

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**A influência da variabilidade climática na
qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e
possíveis impactos à saúde**

Sofia Lizarralde Oliver

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública da
Faculdade de Saúde Pública da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Mestre em Ciências.**

Área de concentração: Saúde Ambiental.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Helena Ribeiro

São Paulo
2013

A influência da variabilidade climática na qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e possíveis impactos à saúde

Sofia Lizarralde Oliver

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

Área de concentração: Saúde Ambiental.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Helena Ribeiro

São Paulo

2013

Oliver, Sofia Lizarralde

A influência da variabilidade climática na qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e possíveis impactos à saúde / Sofia Lizarralde Oliver. - 2013.

95 f.: il. 30 cm

Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo]. São Paulo, 2013.

Orientador: Profa. Dra. Helena Ribeiro

1. Cianobactérias, 2. Abastecimento de água. 3. Mudança Climática

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida **exclusivamente** para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figurem a identificação de autor, título e instituição da dissertação.

Dedico este estudo a todos os Professores que tive até hoje, mas principalmente aos primeiros: Daniel e Silvia, meus pais, e meu irmão Teo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Professora Dra. Helena Ribeiro pela confiança e pela orientação atenciosa, pois, mesmo na situação de acúmulo de cargos e atribuições como Diretora da FSP-USP, sempre me orientou satisfatoriamente contribuindo para meu crescimento profissional. Por tudo isso, muito obrigada, Professora.

Às Professoras Dras. Edelci Nunes da Silva e Maria Tereza Pepe Razzolini pelos direcionamentos propiciados na banca de qualificação, pela abertura que ambas me ofereceram para tirar as dúvidas que surgissem no transcorrer da pesquisa e pela colaboração efetiva. Agradeço também por comporem a banca de defesa novamente, agora com a pesquisa finalizada.

Ao Professor Dr. Wanderley Paganini que, muito gentil, também foi solícito no decorrer da pesquisa, contribuindo com sua experiência em mananciais e tratamento de água e esgoto.

Ao Professor Dr. José Luiz Negrão Mucci que, em diversas ocasiões, sanou minhas dúvidas na área da limnologia e da microbiologia. Muito obrigada. Ao Professor Dr. Gizelton Pereira Alencar pela ajuda com questões de estatística e às pesquisadoras e as amigas Ivy Sá e Priscilla Ikefuti por me ajudarem a colocar em prática as análises.

Ao Químico Armando Flores, da Sabesp, pela gentileza em indicar o caminho dos dados necessários à pesquisa e me atender nos questionamentos decorrentes. E à Especialista de laboratório do IAG, Samantha Almeida, pela gentileza e cuidado com que sempre encaminhou os dados necessários durante a pesquisa.

À Profa. Vera Lúcia Antunes, que contribuiu para esta pesquisa em duas oportunidades: a primeira, abrindo-me as portas de uma das maiores instituições de ensino de São Paulo e a segunda, me apoiando no afastamento temporário da profissão de professora de geografia para me dedicar somente à de pesquisadora. Agradeço, Professora Vera.

Agradeço ainda aos professores que me ensinaram a desenvolver a pesquisa acadêmica durante minha graduação na FCT-UNESP, porque, sem seus ensinamentos,

este trabalho não teria sido realizado: Prof. Dr. Arthur Whitacker, Profa. Dra. Encarnita Martins (Profa. Tita) e Prof. Dr. João Lima Sant'Anna Neto.

Agradeço aos amigos e pesquisadores Denise Sant'Ana, Naiá Ortelan, Gabi Carvalho e Pedro Murara, aos colegas de laboratório e amigos, Luiz Gustavo Faccini e Samuel Luna Almeida, pela companhia, pelas conversas e pelos “*workshops*” de geoprocessamento. À Maria Aparecida de Oliveira e à Anne Dorothée Slovic, pela companhia, pelas trocas de ideias e pela amizade.

Agradeço ao Murilo, meu companheiro nesta jornada. Te agradeço por tantas coisas, mas, aqui, pelo apoio e pela paciência.

Agradeço à minha família, meus pais Daniel Oliver Scheitler e Silvia Lizarralde Pittamiglio e ao meu irmão Teófilo, por terem me apoiado sempre, em todas as etapas do processo de pesquisa. Desde a prova à defesa. Neste momento, agradeço-lhes por isso em especial.

Oliver, S. L. **A influência da variabilidade climática na qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e possíveis impactos à saúde.** São Paulo; 2013. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo].

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar se existe associação entre a qualidade da água para abastecimento público proveniente do Sistema Guarapiranga e o clima da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Realizou-se a análise dos dados meteorológicos adquiridos junto à Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) e dos resultados de análises laboratoriais da água do Reservatório Guarapiranga adquiridos junto à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). A partir da relação entre as variáveis observadas em gráficos e testes de associação/correlação, verificou-se a associação/correlação entre a densidade de cianobactérias e as variáveis meteorológicas na RMSP, tais como temperatura atmosférica (T°C), insolação (horas de brilho do sol) e precipitação (mm). Para analisar as interações e relações de cada uma das variáveis meteorológicas em relação à densidade de cianobactérias, foram feitos diferentes recortes de tempo. Todos os dados foram organizados em Planilhas Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013) e analisados em gráficos e testes estatísticos. Segundo os resultados deste estudo, a densidade de cianobactérias tem tendência a apresentar correlação positiva com os períodos de chuva e de temperaturas mais elevadas. As análises de dados climáticos dos últimos 42 anos, verificou-se que as condições climáticas ideais para a proliferação de cianobactérias no Reservatório Guarapiranga vêm se acentuando ao longo das últimas quatro décadas, particularmente nos últimos 20 anos. Conclui-se que há indicações de que a densidade de cianobactérias no Reservatório do Sistema Guarapiranga tenha relação temperaturas mais elevadas e pluviosidade e que a proliferação de cianobactérias pode aumentar caso se mantenha a tendência do clima.

Palavras-chave: Cianobactérias. Abastecimento de Água. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

This study has aimed to verify if there is a relation between the quality of the water in the Guarapiranga System (reservoir), as it is supplied to the inhabitants, and the climate in the São Paulo Metropolitan Area (RMSP). We have analyzed the data obtained from the Weather station of the Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences Institute at the University of São Paulo (IAG/USP), as well as the results of the reservoir water laboratory analysis, provided by the basic sanitation company in the State of São Paulo (SABESP). Cyanobacteria density and meteorological variables in the RMSP, such as atmospheric temperature (T^oC), insolation (daily solar irradiance) and precipitation (mm), were verified through association/correlation tests and graphics. To analyze the interaction and relation between cyanobacteria density and meteorological variables, we have resorted to different time spans. Data was organized in Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013) tables and graphics, and statistically analyzed. According to this study results, cyanobacteria density might be positively associated to periods of rainfall and high temperatures (October to March). Also, along with data analysis of climate throughout the last 42 years, we have observed that the ideal climate conditions for cyanobacteria proliferation in the Guarapiranga reservoir have been stressed in the last four decades, especially during the last 20 years. Therefore, frequency and intensity of cyanobacteria proliferation in the Guarapiranga reservoir may increase according to climate trend in the RMSP.

Keywords: Cyanobacteria, Water Supply, Climate Change

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue verificar si hay asociación entre la calidad del agua para abastecimiento público proveniente del Sistema Guarapiranga y el clima de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP). Fue realizado el análisis de los datos meteorológicos adquiridos junto a la Estación Meteorológica del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de São Paulo (IAG/USP) y de los resultados de análisis de laboratorio del agua de la Represa Guarapiranga adquiridos junto a la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (SABESP). A partir de la relación entre las variables a través de gráficos y test de asociación/correlación se verificó la asociación/correlación de la densidad de cianobacterias con variables meteorológicas en la RMSP, como temperatura atmosférica (T°C), Insolación (horas de brillo del sol) y Precipitación (mm). Para analizar las interacciones y relaciones entre cada una de las variables meteorológicas con la densidad de cianobacterias fueron hechos diferentes recortes de tiempo. Todos los datos fueron organizados en Planillas Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013) y analizados a través de gráficos y testes estadísticos. Según los resultados de este estudio, la densidad de cianobacterias tiene tendencia a presentar asociación positiva a los períodos de lluvia y de temperaturas elevadas (octubre a marzo) y, junto a los análisis de datos climáticos de los últimos cuarenta y dos años, se verificó que las condiciones climáticas ideales para la proliferación de cianobacterias en la Represa Guarapiranga se vienen acentuando a lo largo de las últimas cuatro décadas, particularmente en los últimos 20 años. Se puede concluir por lo tanto que la frecuencia e intensidad de las proliferaciones de cianobacterias en la Represa Guarapiranga pueden aumentar si la tendencia del clima de la RMSP se mantiene.

Descriptor: Cianobacterias, Abastecimiento de Agua, Cambio Climático

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	17
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	20
1.3 RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA	22
1.4 PROBLEMÁTICA.....	23
2. OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
3.1 CLIMA.....	25
3.2 ÁGUAS URBANAS E ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	29
3.2.1 Presença das cianobactérias em reservatórios	35
3.2.2 Cianobactérias no Brasil.....	37
3.2.3 Trihalometanos.....	38
3.2.4 Trihalometanos e consequências para a saúde	41
3.3 Abastecimento de água na RMSP	43
3.3.1 Cianobactérias na RMSP.....	46
3.3.2 Trihalometanos na RMSP	47
3.4 Níveis de concentração aceitos para a saúde.....	48
3.4.1 Níveis de concentração aceitos com relação às Cianobactérias	49
3.4.2 Níveis de concentração aceitos com relação aos trihalometanos	50
3.5 A influência do clima na proliferação das cianobactérias e, por consequência, na potencial formação de THMs.....	51
4. MATERIAIS E MÉTODO	54
4.1 Revisão Bibliográfica.....	54
4.2 Análises.....	55
4.2.1 Variáveis de qualidade da água utilizada:	57
4.2.2 Variáveis Meteorológicas utilizadas:	57

4.2.3	Importância das variáveis utilizadas.....	57
4.3	Métodos.....	58
4.3.1	Recorte semanal	58
4.3.2	Recorte por período seco e período chuvoso.....	59
4.3.3	Outros recortes de tempo.....	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1	Recorte semanal	61
5.2	Recorte por períodos chuvosos e secos	68
5.2.4	Diferença de resultados entre os pontos de coleta GU 101 e GU 104	81
5.3	Variabilidade Climática na RMSP	81
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Região Metropolitana de São Paulo e sua localização dentro do Estado de São Paulo.....	18
Figura 2: Sub-bacias da Bacia Alto Tietê.....	19
Figura 3: Escalas do Clima Urbano.....	24
Figura 4: Principais fontes de nutrientes e as principais consequências do processo de eutrofização artificial em ecossistemas aquáticos.....	31
Figura 5: Região Metropolitana de São Paulo com a delimitação das bacias hidrográficas da Guarapiranga e da Billings.....	42
Figura 6: Evolução do abastecimento de água e expansão da mancha urbana de São Paulo.....	43
Figura 7: Imagem de satélite que mostra a ocupação humana no entorno da represa Guarapiranga e em parte do Sistema Billings.....	44
Figura 8: Localização dos pontos de coleta GU 101 e GU 104 e da EM-IAG.....	54
Figura 9: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2010....	60
Figura 10: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2010..	61
Figura 11: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2011..	62
Figura 12: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2011..	63
Figura 13: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2012..	64
Figura 14: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2012..	65
Figura 15: Gráfico de precipitação de chuva acumulada por mês e insolação total acumulada por mês entre 2010 e 2012.....	67
Figura 16: Gráfico de pluviosidade com totais mensais entre 2010 e 2012.....	67
Figura 17: Gráfico comparativo do ponto de coleta GU 101 por períodos chuvosos (representados por “C”) e períodos secos (representados por “S”)	70
Figura 18: Gráfico comparativo do ponto de coleta GU 104 por períodos chuvosos (representados por “C”) e períodos secos (representados por “S”).....	71
Figura 19: Gráfico dos valores totais mensais de pluviosidade e de densidade de cianobactérias acumulados por mês, de 2010 a 2012 do ponto GU 101.....	72
Figura 20: Gráfico dos valores totais mensais de pluviosidade e de densidade de	

cianobactérias acumulados por mês, de 2010 a 2012 do ponto GU 104.....	73
Figura 21: Gráfico da média das médias de densidade de cianobactérias por períodos chuvosos e secos do ponto de coleta GU 101.....	73
Figura 22: Gráfico da média das médias de densidade de cianobactérias por períodos chuvosos e secos do ponto de coleta GU 104.....	74
Figura 23: Gráfico da precipitação anual 1970-2012 e linha de tendência.....	75
Figura 24: Desvio das temperaturas máximas anuais em relação à média das temperaturas máximas (°C).....	75

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Principais substâncias encontradas na água potável após o processo de cloração.....	43
Tabela 1: Padrões de qualidade da água de Classe 1.....	52
Tabela 2: Padrões de qualidade da água de Classe 2.....	53
Tabela 3: Padrões de qualidade da água de Classe 3.....	53
Tabela 4: As variáveis utilizadas para análise da pesquisa.....	60
Tabela 5: Classificação de anos com relação à pluviosidade.....	72
Tabela 6: Classificação com relação à pluviosidade.....	73
Tabela 7: Distribuição de meses que classificam períodos chuvosos e períodos secos.....	73
Tabela 8: Correlação- ponto de coleta GU 101, todos os anos.....	74
Tabela 9: Correlação- ponto de coleta GU 104, todos os anos.....	74
Tabela 10: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2010.....	75
Tabela 11: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2010.....	75
Tabela 12: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2011.....	75
Tabela 13: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2011.....	75
Tabela 14: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2012.....	76
Tabela 15: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2012.....	76
Tabela 16: Ponto de coleta GU 101 – ano 2010.....	76
Tabela 17: Ponto de coleta GU 104 – ano 2010.....	77
Tabela 18: Ponto de coleta GU 101 – ano 2011.....	77
Tabela 19: Ponto de coleta GU 104 – ano 2011.....	77
Tabela 20: Ponto de coleta GU 101 – ano 2012.....	77
Tabela 21: Ponto de coleta GU 104 – ano 2012.....	78
Tabela 22: Valores das variáveis utilizadas para análise no recorte de tempo por períodos secos e chuvosos.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

A.W.W.A. – *American Water Works Association*

BDCM – Bromodiclorometano

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBCM – Dibromoclorometano

EM-IAG/USP – Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

ENOS – La Niña, El Niño – Oscilação Sul

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETA ABV – Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

IAG/USP – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICR – Tipo de estirpe de camundongos

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISA – Instituto Socioambiental

N – Nitrogênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

P – Fósforo

PEFI – Parque Estadual das Fontes do Ipiranga

pH – Termo que expressa a intensidade da condição ácida ou básica de determinado meio, definido como o cologaritmo decimal da concentração efetiva dos íons de hidrogênio

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

TAM – Trihalometano¹

THM – Trihalometano

¹ As abreviaturas TAM e THM referem-se à mesma substância. Ambas são usadas ao longo deste texto.

UBL – *Urban Boundary Layer*

UNFPA – Fundo de População das Nações Unidas

USP – Universidade de São Paulo

VIGIÁGUA – Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano

WHO – *World Health Organization*

1. INTRODUÇÃO

A maioria da população mundial concentra-se em áreas urbanas – esta é também a realidade brasileira. Em 2008, a população urbana mundial ultrapassou a rural em números, segundo relatório da UNFPA², e cerca de 60% da população mundial ocupará áreas urbanas em 2030. No Brasil, após a Segunda Guerra Mundial, ocorreram um aumento demográfico significativo e o “inchaço” dos grandes centros urbanos (SANTOS, 1993).

A concentração urbana que se iniciou no Brasil nos anos 1950 chegou a reunir 67% da população brasileira em áreas urbanas já nos anos 1980. Em 2010, essa mesma parcela da população passaria a representar 84,35% da população nacional total, segundo o IBGE.³ A região Sudeste é a que concentra maior número de habitantes, com 40,28% da população brasileira. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é caracterizada pela conurbação contínua e orgânica de áreas pertencentes a 39 municípios, representando 3,4% do total do território do Estado de São Paulo, e concentrando 48,04% da população estadual.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é o principal polo econômico do país e uma das regiões de maior densidade demográfica do mundo (...). Estas características favorecem a geração de problemas ambientais sérios, como a contaminação dos mananciais de abastecimento de água potável (RICHTER *et al.*, 2007, p.1147).

Os processos desordenados de uso e ocupação do solo durante a urbanização espontânea do município de São Paulo levaram à ocupação de fundos de vale, várzeas de rios, à impermeabilização de grandes extensões de solo e à eliminação de matas ciliares. Isso acarretou forte impacto ambiental que, somado à queima de combustíveis fósseis em grande escala, exerceu influência sobre as variáveis atmosféricas, interferindo no clima local que passou a caracterizar o clima urbano de São Paulo.

Para Marengo (2008), as principais conclusões de estudos realizados pelo IPCC⁴ sugerem que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos é causado pelas atividades humanas. Segundo Monteiro,

² *United Nations Population Fund*. Em português, corresponde a Fundo de População das Nações Unidas.

³ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

⁴ *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Em português, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

Uma das características das grandes aglomerações humanas é que as condições climáticas de uma área urbana são significativamente diferentes daquelas encontradas nas zonas rurais circundantes. A essas alterações que consideram o espaço físico natural e a cidade como um fato social, denominou-se clima urbano (MONTEIRO in RIBEIRO *et al*, 2011, p.71).

A produção do espaço urbano alterou de modo expressivo as características climáticas locais. Pesquisas recentes admitem o fato de que, nas cidades, convive-se com o que se denominou clima urbano (LOMBARDO, 1985; SILVA, 2007; PEREIRA FILHO *et al*, 2007; MONTEIRO, 2009; NOBRE *et al*, 2010). Poluição do ar, ilha de calor, inundações no espaço urbano, dentre outras formas, assumem destaque, refletindo peculiaridades do clima da cidade (MONTEIRO, 2003).

Os estudos sobre o clima urbano se intensificaram a partir da década de 1970, em razão dos problemas ambientais que se avolumavam nas grandes cidades, em seu processo acelerado de urbanização (SILVA, 2010). Produziram-se várias análises no Município de São Paulo, tais como “Os Climas Naturais” e “Os Climas Urbanos”, de Tarifa e Armani (2000), o estudo dos ambientes atmosféricos intraurbanos e possíveis correlações com doenças respiratórias e circulatórias, de Silva (2010), além de outros envolvendo ilha de calor e poluição do ar e suas repercussões na saúde humana, estudos de Ribeiro (1996; 1988). Pereira Filho (2007) observa que a rápida expansão horizontal da Região Metropolitana de São Paulo até a década de 1960 resultou no aumento da temperatura do ar. Outro ponto destacado na mesma pesquisa é a alteração na distribuição diária de chuvas, notadamente no período chuvoso. Essa irregularidade leva a precipitações e tempestades que, devido à ilha de calor, tornam-se mais intensas na malha urbana (LOMBARDO, 1985).

Segundo estudo de Alves Filho (in RIBEIRO *et al*, 2010) a respeito de situações de caos provocadas por episódios de chuva na área conurbada de São Paulo, alguns arranjos especiais foram sempre observados, como a formação de núcleos convectivos persistentes sobre o centro da metrópole. Para o autor, na maioria dos episódios, houve maior concentração pluvial sobre a cidade de São Paulo, principalmente em situações de chuvas convectivas. Em alguns casos, elas só ocorreram nos bairros centrais.

Há uma relação estreita entre a configuração espacial dos núcleos de chuvas e a entrada das brisas, sendo que o ingresso de umidade posterior ao período de máximo aquecimento da atmosfera esteve associado às chuvas convectivas mais intensas (RIBEIRO *et al*, 2010, p 78).

A infiltração da chuva precipitada não ocorre com a mesma intensidade ao longo de toda a zona de contato entre a encosta serrana e a metrópole. O local preferencial para infiltração são os espelhos d'água das represas dos sistemas Billings e Guarapiranga, no sul da cidade de São Paulo (RIBEIRO *et al*, 2011). Essas represas fazem parte do grande sistema de abastecimento de água da metrópole de São Paulo, o qual conta com mais seis sistemas, totalizando oito, que dão conta de abastecer de água tratada toda a RMSP, além de outras cidades menores próximas.

Segundo Whately e Cunha (2006), em 2006, os mananciais já abrigavam mais de 10% da área urbanizada e 18% das áreas de favela de toda a Região Metropolitana, somando uma população de mais de 1,6 milhão de pessoas. A configuração urbana e a maneira como a malha urbana se expandiu em direção aos mananciais comprometem a qualidade da água, trazendo problemas tanto em sua condição bruta como na água já tratada, sobrepondo especialmente os problemas de poluição antrópica às alterações climáticas presentes na região, como é comum em localidades densamente povoadas.

