delaware River. The project also confirmed that many streams located east of Hudson River (EOH) had fair to poor water quality and that streams in the Croton and Kensico watersheds were biologically and functionally degraded. Anthropogenic changes in land use from forested to agricultural in the WOH region have affected water chemistry, macroinvertebrate community structure, and stream function, although the impact is less than that caused by changes in land use from forested to urban in the EOH region.	n	n	n

Use of robotic monitoring to assess turbidity patterns in Onondaga Lake, NY. (Effler, S.W. et al., 2006)	USA	Major runoff events are demonstrated to cause conspicuous short-term increases in Tn that are manifested as metalimnetic peaks in summer and early fall, associated with the entry of the negatively buoyant primary tributary source as an interflow. Annual occurrence of Tn maxima within the oxycline of the metalimnion in October.	n	n	y
Phytoplankton characteristics, trophic evolution, and nutrient dynamics in an urban eutrophic lake: Kandy Lake in Sri Lanka. (Silva, E., 2005)	Sri Lanka	<i>Pediastrum simplex</i> , a Chlorophyte commonly found in eutrophic tropical waters, became virtually absent following the outbreak of <i>M. aeruginosa</i> bloom, while <i>Aulacoseira granulata</i> , a chain forming centric diatom, a climax species in the tropics, declined dramatically during post-blooming. The outbreak of cyanobacteria changed the functional phytoplankton groups from a rhythmically oscillating Chlorophyte and a Diatomophyceae to a multiple assemblage of Cyanophytes. The upper level of the annual mean chlorophyll-a, which showed an exponential increase over a period of seven years, had a negative correlation with the lower limit of the annual mean water transparency.	y	y	y
Limnological and loading information and a phosphorus total maximum daily load (TMDL) analysis for Onondaga Lake. (Effler, S.W. et al., 2002)	USA	The phosphorus (P) total maximum daily load (TMDL) analysis is demonstrated to understate the present role of the dominant point source and overstate the importance of non-point sources. Recommendations are made to upgrade the TMDL analysis through an integrated program of model development, testing and application, supporting process studies and monitoring, and re-evaluation of management options.	n	y	y
Nutrient budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. (Hart, B.T. et al., 2002)	Indonesia	Saguling Reservoir receives a very large nutrient load from the city of Bandung becoming highly eutrophic. It is unlikely that water quality of Saguling will improve until substantial part of Bandung is sewered and adequate discharge controls are placed on the many industries in the region upstream of the reservoir.	n	n	n
Water quality in drinking water reservoirs of a megacity, Istanbul. (Baykal, B.B. et al., 2000)	Turkey	Significance of site selection for urban activities, construction, settlements, and industry to sustain acceptable water quality in the drinking water reservoirs, which in turn will provide a higher quality of urban life for the inhabitants of the megacity.	n	n	n

Phytoplankton community composition in relation to water quality and water-body morphometry in urban lakes, reservoirs, and ponds. (Olding, D. D. et al., 2000)	Canada	Nutrient control is the primary issue, and one of the reservoirs has already exceeded the limits of being eutrophic, one is at mesotrophic conditions, and the remaining four are at the limit of being eutrophic, indicating the significance of making the correct decision and taking pertinent measures for management and control. The only mesotrophic resource has no industry and a very low population density, whereas the one that is already eutrophic has the highest population density, and the greatest percentage of urban land use within its watershed.	y	y	y
Eutrophication gradients in coastal lagoons as exemplified by the Bassin d'Arcachon and the Etang du Prevost. (Castel, J. et al, 1996)	France	Three stages of eutrophication are recognized according to the conceptual model of Nienhuis describing the relation between the relative dominance of primary producers connected to the availability of nutrients. Such macroscopic observations should, now, be explained by the study of microbiological processes.	n	y	y
Limnological life dynamics studies					
Study	Country	Results	Cy	OA	S/C
Diet of an invading clupeid along an urban neotropical reservoir: responses to different environmental conditions. (Nanini-Costa, M.H. et al., 2017)	Brazil	Considering spatial differences in the consumed zooplankton, the analysis of percentage similarity (SIMPER) indicated the highest dissimilarity (95.3%) between the Boror, (hypereutrophic) and Grande River Reservoir (supereutrophic) sites, while trophic niche width increased from the most impacted (Boror) to the most preserved site (Capivari).	n	n	n
Cyanobacteria bloom: selective filter for zooplankton? (Mello, N. A. S. T. et al., 2015)	Brazil	Cyanobacteria blooms at Ibirité reservoir are acting as "selective filters", and are, thus, disturbances with sufficient ability to change the structure of the zooplankton community.	y	n	y
Does the plankton community follow the horizontal water quality heterogeneity in a tropical urban reservoir (Guarapiranga reservoir, São Paulo, Brazil)? (Nishimura, P.Y. et al., 2014)	Brazil	Different outcomes indicate that the water quality, phytoplankton and zooplankton communities captured different features from the epilimnetic layer in the longitudinal axis of the Guarapiranga reservoir. Importantly, the phytoplankton and zooplankton communities in the dam region were altered, directly or indirectly, by copper sulphate treatment.	n	y	n

Effects of trophic levels (chlorophyll and phosphorous content) in three different water bodies (urban lake, reservoir and aquaculture facility) on gill morphology of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>). (Shimada Borges, J.C. et al., 2013)	Brazil	A significant difference in the histological alterations index (HAI) was observed only in fish from the urban lake, with the presence of cell hypertrophy, hyperplasia, aneurism, and other alterations. When compared to the other groups, a large quantity of rodlet cells was also observed in the urban group. These results demonstrate the correlation of eutrophic states of water with gill morphology. Also discussed is the premise that large amounts of organic material dissolved in water can alter the morphology of the fish gills.	n	y	n
Do phytoplankton fractions < 20 μ m dominate in tropical reservoirs independent of their trophy? (Gil-Gill, F., 2011)	Brazil	Both total and fractioned production were distinct during rain and dry periods and stratification and mixing processes. Light was the limiting factor.	n	y	y
Diversity of larvae of littoral Chironomidae (Diptera: Insecta) and their role as bioindicators in urban reservoirs of different trophic levels. (Morais, S.S. et al., 2010)	Brazil	Significant differences in the taxonomic composition, richness, equitability, and diversity of the chironomid assemblages in these three reservoirs of different trophic levels.	n	n	y
Seasonal Dynamics of Phytoplankton in Relation to Key Aquatic Habitat Factors in a Polluted Urban Small Water Body in Tianjin, China. (Sun, L. et al., 2009)	China	The dominant cyanobacterial species <i>Oscillatoria tenuis</i> Ag. bloomed in autumn, other species with higher degrees of dominance never bloomed in the year investigated. Significant correlations between habitat factors and phytoplankton biomass.	y	y	y
Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years. (Crossetti, L. O. et al., 2008)	Brazil	The growth of <i>Eichhornia crassipes</i> biomass in response to increase in allochthonous input of N and P to Garças Reservoir promoted limnological alterations in three distinct phases. Changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community directly associated with its survival strategies in those three phases.	y	y	y
Temporal fluctuation and reproduction of <i>Thermocyclops decipiens</i> (Copepoda, Cyclopoida) in an eutrophic lake of central Brazil. (Padovesi-Fonseca, C. et al., 2002)	Brazil	Ecological factors that determine the success of <i>T. decipiens</i> in eutrophic systems are related to omnivorous feeding habits and prey-predator interactions	n	n	y
Diatom succession in an urban reservoir system. (Donar, C.M. et al., 1995)	USA	Prior to the establishment of the reservoir, the diatom flora was dominated by benthic taxa. Benthic diatoms were numerous throughout the entire core, but eutrophic taxa dominated much of the core after the reservoir's creation. Total diatom density increased about tenfold in the about the first 10-15 years after the reservoir's creation before declining markedly.	n	n	n

The abundance of epizoic ciliate epistylis-daphniae related to their host moina-macrocopa in na urban stream. (Xu, Z.K., 1992)

China In midsummer, mean number of epizoites per host reached its peak (more than 80) associated with lower abundance of M. macrocopa. Other relationships between number of Epistylis daphniae zooids per M. macrocopa and various aspects of the M. macrocopa life cycle were studied.