Silva (2008) destaca que, como consequências desta sobreposição de fatores, podem surgir na água tratada características associadas à presença de microalgas, cianobactérias e seus produtos extracelulares: sabor e odor, formação de trihalometanos (THM) e corrosão de unidades do sistema de abastecimento. Neste contexto, na água bruta, é comum que surjam florações de cianobactérias, que se acentuam de acordo com a disponibilidade de fósforo e nitrogênio, provenientes principalmente da poluição aquática. Esteves e Suzuki (2011) ressaltam que o incremento nas florações de cianobactérias em muitos ecossistemas aquáticos continentais ao redor do mundo têm se associado a mudanças climáticas, dentre elas o aquecimento global.

Florações ou *blooms* (em inglês) das cianobactérias, estes fitoplânctons que são produtores potenciais de toxinas aumentam a quantidade de matéria orgânica na água do manancial. Esta matéria, combinada ao cloro utilizado nas estações de tratamento de água, pode gerar ainda outra toxina: os trihalometanos, que são subprodutos da cloração da água rica em matéria orgânica. Ambos cianotoxinas e trihalometanos são prejudiciais à saúde humana, constituindo um problema de saúde pública.

Em países em desenvolvimento, as alterações climáticas constituem um importante problema de saúde pública. A investigação de associações entre os elementos climáticos sobre a Região Metropolitana de São Paulo – especialmente o regime de chuvas e alterações na temperatura atmosférica – e a proliferação de cianobactérias e morbidades relacionadas a estas algas e aos trihalometanos é de suma

importância para entender melhor a influência do clima urbano na saúde da população local. Tais estudos devem subsidiar a previsão de impactos à saúde decorrentes das mudanças climáticas globais, uma vez que os prognósticos do IPCC indicam aumento na frequência de episódios climáticos extremos e de variações temporais e espaciais nas características climáticas (RIBEIRO *et al*, 2011).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São Paulo – cortada pelo trópico de Capricórnio e situada 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 – configura, através destas características, uma realidade climática de transição entre os Climas Tropicais úmidos de altitude, com período seco definido, e Climas Subtropicais permanentemente úmidos, típicos do Brasil Meridional. Devido a sua localização nessa transição zonal, a região da Grande São Paulo se distingue pela alternância entre os dois tipos de clima, delineando uma estação quente e úmida no verão, e outra fria e seca no inverno. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, São Paulo tem clima Subtropical Cwa⁵.

⁵ Clima Subtropical Cwa – refere-se a regiões com clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, conforme classificação proposta pelos cientistas Köppen e Geiger, baseada no conceito de que a vegetação nativa é a melhor expressão do clima.



Figura 1: Região Metropolitana de São Paulo e sua localização dentro do Estado de São Paulo.
Fonte: <<http://www.cidadespaulistas.com.br/prt/cnt/00-rmsp.htm>>. Acesso em 10/02/2012.

Nota-se na **Figura 1** a Região Metropolitana de São Paulo com destaque para a capital do Estado, ao centro, num tom de azul mais claro. Ao sul, a cidade encontra limite na Serra do Mar e a oeste, norte e leste, é circundada pelos 39 municípios que constituem, em conjunto com ela, a Região Metropolitana de São Paulo, conurbada numa mancha de 7.497,3 km². Dos 20.820.093 de habitantes da Região, mais da metade reside somente da cidade de São Paulo, com seus 11.376.685 habitantes, segundo o censo 2010 (IBGE, 2013).

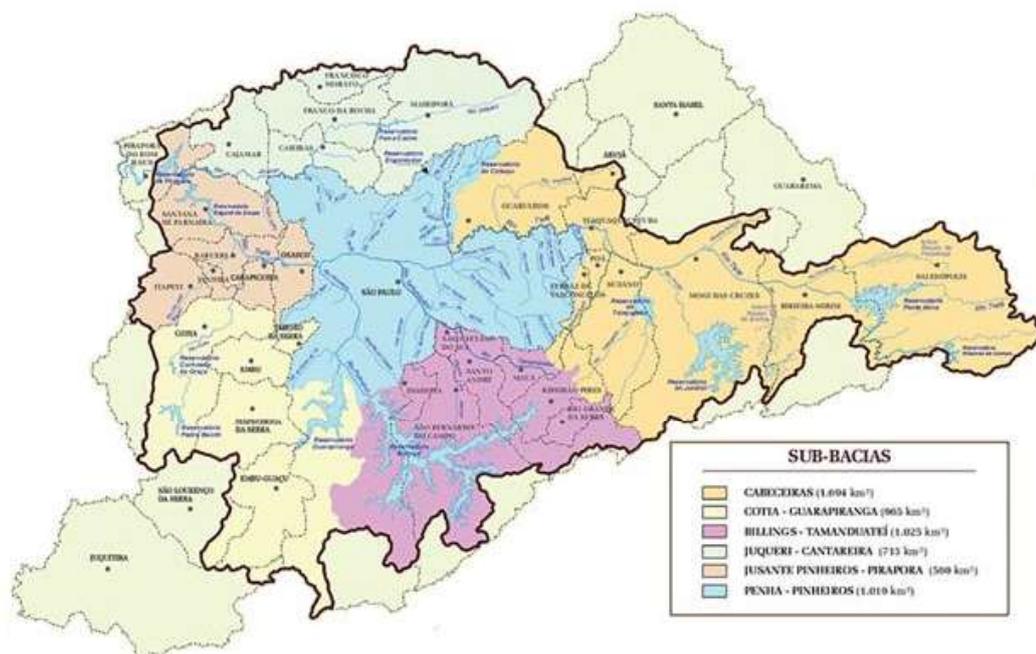


Figura 2: Sub-bacias da Bacia Alto Tietê

Fonte: PDMAT3. Disponível em <<http://www.pdmat3.com.br/Mapa/1139>>. Acesso em 23/02/2013

Devido à própria história de ocupação e crescimento, o sítio urbano de São Paulo coincide com a Bacia do Alto Tietê.

A **Figura 2** evidencia a mancha urbana da RMSP com a divisão política de municípios e, em destaque, o contorno da Bacia Alto Tietê subdividida em seis sub-bacias. No centro do mapa, em azul, está a sub-bacia Penha–Pinheiros; ao norte, em azul mais claro a sub-bacia Juqueri–Cantareira; a noroeste, em tom alaranjado, a sub-bacia Jusante Pinheiros–Pirapora; e a sudoeste, a sub-bacia Cotia–Guarapiranga. Ao sul e a leste, veem-se respectivamente as sub-bacias Billings–Tamanduateí e Cabeceiras.

1.3 RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA

Na **Figura 2**, o grande espelho d’água retratado na sub-bacia Cotia–Guarapiranga corresponde à Represa ou Reservatório Guarapiranga. Localizada na porção sudoeste da RMSP, nas proximidades da Serra do Mar, a Guarapiranga é formada pelos rios Embu-Mirim, Embu-Guaçu, Santa Rita, Vermelho, Ribeirão Itaim, Capivari e Parelheiros. Junto com a represa Billings, ela alimenta o segundo maior sistema de abastecimento da RMSP, que produz 14 mil litros de água por segundo e

abastece 3,7 milhões de pessoas das Zonas Sul e Sudoeste da Capital (SABESP⁶, 2013), o que equivale a cerca de 18% da população da RMSP. É também o mais ameaçado dos mananciais que abastecem a Região.

O Reservatório foi construído pela Companhia Light & Power no começo do século XX, com a finalidade de gerar energia elétrica; foi feito pelo represamento do Rio Guarapiranga e os afluentes mencionados, além de outros menos caudais. O perímetro do lago que se formou pelo represamento era de 85 quilômetros e inundou uma área de 34 km² (3.400 hectares) segundo a SOS Guarapiranga, organização não-governamental que visa à preservação ambiental e ecológica da represa.

A drenagem é dendrítica, estreita e alongada, formada na base da bacia de drenagem e no vale de rios (MARTONE *et al*, 1998) favorecendo a ação e ocupação antrópica.

1.4 PROBLEMÁTICA

O Reservatório é um sistema lântico, de água represada. Por natureza, ele é raso e favorece o acúmulo de poluentes. Sua profundidade máxima é de 13 metros, com média entre 6 e 8 metros, segundo dados fornecidos pela Sabesp (2013). Estes fatores contribuem para a proliferação sazonal do fitoplâncton – cianobactéria que é potencial produtor de toxinas, as cianotoxinas, prejudiciais à saúde animal e humana. As cianotoxinas são um risco para a saúde pública. Uma vez presentes em altas quantidades em um manancial, além de produzir toxinas, elas colaboram para o aumento na quantidade de matéria orgânica no ambiente aquático, o que também gera risco para a saúde da população consumidora da água tratada que provém daquele manancial. A matéria orgânica em contato com o cloro, muito utilizado na desinfecção de águas para consumo, pode gerar subprodutos, entre eles os trihalometanos, que são prejudiciais à saúde e potencialmente carcinogênicos.

⁶ Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar se existe associação entre a qualidade da água para abastecimento público que provém do Sistema Guarapiranga e o clima da RMSP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar dados adquiridos junto à Estação Meteorológica do IAG/USP⁷.
- Verificar resultados de análises laboratoriais da água do Reservatório Guarapiranga obtidos da Sabesp.
- Observar a relação entre as variáveis através de gráficos e testes de associação.
- Verificar se existe associação/correlação entre o número de cianobactérias e as variáveis do tempo na RMSP, tais como temperatura atmosférica (T°C), insolação (horas de brilho do sol) e precipitação (mm).
- Verificar se existe associação/correlação entre florações⁸ de cianobactérias e eventos específicos de temperatura atmosférica (T°C), insolação (horas de brilho do sol) e precipitação (mm), incluindo tempo de defasagem (lags).

⁷ Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

⁸ Correspondente a *blooms*, em inglês

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 CLIMA

A climatologia clássica entende clima como um conjunto de fenômenos e fatores meteorológicos que caracterizam o estado habitual da atmosfera em determinado local da superfície do planeta. Baseado nos estudos de Sorre (1951), Monteiro (1971) reflete que a climatologia geográfica passa a aceitar como definição de clima o conjunto da série de estados da atmosfera na forma encadeada e sucessiva de tipos de tempo. Esta definição admite que os estados atmosféricos variam com o tempo cronológico, definindo um ritmo. Então, o tempo no clima difere do tempo cronológico – o primeiro “tempo” se refere ao estado da atmosfera em seu conjunto de variáveis meteorológicas naquele momento e pode ser confundido com o segundo “tempo”, o cronológico, que Monteiro (1971) usou em sua metodologia de análise rítmica como recorte para estudar o clima. Sendo assim, a análise da sucessão de tipos de tempo climático recortados em espaços de tempo cronológico (diário, por exemplo) caracteriza a análise rítmica – metodologia de Monteiro – muito utilizada nos estudos de clima contemporâneos.

A análise rítmica do tempo entende o clima como um fenômeno dinâmico e, em complemento à climatologia clássica, endossa a climatologia dinâmica, que ganhou força a partir dos estudos de Sorre (1951) e explica o clima através das flutuações dos elementos climáticos que atuam de maneira interdependente (MONTEIRO, 1971).

Os elementos climáticos, como temperatura atmosférica, precipitação de chuva, umidade e pressão atmosférica, variam de acordo com a localidade observada. Tanto a morfologia geográfica como a configuração da produção do espaço pelo ser humano interferem nos estados do tempo e, portanto, no clima atmosférico sobre o lugar. Sabe-se que a altitude, a densidade vegetal, a hidrografia e mesmo o adensamento populacional urbano e construtivo interferem na flutuação dos estados de tempo climático em determinado local. A temperatura atmosférica de áreas rurais, por exemplo, demonstra ser menor que em centros urbanos (LOMBARDO, 1985), e estudos

recentes demonstram que dentre as ilhas de calor formadas dentro do sítio urbano de São Paulo, a diferença de temperatura pode chegar a até 10°C (MARENGO, 2013).

Sendo as características de centros urbanos comuns neste tipo de configuração, Lombardo (1985) definiu a ilha de calor através de seu estudo da metrópole de São Paulo. Segundo a autora,

A ilha de calor configura-se como fenômeno que associa os condicionantes derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos. (LOMBARDO, 1985, p.77)

Monteiro (2009) descreve o clima urbano como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, embora o autor reforce que evita a colocação do fato clima urbano em termos definidos, uma vez que não há preocupação em precisar grau de urbanização ou características geoecológicas locais para caracterizar o clima urbano, senão em relação ao próprio espaço atmosférico da urbe. O autor defende que, por razões óbvias, “as *unidades* espaciais do clima estão muito ligadas às unidades geomorfológicas”.

Assim, centralizado na percepção humana, através de expressão ecológica, o clima se posiciona no espaço concreto, tridimensional da superfície terrestre através daquilo que lhe constitui o arcabouço – as formas do terreno. (MONTEIRO, 2009, p. 27)

Na análise do clima urbano há, portanto, uma necessidade de organização geográfica do clima que gerou categorias taxonômicas como a mesoescala, que delimita a área de uma metrópole; a escala local, que delimita, por exemplo, um bairro; e a menor unidade, a microescala ou microclima, que representa o espaço de um edifício entre casas ou de uma árvore. Neste estudo, foi considerada a escala superior, a Mesoescala, que abrange horizontalmente dezenas de quilômetros de extensão. A escala vertical é a *Urban Boundary Layer* – UBL, como indicado na **Figura 3** – a camada limite da atmosfera que envolve a cidade.

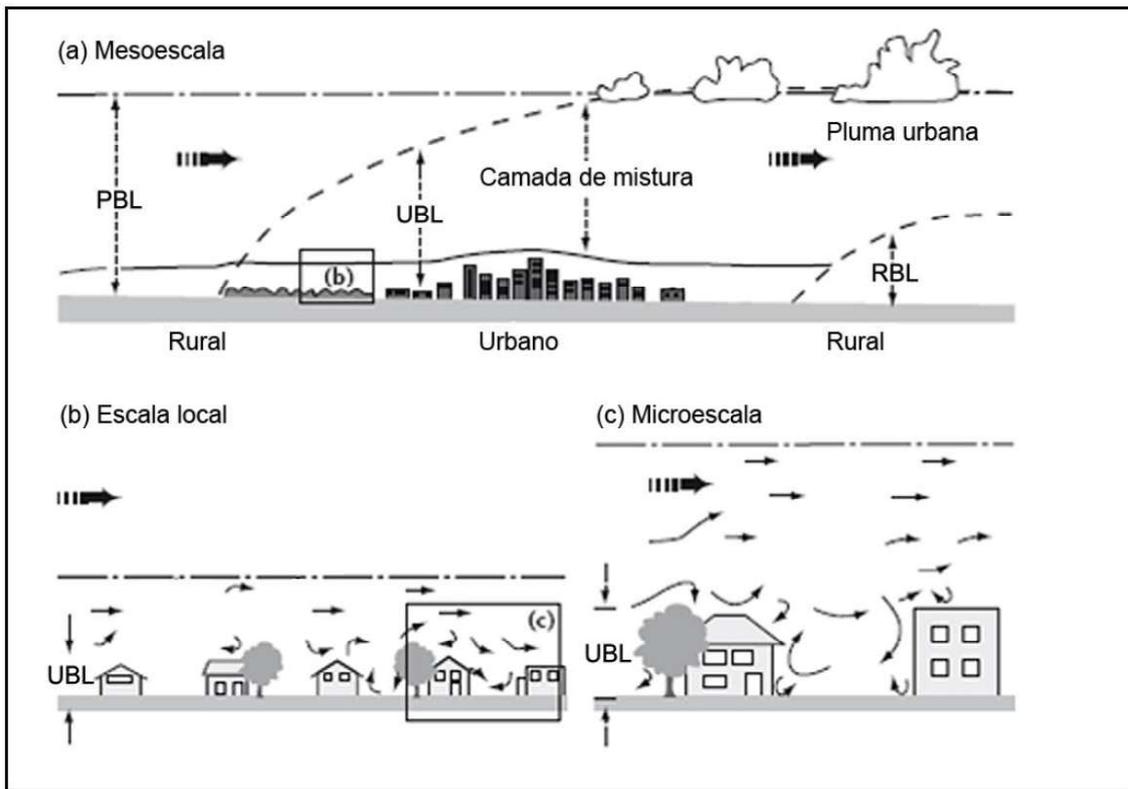


Figura 3: Escalas do Clima Urbano.

Fonte: Adaptado por Silva (2010, p.31) do original WMO (2008).

Tarifa e Armani (2001), em “Os Climas Naturais”, discutem as principais diferenças climáticas existentes no território do Município de São Paulo. Nesse trabalho, os autores identificaram cinco climas locais e diversas subunidades em diferentes hierarquias, denominadas unidades locais, meso e topo climáticas. A configuração do sítio original da cidade, sob áreas e feições produzidas pela ocupação humana, contribui para a diferença zonal de climas dentro do município, em razão da área topograficamente extensa e variada que ocupa. Entretanto, os autores esclarecem que as interferências do espaço produzido pelo homem não podem ser totalmente desconsideradas. Há momentos ou durações em que “ritmos dos ciclones extratropicais ou das brisas oceânicas” são dominantes, mas há outros em que os “fenômenos e os ritmos urbanos” se impõem (TARIFA; ARMANI, 2001).

O estudo encabeçado por Pereira Filho *et al* (2007) observou que as temperaturas mínimas absolutas da Região Metropolitana de São Paulo têm aumentado. E que, ao longo das últimas sete décadas, houve mudanças significativas no ciclo anual de variáveis, tais como temperatura atmosférica, precipitação, insolação e umidade relativa do ar. Os resultados do estudo evidenciam que houve mudanças climáticas na

RMSP, com aumento da temperatura e precipitação, e diminuição da umidade relativa. Destacam-se, entre as variáveis, as mudanças nas precipitações médias diárias, principalmente no período chuvoso. Outro estudo, de Marengo (2013), demonstra que aumentaram tanto a quantidade de precipitação anual de chuvas como também os eventos de chuvas intensas .

Pereira Filho *et al* (2007) sugerem que as alterações mencionadas dizem respeito ao aumento horizontal e vertical da malha urbana e indicam um aumento de temperatura de 1,0°C acima da estimativa global, o que denota um aumento local e mais significativo de temperatura, que contribuiu para as mudanças climáticas observadas na RMSP. Mas ressalta que “há fatores de mudança associados a transientes globais e outros associados com mudanças locais de origem antrópica” (ibid.).

As mudanças climáticas decorrentes da ação antropogênica no ambiente urbano interferem no ciclo hidrológico, no aumento da temperatura (ilhas de calor que se sobrepõem à cidade), aceleram a evapotranspiração e a retirada de água do lençol freático e formam nuvens pesadas que, segundo Primavesi *et al* (2007), podem ter dois destinos. O primeiro: precipitação torrencial, mais intensa do que permite a capacidade de infiltração do solo, fazendo a água escoar rapidamente para fora da bacia hidrográfica e tornar-se escassa no período sem chuvas. O segundo destino: a formação de pequenas gotas em decorrência de micropartículas de carvão presentes na fumaça; essas gotas podem ser levadas para fora da área de mata ciliar dos cursos d’água presentes no município. É correto afirmar que a deterioração dos cursos d’água está vinculada ao acelerado crescimento populacional e ao alto grau de urbanização das últimas décadas (MAYER, 1998).

El cambio climático acarrea riesgos directos e indirectos para la salud humana. Entre ellos se pueden subrayar: riesgos derivados de condiciones meteorológicas extremas (como el calor y frío extremos, tormentas, inundaciones e incendios naturales provocados por la sequía) (PATZ; CHRISTENSON, 2010, p.217)

A influência das mudanças climáticas na saúde é ainda mais forte em ambientes urbanos. Patz e Christenson (2010) atestam que as doenças mais sensíveis à influência das mudanças climáticas são aquelas transmitidas pela água e pelos alimentos, assim como as doenças de transmissão vetorial. Para Patz (2005), as doenças transmitidas pela água são particularmente sensíveis às mudanças no ciclo hidrológico.

Sendo a climatologia geográfica o estudo da sucessão dos estados médios de tempo da atmosfera em determinada região geográfica, a biometeorologia e a

bioclimatologia consistem num ramo do conhecimento da meteorologia e da climatologia e, portanto, têm enfoques diferentes. Segundo Silva (2007), em 1956, a Sociedade Internacional de Biometeorologia definiu seu tema central como o “estudo direto e indireto das inter-relações entre o ambiente geofísico e geoquímico da atmosfera e os organismos vivos – plantas, animais e o homem” (Sociedade Internacional de Biometeorologia 1956 apud SILVA 2007, p 49).

Nesta pesquisa, estudou-se a relação entre o clima urbano da Grande São Paulo e as florações de cianobactérias: fitoplânctons potencialmente produtores de toxinas prejudiciais à saúde animal e humana.

3.2 ÁGUAS URBANAS E ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Os índices médios nacionais de atendimento para fornecimento de água e coleta de esgoto da população total, somando-se a urbana e a rural, identificados pelo SNIS⁹ foram de 81,7% para abastecimento de água e de 44,5% para coleta de esgotos em 2009. Considerando somente a população urbana, os dados apontam um índice médio nacional de 95,2% de abastecimento de água e de 52,0% de coleta de esgotos.

Em grandes cidades, é comum importar água de outras bacias hidrográficas para o abastecimento local. Esta água, que entra pela rede de abastecimento, sai pela rede de esgoto, atingindo os rios e provocando aumento no volume de água escoada (RIBEIRO *et al*, 2011). O aumento do calor provoca uma tendência de movimento dos ventos, da periferia da área urbana para a região central, com a formação de uma ou mais células de convecção, causando maior formação de nuvens e elevando o total de precipitações (NISHIZAWA; DREW in RIBEIRO *et al*, 2011). Além disso, pode favorecer a criação de vetores de doenças de veiculação hídrica.

La lluvia adicional puede aumentar el hábitat larval y el tamaño de la población de vectores al crear un nuevo hábitat.[...] La falta de lluvia puede hacer con que se críen más mosquitos en contenedores al forzar el almacenamiento de agua. (PATZ, 2010, p.277)

Assim, a variação na intensidade do regime de chuvas pode representar riscos à saúde da população. Nos períodos pós-chuvas torrenciais, as patologias de veiculação

⁹ Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

hídrica têm maior disseminação. As águas que chegam às bacias urbanas, depois de chuvas torrenciais, vêm intensamente contaminadas com lixo e sujeiras presentes nas ruas da cidade. Além disso, misturam-se frequentemente com o sistema de saneamento e coleta de esgoto, devido ao grande volume de água que passa pelas vias em um espaço curto de tempo, fazendo com que o sistema de drenagem seja insuficiente.

Os agentes biológicos mais frequentemente encontrados em águas contaminadas são bactérias patogênicas, responsáveis pelos casos de enterites, diarreias e doenças epidêmicas, como a febre tifoide e o cólera. Outro exemplo é a bactéria *Leptospira*, responsável pelo aparecimento da Leptospirose em animais e homens (JULIÃO, 2003).

Os vírus encontrados nas águas contaminadas por dejetos humanos podem provocar a poliomielite e a hepatite infecciosa. A água contaminada também costuma conter parasitas, que podem vir a ser ingeridos através dela; entre eles, destaca-se a *Entamoeba histolytica*, causadora da amebíase, em alguns casos com complicações hepáticas. Alguns insetos vetores como o *Aedes Aegypti*, vetor da dengue, por exemplo, utilizam a água como meio de proliferação.

Assim, vale salientar os três fatores considerados como importantes indicadores para a avaliação das vulnerabilidades socioambientais nas cidades: habitação, saneamento e doenças de veiculação hídrica, sendo este último um produto dos dois anteriores (PASCOALINO, 2009).

Primavesi *et al* (2007) afirmam que os impactos ambientais e interferências no ciclo hidrológico urbano acarretam: atraso no período das chuvas; maior número e maior intensidade de veranicos no período das chuvas (chuvas frontais menos duradouras, em consequência da menor permanência das frentes frias); chuvas tropicais (convectivas) mais intensas, causadas por massas de ar mais quentes e mais saturadas de água, o que resulta em maior escoamento de água, em mais enchentes e em maior poder erosivo das chuvas, embora o volume de chuvas anuais possa ser o mesmo; redução da reposição de água ao lençol freático; períodos de seca maiores e, intensificação dos processos de assoreamento, de contaminação dos corpos de água e de eutrofização das águas, maior risco de aparecimento de fitoplânctons, tais como cianobactérias, que podem liberar toxinas por ocasião do tratamento dessas águas.

A constante degradação ambiental em bacias hidrográficas de intensa ocupação antrópica tem alterado significativamente a qualidade dos corpos d'água predominantemente utilizados para abastecimento público, irrigação e recreação. Condições favoráveis de temperatura, pH, concentração de nutrientes — especialmente nitrogênio e fósforo — e estabilidade da coluna d'água propiciam a eutrofização desses corpos d'água, ou seja, causam a

proliferação demasiada de algas, fenômeno conhecido como florações ou *blooms* (SALVO; ISAAC, 2002, p.1).

Segundo Vidotti e Rollemberg (2003), as algas são diretamente afetadas pelos efluentes químicos ou domésticos que tenham como nutrientes principais o Nitrogênio (N) e o Fósforo (P). Quando há excesso desses nutrientes, ocorre o rápido crescimento da população – condição que indica deterioração na qualidade da água. De acordo com a sazonalidade, existe maior ou menor proliferação das algas azuis.

A Resolução nº357 de 2005 do CONAMA¹⁰ define as cianobactérias como:

(...) micro-organismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis) capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde.

As cianobactérias ou cianofíceas já foram chamadas de algas azuis, mas recentemente foram reclassificadas, estabelecendo uma divisão dentro da classificação típica de bactérias (NASCIMENTO, 2010). Antes dessa reclassificação, também eram chamadas de *Cyanophyceae*, *cyanophyta*, *Cyanoprokaryota*, *Cyanochloronta*, *Cyanophycophyta*, algas azuis ou algas verde-azuladas, segundo Melcher (2008) citado por Nascimento (2010), e representam os mais antigos organismos oxifotoautotróficos, figurando entre os primeiros organismos no planeta Terra. É possível, inclusive, que as cianobactérias tenham desempenhado um notável papel na evolução da vida na Terra.

Por serem seres autótrofos (que produzem seu próprio alimento), as cianobactérias habitam vários ambientes, desde que haja umidade, e atuam como “espécies pioneiras”, por sua pequena exigência nutricional, capacidade de realizar fotossíntese e aproveitar o nitrogênio atmosférico (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2003). Algumas espécies são ainda mixotróficas (assimilam compostos orgânicos), podendo viver em partes profundas de lagos, mesmo na ausência de luz. O grupo das cianobactérias possui 150 gêneros e cerca de 2000 espécies, cuja maioria é de água doce. Dentre as cianobactérias formadoras de floração, destacam-se os gêneros: *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Microcystis* e *Gloeotrichia*, sendo a *Microcystis aeruginosa* e espécies de *Anabaena* – as mais frequentes em águas brasileiras (ESTEVES; SUZUKI, 2011).

¹⁰ Conselho Nacional do Meio Ambiente

Ainda segundo Esteves e Suzuki (2011), cianobactérias são amplamente conhecidas por seu potencial para produzir cianotoxinas. Segundo o Manual de Cianobactérias Planctônicas da Cetesb, elaborado por Carvalho *et al* (2013), vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações são citados na literatura como potenciais produtores de toxinas altamente potentes.

Dependendo do tipo de toxina, pode ocorrer uma intoxicação mais lenta, como aquelas provocadas por microcistinas, nodularinas e cilindrospermopsinas (hepatotoxinas), que são as mais comuns e podem provocar a morte de animais em poucas horas ou em poucos dias, em decorrência de hemorragia hepática e choque hipovolêmico. Mas também há a intoxicação por anatoxina, anatoxina-a(s) e saxitoxinas (neurotoxinas) que provocam a rápida morte de animais por parada respiratória (ESTEVES; SUZUKI, 2011).

As cianotoxinas podem ser neurotóxicas, hepatotóxicas ou dermatotóxicas. A maioria corresponde a endotoxinas, pois somente são liberadas para o meio externo por rompimento da parede celular, o que acontece por senescência das células ou sob a ação de algicidas, como o sulfato de cobre. (CETESB, 2013, p. 18)

Embora as cianobactérias possuam uma série de características que lhes permitem dominar os ambientes lacustres eutróficos em condições naturais, as cianobactérias convivem de forma equilibrada com os demais organismos presentes em lagos e reservatórios, sendo rara a dominância de uma espécie sobre as demais. Porém, aumentos na carga de nutrientes no corpo d'água podem resultar no processo de eutrofização e favorecer a dominância de cianobactérias (DEBREDT, 2002). As florações de cianobactérias normalmente ocupam as camadas superiores da coluna d'água, devido à sua capacidade de flutuação (possuem vacúolos gasosos). Portanto, em casos de florações, normalmente impedem o desenvolvimento de outras algas por sombreamento e minimizando a competição por recursos (ESTEVES; SUZUKI, 2011).

É bastante frequente a presença de cianofíceas em ambientes eutróficos, como lagos e represas urbanas. Muitos destes ambientes fazem parte dos sistemas de abastecimento de água para a população residente nas cidades e municípios, como é o caso da RMSP, que tem partes de seus corpos d'água compreendidas pelo sistema de abastecimento da região e que, devido ao crescimento desordenado da metrópole, têm parte de suas margens ocupadas de maneira irregular pela população. Favelas sem

abastecimento de água e esgoto são frequentes nas margens das represas do sistema de abastecimento Guarapiranga–Billings.

Muitos rios e reservatórios encontram-se comprometidos devido ao período em que vêm sendo utilizados como destino e transporte de efluentes antropogênicos. Este é um problema recorrente em regiões metropolitanas (DEBREDT, 2002).

O enriquecimento artificial dos ecossistemas aquáticos, conhecido como eutrofização, é feito por nutrientes como nitrogênio e fósforo provenientes da utilização de fertilizantes na agricultura, da descarga de esgotos industriais e domésticos sem tratamento adequado, destruição da mata ciliar dos mananciais, alta taxa de urbanização e falta de saneamento básico (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011; CETESB, 2013).

Segundo Esteves e Meirelles-Pereira (2011), os fatores relacionados à eutrofização artificial das águas na liberação de nutrientes são principalmente os fosfatos e o nitrogênio, que são compostos estimuladores da Eutrofização. Os autores ressaltam a existência de várias fontes artificiais de fósforo e nitrogênio para os ecossistemas aquáticos. Destacam-se: esgoto doméstico, efluentes industriais e agropastoris como fontes de nutrientes. A **Figura 4** apresenta um esquema ilustrativo de como acontece a eutrofização artificial e suas consequências.

A eutrofização é um processo natural que pode ocorrer em qualquer sistema, mas que tem se acelerado nos últimos anos devido às ações antropogênicas. A ocorrência de florescimentos de cianobactérias em reservatórios eutrofizados tem se tornado um problema mundial (FONSECA *et al*, 2010). A proliferação de cianobactérias costuma ser referida na literatura como floração ou proliferação de algas. Outros autores também identificam as florações como *blooms*.

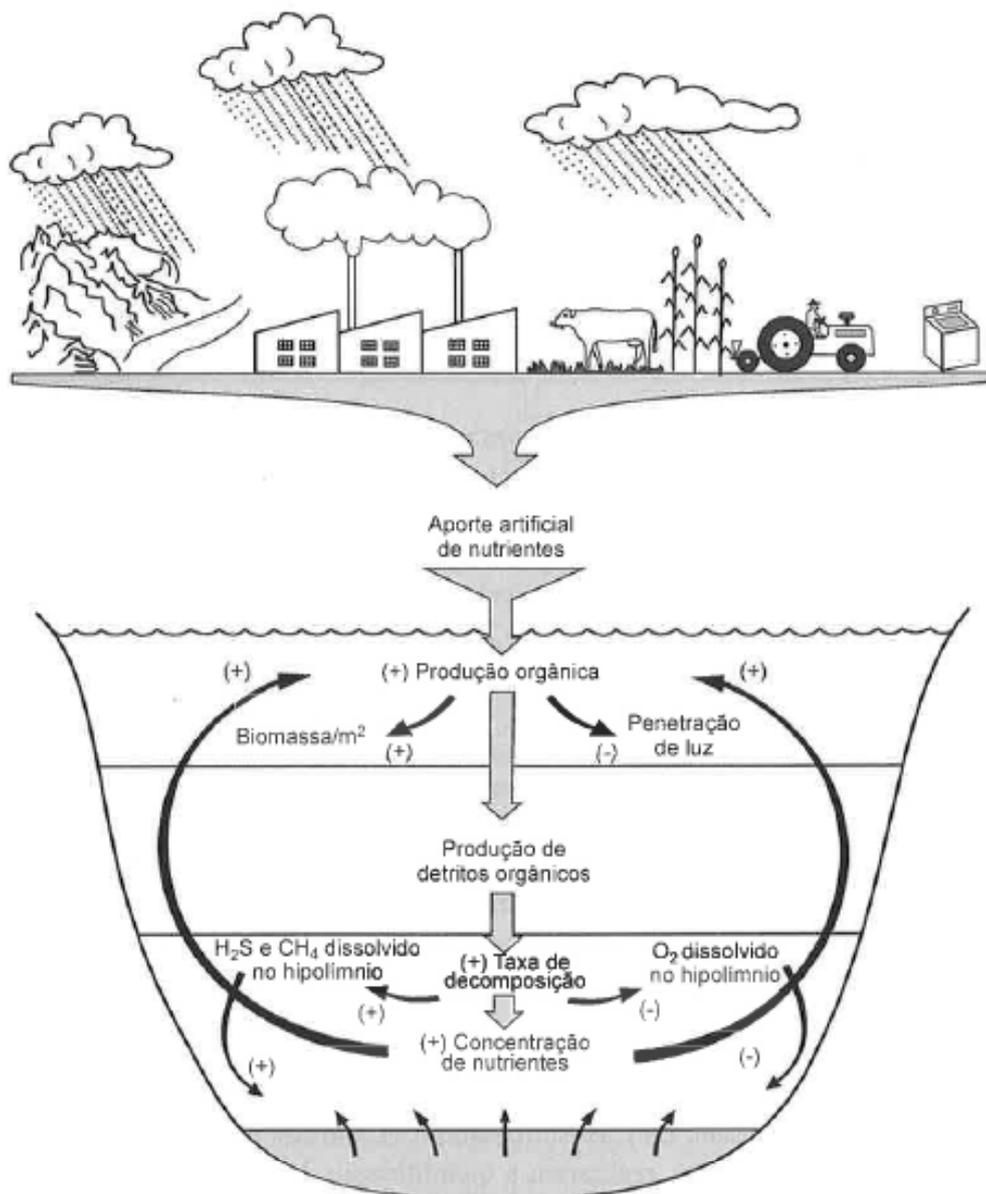


Figura 4: Principais fontes de nutrientes e as principais consequências do processo de eutrofização artificial em ecossistemas aquáticos.

Fonte: Esteves e Meirelles-Pereira (2011), cap.27- Eutrofização Artificial, p.627

A precipitação pluviométrica também pode ser considerada uma fonte de nutrientes, ao contrário das anteriores, que são fontes de nutrientes artificiais. A chuva é uma importante fonte natural de fosfato (versão inorgânica do fósforo) e de nitrogênio. Segundo Esteves e Meirelles-Pereira (2011), estas têm maior importância como fontes de nutrientes em regiões de intensa poluição atmosférica, sendo que regiões industriais podem apresentar valores médios de fosfato mais elevados. “Lagos localizados próximos a rodovias podem receber aporte adicional de fosfato e nitrogênio, devido ao tráfego de veículos, principalmente nos períodos de chuva” (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011, p. 631).

A eutrofização dos mananciais da RMSP sofre, portanto, influência tanto pela poluição hídrica, através de efluentes contaminados, como pela poluição atmosférica, através das chuvas.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o processo de eutrofização tem sido reconhecidamente um problema de poluição em muitos lagos e reservatórios, da Europa e da América do Norte, desde o meio do século XX. Desde então, a eutrofização de águas superficiais tem se tornado cada vez mais frequente e, em alguns casos, isto tem causado a deterioração de ambientes aquáticos e sérios problemas para o uso da água, especialmente no tratamento da água para consumo humano (WHO, 1996).

3.2.1 Presença das cianobactérias em reservatórios

Estudos relatam a floração de cianobactérias potencialmente tóxicas em mananciais superficiais de muitas cidades do Brasil e do mundo. As intoxicações de populações humanas pela ingestão de água contaminada por cianobactérias já foram descritas em diversos países, como Austrália, Inglaterra, China e África do Sul (CETESB, 2013)

Em diversos locais do globo, a presença de florações de cianobactérias foi pesquisada por estudiosos. Falconer (2001) relata as constantes florações de cianobactérias na história da Austrália, caracterizando-se como um problema comum, principalmente para a agricultura e para a água de abastecimento humano. O autor cita, ainda, que o primeiro caso de envenenamento por água naquele país foi descrito em 1878 e o desastre ambiental reflete-se até hoje nos nomes de alguns cursos d'água que cruzam o país; por exemplo, o nome "*Poison Waterhole Creek*", que pode ser traduzido livremente como "enseada do poço envenenado".

O uso inadequado dos recursos hídricos tem causado o crescimento expressivo das cianobactérias. Segundo a literatura, há um crescente aumento no número de registros de danos ao meio ambiente e à saúde da população pelo desenvolvimento de populações de cianobactérias, e têm sido relatados casos graves de intoxicação humana, bem como de animais domésticos, rurais e selvagens.

O Guia da A.W.W.A.¹¹, "*Cyanobacterial Blue-Green Algae*", de 1995, compilou 94 casos de intoxicação de animais domésticos, rurais e selvagens em países como Austrália, Estados Unidos da América, Canadá, Finlândia, Rússia, África do Sul,

¹¹ *American Water Works Association*

Bermuda, Nova Zelândia, Inglaterra, Argentina, França, Escócia e Alemanha. Assim, fica claro que não são raros os eventos tóxicos. No Brasil, ficou famosa a que passou a ser chamada de “Síndrome de Caruaru”, foi o primeiro caso documentado de mortes humanas decorrentes de hepatotoxinas de cianobactérias que ocorreram por motivo de exposição por via intravenosa em uma clínica de diálise na cidade de Caruaru, no Brasil (AZEVEDO, 1998; CARMICHAEL *et al.*, 2001; DEBREDT, 2002).

Durante fevereiro de 1996, 116 dos pacientes que receberam tratamento rotineiro de hemodiálise começaram a se queixar de dor de cabeça, dor nos olhos, visão turva, náuseas e vômitos, a primeira morte se deu no dia 20 do mesmo mês, posteriormente, 100 pacientes desenvolveram insuficiência hepática aguda e destes 52 foram a óbito até o final do mesmo ano. O ocorrido se deu porque a clínica que provia o tratamento não estava recebendo água reticulada diretamente da planta de tratamento de água municipal durante a seca que houve no verão de 1996 e, por tanto, recebeu água sem tratamento completo, distribuída por caminhões pipa da estação de tratamento de água municipal (AZEVEDO, 1998; CARMICHAEL *et al.*, 2001; DEBREDT, 2002).

Os países onde casos relacionados às cianotoxinas foram registrados estão localizados nos diferentes continentes; entretanto, é observada predominância de relatos em países do hemisfério norte. Azevedo (1996) defende que isso se dá pelo maior interesse e investimentos nesta linha de pesquisa e consequente preocupação com o potencial de intoxicação das toxinas de cianobactérias. Como a poluição por cianobactérias está atrelada à ocupação humana em mananciais urbanos – fato mais comum em megacidades – talvez seja possível também associar esse maior número de casos registrados no Hemisfério Norte ao processo de industrialização que precede o de países periféricos, fazendo com que a aglomeração urbana e suas demandas também fossem anteriores.

Segundo o *“Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to public health consequences, monitoring and management”*, publicado em 1999 pela OMS, naquele mesmo ano, 28% dos lagos da África estavam eutróficos, 41% na América do Sul, 48% na América do Norte e as maiores proporções aparecem no leste asiático cujos lagos eutrofizados somam 54%.

Fatores como a baixa profundidade média do corpo d’água, e a presença humana por longo tempo de residência e por intensa ocupação urbana e agropastoril nas áreas do entorno de reservatórios também favorecem este fenômeno (CETESB, 2013).

A presença de algas na água bruta e/ou tratada pode trazer uma série de problemas, tais como: rápida obstrução das camadas superiores dos filtros lentos, levando ao aumento da necessidade de limpeza e redução da capacidade de produção da água tratada; sabor e odor; formação de trihalometanos; corrosão do sistema de abastecimento e liberação de toxinas, com efeitos que podem variar desde distúrbios hepáticos, gastrointestinais, disfunção neuromuscular, reações alérgicas, câncer e morte (AZEVEDO, 1998; SALVO; ISAAC, 2002).

As cianotoxinas presentes em água para consumo humano implicam em sérios riscos à saúde pública, pois são hidrossolúveis e passam pelo sistema de tratamento convencional, sendo resistentes mesmo à fervura. Assim, 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).

3.2.2 Cianobactérias no Brasil

Estudos realizados no Laboratório de Fisiologia e Cultivo de Microalgas do NPPN / UFRJ¹², confirmaram a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em corpos d'água (reservatórios de abastecimento público, lagos artificiais, lagoas salobras e rios) dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Bahia, Pernambuco e do Distrito Federal (AZEVEDO, 1998).

Há um grande número de reservatórios no Brasil, em sua maioria localizados na Região Sudeste e construídos no século XX, época em que ali se desenvolvia a indústria. O Sudeste foi a primeira região do país a edificar grandes reservatórios, com o objetivo de gerar energia elétrica e de fornecer água para abastecimento, irrigação, recreação, entre outros, desempenhando importante papel ecológico, econômico e social. Um estudo feito por Debredt (2002) constatou que, nas últimas décadas, muitos reservatórios vêm recebendo grande volume de despejos domésticos e rejeitos industriais, principalmente nas áreas próximas aos grandes aglomerados urbanos.