Restoration Studies				
Study	Country	Results	Cy	OA S/C
Changes in Phytoplankton and Water Quality during Sustainable Restoration of an Urban Lake Used for Recreation and Water Supply. (Kozac, A. et al., 2017)	Poland	Comparison of data with pre-restoration data showed that, as a result of treatments orthophosphates decreased, rarely exceeding 0.06 mg P.L-1, and cyanobacterial water blooms disappeared. Deep chlorophyll maximum occurred in summer at a depth of 5 m as result of restoration, confirming lower trophic status of the lake, alluding to mesotrophic conditions. Cyanobacteria were found in the lake but they were not abundant	y	y y
The efficiency of combined coagulant and ballast to remove harmful cyanobacterial blooms in a tropical shallow system. (Miranda, M. et al., 2017)	Brazil	Polyaluminium chloride combined with ballast was effective in settling blooms dominated by Microcystis or Cyndrospermopsis. Chitosan combined with ballast was only effective in settling Cyndrospermopsis-dominated blooms at low pH, whereas at pH >= 8 no effective flocculation and settling could be evoked. Chitosan also had a detrimental effect on Cyndrospermopsis causing the release of saxitoxins. In contrast, no detrimental effect on Microcystis was observed and all coagulant-ballast treatments were effective in settling the Microcystis dominated bloom, and in lowering dissolved microcystin concentrations. The best procedure for biomass reduction also depends on the dominant species.	y	y n
Algal blooms, circulators, waterfowl, and eutrophic Greenfield Lake, North Carolina. (Mallin, M. A. et al., 2016)	USA	A year-long survey indicated that waterfowl, especially cormorants, contributed somewhat to the lake's total N load but a considerable amount of P, particularly in winter. The lake sediments apparently function as P reservoirs, supplying P to the water column during summer, setting the stage for runoff-induced nitrate pulses and subsequent algal blooms. The increased chlorophyll a violations have led to inclusion of the lake on the North Carolina 303(d) list of impaired waters.	y	y y

Evaluation of the suitability of anthropogenic reservoirs in urban space for ecological restoration using submerged plants (Upper Silesia, Poland). (Pierzchala, L. et al., 2016)	Poland	Reservoirs are different in the evaluated potential (P: from -1 to 3) and suitability (S: from -3 to -1). The 3 proposed stages of evaluation of reservoirs' potential and suitability to be adapted to enable the categorization and determination of bodies of water for restoration activities. At present, mine subsidence reservoirs constitute the majority of anthropogenic reservoirs in the post-mining areas.	n	y	y
Ecotoxicological risks of calcium nitrate exposure to freshwater tropical organisms: Laboratory and field experiments. (Sueitt, A.P.E. et al., 2015)	Brazil	Laboratory and field data to assess the ecotoxicological risks of calcium nitrate exposure to freshwater tropical biota.	y	y	n
Influence of different recultivation methods on durability of nitrogen compounds changes in the waters of an urban lake. (Grochowska, J. et al., 2015)	Poland	Increase of nitrate nitrogen concentration to about 1.30mg/L. A tenfold decrease in ammonia and TN concentration as result of the artificial aeration. Concentrations of nitrogen compounds noted 8 years after termination of the lake recultivation were typical for reservoirs with moderate trophic status.	n	n	n
The influence of different recultivation methods on the water buffer capacity in a degraded urban lake. (Grochowska J.K. et al., 2013)	Poland	Observed changes after restoration of Dlugie Lake are very positive in that they are optimal for construction of plant cell walls, shells and fish bones.	n	n	n
Calcium nitrate addition to control the internal load of phosphorus from sediments of a tropical eutrophic reservoir: Microcosm experiments (Yamada, T.M. et al., 2012)	Brazil	Calcium nitrate treatment proved to be a valuable tool in remediation of eutrophic aquatic ecosystems leading to conditions that can support a great diversity of organisms after a restoration period.	n	n	n
Assessment of the acute toxicity of eutrophic sediments after the addition of calcium nitrate (Ibirite reservoir, Minas Gerais-SE Brazil): initial laboratory experiments. (Janke, H. et al., 2011)	Brazil	Method was inefficient for restoration of sediments with nitrate addition.	n	n	n

Structural and functional phytoplankton responses to nutrient impoverishment in mesocosms placed in a shallow eutrophic reservoir (Garças Pond), São Paulo, Brazil. (Crossetti, L.O. et al., 2005)	Brazil	The initial community mainly represented by R- and S-strategists (Planktothrix, Cyndrospermopsis and Microcystis) was gradually replaced by C-strategists (Cryptomonas spp., Chlorococcales in general). Characteristics of the initial succession phases were observed in all treatments. The community was first inhabited by fast growing species but no important biomass contribution of size fractions was observed. Space liberated by blue-green species that did not adapt to the new nutrient-impoverished conditions was gradually occupied by other algal species, which together contributed to most of the total biomass registered in all treatments.	y	y	n
Key: y= yes n= no Cy= Cyanobacteria; OA = Other Algae; C/S + climate/seasonality					
			Country = where reservoir is located		

Of the 53 studies selected in this literature mapping (Grant, Booth, 2009), 20 were made in Brazil, 9 in China, 7 in the United States and 6 in Poland, while Portugal and Canada hosted two studies each and the other countries only 1 each study, as can be seen in Graph 2.

Figure 2: Countries where the eutrophic urban reservoirs were located 1992- 2018.

In the 53 articles studied, 39 reservoirs were distributed in the world, since some reservoirs merited more than one article, since they were analyzed in different aspects.

The spatial distribution of the studied reservoirs revealed locations in latitudes that span past the tropical and temperate zones, reaching cooler territories in the northern hemisphere. It was not possible to establish a distribution pattern of the studies according to the climatic classification of each area. This may indicate that aspects related to land use and water pollution play a more important role than climatic factors. However, the seasonality factor of time was presented in 28 of the studies (53%), indicating that variations in temperature, radiation and precipitation are relevant factors for the proliferation of algae.

More than 50% of the studies are in zones of continental humid climate or continental climates, characterized by rains in the summer or throughout the year. The climatic classification of Köppen-Geiger is represented by the abbreviations Dfa, Dfb, Dwa and Dwb as in Map 1. Other reservoirs, although smaller in number, are located in warmer climates that are rainy with dry winter as is the case of the climatic zone Aw.

However, only 1 of them mentioned "climate change" as important in the study approach. It dates back to 2017, one of the most recent of the bibliographical research, indicating that this theme has only recently been receiving interest in the field of limnology.

Map 1. Spatial distribution of studies and climatic classification of Koppen-Geiger.

Of the total number of studies, regardless of the category in which they were divided, 25 described algal blooms in general; 20 mentioned cyanobacteria blooms; and 15 reported the occurrence of several species of algae, including cyanobacteria. Thus, the presence of algae represents a constant problem of urban reservoirs and, as mentioned, it may pose a serious threat to public health since many of these reservoirs are, or have the potential to be used for water supply due to the proximity of populations.

Even though the origin of the studied reservoirs was not the main object of the research, it allowed verifying its variability. Studies in Poland indicate that most of the reservoirs are of the origin of mining caves and many were in the process of remediation. In China and Brazil, the reservoirs are mostly dammed rivers and streams. In temperate countries, reservoirs can be formed from snow melting.

Among the 10 studies describing techniques used for reservoir remediation, 9 showed positive results and a decrease in the presence of toxic algae.

Discussion

The results of this research, done without time or space limits, indicated reduced numbers of researched reservoirs considering that this is such an important topic in a context of great worldwide concern with water resources. One limitation of the research may be the fact that the database searched only records works found in indexed journals that have digitized collections.

Although this search for literature has found work since 1992, the pioneering study was digitized in 2006. Other similar studies on the subject may have been done previously, although they have not been indexed in the bibliographic database. An example is the research by Samuel Murgel Branco, from the University of São Paulo's School of Public Health, who introduced studies on cyanobacteria in the University laboratories in the 1970s (Rocha et al, in press). They show that concerns and studies are growing. This may reflect an increase in the problem of reservoir eutrophication, which has been more concentrated in large, less recent industrial urban centers, such as the Great Lakes region of North America, the site of a significant number of studies on the subject. Nowadays, with the acceleration of urbanization in low- and middle-income countries, this problem reaches urban centers in these countries more intensely mainly due to the deficits in sanitation they present, thus prompting further research. This is the case of Brazil, which has seen some of its water supply reservoirs, such as the Guarapiranga dam threatened by the proliferation of cyanobacteria (Oliver and Ribeiro, 2015).

Many of the studies mention as the most important determinant for eutrophication of reservoirs and the proliferation of algae the anthropogenic influence through diffuse loads of streets, domestic and industrial sewage, and even runoffs from agricultural areas in the drainage basin. The relationship found in some studies between climate variables and cyanobacteria blooms has raised concern that global climate change, by reinforcing favorable flowering time periods, could aggravate the frequency of the phenomenon (Oliver and Ribeiro, 2015). The recent inclusion of climate change only in the article published in 2017 indicates this recent linkage of cyanobacteria with climate change.

These studies should be based on programs and actions that aim to limit water pollution, often giving economic value to reservoirs, but above all to protecting human and animal life. Reducing water pollution can be done by government policies such as

zoning or land use regulations, even though extensive basic sanitation programs in cities in middle- and low-income countries may chiefly achieve this reduction. The conservation of water sources can be an important strategy to safeguard water supplies for the coming decades.

Conclusion

The quality of human water supply is at the same time a very old and very recent topic. It is an area of interdisciplinary and multidisciplinary research and action that is gaining importance given the water scarcity that has affected populations in various parts of the globe as well as because of the large-scale climatic oscillations prompted increased attention to the issue. The proliferation of cyanobacteria, as well as the contamination of urban reservoirs, once considered topics of limnology, must also be considered a problem of urban planning and governance.