As represas no Brasil constituem ecossistemas dos mais favoráveis para a expansão das florações de algas e cianobactérias. Fatores como profundidade média ou rasa do corpo d'água, o tempo prolongado de residência de famílias e a intensa ocupação urbana e agropastoril no entorno favorecem este fenômeno, contribuindo para a eutrofização do sistema (SANT'ANNA *et al* apud RODRIGUES *et al*, 2010;

¹² Núcleo de Produtos Naturais da Universidade Federal do Rio de Janeiro

CETESB, 2013). Assim, a comunidade fitoplanctônica responde de maneira acelerada às alterações ambientais decorrentes da interferência antrópica ou natural, apresentando, como consequência a alteração da sua composição, estrutura e taxa de crescimento.

Segundo o Manual de Cianobactérias Planctônicas da CETESB (2013), várias cianobactérias já foram relatadas como potenciais produtoras de toxinas no Brasil, tais como espécies de *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum* (antiga *Anabaena*), *Planktothrix*, *Aphanizomenon* etc. Entre elas, a espécie mais comum é a *Microcystis aeruginosa* (DEBREDT, 2002).

Relatos de florações de cianobactéria têm sido obtidos em vários estados do país. Segundo Debredt (2002), a presença de cianobactérias foi detectada em Americana – SP, no reservatório de Salto Grande, caracterizado como eutrófico – rico em nutrientes e pobre em oxigênio, representativo de ambientes poluídos. Fraietta *et al* (2005) estudaram a floração de cianofíceas em 2004, no Córrego Santa Bárbara, responsável pelo abastecimento da cidade de Guaranésia – MG. Nesse caso, o estopim das florações foi o enriquecimento das águas pelo despejo ilegal de efluentes industriais e esgoto doméstico, fornecendo mais nutrientes para as cianobactérias. Nascimento *et al* (2010) e Rodrigues *et al* (2010) relatam florações nas represas da RMSP, entre outros.

3.2.3 Trihalometanos

Como afirmam Salvo e Isaac (2002), a presença de algas na água bruta e/ou tratada pode trazer uma série de problemas, entre os quais a formação de trihalometanos, que são um dos subprodutos gerados após a combinação do cloro com matéria orgânica em grande quantidade, como algas e cianobactérias. Ocorre que a contaminação química é problema crescente em todas as localidades, e o conhecimento sobre a ocorrência de poluentes nas águas para consumo é baixo frente à realidade de degradação do ambiente (BERGAMASCO *et al*, 2011).

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. Estanislao (2009) ressalta que é inquestionável a enorme contribuição da prática da cloração para o declínio de doenças transmissíveis pela água; para o autor, os riscos no processo de cloração da água estão associados mais aos seus subprodutos do que aos agentes utilizados.

No Brasil, o tratamento mais comum nas Estações de Tratamento de Água (ETA) é o convencional, em cinco etapas: coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. A etapa da desinfecção visa eliminar micro-organismos patogênicos da água. Os principais agentes desinfectantes são: cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, bromo, iodo, permanganato de potássio, calor e radiação ultravioleta, sendo o cloro o produto mais utilizado nas ETAs.

Na desinfecção com cloro, os principais subprodutos formados são os trihalometanos (THMs), embora outros subprodutos também sejam formados. Os trihalometanos são compostos formados principalmente nos processos de desinfecção das águas para abastecimento, durante a reação de um agente oxidante (ex: cloro) com materiais precursores encontrados na água bruta (ex: ácidos húmicos). Os trihalometanos mais comuns são o clorofórmio, o dibromoclorometano, o bromodiclorometano e o bromofórmio. (PETRY *et al*, 2005, p. 2)

Segundo Tominaga e Midio (1999), a determinação de sua concentração na água é fácil, sendo relativamente seguro para o ser humano nas dosagens costumeiras para desinfecção da água.

Os riscos relacionados ao processo de cloração da água estão associados muito mais aos seus subprodutos do que com os agentes utilizados. Existe, normalmente, grande número de compostos orgânicos na água bruta. Estes podem reagir com o cloro livre levando à formação de diversos subprodutos, entre eles os denominados trihalometanos (TAM). (TOMINAGA; MIDIO, 1999, p.414)

Assim, os autores destacam que os TAMs ou THMs (trihalometanos), como também são chamados, são compostos de carbono simples, substituídos por halogênios e possuem a fórmula geral CHX_3 , onde X pode ser cloro, bromo, iodo ou combinações a partir deles. Resultam de uma reação que pode ser assim esquematizada: Espécies halogenadas + Cloro livre + Precursores → TAM + Subprodutos.

A exposição aos TAM através da água de abastecimento tratada por cloração pode levar ao aparecimento de efeitos tóxicos sistêmicos decorrentes da alta frequência, tempo prolongado e baixas concentrações (mg/L). Os efeitos crônicos observados são caracteristicamente retardados, admitindo período de latência para a carcinogenicidade (TOMINAGA; MIDIO, 1999, p.418).

No mesmo estudo de Tominaga e Midio, constatou-se que diversas pesquisas epidemiológicas têm buscado correlacionar a incidência de diversos tipos de câncer e a presença de TAM na água de abastecimento. Os dados obtidos sugerem que existe alta probabilidade de relação entre câncer de bexiga, cólon e reto e a ingestão desses

compostos. No entanto, é difícil estabelecer uma relação causal, dado o longo período de latência da doença.

Estudo realizado por Diniz (2011) na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, em Portugal, com o objetivo de avaliar as alterações nos parâmetros bioquímicos, os efeitos histológicos hepáticos e os efeitos na bioenergética mitocondrial da exposição oral de camundongos machos da estirpe ICR a baixas doses de dois THMs – o bromodiclorometano (BDCM) e o dibromoclorometano (DBCM) – teve como conclusão, a partir dos resultados, que não é seguro ingerir água que contenha BDCM e DBCM, pois a exposição a estes compostos, mesmo em pequenas doses e por curtos períodos de tempo, causa diversas alterações no organismo.

O estudo realizado por Petry *et al* (2005) para a associação entre o potencial de formação de trihalometanos (THMs) e o gradiente trófico de um rio urbano em Porto Alegre – RS concluiu que a concentração de THMs foi maior nos meses mais frios do ano. Os autores constataram que a maior produção nesse período não ocorreu devido a nenhuma variável descritora do estado trófico, temperatura ou pH, mas pela matéria orgânica disponível no rio, devido tanto à quantidade quanto ao tipo e ao cloro residual elevado nesses meses. Ou seja: existe ligação com as condições atmosféricas que atuam sobre a região.

Segundo Singer apud Tominaga e Midio (1999), os trihalometanos estão entre as principais substâncias encontradas na água potável após o processo de cloração (**Quadro 1**).

Quadro 1: Principais substâncias encontradas na água potável após o processo de cloração

Trihalometanos	Ácidos haloacéticos
Clorofórmio	Ácido monocloroacético
Bromodiclorometano	Ácido dicloroacético
Dibromoclorometano	Ácido tricloroacético
Bromofórmio	Ácido monobromoacético
	Ácido dibromoacético
Haleto de cianogênio	Ácido bromocloroacético
Cloreto de cianogênio	
Brometo de cianogênio	Haloacetoneitrilas
	Dicloroacetoneitrila
Halopicrinas	Tricloroacetoneitrila
Cloropicrina	Dibromoacetoneitrila
Bromopicrina	Tribromoacetoneitrila
	Bromocloroacetoneitrila
Hidratos de cloral	
	Halocetonas, haloaldeídos,
	Halofenóis
<u>MX [3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H)-furanona]</u>	

Fonte: Singer (1993) apud Tominaga; Midio (1999), p. 414.

Estanislao (2009) esclarece que, em 1976, diversas atitudes foram tomadas por órgãos internacionais a respeito dos THMs. Segundo o autor, o NIOSH¹³ – a principal agência federal dos Estados Unidos no que tange a realização de pesquisas em segurança e questões de saúde – passou a recomendar o valor máximo permitido (VMP) para o trihalometano em água potável de 2000 µg/L. O FDA¹⁴, órgão também estadunidense, proibiu a utilização desta substância em drogas, cosméticos e embalagens de alimentos, devido ao risco de exposição das pessoas. No mesmo ano ainda, outro órgão do mesmo país, o *National Academies' Safe Drinking Water Committee* levanta a hipótese de que a ingestão de água contendo THMs na concentração de 20 µg/L durante a vida poderia provocar um caso adicional de câncer a cada 33.333 habitantes (ABDEL-RAHMAN, 1982 apud ESTANISLAO, 2009).

Desde então, foram estabelecidos níveis seguros para o consumo de água potável em vários países industrializados do mundo, como Canadá, Reino Unido e Austrália. No Brasil, este valor foi definido em 100 µg/L ou 0,1mg/L, conforme Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011

3.2.4 Trihalometanos e consequências para a saúde

Segundo as “*Guidelines for drinking-water quality*” (WHO, 2011) os compostos da família THM podem se apresentar em qualquer produto cuja elaboração tenha utilizado a água contaminada. Já foram detectados em diversos alimentos e bebidas preparados com água clorada.

As fontes de exposição humana aos THMs, porém, não se resumem à ingestão da água de abastecimento clorada. Outras atividades que envolvem contato com esta água também podem expor a riscos: trabalhos domésticos, banhos de chuveiro ou recreativos também são considerados fontes de exposição (WHO, 2011).

Situações em que a inalação dos THMs é favorecida, como em banhos de chuveiro e piscinas de água clorada, podem ser consideradas de risco mais elevado que a própria ingestão, uma vez que os trihalometanos são compostos voláteis e podem se apresentar em forma gasosa. O trabalho de Tardiff *et al* (2000) a respeito da estimativa de risco na exposição de nadadores ao cloro e ao clorofórmio em piscinas cloradas

¹³ *National Institute of Occupational Safety and Health*

¹⁴ *Food and Drug Administration*

relata que a intoxicação por ingestão ocorre quando a concentração de triclorometano é de cerca de 400 µg (ou 0,4 mg) pessoa/dia. Porém, a intoxicação por inalação pode ocorrer em níveis mais baixos de exposição, a partir de 15 µg de triclorometano por pessoa/dia.

O THM é rapidamente absorvido por via oral, pelo trato gastrointestinal e em contato com a pele. Quantidades significativas de clorofórmio 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).

Vincenti *et al* (2004), em seu estudo em Guastala, no norte da Itália, perceberam que os residentes consumidores de água contendo trihalometanos, principalmente clorofórmio, apresentaram maior incidência de câncer. Entre os homens, os mais frequentes foram de estômago, fígado, pulmão, próstata e bexiga, enquanto entre as mulheres, os tipos de câncer mais incidente naquelas expostas aos agentes foram o câncer de estômago, pâncreas, mama, ovário e a leucemia.

Diniz (2011), que estudou o efeito dos trihalometanos em parâmetros fisiológicos de *Mus musculus* em camundongos da estirpe ICR, concluiu que não é segura a ingestão de água que contenha bromodiclorometano e dibromoclorometano após sua desinfecção com cloro, mesmo em quantidades baixas de exposição aos agentes e durante um curto período de tempo.

Estes compostos mostraram interferir com o normal funcionamento das mitocôndrias e causaram lesões no fígado, bem como alterações nas actividades séricas de enzimas hepáticas. Reveste-se sobretudo de extrema importância o facto de os efeitos da exposição a estes compostos serem resultantes de uma administração em doses muito baixas e com um tempo de exposição muito curto. (DINIZ, 2011, p.46)

O estudo de caso-controle em 65 municípios de Taiwan, por Chang *et al* (2007), avaliou a associação entre consumo de água contendo trihalometanos totais e a mortalidade por câncer de bexiga. Os autores encontraram associação fortemente positiva entre os fatores de exposição e o desfecho.

Estudos relativos aos efeitos adversos pela exposição aos trihalometanos na gravidez encontraram como consequências: Baixo peso ao nascer, natimorto, fenda labial ou palatina, defeito no tubo neural e defeito no tubo nervoso central, defeitos

cardíacos, defeitos no trato urinário, malformação do aparelho respiratório e anormalidades cromossômicas (ESTANISLAO, 2009).

Porém, o estudo conduzido por Estanislao (2009) – que abordava o risco de malformação congênita em recém-nascidos de mães expostas aos trihalometanos presentes na rede de abastecimento da cidade de São Paulo – apontou que a exposição da mãe aos THMs está inversamente associada às ocorrências de malformações avaliadas pelo estudo.

3.3 Abastecimento de água na RMSP

ETAs que captam água em mananciais de superfície com probabilidade de ocorrência destes organismos podem estar expondo as populações por elas abastecidas a sérios riscos de saúde, pois a eficiência de sua remoção depende das condições de captação e das técnicas do tratamento (SALVO; ISAAC, 2002).

As Estações de Tratamento de Água (ETA) têm funcionamento semelhante a uma indústria onde uma determinada matéria prima (água bruta) é trabalhada, através de diversas operações e processos, resultando em um produto final (água tratada) (ACHON *et al*, 2008, p.54).

Na **Figura 5**, é possível localizar a Represa Guarapiranga no sudoeste da Região Municipal de São Paulo, entre os municípios de Itapeverica da Serra (que fica a oeste da represa), Taboão da Serra (a noroeste) e Diadema (que se localiza a leste da represa). A Represa Billings é o corpo d'água de superfície mais extenso, localizado a leste da Guarapiranga, e passa pelos municípios de São Paulo, Diadema, São Bernardo do Campo, Santo André e Ribeirão Pires. As represas Billings e Guarapiranga são responsáveis pelo fornecimento de água para grande parte da RMSP, onde a Billings é a maior represa e a Guarapiranga é o segundo maior manancial do sistema de abastecimento.

Municípios da Região Metropolitana de São Paulo

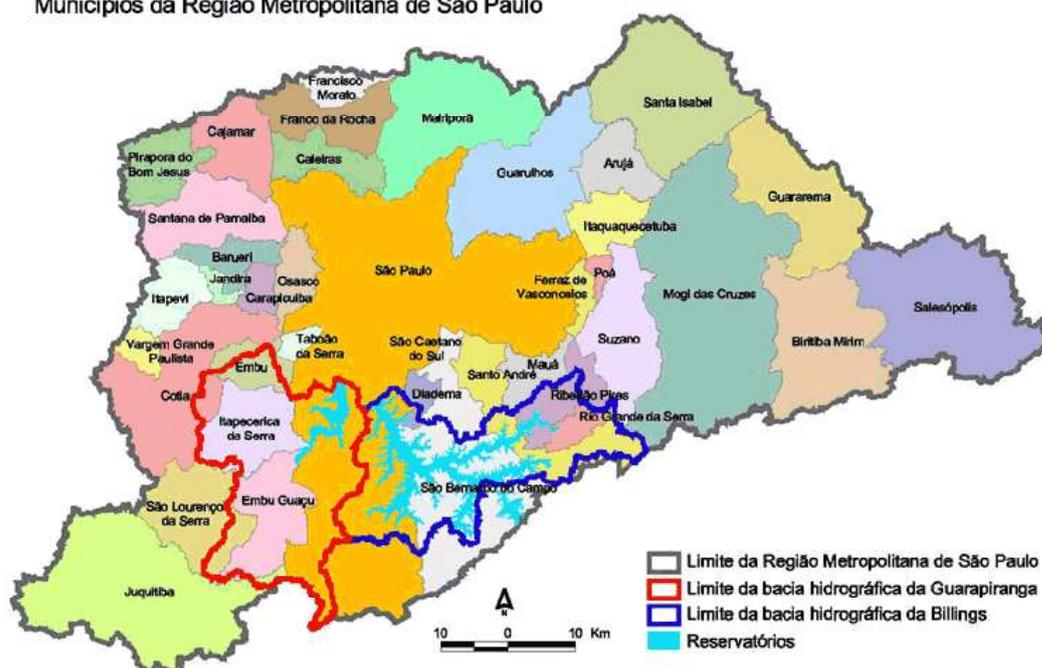


Figura 5: RMSP com a delimitação das bacias hidrográficas da Guarapiranga e da Billings.

Fonte: <<http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br/2010/11/regiao-metropolitana-de-sao-paulo-pode.html>>
Acesso em 10/04/2012.

Dados compilados pelo Instituto Socioambiental reportam a evolução do sistema de abastecimento de São Paulo de 1930 a 2005. Nota-se na **Figura 6** que, à medida que a população foi crescendo, a cidade se expandiu e se transformou numa zona metropolitana; a captação de recursos hídricos também foi crescendo e se expandindo. As manchas em cor alaranjada representam a malha urbana e os círculos azuis em cada figura retratam a região onde se localizavam as fontes de água de onde os recursos hídricos eram coletados e são coletados ainda hoje, em 2013.

O sítio urbano ocupado pela Região Metropolitana de São Paulo corresponde, em grande parte, à própria área de drenagem da Bacia do Alto Tietê. Portanto, as características do relevo da bacia de drenagem intervêm de diversas formas na estruturação do espaço urbano de São Paulo (MONTEIRO, 2011).

O processo histórico da expansão da cidade de São Paulo, e posteriormente da formação da RMSP, foi concomitante com a ocupação das várzeas. Os fundos de vale se tornam atraentes para a ocupação, principalmente para residência da população de baixa renda, em razão da carência de uma infraestrutura que assegure condições de moradia e de saneamento básico. Isto faz com que a região dos fundos de vale apresente valor menos custoso, pois os fatores de valorização imobiliária envolvidos em tais áreas são mais amenos. Esta junção de fatores induz à ocupação extensiva dos topos e sopés de

colinas, das áreas de declividade e das várzeas dos rios e córregos, bem como de áreas inundáveis (MONTEIRO, 2011). Este quadro contribuiu para o processo de eutrofização das represas do Sistema Guarapiranga-Billings.

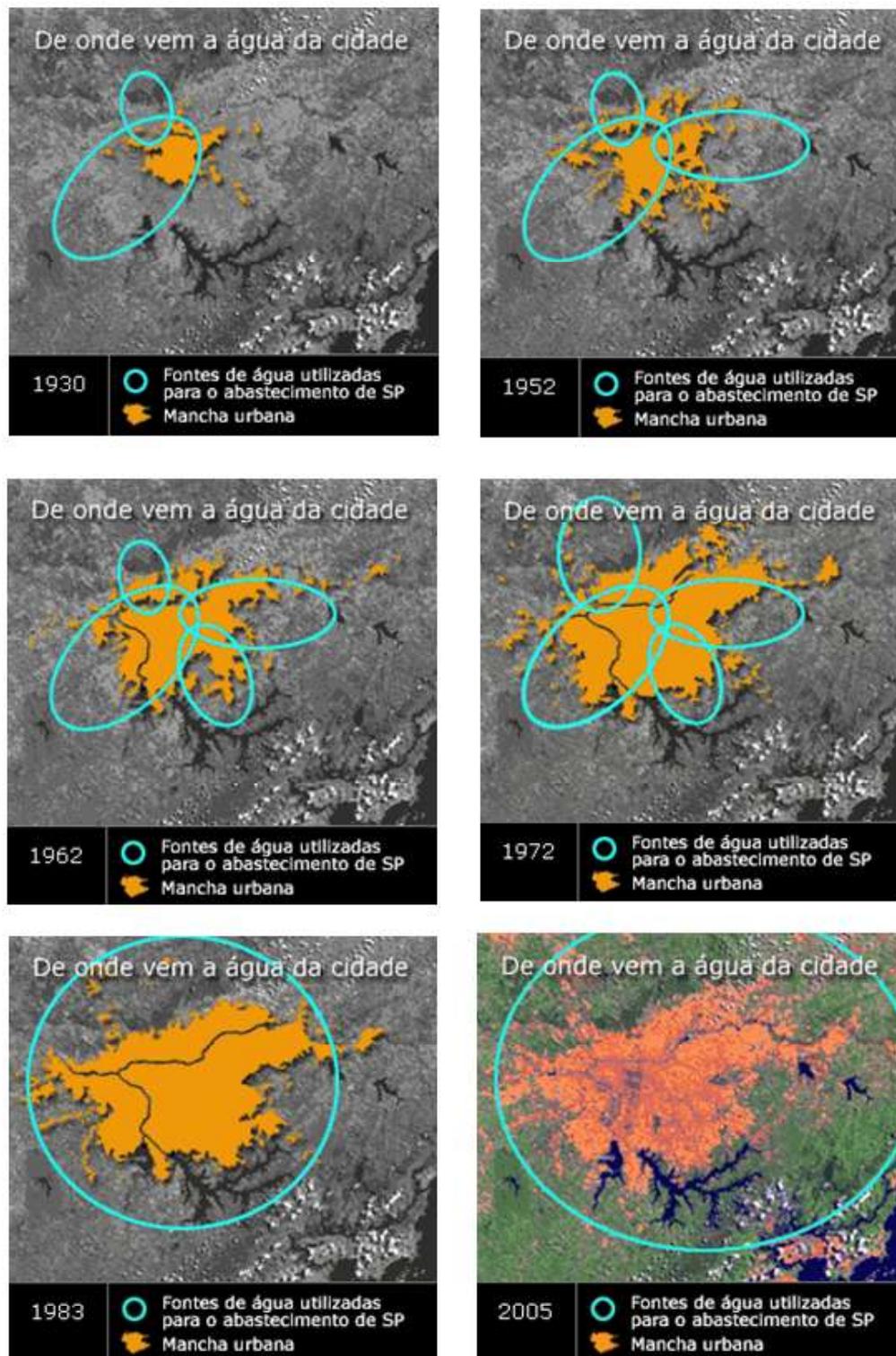


Figura 6: Evolução do abastecimento de água e expansão da mancha urbana de São Paulo.
Fonte: Adaptado do ISA: <<http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/grafico.htm#>> Acesso 16/02/2013

Abaixo, a **Figura 7** apresenta uma imagem de satélite onde se vê parte da sub-bacia Tamanduateí, que compreende as represas Guarapiranga e Billings, destacando a intensa ocupação das margens.

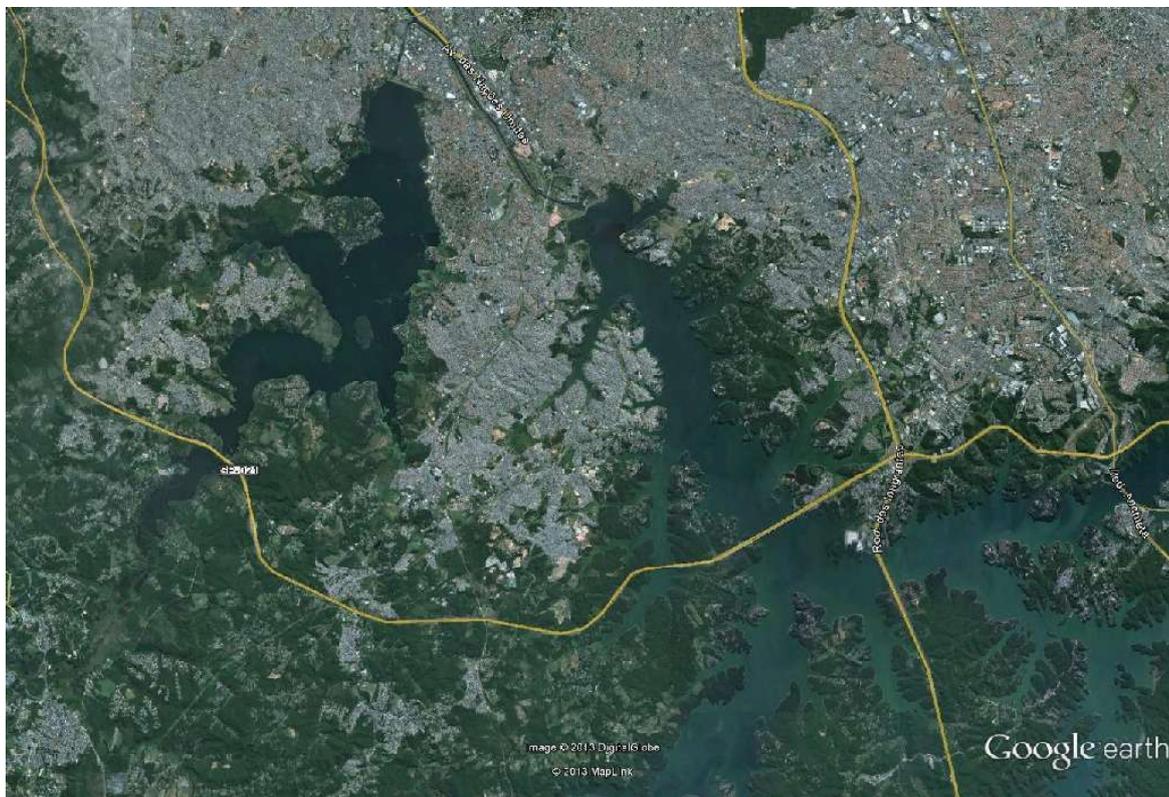


Figura 7: Imagem de satélite que mostra a ocupação humana em torno da represa Guarapiranga e em parte do Sistema Billings.

Fonte: Image 2013, DigitalGlobe 2013 acessado pelo Google Earth em 23/05/2013. Data das imagens: 13/07/2012, altitude do ponto de visão de 28.30 Km.

3.3.1 Cianobactérias na RMSP

Cianobactérias foram encontradas no Sistema Guarapiranga – importante sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo, como confirmam estudos de Richter *et al* (2003), Rodrigues *et al* (2010) e da Sabesp, em nota divulgada em meados de fevereiro de 2011 em seu sítio eletrônico.

Em relação ao odor e gosto da água da zona Sul, a Sabesp esclarece que houve nos últimos dias uma proliferação de algas na represa do Guarapiranga. A empresa está tomando todas as medidas para reduzir o problema e reforça que a água tratada não traz qualquer risco à saúde da população, podendo ser consumida normalmente (SABESP, 2011).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a Represa Guarapiranga é responsável por 30% do abastecimento de água do município de São Paulo. A organização “De Olho nos Mananciais”, que deriva de uma campanha realizada em

1995 pelo Instituto Socioambiental (ISA), relata que o Sistema Guarapiranga drena uma área total de 63.911 hectares e abastece 3,8 milhões de pessoas residentes na zona sudoeste da capital paulista, além das regiões de Santo Amaro, Morumbi, Pinheiros e Butantã. A organização relata ainda que é, também, o mais ameaçado entre todos os mananciais que abastecem a RMSP, levando em conta principalmente a poluição de origem antrópica, como o lançamento de esgoto não tratado e lixo residencial. Destaca que a população que vive ao redor da represa aumentou em quase 40% entre os anos de 1991 e 2000 e é estimada em 800 mil pessoas.

Rodrigues *et al* (2010) afirmam que, em 2010, apesar da importância dessas represas para o abastecimento público da RMSP e da importância da comunidade fitoplanctônica para o monitoramento da qualidade de suas águas, podia-se afirmar que a composição específica de espécies desta comunidade mencionada, mantinha-se ainda muito pouco conhecida. Os autores demonstraram, como resultado de seu estudo, que o aumento verificado por eles na porcentagem de semelhança (20% para 70%) entre a biodiversidade de clorófitas nessas duas represas (Billings e Guarapiranga) parece indicar que a transposição de água do Braço Taquacetuba (Billings) para a Guarapiranga, desde 2000, contribuiu para uniformizar a composição fitoplanctônica destes corpos de água. Os autores afirmam que este fato é preocupante, pois trabalhos anteriores já mencionam o aumento da riqueza e da densidade da comunidade fitoplanctônica, sobretudo das cianobactérias, na represa Guarapiranga, o que traz várias consequências para o meio ambiente e a saúde pública.

3.3.2 Trihalometanos na RMSP

Segundo a Sabesp (2010), a desinfecção da água com cloro é uma das técnicas mais antigas de tratamento. Desde que passou a ser utilizada, houve queda no índice de mortalidade infantil e redução das doenças provocadas pela água contaminada. Porém, o tratamento da água implica na utilização de substâncias químicas que podem afetar a saúde daqueles que a utilizam.

O esquema do sistema de fases, que compõe o Sistema de Abastecimento da Represa Guarapiranga, pode ser visualizado no croqui do **Anexo I** representando desde a captação nos mananciais que dão origem à represa, passando por diferentes etapas e chegando a seus consumidores finais, como as cidades de São Paulo, Cotia, Embu, Itapeverica da Serra e Taboão da Serra.

3.4 Níveis de concentração aceitos para a saúde

À medida que as normas brasileiras de potabilidade foram sendo revistas, desde a primeira Portaria de 1977, grande número de substâncias nocivas foi incluído, seguindo o avanço da indústria na produção de compostos orgânicos, agrotóxicos e produtos de desinfecção (BERGAMASCO *et al*, 2011). Outra ferramenta que permite traçar um panorama das condições de abastecimento de água no Brasil e acompanhar sua evolução é o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano – o *Vigiágua* – cujo objetivo é o desenvolvimento de ações de monitoramento, fiscalização e melhoria da qualidade da água, que garantam à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação.

A Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, prevê na Seção I Capítulo III – Das Competências da União, que: as competências atribuídas à União serão exercidas pelo Ministério da Saúde (MS) e entidades a ele vinculadas, e que compete à Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS) promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água para consumo humano, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e respectivos responsáveis pelo controle da qualidade da água; estabelecer ações especificadas no *Vigiágua*; estabelecer as ações próprias dos laboratórios de saúde pública, entre outros. Na Seção III – Das Competências dos Municípios, a portaria indica que compete às Secretarias de Saúde dos Municípios inspecionar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas no sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, notificando seus respectivos responsáveis para sanar a(s) irregularidade(s) identificada(s), entre outros. Há, portanto, no Brasil, desde a primeira Portaria de 1977, um arcabouço coerente e em evolução, que respalda a inspeção e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e sua potabilidade.

A Resolução CONAMA nº357, de 2005, classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional em treze classes, conforme a qualidade requerida para os

seus usos preponderantes. Quanto às águas doces, ela divide em quatro classes, também de acordo com suas condições de qualidade. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas também em uso menos exigente, desde que este uso não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes (CONAMA, 2005).

Das treze classes em que as águas do Brasil são divididas, as quatro primeiras dizem respeito às águas doces, e as três primeiras classes, além da Classe Especial, compreendem consumo humano. Assim, no Art.4 da Seção I, constam as seguintes informações referentes à água para consumo humano em cada uma das classes mencionadas:

- I. Classe especial: águas destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- II. Classe 1: águas que podem ser destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- III. Classe 2: águas que podem ser destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- IV. Classe 3: águas que podem ser destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

3.4.1 Níveis de concentração aceitos com relação às Cianobactérias

Na mesma resolução CONAMA nº357 de 2005, a Seção II compreende as condições de padrões de qualidade da água observadas em cada uma das classes de água doce que se destinam a consumo humano.

Tabela 1: Padrões de qualidade da água de Classe 1

ÁGUAS DOCES - CLASSE 1	
PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila α	10 $\mu\text{g/L}$
Densidade de cianobactérias	20.000 cel/mL ou 2 mm^3/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
Fonte: CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (adaptado).	

Tabela 2: Padrões de qualidade da água de Classe 2

ÁGUAS DOCES - CLASSE 2	
PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila α	30 $\mu\text{g/L}$
Densidade de cianobactérias	50.000 cel/mL ou 5 mm^3/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L

Fonte: CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (adaptado).

Tabela 3: Padrões de qualidade da água de Classe 3

ÁGUAS DOCES - CLASSE 3	
PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila α	60 $\mu\text{g/L}$
Densidade de cianobactérias	100.000 cel/mL ou 10 mm^3/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L

Fonte: CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (adaptado).

Nota-se, nas **Tabelas 1, 2 e 3**, que o valor dos parâmetros varia de acordo com a classe de água. A quantidade de clorofila α , densidade de cianobactérias e sólidos dissolvidos totais é inversamente proporcional à qualidade da água. Uma classe de água de qualidade inferior, como a de classe 3, tem valor máximo permitido de densidade de cianobactérias até cinco vezes maior que a água de classe 1.

A respeito das cianobactérias, a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 prevê, no Capítulo IV, que quando os resultados da análise da amostra de água revelarem que a concentração de clorofila α em duas semanas consecutivas tiver seu valor duplicado ou mais, deve-se proceder a nova coleta de amostra para quantificação de densidade de cianobactérias.

3.4.2 Níveis de concentração aceitos com relação aos trihalometanos

Segundo a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, o valor máximo permitido para trihalometanos totais é de 0,1 mg/L (ou 100 $\mu\text{g/L}$) de acordo com o

número de referência de compostos e substâncias químicas adotado pelo *Chemical Abstract Service* (CAS). A Portaria nº 2.914 compreende ainda o Trihalometano Total como sendo:

Trihalometanos:

- Triclorometano ou Clorofórmio (TCM) – CAS = 67-66-3
- Bromodiclorometano (BDCM) – CAS = 75-27-4
- Dibromoclorometano (DBCM) – CAS = 124-48-1
- Tribromometano ou Bromofórmio (TBM) – CAS = 75-25-2

3.5 A influência do clima na proliferação das cianobactérias e, por consequência, na potencial formação de THMs.

Estudos apontam evidências de alterações na pluviosidade e nas características físicas e químicas da água de mananciais, causando modificações na hidrodinâmica dos ecossistemas aquáticos (CAMARA, 2011). A variabilidade climática indicada pela intensificação de fenômenos naturais – como episódios intensos de precipitação ou períodos mais extensos de seca – pode contribuir para essas alterações mencionadas a ponto de poderem ser consideradas indicadores de locais de variabilidade/mudança climática. Assim, as alterações climáticas podem resultar em ambientes ideais para *blooms* de cianobactérias quando associadas a outros fatores ambientais.

Embora o processo de eutrofização seja um processo que pode ocorrer naturalmente, na maioria dos casos, desde o século XX, este processo está atrelado à ação e interferência humana no meio. Ainda assim, a antropização do meio e o mau uso dos mananciais não são as únicas influências nas florações de cianobactérias.

Segundo a quarta edição das “*Guidelines for drinking-water quality*”¹⁵, da Organização Mundial da Saúde, publicada em 2011, sempre que as condições de temperatura, luz e estado nutricional são favoráveis, a superfície das águas doces ou marinhas poderão sediar o aumento na quantidade de algas ou cianobactérias – as florações. Porém, há diferenças importantes nas florações de cianobactérias em águas temperadas e em águas tropicais.

¹⁵ Parâmetros de qualidade da água para consumo, em tradução livre

Existe um padrão característico de sazonalidade nas florações de algas e comunidades de cianobactérias. Por exemplo, em águas eutróficas e hipertróficas, as cianobactérias frequentemente dominam o ambiente no período do verão. Com a aproximação do inverno, o aumento da turbulência e a ausência de luz conduzem à sua substituição por diatomáceas. Nos trópicos, contudo, as diferenças sazonais nos fatores ambientais muitas vezes não são grandes o suficiente para induzir à substituição de cianobactérias por outras espécies de fitoplâncton. Assim, as cianobactérias podem 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).

Segundo Fonseca *et al* (2010), a proliferação de cianobactérias em ambientes eutróficos ocorre nos meses em que a temperatura da água fica em torno de 22°C. Ribeiro (2007) verificou que a água a uma temperatura média acima de 25°C foi suficiente para desencadear a floração de cianobactéria. Calvalcante *et al* (2009) observaram que em ambientes de água doce com pH básico, temperatura entre 15 e 30°C e altas concentrações de nitrogênio e fósforo, esse micro-organismo tem seu crescimento acelerado.

O mesmo estudo de Calvalcante *et al* (2009) identificou a elevação na densidade de cianobactérias durante o período chuvoso. Os autores defendem que este comportamento está diretamente relacionado à maior disponibilidade de nutrientes no período. Esteves e Suzuki (2011) afirmam que 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.

Considerando as condições que favorecem o fenômeno de florações de cianobactérias e algas, em seu estudo em lagoas de estabilização de ETEs¹⁶ de diferentes municípios no estado da Paraíba, Ribeiro (2007) concluiu que os fatores climáticos contribuíram para o desenvolvimento excessivo de cianobactérias em dois tipos de episódios: episódios de seca e episódios de precipitação pluviométrica ocorridos sobretudo no período de chuva. Os episódios de chuva contribuíram para a entrada de água, a diluição do esgoto e o revolvimento nas lagoas de estabilização das ETEs, permitindo uma variação considerável na concentração dos nutrientes no esgoto

¹⁶ Estações de Tratamento de Efluentes

bruto. Nos episódios de seca, a intensa insolação facilitou o desencadeamento do processo de fotossíntese algal, o que propiciou condições especiais para o estabelecimento das cianobactérias, principalmente por apresentarem estratégias adaptativas no ambiente aquático.

Esteves *et al* (2011) defendem que as alterações climáticas nas últimas décadas são causas potenciais de alteração no Ciclo Hidrológico. Modelos projetados das modificações que o planeta está sofrendo evidenciam o aumento de temperatura média global.

Este aumento da temperatura promoverá alterações nos regimes de precipitação, que se tornarão mais intensas, podendo modificar drasticamente a distribuição e extensão dos principais biomas terrestres e dos sistemas aquáticos continentais. (ESTEVES; SILVA; ALBERTONI, 2011, p.79)

Esteves e Suzuki (2011) afirmam ainda que estudos de longa duração também têm permitido observar, além das variações sazonais, variações interanuais relacionadas aos fenômenos La Niña e El Niño Oscilação Sul (ENOS¹⁷), observando-se, em períodos de influência do La Niña, a massiva dominância de cianobactérias e, sob influência do El Niño, além de cianobactérias, diatomáceas e criptomonadas.

¹⁷ ENOS – El Niño Oscilação Sul: fenômeno de interação atmosfera-oceano associado a alterações nos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália.

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Revisão Bibliográfica

Numa fase inicial, foi realizada a busca de bibliografia pertinente ao tema abordado na pesquisa. Adotaram-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
- **Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP**

Nessa busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave, sozinhas ou em combinações: cianobactéria, *cyanobacteria*, proliferação de cianobactérias, *cyanobacteria blooms*, trihalometanos, trihalometanos, 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.

Dos trabalhos encontrados neste primeiro levantamento, priorizaram-se aqueles produzidos nos últimos dez anos. Feita a seleção dos trabalhos pertinentes ao tema pela análise do resumo, procedeu-se à revisão bibliográfica do material. A Revisão Bibliográfica que figura neste estudo conta também com a adição de obras elencadas nas primeiras versões desta pesquisa, inclusive textos indicados nas bibliografias consultadas e outros recomendados pelos Professores.

Por vezes, quando não encontrado o estudo ou obra pretendida pelos meios mencionados anteriormente, adotou-se o recurso da ferramenta de busca Google Acadêmico (disponível em <<http://scholar.google.com.br/>>).

4.2 Análises

Foram realizadas análises estatísticas e elaborados gráficos utilizando-se dados secundários de variáveis de qualidade da água e de variáveis meteorológicas.

Os dados de variáveis de qualidade da água provêm dos monitoramentos efetuados, analisados e disponibilizados pela Sabesp em seu sítio eletrônico <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=43>>, acessado ao longo do primeiro semestre de 2013. Lá estão acessíveis dados de análises laboratoriais dos anos 2010, 2011 e 2012, além de análises de monitoramento automático do período de janeiro de 2011 a setembro de 2013.

O monitoramento laboratorial é realizado através de amostragem por equipes da Sabesp, com frequências que variam de duas vezes por semana a uma vez por mês. As amostras coletadas são analisadas em laboratórios da própria Companhia de Saneamento Básico (SABESP, 2013).

Foram utilizados dados referentes aos pontos de coleta da Represa Guarapiranga GU 104, que corresponde ao ponto localizado no meio do corpo da represa e GU 101, que corresponde ao ponto localizado na Captação Guarapiranga. Estes dois pontos foram escolhidos pela disponibilidade de série de dados provenientes de análises laboratoriais. Os dados disponíveis acerca dos outros pontos: Rio Parelheiros a montante da dissipadora (GU 213A), Rio Parelheiros – ponte da estrada do Jaceguava (GU 213), Rio Itaim (GU 214) e Braço do rio Parelheiros – Represa Guarapiranga (GU 107) não configuravam série suficiente para análise.

Não foi possível analisar as variáveis das análises de potencial formação de trihalometanos, pois estes dados não são disponibilizados para pesquisa pela Sabesp.

Os dados de variáveis meteorológicas foram cedidos pela Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (EM-IAG/USP).

A EM-IAG/USP 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, distando 11 quilômetros do centro de São Paulo, a 799,2 metros de altitude. Está registrada na Organização Meteorológica Mundial sob o n° 83.004. Na **Figura 8**, estão assinalados na imagem de satélite os pontos de coleta GU 101 e GU 104, na Represa Guarapiranga, além da localização da EM-IAG/USP no PEFI.