REFERENCES

- BAYKAL, B.B.; TANIK, A.; GONENC, I.E. Water quality in drinking water reservoirs of a megacity, **Istanbul Environmental Management**. v.: 26 6. ed, p. 607-614, 2000.
- CASTEL, J.; CAUMETTE, P; HERBERT, R. Eutrophication gradients in coastal lagoons as exemplified by the Bassin d'Arcachon and the Etang du Prevost. **Hydrobiologia**. v. 329. 1-3. ed., p. 9-28, 1996.
- CROSSETTI, L. O.; BICUDO, C.E.D. Structural and functional phytoplankton responses to nutrient impoverishment in mesocosms placed in a shallow eutrophic reservoir (Garcas Pond), Sao Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**. v. 541, p. 71-85, 2005.
- CROSSETTI, L.O.; BICUDO, CARLOS E. de M. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years. **Hydrobiologia**. v. 614, 1. ed., p. 91-105, 2008.
- CROSSETTI, L. O.; BICUDO, CARLOS E. de M. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garcas Pond): the assemblage index application. **Hydrobiologia**. v. 610, p. 161-173, 2008.
- DONAR, CM; NEELY, RK; STOERMER, EF. Diatom succession in an urban reservoir system. **Journal of Paleolimnology**. v. 15, ed. 3. p.237-243, 1996.
- EFFLER, STEVEN W.; O'DONNELL, DAVID M.; PENG, FENG; et al. Use of robotic monitoring to assess turbidity patterns in Onondaga Lake, NY. **Lake and Reservoir Management**. v. 22, 3 ed. p.199-212, 2006.
- EFFLER, S.W; O'DONNELL, S.M; MATTHEWS, D.A; et al. Limnological and loading information and a phosphorus total maximum daily load (TMDL) analysis for Onondaga Lake. **Lake and Reservoir Management**. v. 18, 2. ed., p. 87-108, 2002.
- FERNANDES CUNHA, D. G.; CALIJURI, M. C. Limiting factors for phytoplankton growth in subtropical reservoirs: the effect of light and nutrient availability in different longitudinal compartments. **Lake and Reservoir Management**. v. 27, 2 ed. P. 162-172, 2011. Número do artigo: PII 938221007

GIL-GILL, F.; FERRAGUT, C.; BICUDO, C. E. Do phytoplankton fractions < 20 μ m dominate in tropical reservoirs independent of their trophic? **Limnetica**. v. 30, 1 ed. p.143-158, 2011.

GROCHOWSKA, J. K.; BRZOZOWSKA, R. The influence of different recultivation methods on the water buffer capacity in a degraded urban lake. **Knowledge And Management of Aquatic Ecosystems**. v. 410, n.1, 2013.

GROCHOWSKA, J. K.; BRZOZOWSKA, R. Influence of different recultivation methods on durability of nitrogen compounds changes in the waters of an urban lake. **Water And Environment Journal**. Volume: 29 Edição: 2 Páginas: 228-235, 2015.

HART, BT; VAN DOK, W; DJUANGSIH, N. Nutrient budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. **Water Research** . v. 36, 8. ed. p. 2152-2160, 2002. Número do artigo: PII S0043-1354(01)0428-6

HENRY, R.; SANTOS, C. M. The importance of excretion by Chironomus larvae on the internal loads of nitrogen and phosphorus in a small eutrophic urban reservoir. **Brazilian Journal of Biology**. v.68, 2. ed. p. 349-357, 2008.

ISTVANOVICS, V.; HONTI, M.; KOVACS, A. Phytoplankton growth in relation to network topology: time-averaged catchment-scale modelling in a large lowland river. **Freshwater Biology**. v. 59, 9. ed. p.1856-1871, 2014.

JAGUS, A.; RZETALA, M.. Hydrochemical Consequences of Feeding Flow-through Reservoirs with Contaminated Water. **Rocznik Ochrona Srodowiska**. v.14, p. 632-649, 2012.

JANKE, H.; YAMADA, T. M.; BERALDO, D. A. S.; et al. Assessment of the acute toxicity of eutrophic sediments after the addition of calcium nitrate (Ibirite reservoir, Minas Gerais-SE Brazil): initial laboratory experiments. **Brazilian Journal of Biology**. v. 71, 4. ed. p. 903-914, 2011.

KOZAK, A.; GOLDYN, R.; DONDAJEWSKA, R.. Changes in Phytoplankton and Water Quality during Sustainable Restoration of an Urban Lake Used for Recreation and Water Supply. **Water**. v.9, 9. ed., 2017. Número do artigo: UNSP 713

- LIU, XIAO-LONG; BAI, LI; WANG, ZHONG-LIANG. Nitrous oxide emissions from river network with variable nitrogen loading in Tianjin, China. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 157 p. 153-161, 2015.
- MALLIN, M. A.; MCIVER, M. R.; WAMBACH, E. J. Algal blooms, circulators, waterfowl, and eutrophic Greenfield Lake, North Carolina. **Lake and Reservoir Management**. v.32 2. ed. p. 168-181, 2016.
- MATEUS, M.; ALMEIDA, C.; BRITO, D. From Eutrophic to Mesotrophic: Modelling Watershed Management Scenarios to Change the Trophic Status of a Reservoir. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v. 11 3 ed. p. 3015-3031, 2014.
- MATIAS DE FARIA, D.; GUIMARAES, A. T. B.; LUDWIG, T. A. V. Responses of periphytic diatoms to mechanical removal of *Pistia stratiotes* L. in a hypereutrophic subtropical reservoir: dynamics and tolerance. **Brazilian Journal of Biology**. v. 73. ed. 4, p. 681-689, 2014.
- MBONIMPA, E. G.; YUAN, Y.; NASH, M. S.; et al. Sediment and total phosphorous contributors in Rock River watershed. **Journal of Environmental Management**. v.133, p. 214-221, 2014.
- MELLO, N. A. S. T.; MAIA-BARBOSA, P. M. Cyanobacteria bloom: selective filter for zooplankton? **Brazilian Journal of Biology**. v.75 ed.1 p. 165-174, 2015.
- MILLER, J. M.; STEWART, P. M. Past, Present, and Future Nutrient Quality of a Small Southeastern River: A Pre-Dam Assessment. **Water**. v. 5. 3.d. p. 988-1005, 2013.
- MIRANDA, M.; NOYMA, N.; PACHECO, F. S. The efficiency of combined coagulant and ballast to remove harmful cyanobacterial blooms in a tropical shallow system. **Harmful Algae**. v. 65, p. 27-39, 2017.
- MORAIS, J.; MARTINS, A.; VALE, M. Assessment of cyanobacterial toxinogenic genotypes and estimation of toxin content in urban lakes. **Fresenius environmental bulletin**. v.23, 8. ed. p.1867-1873, 2014.

MORAIS, S. S.; MOLOZZI, J.; VIANA, A. L. Diversity of larvae of littoral Chironomidae (Diptera: Insecta) and their role as bioindicators in urban reservoirs of different trophic levels. **Brazilian Journal of Biology**. v.70, 4. ed. p. 995-1004, 2010.

MOZETO, A. A.; YAMADA, T. M.; DE MORAIS, C. R. Assessment of organic and inorganic contaminants in sediments of an urban tropical eutrophic reservoir. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.186, 2. ed. p.815-834, 2014.

NANINI-COSTA, M. H.; QUINAGLIA, G. A.; PETESSE, M. L. Diet of an invading clupeid along an urban neotropical reservoir: responses to different environmental conditions. **Environmental Biology of Fishes**. v.100, 10. ed. p.1193-1212, 2017.

NISHIMURA, P. Y.; MEIRINHOL, P. A.; MOSCHINI-CARLOS, V. Does the plankton community follow the horizontal water quality heterogeneity in a tropical urban reservoir (Guarapiranga reservoir, Sao Paulo, Brazil)? **Limnetica**. v. 33, 2. ed. p. 263-280, 2014.

OLDING, D. D.; HELLEBUST, J.A.; DOUGLAS, M.S.V. Phytoplankton community composition in relation to water quality and water-body morphometry in urban lakes, reservoirs, and ponds. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. v. 57, 10 ed. p.2163-2174, 2000.

OLIVEIRA, F. H. P. C.; CAPELA E ARA, A. L. S.; MOREIRA, C. H. P. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 86, 4. Ed. p.1863-1872, 2014.

PADOVESI-FONSECA, C; DE MENDONCA-GALVAO, L; ROCHA, D. L.P. Temporal fluctuation and reproduction of *Thermocyclops decipiens* (Copepoda, Cyclopoida) in an eutrophic lake of central Brazil. **Revista De Biologia Tropical**. v. 50, 1. Ed. p.57-68, 2002.

PIERZCHALA, L.; SIERKA, E.; TRZASKI, L. Evaluation of the suitability of anthropogenic reservoirs in urban space for ecological restoration using submerged plants (upper silesia, poland). **Applied ecology and environmental research**. v.14 1.ed. p.277-296, 2016.

RICHTER, D.; MATULA, J. Response of cyanobacteria and algae community from small water bodies to physicochemical parameters. **Oceanological and Hydrobiological Studies**. v.41, 2.ed. p.18-28, 2012.

SANCHEZ, A. J.; ANGEL SALCEDO, M.; MACOSSAY-CORTEZ, A. A. Environmental quality of the La Polvora urban lagoon in the Grijalva river watershed. **Tecnologia y Ciencias del Agua**. v. 3 3. ed. p.143-152, 2012.

SHIMADA BORGES, J. C.; SALIMBENI VIVAI, A. B. B.; BRANCO, P. C. Effects of trophic levels (chlorophyll and phosphorous content) in three different water bodies (urban lake, reservoir and aquaculture facility) on gill morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Applied Ichthyology**. v.29 3. ed. p. 573-578, 2013.

SILVA, E.I.L. Phytoplankton characteristics, trophic evolution, and nutrient dynamics in an urban eutrophic lake: Kandy Lake in Sri Lanka. **International Workshop on Restoration and Management of Eutrophic Lakes**. PEOPLES R CHINA Restoration and Management of Tropical Eutrophic Lakes. p. 227-270, 2005.

SUEITT, A.P.E; YAMADA-FERRAZ, T.M; OLIVEIRA, AF ; BOTTA, C.M.R.; FADINI, P.S. ;NASCIMENTO, M.R.L. ; FARIA, B.M.; MOZETO, A.A.

Ecotoxicological risks of calcium nitrate exposure to freshwater tropical organisms: Laboratory and field experiments. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.117 p. 155-163, 2015.

SUN, L.; JIN, X. C.; ZHONG, Y. Seasonal Dynamics of Phytoplankton in Relation to Key Aquatic Habitat Factors in a Polluted Urban Small Water Body in Tianjin, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. v. 82, 5. ed. p. 543-548, 2009.

SWEENEY, B. W.; ARSCOTT, D. B.; DOW, C. L. Enhanced source-water monitoring for New York City: summary and perspective **Journal Of The North American Benthological Society**. v. 25, 4. ed. p. 1062-1067, 2006.

TANG, J. WANG, T.; ZHU, B. Tempo-spatial analysis of water quality in tributary bays of the Three Gorges Reservoir region (China) **Environmental Science and Pollution Research**. v. 22 21. ed. p. 16709-16720, 2015.

- TANIWAKI, R. H.; ROSA, A. H.; de LIMA, R. The influence of land use and occupation on the quality and genotoxicity of water in the Itupararanga Reservoir, São Paulo, Brazil. **Interciência**. v.38 3. ed. p. 164-170, 2013.
- VILAS, M. P.; MARTI, C. L.; OLDHAM, C. E. Macrophyte-induced thermal stratification in a shallow urban lake promotes conditions suitable for nitrogen-fixing cyanobacteria. **Hydrobiologia**. v. 806, 1.ed. p. 411-426, 2018.
- VINCENT, J.; KIRKWOOD, A. E. Variability of water quality, metals and phytoplankton community structure in urban stormwater ponds along a vegetation gradient **Urban Ecosystems**. v. 17, 3.ed. p.839-853, 2014.
- WU, Q.; QI, J.; XIA, X. Long-term variations in sediment heavy metals of a reservoir with changing trophic states: Implications for the impact of climate change. **Science of The Total Environment**. v. 609 p. 242-250, 2017.
- XIAO, WEN-JUAN; SONG, CHUN-LEI; CAO, XIU-YUN. Effects of Air-Drying on Phosphorus Sorption in Shallow Lake Sediment, China. **Fresenius Environmental Bulletin** . v.21 3A. ed. p. 672-678, 2012.
- XU, Z.K. The abundance of epizoic ciliate epistylis-daphniae related to their host moina-macrocopa in an urban stream. **Journal of invertebrate pathology**. v. 60 2.ed. p.197-200, 1992.
- YAMADA, T. M.; SUEITT, A. P. E.; BERALDO, D. A. S. Calcium nitrate addition to control the internal load of phosphorus from sediments of a tropical eutrophic reservoir: Microcosm experiments. **Water Research**. v. 46, 19. ed. p. 6463-6475, 2012.
- YANG, J.; YU, X.; LIU, L. Algae community and trophic state of subtropical reservoirs in southeast Fujian, China. **Environmental Science and Pollution Research**. v.19, 5. ed. 1432-1442, 2012.
- YANG, Y.; XU, C.; CAO, X. Antibiotic resistance genes in surface water of eutrophic urban lakes are related to heavy metals, antibiotics, lake morphology and anthropic impact. **Ecotoxicology**. v. 26. 6. ed. p. 831-840, 2017.
- ZHAO, Z.; MI, T.; XIA, L. Understanding the patterns and mechanisms of urban water ecosystem degradation: phytoplankton community structure and water quality in the

Qinhuai River, Nanjing City, China. **Environmental Science and Pollution Research**.
v. 20, 7. ed. Páginas: 5003-5012, 2013.

5.2 MANUSCRITO 3

As variações de cianobactérias estão relacionadas a variáveis atmosféricas? Estudo na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil

Autoras:

Sofia Lizarralde Oliver - Doutoranda em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP) s.oliver@usp.br

Priscila Venâncio Ikefuti - Doutora em Geografia Física - Climatologia, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Sociais (FFLCH-USP) priscilla.ikefuti@yahoo.com.br

Helena Ribeiro- Professora Titular, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP) [lena@usp.br](mailto:lana@usp.br)

A SER SUBMETIDO PARA PERIÓDICO

As variações de cianobactérias estão relacionadas a variáveis atmosféricas?

Estudo na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil

Sofia Lizarralde Oliver¹, Priscila Venâncio Ikefuti², Helena Ribeiro³

Doutoranda em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP) s.oliver@usp.br

²Doutora em Geografia Física, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Sociais (FFLCH-USP) priscilla.ikefuti@yahoo.com.br

³Professora Titular, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP) lana@usp.br

Resumo

A urbanização em bacias hidrográficas contribui para a eutrofização antrópica dos seus corpos d'água, propiciando proliferações de algas tóxicas como as cianobactérias. Existe um padrão característico de sazonalidade nas florações de algas e comunidades de cianobactérias, embora estas algas possam estar presentes ou mesmo dominantes, na maior parte do ano, trazendo problemas práticos associados à elevada biomassa de cianobactérias e potenciais ameaças à saúde pelo aumento de toxinas. O aumento da concentração de toxinas originárias destas algas, as cianotoxinas, na água de reservatórios para abastecimento coloca em sério risco a população, uma vez que elas não são removidas pelo tratamento e filtragem convencionais. O Objetivo deste estudo foi analisar as possíveis relações entre elementos do clima e o volume de cianobactérias na represa Guarapiranga, localizada na região metropolitana de São Paulo, Brasil. Foram estudadas variáveis meteorológicas exclusivamente, não estudando parâmetros limnológicos outros além do volume de cianobactérias, de modo a perceber a influência do tempo e do clima neste sistema complexo. Para tanto foram utilizados dados de contagem de cianobactérias entre o período de 2010 a 2016 agrupadas por mês além das variáveis atmosféricas. A correlação mais forte com as florações foram com Irradiação e Precipitação Pluviométrica Total, explicando 30% dos casos de ocorrência de proliferação de cianobactérias no ponto de coleta GU 101. E para o ponto GU 104, os resultados indicaram que 16% das variações de cianobactérias neste ponto são devidas somente à variação de Irradiação.

Palavras-chave: Cianobactérias, água para abastecimento, reservatório urbano, mudanças climáticas, saúde ambiental.