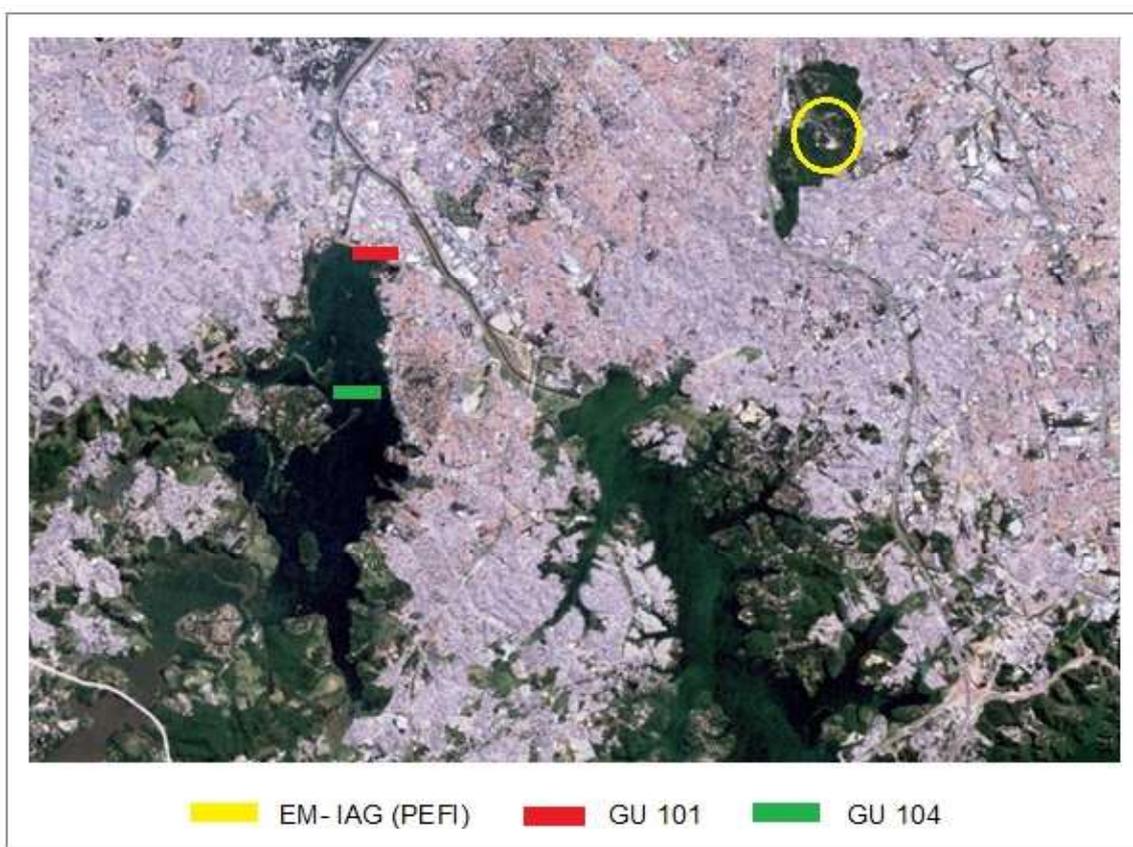


Figura 8: Localização dos pontos de coleta GU 101 e GU 104 e da EM-IAG/USP.
Fonte: Satélite Landsat, 2010; EM-IAG, 201; SABESP, 2013, adaptado.

4.2.1 Variáveis de qualidade da água utilizada:

- Densidade de Cianobactérias (cel/mL) através de monitoramento laboratorial dos pontos GU 104 e GU 101. A densidade de cianobactérias se dá através da contagem das células (cel) por mililitro (mL), portanto, é dada em cel/mL.

4.2.2 Variáveis Meteorológicas utilizadas:

- Temperatura atmosférica (T°C) em graus Celsius
- Precipitação (Pmm) em milímetros de chuva
- Insolação (%) em porcentagem de horas de brilho do sol por dia

Tabela 4: As variáveis utilizadas para análise da pesquisa

Dado	Unidade	Fonte	Detalhamento	Cobertura Temporal
Temperatura Atmosférica	T°C	EM-IAG/USP	média diária	1970 -2012
Temperatura Atmosférica	T°C	EM-IAG/USP	máxima diária	1970 - 2012
Temperatura Atmosférica	T°C	EM-IAG/USP	mínima diária	1970 - 2012
Precipitação de chuva	P (mm)	EM-IAG/USP	Milímetros acumulados por dia	1970 - 2012
Insolação	%	EM-IAG/USP	% de horas de brilho do sol por dia	1970 -2012
Densidade de Cianobactérias	cel/mL	SABESP	células por mililitro	2010 - 2012

Fontes: EM-IAG/USP e SABESP (2013).

4.2.3 Importância das variáveis utilizadas

- Densidade de Cianobactérias (cel/mL)

Com a finalidade de mensurar a qualidade da água do Reservatório Guarapiranga e com base em pesquisa bibliográfica prévia e nos dados reportados pela empresa que efetua o tratamento da água do Reservatório Guarapiranga – a Sabesp –, foi escolhida a densidade de cianobactérias presentes no Reservatório como elemento representativo da qualidade da água para consumo. Os motivos para tanto dizem respeito à ligação das cianobactérias com a perspectiva e imposição de danos à saúde, tanto por sua potencialidade para a formação de cianotoxinas quanto pela significância na formação dos trihalometanos.

As cianobactérias, por se tratarem de fitoplânctons, que são organismos clorofilados, apresentam estreita relação com elementos climáticos, sofrendo o processo de fotossíntese pela captação da luz solar, e suas florações são sensíveis à temperatura.

- Temperatura atmosférica (T°C) em graus Celsius
A temperatura atmosférica, dada em graus Celsius, influencia as florações das cianobactérias, sendo os *blooms* mais favorecidos a temperaturas mais elevadas.
- Insolação (%) em porcentagem de horas de brilho do sol por dia
Como as cianobactérias sofrem o processo de fotossíntese, a quantidade de luz solar a que são expostas pode ser significativa no transcurso de sua proliferação.
- Precipitação (Pmm) em milímetros de chuva
A precipitação de chuva influencia na proliferação das cianobactérias no tema da oferta e distribuição do aporte de nutrientes (vide **Figura 3**).

4.3 Métodos

Com a finalidade de melhor explorar as interações e relações entre cada uma das variáveis meteorológicas e a densidade de cianobactérias, foram feitos diferentes recortes de tempo. Todos os dados foram organizados em Planilhas Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013) e analisados através de gráficos e testes estatísticos.

4.3.1 Recorte semanal

Este recorte visava permitir a observação de possíveis episódios climáticos que influenciavam pontualmente as proliferações de cianobactérias. Embora em estudos climáticos seja comum o recorte diário de tempo cronológico devido à metodologia desenvolvida por Monteiro (1973), a análise rítmica do tempo, a menor unidade de tempo passível de ser recortada para a análise deste estudo foi de sete dias, ou uma semana.

Embora os dados meteorológicos fornecidos tivessem unidades em horas do dia durante todos os dias do período estudado, as análises laboratoriais de densidade de cianobactérias não foram diárias, ocorrendo a intervalos de um ou dois dias até de uma semana. Portanto, houve semanas com três análises laboratoriais de densidade de cianobactérias, e outras com uma. As semanas em que não houve qualquer análise

foram descartadas da análise. A fim de padronizar a divisão de grupos de sete dias/semanas e para futura comparação com outros estudos ou utilização futura dos dados, optou-se por estabelecer os períodos de sete dias em semanas do calendário vigente, de domingo a sábado, totalizando 52 semanas a cada ano. As análises foram feitas em dias úteis de trabalho, entre as segundas e sextas-feiras de cada semana. Uma vez estabelecidas as semanas e organizados os dados das variáveis de acordo com tal divisão de tempo, foram efetuadas em planilha Excel 15.0 (Office 2013):

- as médias da densidade de cianobactérias por semana de cada um dos pontos de coleta GU 101 e GU 104, com a finalidade de sanar as diferenças das semanas em que houve mais ou menos análises
- a soma do acúmulo de precipitação por semana
- a média de temperatura atmosférica de cada semana
- a média das máximas de temperatura atmosférica de cada semana
- a média das mínimas de temperatura atmosférica de cada semana
- a soma de horas de brilho do sol por semana medida por porcentagem de hora/dia

Para este recorte de tempo, foram feitas análises através de:

- gráficos de dispersão combinando cada uma das variáveis meteorológicas à densidade de cianobactérias de cada um dos pontos de coleta visualizados no programa Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013).
- testes de associação de Pearson e de Spearman através do programa SPSS® (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 14.0 para Windows

4.3.2 Recorte por período seco e período chuvoso

Além do recorte de tempo em semanas, também se optou por elaborar um recorte de tempo que obedecesse a padrões climáticos. Segundo Monteiro (1973), o Estado de São Paulo comporta quatro estações do ano, embora duas características sejam bem definidas: o período seco, que normalmente vai de abril a setembro, e o período chuvoso, que costuma perdurar de outubro a março.

Assim, utilizando-se uma adaptação do método de Ribeiro (2007), o período de três anos – 2010 a 2012 – foi dividido em períodos de tempo seco e tempo chuvoso que se alternaram. Dado que os períodos secos e chuvosos sofrem alterações de duração a cada ano, a escolha entre tempo chuvoso e tempo seco deu-se de acordo com o contraste

visual do volume de pluviosidade em cada período e conjunto de meses. No período de tempo de três anos consecutivos, foram encontrados quatro períodos chuvosos e três períodos secos. Os períodos chuvosos foram chamados de Chuvoso 1, Chuvoso 2, Chuvoso 3 e Chuvoso 4, e os secos de Seco 1, Seco 2 e Seco 3 respectivamente, na ordem em que se apresentaram.

Uma vez estabelecidos os recortes de tempo em períodos alternados, efetuaram-se as médias de densidade de cianobactérias para cada um dos períodos e então, os dados resultantes foram comparados e associados aos dados meteorológicos em gráficos de linhas e de barras.

Todos os gráficos elaborados para este recorte de tempo foram feitos através do programa Microsoft® Excel 15.0 (Office 2013).

4.3.3 Outros recortes de tempo

Além dos recortes de tempo descritos anteriormente, também foram efetuados alguns gráficos e comparações de dados acumulados por mês e médias por mês, bem como algumas derivações de análises, utilizando-se novos agrupamentos dos recortes de tempo anteriores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises efetuadas durante a pesquisa geraram os seguintes resultados:

5.1 Recorte semanal

Com a finalidade de encontrar possíveis associações entre a proliferação das cianobactérias e eventos específicos de tempo e clima no Reservatório Guarapiranga, foi efetuado o recorte de tempo em semanas. Foram, então, gerados gráficos de dispersão associando cada variável meteorológica à proliferação de cianobactérias no mesmo período. Esse processo foi repetido para cada um dos pontos de coleta e para cada um dos anos do período de estudo (2010, 2011 e 2012), cada qual dividido em 52 semanas. Foram efetuados gráficos de dispersão associando as médias de proliferação das cianobactérias por semana às:

- a) médias das temperaturas máximas da semana
- b) médias das temperaturas médias
- c) médias das temperaturas mínimas
- d) precipitação total acumulada por semana
- e) insolação total acumulada por semana

A intenção era verificar quais períodos poderiam influenciar os *blooms* – positiva ou negativamente: semanas com predomínio de seca, ou de altas taxas de insolação, ou em que ocorressem trombas d'água ou temperaturas máximas mais elevadas, ou temperaturas mínimas muito baixas, por exemplo.

Seguem as pranchas dos gráficos de dispersão para cada ponto de coleta (GU 101 e GU 104) e para cada ano, associados a cada variável climática correspondente ao mesmo período.

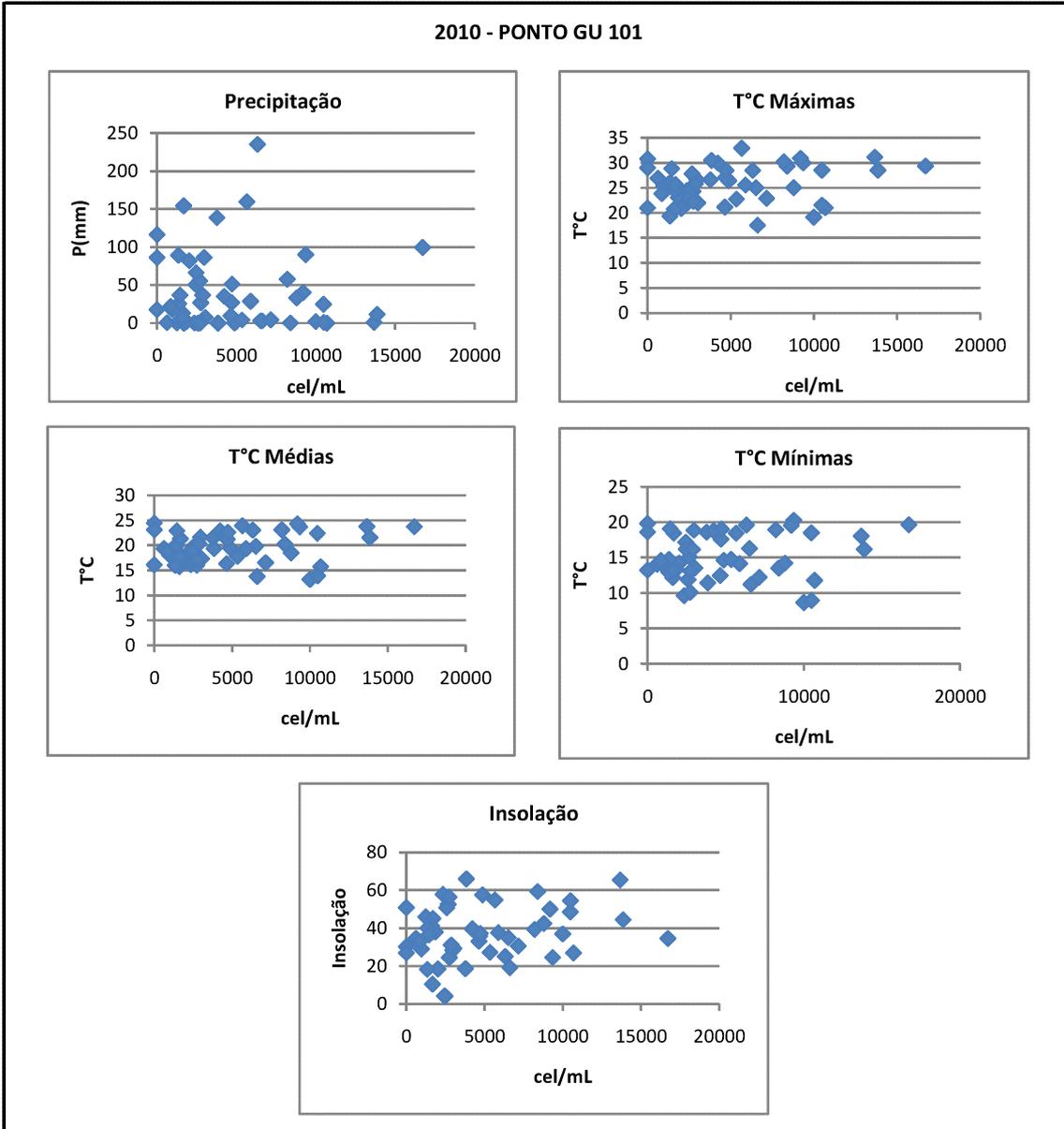


Figura 9: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2010
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

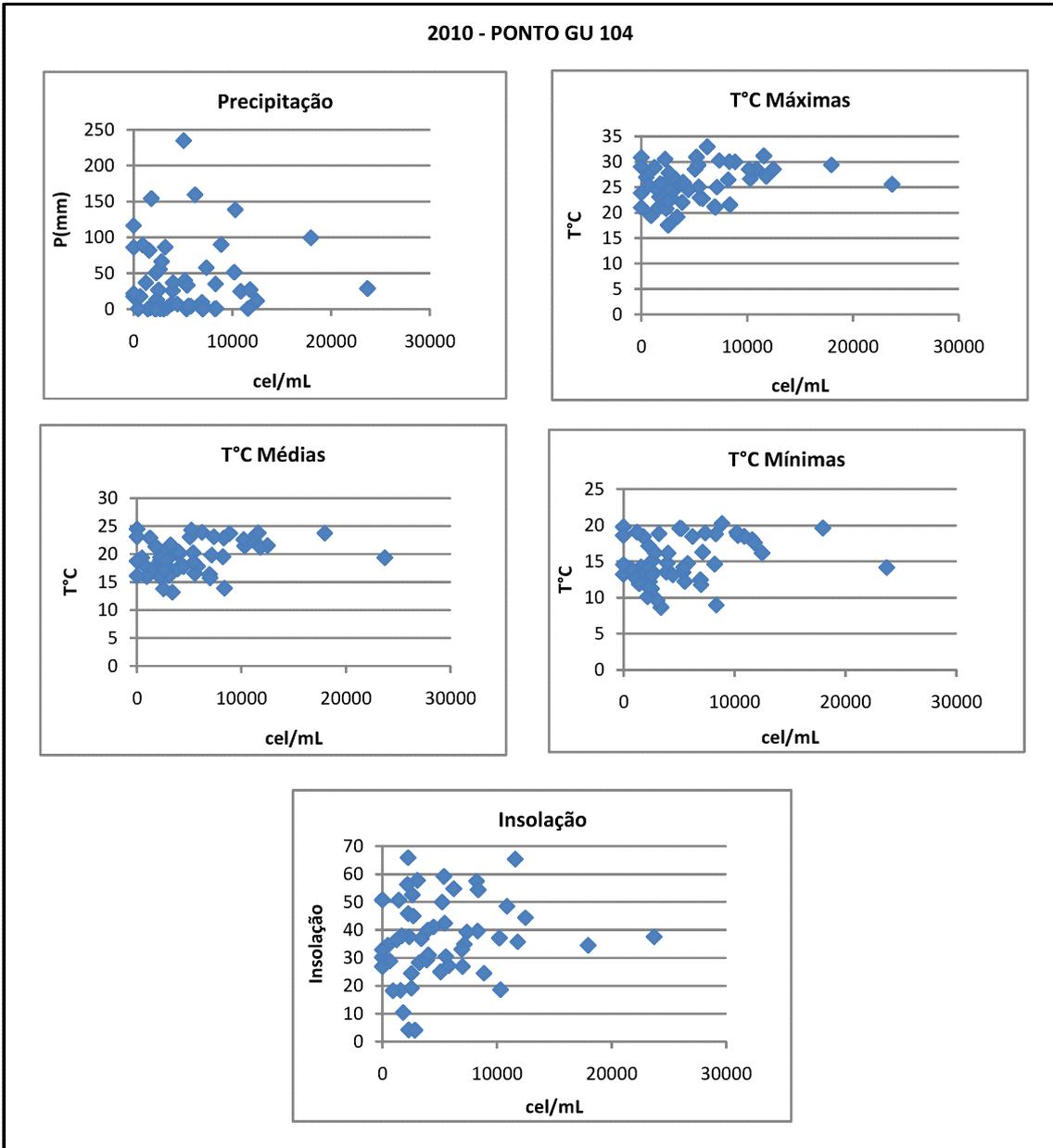


Figura 10: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2010
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

2011 - PONTO GU 101

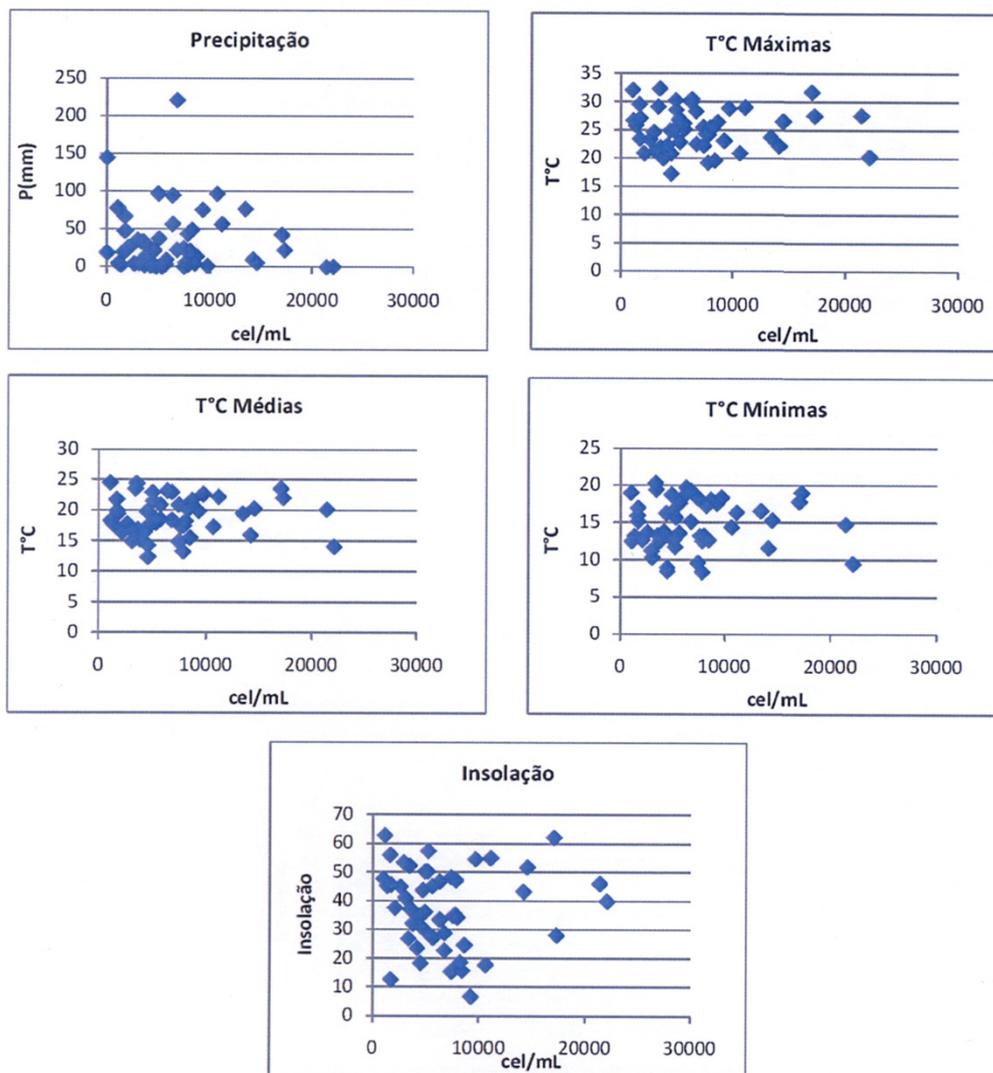


Figura 11: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2011
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