Introdução

A urbanização em bacias hidrográficas contribui para a eutrofização antrópica dos seus corpos d'água. O processo decorre, frequentemente da falta de infraestrutura de saneamento básico e drenagem adequada, bem como de ineficientes sistemas de tratamento de efluentes industriais e de prevenção de escoamento de águas de áreas agrícolas. Estas dinâmicas acarretam o aumento da concentração de nutrientes, como compostos de nitrogênio e fósforo, nos corpos d'água, causando o desequilíbrio do meio limnológico e favorecendo os *blooms* ou florações de algas potencialmente tóxicas, as cianobactérias. O aumento da concentração de toxinas originárias destas algas, as cianotoxinas, na água de abastecimento coloca em sério risco a população servida, uma vez que elas não são removidas pelo tratamento e filtragem convencionais. Elas exigem que se apliquem técnicas de purificação da água especiais para sua remoção, como pela utilização de oxidantes enérgicos como ozônio (RAPALA 2001), cloro e permanganato de potássio (RODRIGUEZ,2007; SIQUEIRA,2008), ou por ultrafiltração e nanofiltração (TEIXEIRA, 2005; ABRAHAMSE, 2006) aumentando a onerosidade do tratamento e da distribuição, e, muitas vezes, inviabilizando esse processo

Sempre que as condições de temperatura, luz e estado nutricional são favoráveis, as camadas superficiais de águas doces ou marinhas poderão sediar o aumento na quantidade de cianobactérias (WHO, 2011;). Existe um padrão característico de sazonalidade nas florações de algas e comunidades de cianobactérias, embora estas algas possam estar presentes ou mesmo dominantes, na maior parte do ano, trazendo problemas práticos associados à elevada biomassa de cianobactérias e potenciais ameaças à saúde pelo aumento de toxinas (WHO, 1999). A proliferação de cianobactérias em ambientes eutróficos ocorre, sobretudo, nos meses em que a temperatura da água fica em torno de 22 °C ou mais alta (FONSECA et al. 2010; RIBEIRO 2017). Em ambientes de água doce com pH básico, temperatura entre 15 °C e 30 °C e altas concentrações de nitrogênio e fósforo, esse micro-organismo tem seu crescimento acelerado (CAVALCANTE et al. 2009). Também foi identificada a elevação na densidade de cianobactérias durante o período chuvoso, diretamente relacionada à maior disponibilidade de nutrientes no período (OLIVER E RIBEIRO, 2016). A disponibilidade de nutrientes é controlada não só pela adição artificial de compostos e elementos químicos e orgânicos, como é também controlada por fatores

externos do ecossistema, como ventos, precipitação e radiação incidente (ESTEVES e SUZUKI, 2011). Já, segundo Pearl e Huisman (2008), existe uma ligação entre o aquecimento global e a proliferação de algas tóxicas pelo mundo. A literatura científica, portanto, identifica uma série de fatores que favorecem a proliferação de cianobactérias, sobretudo a eutrofização das águas em decorrência do maior aporte de nutrientes. Quanto à influência dos fatores climáticos e meteorológicos, os artigos destacam a sazonalidade anual e o aquecimento global, sem uma precisão de que elementos seriam os mais importantes.

O Objetivo deste estudo foi, portanto, analisar as possíveis relações entre elementos do clima e o volume de cianobactérias na represa Guarapiranga, localizada na região metropolitana de São Paulo, Brasil. Foram estudadas variáveis meteorológicas exclusivamente, não estudando parâmetros limnológicos outros além do volume de cianobactérias, de modo a perceber a influência do tempo e do clima neste sistema complexo. Os resultados podem embasar modelagens matemáticas para prever o fenômeno nos diferentes cenários de consequências de mudanças climáticas.

Área de estudo

Localizada na Região Metropolitana de São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil, a Represa Guarapiranga se constitui como reservatório de água para abastecimento de água potável. Sua bacia situa-se na região sul da Cidade de São Paulo, na faixa entre 23°20' e 24°00' de latitude S e 46°20' e 46°50' de longitude W, à altitude de 760 metros acima do nível do mar. Está sujeita a clima típico do Brasil Meridional, numa transição entre os Climas Tropicais úmidos de altitude, com período seco definido, e Climas Subtropicais permanentemente úmidos, distinguindo-se pela alternância entre uma estação quente e úmida no verão, e outra fria e seca no inverno.

Figura 1 - Represa Guarapiranga e Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (EM-IAG/USP) na malha urbana da Zona Metropolitana de São Paulo.

Fonte: Mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas e geradas pelo software Google Earth, 2017.

O Reservatório Guarapiranga, produz cerca de 14 mil litros de água por segundo e abastece 3,7 milhões de pessoas das zonas sul e sudoeste da capital, segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e é o reservatório

mais ameaçado dentre os mananciais que abastecem a região, devido à sua drenagem dendrítica, estreita e alongada, formada na base da bacia de drenagem e no vale de rios, favorecendo a ação e a ocupação antrópica. A pressão antrópica na bacia da Represa Guarapiranga, aliada à pobre infraestrutura de saneamento e de drenagem contribuem para a eutrofização deste ambiente limnológico e à proliferação de cianobactérias.

Figura 2 - Foto de proliferação de algas na Represa Guarapiranga próxima à margem urbanizada.

Fonte: *José Luís da Conceição/28.05.2010/Estadão Conteúdo* apud Notícias R7, 2018.

Método

Para verificar possível correlação entre as variações de cianobactérias na represa Guarapiranga e variáveis meteorológicas, foi utilizado o método de Regressão Linear no formato *Stepwise* de seleção de variáveis.

Os valores de densidade de cianobactérias foram adquiridos junto à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). As medições de cianobactérias são feitas pela companhia semanalmente, mantendo uma média de 2 a 3 medições por semana, em três pontos. Dos três pontos de coleta para medição de parâmetros limnológicos, na Guarapiranga, somente dois deles, GU101 e GU104, tinham séries de dados mensais com medições ininterruptas. Por esse motivo, o terceiro ponto, GU107, bem como seus outros parâmetros limnológicos, não foram incluídos na regressão.

Foram contabilizadas 84 observações no período de 2010 a 2016, já agrupadas por mês. Dado que as coletas diárias variavam entre 4 a 1 coleta por semana, e como haviam muitos dados diários faltantes, optou-se por agrupá-los e fazer a média por mês.

As variáveis meteorológicas utilizadas foram Temperatura média do ar (Tmed), média das Temperaturas Máximas do ar (Tmax), Temperatura Média Absoluta (Tmas_abs), média da Temperatura mínima do ar (Tmin), Temperatura mínima do ar (Tmin), Irradiação solar (Irrad), Irradiação Total (Irr_tot), Pressão Atmosférica (Press), Precipitação total (Prec_tot), Dias de precipitação (Dias_prec), Precipitação máxima diária (Prec_dia_max), Direção média do vento (Dir_vento_med), Média da velocidade do vento (Vento_med) e Velocidade máxima de Vento (Vento_max), todas mensais.

Os dados de variação de cianobactérias dos pontos de coleta GU101 e GU104 não tinham distribuição normal. Foi feito então o cálculo do $\log_{10}$ uma vez que a normalidade é uma premissa da modelagem de regressão. Na figura 2 é possível observar a distribuição da concentração de cianobactérias antes da transformação (a e b) e após a aplicação do $\log_{10}$ (c e d).

Figura 3 - Histogramas dos dados dos pontos de coleta GU101 e GU104 antes da transformação (a e b) e após a aplicação do $\log_{10}$ (c e d).

Resultados

Para o período de estudo, a Tabela 1 mostra a variabilidade das variáveis utilizadas nessa pesquisa. Os valores máximos de temperatura para esse período foram de 31,8°C, os valores mais baixos de temperatura foram 9,7°C. As maiores concentrações de cianobactérias nos reservatórios foram 37.740 para o ponto de coleta GU101 e para o ponto GU104 foram 40.788,3 com um desvio padrão de 7.626,4 e 7814,4 respectivamente. No período de 7 anos foram registrados 1.342 dias com alguma precipitação, onde a média de dias com chuva no mês foi de 15 dias. Para o período, o menor volume precipitado foi de 139 mm e o maior valor mensal foi de 653 mm. A velocidade média do vento de 5,2 km/h indica que naquela região predominam ventos mais fracos.

Tabela 1- Tabela descritiva dos dados empregados na regressão linear.

	GU104	GU104_log	GU101	GU101_log	Tmax	Tmed	Tmin	Irrad	prec_tot	dias_prec	Dir_vento_med	Vento_med
Mínimo	1540.1	3.1	611.7	2.7	21.3	14.5	9.7	8.5	1.8	1	1	2.7
Média	10269.2	3.9	9789.2	3.8	26	19.7	15.5	14.9	139.9	15.9	5.5	5.2
Máximo	40788.3	4.6	37740	4.5	31.8	24.3	19.8	22	653.2	28	9	6.3
Soma	862611.3	328.2	822290.1	325.5	2186.9	1654.3	1298.4	1258.3	11759.1	1342	468	443.4
DP	7814.4	0.3	7626.4	0.3	2.6	2.6	2.8	3	116.2	5.7	2.5	0.6

Antes de criar o modelo de regressão foi feito o cálculo de correlação linear entre as variáveis utilizadas nessa pesquisa, tanto dependentes como independentes.

As variáveis atmosféricas incluídas nos modelos foram as que tiveram maior correlação com as variações de cianobactérias GU104_log e GU101_log, sem que houvesse colinearidade com outras variáveis na mesma natureza, como foi o caso da colinearidade de Precipitação com Temperatura mínima do ar. O cálculo de correlação linear de Pearson foi calculado com significância estatística de 95% ($p=0,05$).

Para o reservatório GU 104log as variáveis que tiveram maior valor de correlação foram: Temperatura máxima do ar, Irradiação Solar, Precipitação pluviométrica total, e média da velocidade do vento. Para O GU101 as variáveis que tiveram maior valor de correlação foram Irradiação Solar, Pressão atmosférica, Precipitação pluviométrica total, direção do vento e média da velocidade de vento.