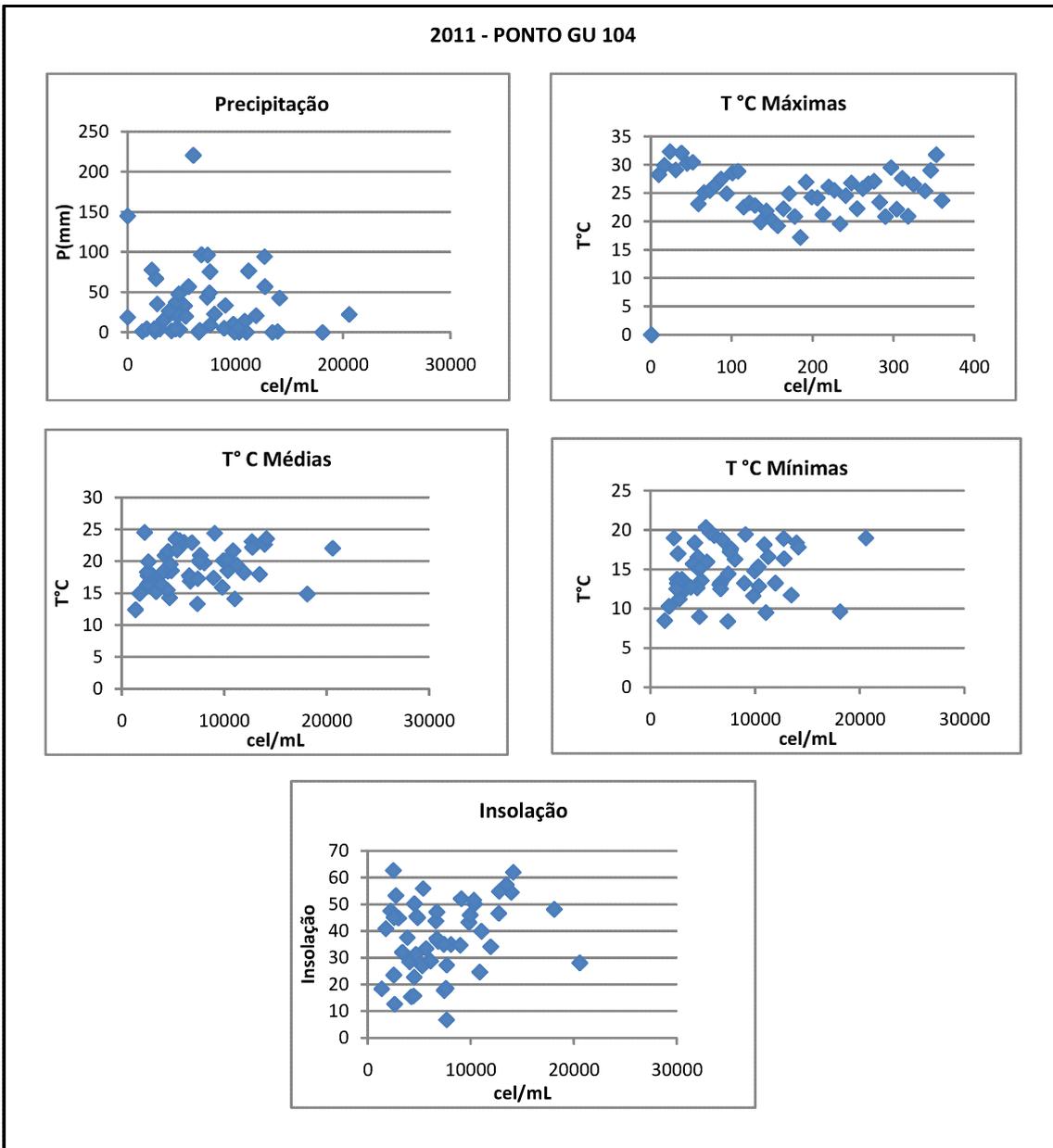


Figura 12: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2011
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

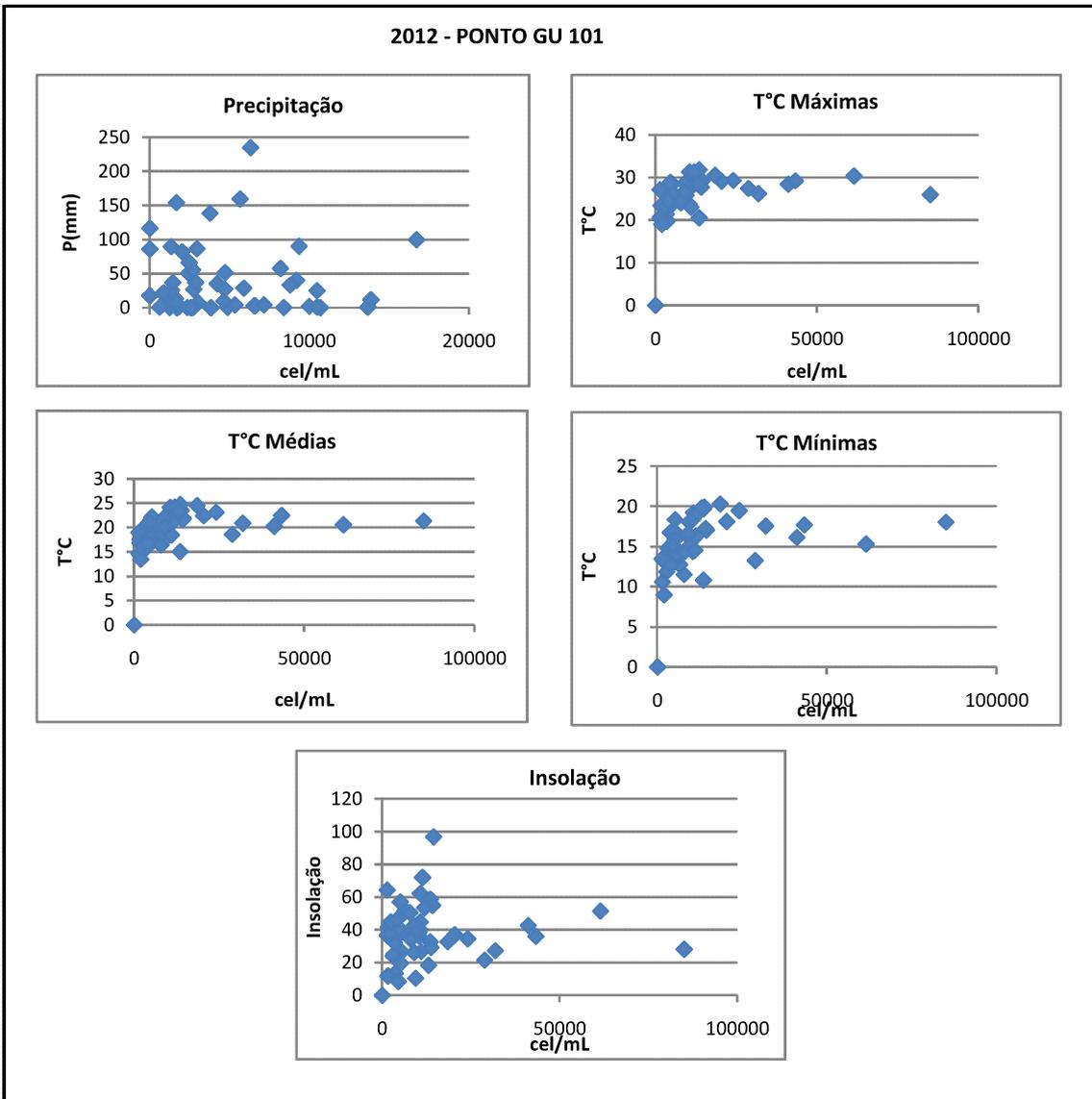


Figura 13: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 101 no ano de 2012
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

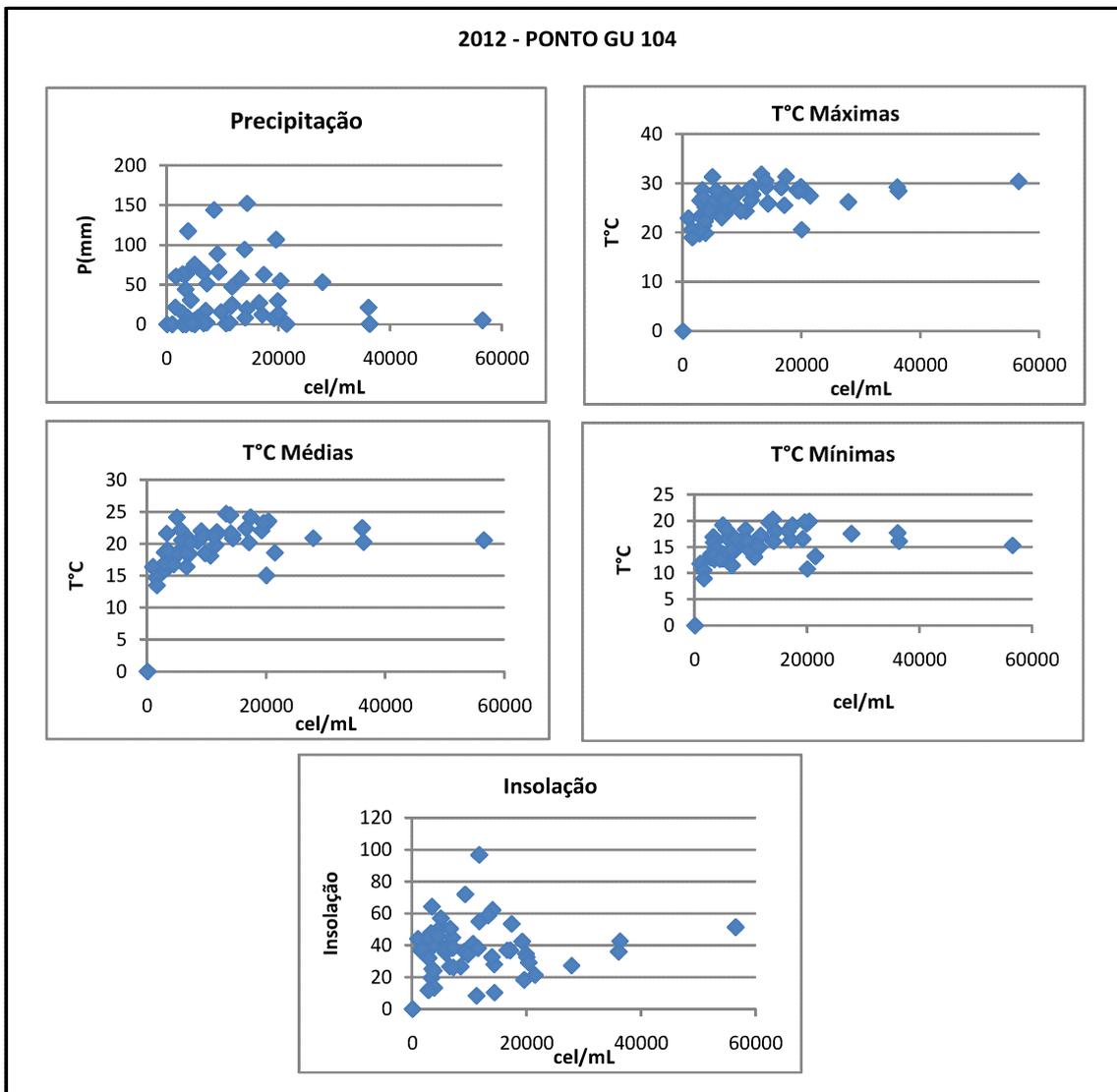


Figura 14: Prancha de gráficos de dispersão para o ponto GU 104 no ano de 2012

Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

Nota-se nos gráficos de dispersão que, em cada associação das cianobactérias com respectivas variáveis meteorológicas, “desenha-se” o mesmo formato para cada ponto de coleta, independente do ano. Os gráficos de dispersão deste recorte de tempo não apresentaram qualquer associação positiva ou negativa, as hipóteses, por tanto, não puderam ser confirmadas através desta metodologia e recorte de tempo.

5.2 Recorte por períodos chuvosos e secos

As cianobactérias mostraram, ao longo de estudos (RIBEIRO, 2007; CAVALCANTE *et al*, 2009; FONSECA *et al* 2010; ESTEVES; SUZUKI, 2011; WHO, 2011) que, no que tange o clima, são influenciadas principalmente pela precipitação de chuva e pela temperatura predominantemente alta. Como em São Paulo o período chuvoso coincide com a época de temperaturas mais elevadas, a primavera e o verão, optou-se por fazer um recorte de tempo relacionado aos períodos de chuva e períodos secos, com a intenção de verificar se no Reservatório Guarapiranga as cianobactérias apresentam características sazonais de proliferação, embora a RMSP se caracterize por clima subtropical, com médias diárias sem grande amplitude durante todo o ano, e normalmente mantendo-se entre 15°C e 25°C. As cianobactérias costumam apresentar maior relação com a sazonalidade em climas temperados do que em climas tropicais (ESTEVES; SUZUKI, 2011; WHO, 2011). Buscou-se também verificar, sob esta perspectiva de recorte temporal, se há relação entre a densidade de cianobactérias e a quantidade de exposição ao sol, que é maior no período seco, uma vez que favorece a fotossíntese.

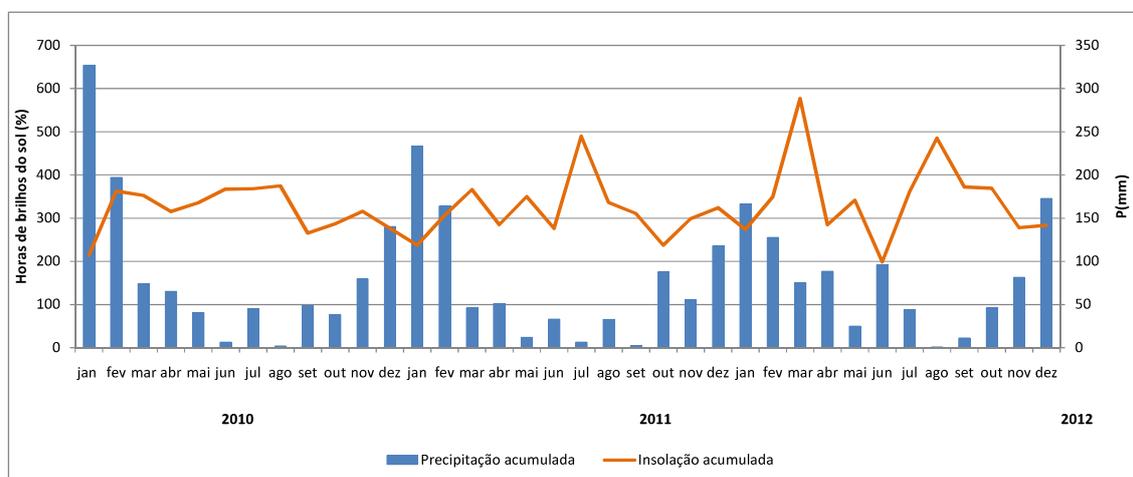


Figura 15: Precipitação de chuva acumulada/mês e insolação total acumulada/mês entre 2010 e 2012

Fonte: EM-IAG/USP, 2013.

No gráfico da **Figura 15**, observa-se que os valores de exposição à luz do sol e os totais pluviométricos são inversamente proporcionais, alternando-se entre períodos chuvosos e períodos secos. Torna-se importante lembrar que os períodos secos não são caracterizados pela ausência total de precipitação, se não por uma diferença significativa

dos totais mensais em cada período, que se caracteriza pela sucessão de meses com características de valores pluviométricos parecidos.

Estes períodos podem ser identificados na **Figura 16**, que apresenta o gráfico de pluviosidade com totais mensais acumulados.

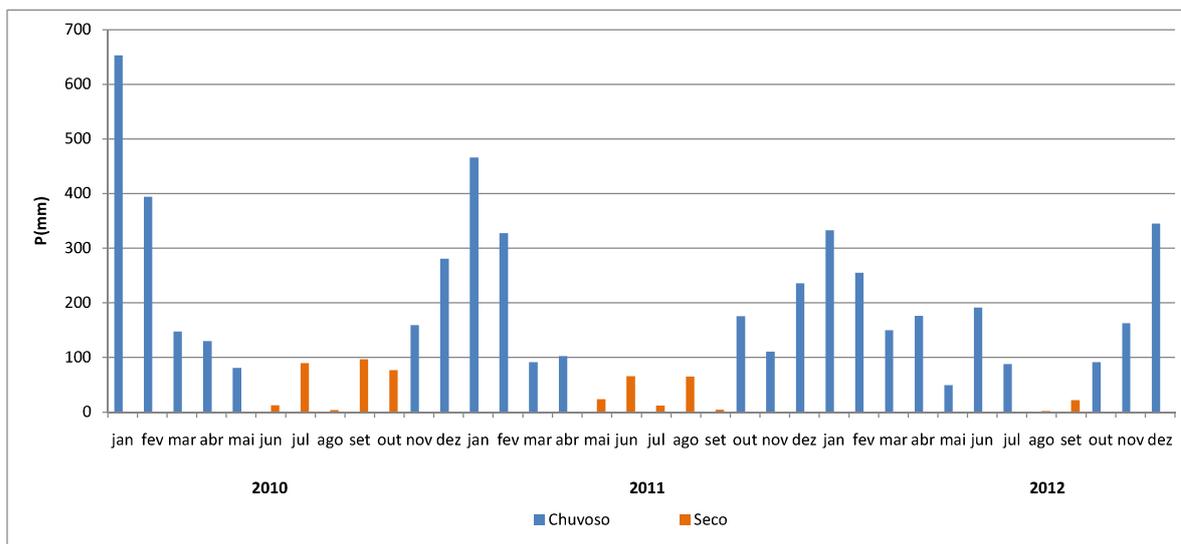


Figura 16: Gráfico de pluviosidade com totais mensais entre 2010 e 2012

Fonte: EM-IAG/USP, 2013.

Identificam-se na **Figura 16** quatro períodos chuvosos em azul, e três períodos secos em alaranjado, alternados ao longo da série de três anos. A maior média de precipitação por períodos chuvosos foi no começo de 2010 (período chuvoso 1), com 281,26 mm de chuva acumulados em média, enquanto o menor valor da média de precipitação acumulada por período chuvoso foi corresponde ao final de 2011 e o início de 2012 (período chuvoso 3) e foi equivalente à média de 176,56 mm de chuva. O menor valor da média de precipitação por período entre os períodos secos corresponde ao terceiro deles (período seco 3), entre agosto e setembro de 2012. O período seco em que houve o maior valor de média de precipitação por período corresponde ao primeiro período seco (período seco 1) entre junho e outubro de 2010

Tabela 5: Classificação de pluviosidade por ano

Intensidade	Classificação
Inferiores a 1100 mm anuais	Pluv. fraca
Entre 1100 e 1300 mm anuais	Pluv. média
Superiores a 1300 mm anuais	Pluv. acentuada

Fonte: Adaptado de MONTEIRO, 1976.

Conclui-se, portanto, que dos três anos, o mais chuvoso foi 2010 e o menos chuvoso foi 2012. Porém, de acordo com a classificação de Monteiro (1976), apresentada na **Tabela 5**, todos os três anos considerados na pesquisa podem ser classificados como bastante chuvosos ou de pluviosidade acentuada (**Tabela 6**).

Tabela 6: Classificação de pluviosidade

Ano	Precipitação total anual	Classificação
2010	2125,4	Pluv. acentuada
2011	1680,5	Pluv. acentuada
2012	1866,9	Pluv. acentuada

Uma vez definidos os períodos chuvosos e períodos secos (**Tabela 7**), com o propósito de comparação e análise, agruparam-se em organização semelhante as outras variáveis meteorológicas e as densidades de cianobactérias referentes a cada ponto de coleta. Os dados de densidade de cianobactérias foram somados e, então, obteve-se a média de cada período para nivelar a diferença de agrupamentos por meses, uma vez que o período que conta mais meses totaliza dez (período chuvoso 3) e o que menos conta meses (período seco 3) totaliza somente dois.