Figura 4 - Matriz de Regressão Linear dos dados variação de cianobactérias dos pontos de Coleta GU101 e GU104 da Represa Guarapiranga e dos Dados Meteorológicos do IAG.

	GU104_log	GU101	GU101_log	Tmed	Tmax	Tmax_abs	Tmin	Tmin_abs	Ampli	Irrad	Irr_tot	Press	Prec_tot	Dias_prec	Prec_dia_max	Dir_vento_med	Vento_med	Vento_max
GU104_log	1.0																	
GU101	0.7	1.0																
GU101_log	0.8	0.9	1.0															
Tmed	0.4	0.4	0.4	1.0														
Tmax	0.4	0.5	0.4	1.0	1.0													
Tmax_abs	0.4	0.5	0.4	0.8	0.8	1.0												
Tmin	0.4	0.3	0.3	1.0	0.9	0.7	1.0											
Tmin_abs	0.3	0.2	0.2	0.9	0.8	0.6	0.9	1.0										
Ampli	-0.1	0.0	0.0	-0.6	-0.4	-0.3	-0.6	-0.8	1.0									
Irrad	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6	-0.3	1.0								
Irr_tot	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.6	0.5	-0.3	1.0	1.0							
Press	-0.3	-0.3	-0.3	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	0.4	-0.7	-0.6	1.0						
prec_tot	0.1	0.0	0.1	0.7	0.6	0.4	0.7	0.7	-0.5	0.4	0.3	-0.6	1.0					
dias_prec	0.1	0.1	0.0	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	-0.4	0.3	0.3	-0.6	0.7	1.0				
prec_dia_max	0.1	0.0	0.1	0.5	0.4	0.3	0.6	0.5	-0.3	0.3	0.3	-0.6	0.8	0.6	1.0			
Dir_vento_med	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.3	0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.1	1.0		
Vento_med	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	-0.2	0.5	0.5	-0.3	0.0	0.3	0.1	-0.1	1.0	
Vento_max	0.1	0.1	0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.3	-0.3	0.2	-0.1	-0.1	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.2	0.1	1

No **Modelo 1** fizeram parte da modelagem as variáveis meteorológicas Irradiação Solar, Precipitação Total, a média da velocidade do vento, e Amplitude Térmica. Este primeiro modelo explicou 29% da variação da ocorrência de cianobactérias no reservatório Guarapiranga, durante o período de 2010 a 2016. O valor do critério de Akaike (AIC) foi de 1.477,335 com a utilização de 79 graus de liberdade (df). Os valores de AIC servem de comparabilidade entre o desempenho e o ajuste de modelos de regressão espacial. Para os valores de AIC quanto menor ele for, melhor é o ajuste do modelo. Essa medida é baseada na suposição de normalidade e função de probabilidade correspondente ao modelo de regressão padrão (Anselin, 2005). Seguindo o método Stepwise, seguiu-se à retirada de variáveis procurando o melhor ajuste. O **Modelo 1A** contemplou as variáveis Irradiação Solar, Precipitação Total, Direção do Vento e Pressão. Neste modelo o resultado do R² Ajustado foi o mesmo do modelo anterior embora o critério de Akaike tenha melhorado um pouco 1.477.147 e o grau de liberdade tenha permanecido o mesmo. No **Modelo 2** foram incluídas a Irradiação, a Precipitação Total e a Pressão. Neste modelo, o valor de R² Ajustado foi também de 29%, embora o critério de Akaike tenha caído para 1.476.467 para o grau de liberdade de 80. No **Modelo 3** retirou-se a variável pressão atmosférica, resultando em um R² Ajustado de 30% e Akaike de 1.474.478 para 81 graus de liberdade. E, por último, o **Modelo 4**, considerou somente a variável meteorológica de Irradiação, obtendo um resultado de R² Ajustado de 27% com Akaike de 1.476.576 para 82 graus de liberdade.

Tabela 3 - Resultados da Regressão Linear para o ponto GU101.

	GU101_log				
	DF	AIC	F-Statistic	R ² Ajustado	p Value
Modelo 1	79	1477.335	9.669	0.2947	2.04E-06
Modelo 1 A	79	1477.147	9.735	0.2963	1.88E-06
Modelo 2	80	1476.467	12.52	0.294	8.56E-07
Modelo 3	81	1474.478	19.01	0.3027	1.70E-07
Modelo 4	82	1476.576	32.7	0.2767	1.66E-07

*DF, Degree of Freedom; AIC, Akaike information criterion.

Nota: Os idiomas da tabela serão padronizados posteriormente para o português ou o inglês.

Assim, o **Modelo 3** foi o mais ajustado, pois apresentou o menor valor de Akaike, e sendo então as variáveis irradiação e precipitação responsáveis por explicar 30% da variação mensal de cianobactérias entre 2010 e 2016 no Reservatório Guarapiranga.

Tabela 4 - Resultados da Regressão Linear para o ponto GU104.

	GU104_log				
	DF	AIC	F-Statistic	R ² Ajustado	p Value
Modelo 1	80	-211.0361	5.686	0.1448	1.40E-03
Modelo 2	81	-213.0262	8.63	0.1553	4.00E-04
Modelo 3	82	-214.974	17.41	0.1651	7.45E-05

*DF, Degree of Freedom; AIC, Akaike information criterion.

Nota: Os idiomas da tabela serão padronizados posteriormente para o português ou o inglês.

Para a correlação de variáveis meteorológicas com variação de cianobactérias do ponto de coleta GU 104, o **Modelo 1** foi composto pelas variáveis atmosféricas de Irradiação Solar, Média de Vento e Precipitação Total, por apresentarem os maiores valores de correlação. Neste modelo, o resultado do R² Ajustado foi de 14% e o critério de Akaike foi -211.0361 para grau de liberdade de 80. No **Modelo 2**, foi retirada a variável precipitação R² Ajustado foi de 15% e o critério de Akaike foi -213.0262 para grau de liberdade de 81. O modelo mais ajustado para este ponto de coleta foi o **Modelo 3**, composto somente da variável Irradiação Solar, que apresentou um resultado de R² Ajustado de 16% com critério de Akaike de -214.974 para grau de liberdade de 82, explicando que 16% das variações de cianobactérias neste ponto são devidas somente à variação de Irradiação.

Figura 5 - Gráfico de comparação visual para o ponto GU 104.

Legenda: O traço na cor azul indica picos de Máxima de Temperatura do ar, enquanto o traço seguinte, na cor verde, indica pico de proliferação de cianobactérias.

Nas **Figura 5** e **Figura 6**, pode-se identificar por uma linha azul picos de Temperatura máxima absoluta do ar e de Irradiação, que são altamente correlacionadas entre si e em seguida, indicados com uma linha verde, identificam-se alguns picos resposta da proliferação de cianobactérias. A série começa em janeiro de 2010 e termina em dezembro de 2016. Percebe-se portanto que os picos de Temperatura e de Irradiação, assim como as respostas das cianobactérias, ocorrem principalmente durante o verão, indicando a sazonalidade das proliferações dessas algas tóxicas.

Figura 6 - Gráfico de comparação visual para o ponto GU 101.

Legenda: O traço na cor azul indica picos de Máxima de Temperatura do ar, enquanto o traço seguinte, na cor verde, indica pico de proliferação de cianobactérias.

Discussão

Os resultados do modelo de regressão entre as florações de cianobactérias e as variáveis atmosféricas indicaram que a principal componente atmosférica que influencia a concentração de cianobactérias foi a Irradiação, no caso do ponto GU 104, explicando cerca 16% da ocorrência durante o período estudado. No ponto GU 101, a Irradiação combinada com a Precipitação explicou cerca de 30% dos casos de proliferação de cianobactérias, no período. Os dados encontrados não divergem de alguns estudos em que a Irradiação demonstrou ser um componente importante na proliferação de algas tóxicas, assim como a chuva (ESTEVES E SUZUKI, 2011; OLIVEIRA, F. et al. 2014; FARIA, D. et al. 2013; MATIAS DE FARIA, D. et al. 2014; GIL-GILL, F. 2011).

Istvanovics, V. et al. 2014, na Polônia, detectaram que as florações de verão tornam reservatórios rasos particularmente suscetíveis à eutrofização. Contrariamente, o estudo de De Oliveira, F. et al., 2014, no Recife, Brasil, indicou que as florações se davam na estação seca.

Paerl e Huisman (2008) mencionam que as florações de cianobactérias podem aumentar localmente a temperatura da água, através da absorção intensa da luz. Zhao et al. 2013 relatam que, na China, o principal parâmetro ambiental que influenciava as florações era temperatura da água. Também Wu, Q. et al., 2017 encontraram forte correlação positiva das florações com a temperatura, na China. Xu, Z. K., 1992, também na China, e Kozac, A. et al. 2017, na Polônia, relacionaram o aumento das florações com o verão. Henry, R. et al., 2008, relataram que uma temperatura de 25°C era mais favorável para a excreção das larvas de *Chironomus* de amônia e fosfato, o que pode ser um indicador do aumento da eutrofização do reservatório durante o verão. Effler, et al. 2006 encontraram, também, maior quantidade de algas no outono e no verão, no estado de Nova Iorque.

Já Moraes J. et al, 2014 detectaram maior presença de microcistinas no final de outono em Portugal, assim como Sun, L. et al. 2008, na China.

Portanto, em que pese a notável influência da sazonalidade climática na floração de algas, esta se dá de forma não homogênea, dependendo do local e das espécies estudadas.

No presente estudo, o modelo não foi capaz de explicar mais significativamente as proliferações baseando-se somente em dados de variáveis atmosféricas agrupadas

mensalmente. O agrupamento mensal dos dados foi uma das limitações deste estudo, devida às falhas nos dados sobre a presença de cianobactérias, diminuindo as observações disponíveis para a análise de correlação. Mas, de forma relevante, o presente estudo evidenciou que as proliferações de algas tóxicas em reservatórios de bacias que sofrem pressão antrópica, são originadas de multi-fatores e não só dos meteorológicos.

Conclusão

O modelo proposto neste estudo foi capaz de explicar de 16% a 30% das ocorrências de florações de cianobactérias de acordo com o tempo e o clima. Foi encontrado que 16% das ocorrências se correlaciona com a Irradiação (ponto GU 104) e 30% das ocorrências de florações apresentaram correlação com Precipitação e Irradiação (ponto GU101). Os resultados encontrados neste estudo são congruentes com a literatura e reforçam a necessidade de maiores estudos a respeito das dinâmicas de florações de algas tóxicas em reservatórios de água para abastecimento. No entanto, evidenciou a necessidade de ações preventivas e corretivas nos reservatórios, de modo a proteger os recursos aquáticos, tão necessários para o desenvolvimento urbano, com saúde e qualidade de vida. Não obstante, são necessários mais estudos considerando todas as forças ecológicas que influenciam reservatórios urbanos de forma sistêmica, incluindo as dinâmicas do espaço produzido pelo ser humano.

Recomendação para futuros estudos

Outros elementos a serem incluídos em futuros estudos devem ser: a ausência de vegetação ripária, a adição artificial de fósforo e nitrogênio, seja de escoamento superficial contaminado com fertilizantes e agrotóxicos ou de esgoto doméstico e industrial; a adição de poluentes através da precipitação pluviométrica em atmosfera rica em material particulado, decorrente de poluição de ar pela queima de combustíveis fósseis, ou da própria carga difusa. Estes elementos influenciam diretamente os fatores limnológicos, como turbidez, temperatura da água, estratificação da coluna d'água, quantidade de fósforo e oxigênio dissolvidos, entre outros.

REFERÊNCIAS

ANSELIN, L. (2005). Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook, Center for Spatially Integrated Social Science.

ABRAHAMSE, A.J.G., SCHMIDT, W., CHORUS, I., HEIJMAN, S.G.J. Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. *Journal of Membrane Science*. V. 276, n.1-2, p.252-259, maio 2005.

ESTEVEES e SUZUKI, 2011 Esteves FA, Suzuki MS (2011) Comunidade Fitoplanctônica. In: Esteves FA (coord.) Fundamentos de Limnologia. Interciência, Rio de Janeiro, pp 375–377.

FARIA, D. Matias de; GUIMARAES, ATB.; LUDWIG, TAV. Responses of periphytic diatoms to mechanical removal of *Pistia stratiotes* L. in a hypereutrophic subtropical reservoir: dynamics and tolerance. *Braz. J. Biol.*, São Carlos , v. 73, n. 4, p. 681-689, Nov. 2013. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842013000400681&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Apr. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842013000400002>.

Notícias R7 Algas ameaçam capacidade de produção da Guarapiranga. <https://noticias.r7.com/sao-paulo/algas-ameacam-capacidade-de-producao-da-guarapiranga-11042014>. Acesso em 08 de abril de 2018.

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Water supply, climate change and health risk factors: example case of São Paulo - Brazil. In: Walter Leal Filho; Ulisses M. Azeiteiro; Fátima Alves. (Org.). *Climate Change and Health Improving Resilience and Reducing Risks*. 1ed.Suíça: Springer International Publishing, 2015, v. 1, p. 1-480.

OLIVEIRA, Fabio de. H. P. C.; Capela e Ara, Andre L. S.; Moreira, Cesar H. P.; et al. Seasonal changes of water quality in a tropical shallow and eutrophic reservoir in the metropolitan region of Recife (Pernambuco-Brazil) *ANAIS DA ACADEMIA*

PAERL, H. W. and HUISMAN, J. **Blooms Like It Hot.** *Science* **320**, 57 (2008);

RAPALA, J.; LAHTI, Kirsti.; RASANEN, Leena A.; ESALA, Anna-Liisa; NIEMELA, Seppo I.; SIVONEN, Kaarina. Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. *Water Research*, v.37, p. 2627-2635, 2002.

RODRIGUES, E.M., et al., Kinetics of the oxidation of cylindrospermopsin and anatoxin-a with chlorine, monochloramine and permanganate. *Water Research*, v. 41, p. 2048- 2056 , March, 2007.

SIQUEIRA, S. L. Estudo da remoção de microcistina-LR utilizando oxidação com cloro, dióxido de cloro e permanganato de potássio / Sidnei Lima Siqueira. Campinas, SP: [s.n.] 2008.

TEIXEIRA, Margarida Ribau., ROSA, Maria João. Microcystins removal by nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*. n46, p. 192-201, 2005.

WHO (1999) Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO, London.

WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality, 4th edn. WHO, Geneva

Fonseca FS et al (2010) Influência de fatores climatológicos na ocorrência de microcistina. *Revista do Instituto Adolfo Lutz* 69(4):461–466, São Paulo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pressão antrópica de cidades sobre bacias hidrográficas, sem planejamento urbano ou infra-estrutura sanitária, sempre foi um problema de Saúde Pública e Saúde Urbana, por conta de doenças de veiculação hídrica. As florações de cianobactérias se apresentaram como fenômenos mais recentes, no campo de estudos, mas presentes em diferentes latitudes, climas e graus de organização do espaço, mostrando assim serem uma questão de saúde pública global. Muitos estudos relataram ligação das florações com elementos de temperatura, sobretudo temperaturas mais altas. É de se considerar, portanto, que as projeções do aumento de temperatura global podem significar um agravante às proliferações das cianobactérias, incrementando a dose de cianotoxinas na água de abastecimento público.

A modelagem para o caso da represa Guarapiranga, em São Paulo, resultou em valores de explicação insuficientes para gerar um modelo preditivo do fenômeno das florações, evidenciando a complexidade da interação ambiente-ocupação humana-uso do solo- clima e exigindo que sejam acrescentadas mais variáveis ao modelo. Entretanto, a hipótese deste estudo foi confirmada como verdadeira. Vale salientar que a influência do tempo e do clima na qualidade da água para abastecimento, tendo como indicador proliferações de algas tóxicas, é um dos componentes de um sistema complexo e multicausal. Estudos futuros devem focar a integralidade do ecossistema urbano, com desenvolvimento de novos métodos de análise sistêmica.

Em se tratando de risco à saúde pública que ultrapassa fronteiras políticas e que é comum a muitas localidades do globo, salienta-se que esforços para mitigar a situação se encaixam nas especificações dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. O ODS 6, que consiste em “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”, como todos os ODS traz a premissa de “não deixar ninguém para trás”. Entretanto, enquanto se avança timidamente em providenciar o acesso à água em países de média e baixa renda, aglomerações urbanas crescentes continuam a replicar os modos de ocupação do espaço e de uso do solo a um ritmo mais elevado que os serviços públicos. Países desenvolvidos, que conseguiram universalizar saneamento em suas cidades, hoje vêm tentando sanar problemas de proliferação de algas, com elevados e

demorados investimentos para restaurar seus corpos d'água, como foi visto no Manuscrito 2, na seção de “restauração” da tabela de revisão da literatura.

É preciso levar em conta o cruzamento de variáveis de ação que permeiam as diferentes especificações dos ODS, como o ODS 11 “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” e o ODS 15 “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade” e o ODS 13 “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos”. A mitigação de impactos das mudanças climáticas é uma das formas de promover cidades resilientes e saudáveis.

6. CONCLUSÃO

As variações do tempo e do clima influenciam a qualidade da água de abastecimento em reservatórios que recebem aportes de nutrientes e propiciam a proliferação de algas tóxicas, gerando risco à saúde pública. Este problema é agravado pelo fenômeno de urbanização crescente nos países de média e baixa renda e pode ser acentuado em conjunto com as mudanças climáticas globais.

7. REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, N. de. **Bases históricas da Epidemiologia**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro , v. 2, n. 3, p. 304-311, Sept. 1986 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1986000300004&lng=en&nrm=iso>. access on 27 July 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X1986000300004>.

AZEVEDO, S. M. F. O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. *Revista Virtual de Medicina*, v.1, n.3, jul./set. 1998.

CETESB. **Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais**. São Paulo: CETESB, 2013. 59p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 1º mar. 2013.

CHANG, C. C.; HO, S. C.; WANG, L. Y. Bladder cancer in Taiwan: relationship to trihalomethane concentrations present in drinking-water supplies. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, 2007.

DINIZ, C. R de S. **Efeito dos trihalometanos em parâmetros fisiológicos de Mus musculus da estirpe ICR. 2011**. Dissertação (Mestrado em Biologia Clássica) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Trás-os-Montes e Alto Douro, 2011.

ESTANISLAO, M. V. **Avaliação de Risco de malformação congênita em recém-nascidos de mães expostas ao trihalometano**. São Paulo: [s. n.], 2009.

ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. (Coord.) **Fundamentos de Limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p.625-55.

FRANÇA, E. O Programa de Sanemaneto Ambiental e Recuperação Urbanada Bacia do Guarapiranga e a Prefeitura de São Paulo. In: **Guarapiranga: recuperação urbana e ambiental no Município de São Paulo** / Coordenação de Elizabete França – São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2000. 256 p. ISBN 85-87681-01-X

FORATTINI, O. P. **Ecologia, epidemiologia, e sociedade** – São Paulo: Artes Médicas: Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

MENDES, D.; CARVALHO, M. C. W. de A Ocupação da Bacia do Guarapiranga: Perspectiva Histórica-Urbanística. In: **Guarapiranga: recuperação urbana e ambiental no Município de São Paulo** / Coordenação de Elizabete França – São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2000. 256 p. ISBN 85-87681-01-X

NEHA - National Environmental Health Association. Definition of Environmental health. **Journal of Enviromental Health**, 73, oct.2013. Disponível em [<http://www.neha.org/about-neha/definitions-environmental-health>]; acesso em 27/07/2017.

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Water supply, climate change and health risk factors: example case of São Paulo - Brazil. In: Walter Leal Filho; Ulisses M. Azeiteiro; Fátima Alves. (Org.). **Climate Change and Health Improving Resilience and Reducing Risks**. 1ed.Suíça: Springer International Publishing, 2015, v. 1, p. 1-480.

PRO-AIM - **Programa de Aprimoramento das Informações de de Mortalidade**. Base de Dados de Mortalidade do Município de São Paulo, executado pela Secretaria Municipal de Saúde. Disponível em [www.prefeitura.sp.gov.br/proaim/demanda]; acesso em 21/04/2018.

RIBEIRO, H; CANELAS, T. Saúde Ambiental. In: **Dicionário de saúde e segurança do Trabalho: conceitos, definições, história, cultura**/organizado por/ René mendes... [et al]. – Novo Hamburgo (RS): proteção Publicações Ltda, 2018. 1280p. Vários autores. ISBN: 978-85-67121-01-7

RIBEIRO, H.; NUNES, E. S.; OLIVEIRA, M. A.; OLIVER, S.L.; Ritmo climático e geografia da saúde. **Revista de Geografia (Recife)**V. 33, No. 4, 2016.

SALVO. M. T.; ISAAC, R. L. **Avaliação da Eficiência de Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas por Processos do Tratamento Convencional e por...** Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=Salvo+Isaac+2002&btnG=&lr=>>>. 2002.

SANTANA, P. **Introdução à geografia da saúde: território, saúde e bem-estar**. Ed. Imprensa da Universidade de Coimbra. 192 p. 2014.

SINAM. **Sistema Nacional de Atendimento Médico**. Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/index.php?p=160798] acesso em 21/04/2015.

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v.33, n.4, p.413-21, 2005.

VINCENTI, A. M. et al. Retrospective cohort study of trihalomethane exposure through drinking water and cancer mortality in Northern Italy. **Science of the Total Environment**. s.v; s.n., 2004.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 4.ed. Genebra: WHO, 2011.

Sofia Lizarralde Oliver

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/4164782508875728>
Última atualização do currículo em 07/03/2018

Doutoranda em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Mestre também em Ciências pela mesma instituição. Licenciada e Bacharel em Geografia pela UNESP, Campus Presidente Prudente, pesquisa na área da Saúde Ambiental. Trabalha principalmente com saúde urbana, mudanças climáticas e segurança hídrica. Realizou estágio Sanduíche na Universidade da Califórnia, Campus Berkeley. Entre os anos de 2016 e 2017, paralelamente, trabalhou no tema de serviços ecossistêmicos junto ao Instituto Interamericano de Mudanças Globais. Ainda em 2017, trabalhou também em soluções inovadoras para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas como Talento Unleash. Também durante o doutorado foi Representante Discente na Comissão de Pós-Graduação. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Sofia Lizarralde Oliver
Nome em citações bibliográficas	OLIVER, S. L.

Endereço

Endereço Profissional	Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. Av. Dr. Arnaldo, 715 Cerqueira César 01246-904 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 30667712 Fax: (11) 30617732 URL da Homepage: www.fsp.usp.br
------------------------------	---

Formação acadêmica/titulação

2014	Doutorado em andamento em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. com período sanduíche em University of California, Berkeley (Orientador: Jason Corburn). Título: VARIABILIDADE CLIMÁTICA, QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO E IMPACTOS À SAÚDE, Orientador: Helena Ribeiro. Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Palavras-chave: Cianobactérias; Abastecimento de Água; Subprodutos da Cloração; Clima; Variabilidade Climática; Saúde Pública. Grande área: Ciências Exatas e da Terra Grande Área: Ciências da Saúde / Área: Saúde Coletiva / Subárea: Saúde Pública / Especialidade: Saúde Ambiental. Grande Área: Ciências da Saúde / Área: Saúde Coletiva / Subárea: Epidemiologia.
2011 - 2013	Mestrado em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: A influência da variabilidade climática na qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e possíveis impactos à saúde, Ano de Obtenção: 2013. Orientador: Helena Ribeiro. Palavras-chave: Climatologia Geográfica; Saúde Ambiental; Águas urbanas. Grande área: Ciências Humanas Grande Área: Ciências Exatas e da Terra / Área: Geociências / Subárea: Geografia Física / Especialidade: Climatologia Geográfica. Grande Área: Ciências da Saúde / Área: Saúde Coletiva / Subárea: Saúde Pública / Especialidade: Saúde Ambiental.
2006 - 2010	Graduação em Geografia (Bacharelado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Título: ESTIMATIVA DE CUSTOS DA MORBIDADE RESPIRATÓRIA INFLUENCIADA PELO CLIMA EM PRESIDENTE PRUDENTE: UM ENSAIO NA PERSPECTIVA DA VALORAÇÃO CLIMÁTICA .. Orientador: João Lima Sant'Anna Neto.
2006 - 2010

Helena Ribeiro

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1A

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/8725809744497200>

Última atualização do currículo em 26/03/2018

bachelor's at Geography from Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1972), master's at Geography from University of California Berkeley (1981) and doctorate at Physical Geography from Universidade de São Paulo (1988). Has experience in Geosciences, focusing on Geographical Climatology, acting on the following subjects: environmental health. urban health, medical geography, air pollution, climate changes and environmental education. Professor of the Environmental Health Department of the School of Public Health of the University of São Paulo. Former professor of Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Former Environmental advisor to the Mayor of São Paulo Former Member of the Executive Committee of ICLEI - International Council for Local Environmental Initiatives. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Helena Ribeiro
Nome em citações bibliográficas	RIBEIRO, H.;Ribeiro, Helena

Endereço

Endereço Profissional	Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental. Av. Dr. Arnaldo, 715 Cerqueira César 01246904 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 30667712 Ramal: 218 Fax: (11) 30667732 URL da Homepage: www.fsp.usp.br
------------------------------	---

Formação acadêmica/titulação

1984 - 1988	Doutorado em Geografia (Geografia Física) (Conceito CAPES 5). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: Poluição do ar e doenças respiratórias em criança da Grande São Paulo: um estudo de geografia médica, Ano de obtenção: 1988. Orientador: José Roberto Tarifa. Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil.
1977 - 1981	Mestrado em Geografia. University of California Berkeley, UCB, Estados Unidos. Título: Sequent land use and environmental issues in a subtropical milieu: the case of São Simão, in the State of São paulo, Brazil, Ano de Obtenção: 1981. Orientador: Hilgard O'Reilly Sternberg. Palavras-chave: agricultura sustentável; Cobertura Vegetal; Degradação Ambiental. Grande área: Ciências Humanas
1969 - 1972	Graduação em Geografia. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC/SP, Brasil.

Pós-doutorado e Livre-docência

1996	Livre-docência. Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: Ilha de calor na cidade de São Paulo: sua dinâmica e efeitos na saúde da população, Ano de obtenção: 1996. Palavras-chave: poluição térmica saúde são paulo calor. Grande área: Ciências Humanas
1994 - 1994	Pós-Doutorado. Académie Internationale de l'Environnement, AIE, Suíça. Bolsista do(a): Agencia de cooperação Suíça, ACS, Suíça.