Tabela 7: Distribuição de meses que classificam períodos chuvosos e períodos secos

Período	Meses
Chuvoso 1	janeiro de 2010 - maio de 2010
Chuvoso 2	novembro de 2010 - abril de 2011
Chuvoso 3	outubro de 2011 - junho de 2012
Chuvoso 4	outubro de 2012 - dezembro de 2012
Seco 1	junho de 2010 - setembro de 2010
Seco 2	maio de 2011 - setembro de 2011
Seco 3	agosto de 2012 - setembro de 2012

No que tange os dados de temperatura (T°C), as médias mensais foram agrupadas por período e utilizou-se a média de cada período chuvoso e período seco. Os dados de insolação foram também agrupados por período e utilizou-se a soma total de cada período.

5.2.1 Correlação das cianobactérias em relação ao volume de chuva, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima e insolação

O interesse nesta etapa do estudo foi avaliar se havia correlações lineares entre os valores médios de Cianobactérias em relação às diversas variáveis do estudo: precipitação, temperaturas e insolação. Para verificar esta correlação foi utilizado o coeficiente de Pearson. Sabe-se que quanto mais próximo de 1 ou -1, mais forte a correlação. A existência de correlação linear entre as variáveis pode indicar que quanto maior um valor maior o outro, ou ainda, quanto maior um valor menor o outro (correlação negativa). Foram consideradas fortes correlações valores acima de 0,7 (grau de correlação acima de 70%) e foram consideradas correlações moderadas valores de Pearson (r) entre 0,5 e 0,7. Correlações abaixo de 0,5 são consideradas baixas.

Abaixo, na análise estatística referente à todos os anos conjuntamente pode-se observar que houve fraca correlação de cianobactéria em relação a todas as variáveis avaliadas, tanto no GU101 como no GU104. Ainda assim, as variáveis meteorológicas que demonstraram o maior valor de Pearson foram as T°C máximas, no ponto GU 101 $r=0,22$ e $r= 35$ para as T°C máximas do ponto GU 104.

Tabela 8: Correlação- ponto de coleta GU 101, todos os anos.

GU 101 - todos os anos	
Variáveis Meteorológicas	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,03
T°C Máximas	0,22
T°C Médias	0,21
T°C Mínimas	0,2
Insolação	0,05

Tabela 9: Correlação- ponto de coleta GU 104, todos os anos.

GU 104 - todos os anos	
	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,04
T°C Máximas	0,35
T°C Médias	0,31
T°C Mínimas	0,26
Insolação	0,1

Para o ano de 2010, também se pode observar que apesar da fraca correlação de cianobactéria em relação a todas as variáveis avaliadas, tanto no GU101 como no GU104, as T°C máximas em ambos os pontos tiveram um número mais elevado de r.

Tabela 10: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2010.

GU 101 - 2010	
	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,04
T°C Máximas	0,35
T°C Médias	0,31
T°C Mínimas	0,26
Insolação	0,1

Tabela 11: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2010.

GU 104 - 2010	
	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	0,03
T°C Máximas	0,3
T°C Médias	0,31
T°C Mínimas	0,27
Insolação	0,15

Para o ano de 2011, também se pode observar que houve fraca correlação de cianobactéria em relação a todas as variáveis avaliadas, tanto no GU101 como no GU104.

Tabela 12: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2011.

GU 101 - 2011	
	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,09
T°C Máximas	-0,01
T°C Médias	0,03
T°C Mínimas	0,03
Insolação	0,01

Tabela 13: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2011.

GU 104 - 2011	
	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,09
T°C Máximas	0,28
T°C Médias	0,24
T°C Mínimas	0,17
Insolação	0,25

Para o ano de 2012, que apesar da fraca correlação de cianobactéria em relação a todas as variáveis avaliadas, tanto no GU101 como no GU104, as T°C máximas destacam-se como as variáveis que apresentaram um número de r mais alto que as

demais, no ponto GU 104, o valor de r para a T°C máxima foi de r=0,48, um valor de r quase correspondente a uma correlação moderada.

Tabela 14: Correlação- ponto de coleta GU 101, ano 2012.
GU 101 - 2012

	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,07
T°C Máximas	0,35
T°C Médias	0,34
T°C Mínimas	0,33
Insolação	0,0003

Tabela 15: Correlação- ponto de coleta GU 104, ano 2012.
GU 104 - 2012

	Cianobactérias (cel/mL) - média
Precipitação (mm)	-0,04
T°C Máximas	0,48
T°C Médias	0,41
T°C Mínimas	0,36
Insolação	0,03

5.2.2 Comparação das cianobactérias em relação aos períodos chuvosos e secos

O interesse abaixo foi avaliar se, em média, a quantidade de Cianobactéria foi maior no período chuvoso do que no período seco. Para tais comparações o teste utilizado foi o teste t-Student. O teste foi feito comparando o conjunto das análises descritivas de cada período (chuvoso e seco) entre si, ou seja, a comparação do conjunto de análises descritivas do período chuvoso com relação conjunto de análises descritivas do período seco. Foi considerado um nível de significância de 5%. Desta forma, foi considerado haver diferença entre os períodos quando $p < 0,05$. Para o ano de 2010, pode-se observar que houve diferença, estatisticamente significativa, entre os períodos ($p < 0,05$) apenas no GU104, sugerindo que neste ponto o valor de Cianobactérias foi maior no período chuvoso.

Tabela 16: Ponto de coleta GU 101 – ano 2010.

GU 101 - Ano 2010

	período		valor de p
	chuvoso	seco	
média	5202	4030	
mediana	4460,3	2526,8	
desvio padrão	4114,9	3593,4	0,313
mínimo	0	0	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	16724	10696,3

Tabela 17: Ponto de coleta GU 104 – ano 2010.**GU 104 - Ano 2010**

		período		valor de p
		chuvoso	seco	
	média	6353,6	3001,4	
	mediana	5317,3	2390,1	
	desvio padrão	5179,9	2394,4	0,003
	mínimo	0	0	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	23717	8366,3	

Para 2011 pode-se observar que não houve diferença, estatisticamente significativa, entre os períodos ($p > 0,05$), nem no GU101, nem no GU104.

Tabela 18: Ponto de coleta GU 101 – ano 2011.**GU 101 - Ano 2011**

		período		valor de p
		chuvoso	seco	
	média	7469	5769,7	
	mediana	6549,7	4973,3	
	desvio padrão	5542,7	4235,1	0,235
	mínimo	0	1105,3	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	21413	22106	

Tabela 19: Ponto de coleta GU 104 – ano 2011.**GU 104 - Ano 2011**

		período		valor de p
		chuvoso	seco	
	média	7666,2	6330,6	
	mediana	7518,2	4766,8	
	desvio padrão	4498,8	4379,6	0,29
	mínimo	0	1363,5	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	20595,3	18109,7	

Para 2012 pode-se observar, também, que não houve diferença, estatisticamente significativa, entre os períodos ($p > 0,05$), nem no GU101, nem no GU104.

Tabela 20: Ponto de coleta GU 101 – ano 2012.**GU 101 - Ano 2012**

		período		valor de p
		chuvoso	seco	
	média	12885,9	12921,4	
	mediana	9364	7929,5	
	desvio padrão	16007,3	13355,4	0,995
	mínimo	1511,3	1465	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	85111	41177	

Tabela 21: Ponto de coleta GU 104 – ano 2012.

GU 104 - Ano 2012

	período		valor de p
	chuvoso	seco	
média	11017,3	14169,1	
mediana	8508	10658,3	
desvio padrão	10281,1	10989,6	0,412
mínimo	1030	3486	
Cianobactérias (cel/mL) - média	máximo	56562	36362

Por tanto, segundo as análises estatísticas efetuadas, a correlação do Pearson entre a proliferação das cianobactérias e as variáveis meteorológicas, sugere que essa se dá mais forte pela temperatura, em especial pela T°C máxima, como se pode verificar nas **Tabelas 10, 11, 14 e 15**, em que, embora o valor de p não tenha chegado a 0,5, dado como correlação moderada e estatisticamente significativo, chegou a 0,35 em ambos os pontos de coleta no ano de 2010 e no ponto de coleta GU 101 de 2012 como correlação positiva e, no ponto de coleta GU 104, no ano de 2012 as cianobactérias tiveram uma correlação positiva de “ $r=0,48$ ” com a T°C máxima, indicando que um aumento/diminuição da T°C sugere um aumento/diminuição da proliferação das cianobactérias. Quanto ao teste comparativo entre período seco e chuvoso, o ano de 2010 demonstrou diferença, estatisticamente significante, entre os períodos ($p<0,05$) para o ponto GU104, sugerindo que neste ponto o valor de Cianobactérias foi maior no período chuvoso.

5.2.3 Gráficos Comparativos

Assim, para cada um dos pontos de coleta, elaborou-se um gráfico comparativo. Nos dois gráficos da **Figura 17** (referente ao ponto GU 101) e da **Figura 18** (referente ao ponto GU 104), os períodos chuvosos e os períodos secos passaram a ser chamados respectivamente de C1, C2, C3 e C4 (chuvosos) e de S1, S2, S3 (secos), pela ordem em que se apresentam no tempo cronológico, para fins de melhor visualização.

O gráfico da **Figura 17** apresenta os valores de densidade de cianobactérias no ponto GU 101 e os totais pluviométricos em cada um dos períodos estipulados entre 2010 e 2012. A linha avermelhada representa a média das médias de temperatura atmosférica em cada período, enquanto a linha alaranjada representa as horas de brilho do sol em porcentagens, durante cada período, acumuladas. As duas linhas descrevem

picos e vales inversamente proporcionais: nos períodos chuvosos, a linha da temperatura atinge valores mais altos do que nos períodos secos, nos quais a temperatura atinge valores sempre menores. A insolação, ao contrário, apresenta picos nos períodos secos e vales durante os períodos chuvosos, quando o sol fica mais constantemente encoberto.

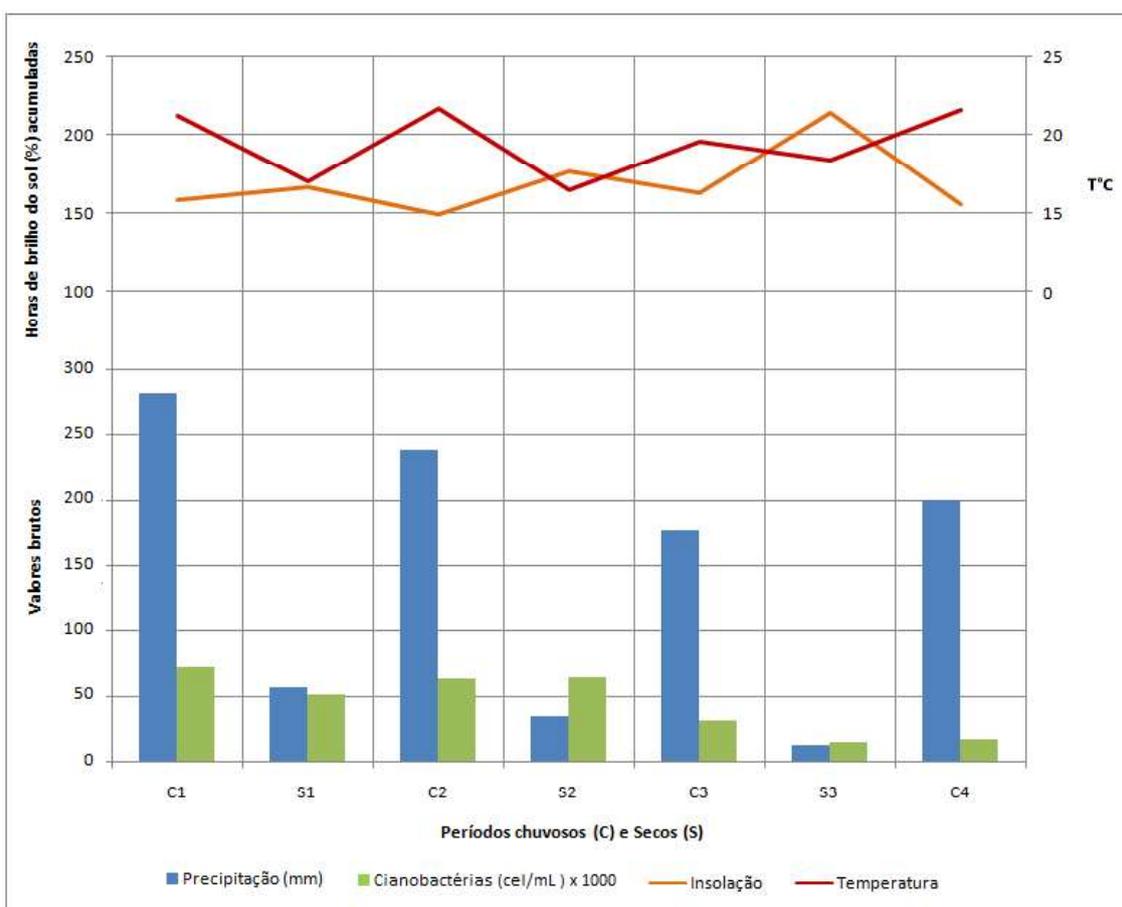


Figura 17: Gráfico comparativo do ponto de coleta GU 101 por períodos chuvosos (identificados com “C”) e períodos secos (identificados com “S”) **Fonte:** EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

As médias das densidades de cianobactérias no ponto de coleta GU 101 apresentaram valores frequentemente mais altos nos períodos chuvosos do que nos períodos secos seguintes. O período chuvoso C2 e o período seco S2 tiveram médias bastante próximas – 62,814 mil cel/mL e 63,683 mil cel/mL, respectivamente. O período seco S2 superou os valores do período chuvoso C2 em 0,01%, e pode-se dizer que, neste caso, os valores foram praticamente iguais.

O gráfico da **Figura 18** apresenta os mesmos valores das variáveis meteorológicas, em comparação com os valores das médias de densidade de cianobactérias no ponto de coleta GU 104.

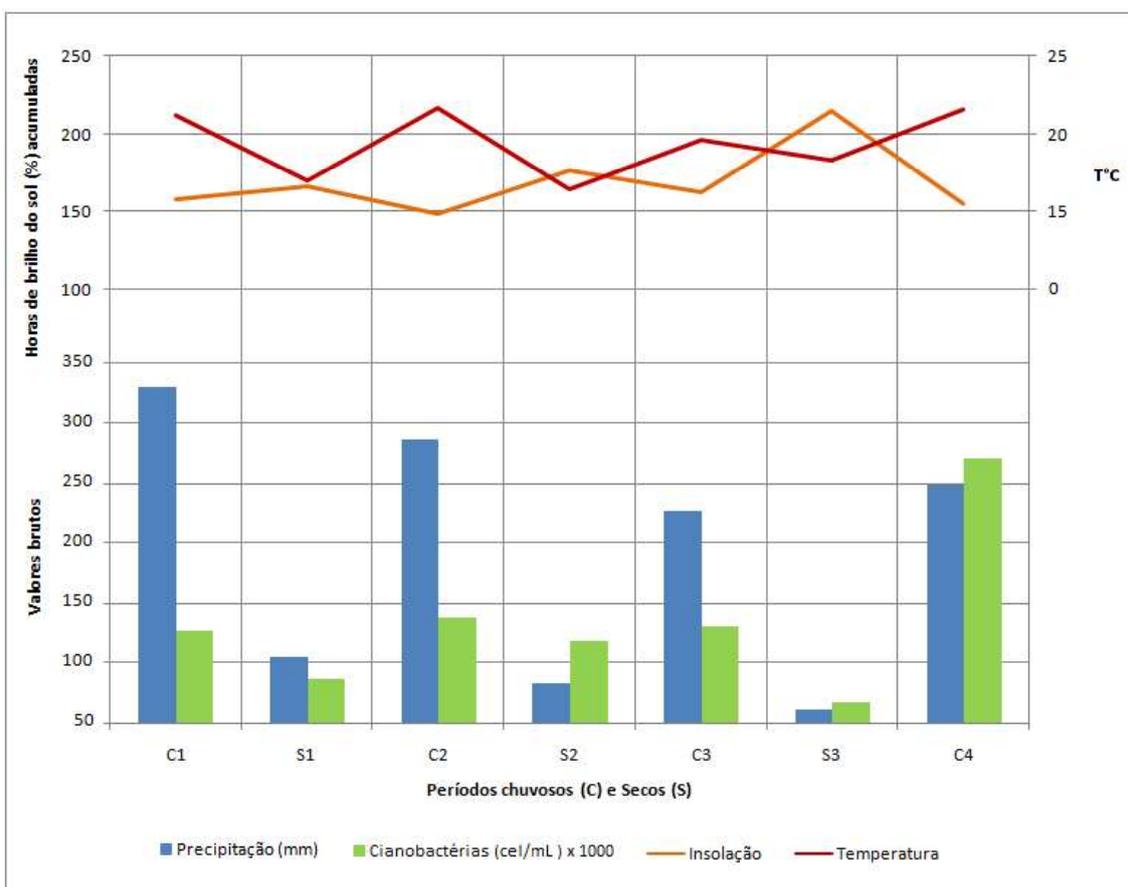


Figura 18: Gráfico comparativo do ponto de coleta GU 104 por períodos chuvosos (identificados com “C”) e períodos secos (identificados com “S”)
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

Observa-se que no ponto de coleta GU 104, todos os valores das médias de densidade de cianobactérias dos períodos chuvosos foram superiores aos valores das médias das densidades de cianobactérias dos períodos secos.

Na **Tabela 22**, estão organizados os valores das variáveis utilizadas para gerar os gráficos deste recorte de tempo em períodos.

Tabela 22: Valores das variáveis utilizadas para análise no recorte de tempo por períodos secos e chuvosos

Variáveis/ Período	C1	S1	C2	S2	C3	S3	C4
Temperatura atm. (°C)	21,28	17,03	21,71	16,43	19,62	18,36	21,58
Precipitação (mm)	281,26	55,86	237,9	34,14	176,56	11,9	199,9
Insolação (%h)	158,02	166,24	148,83	176,26	162,35	214,4	155,1
P GU101 (cel/mL)	72121,2	51031,5	62814,8	63683,8	30934,5	1421,2	1622,9
P GU104 (cel/mL)	7808,16	3786,82	8924,55	7023,54	8172,27	17516,05	22203,56

Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

Os gráficos das **Figuras 19 e 20** foram elaborados com dados acumulados de precipitação por mês, somando os valores dos meses correspondentes de cada ano. Portanto, foram somados os valores totais de precipitação de janeiro de 2010, os de janeiro de 2011 e os de janeiro de 2012, e assim sucessivamente para cada mês de todos os três anos. O mesmo foi feito com os totais mensais dos valores brutos de densidade de cianobactérias no ponto GU 101 e no ponto GU 104.

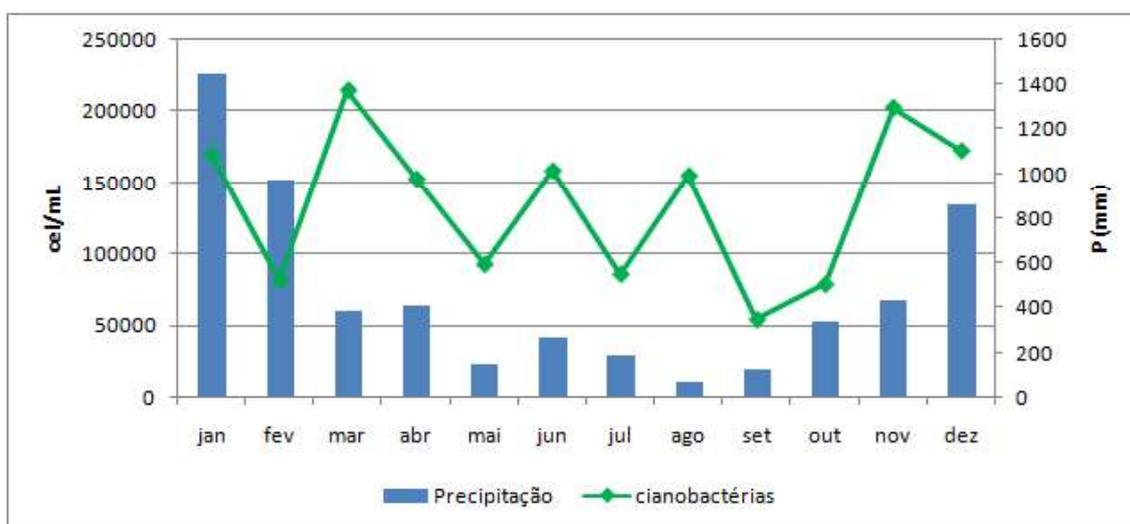


Figura 19: Gráfico dos totais mensais de pluviosidade e densidade de cianobactérias acumulados por mês (2010 a 2012) no ponto GU 101

Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

O gráfico da **Figura 19** exhibe o típico formato de um gráfico de precipitação anual da Região Metropolitana de São Paulo, com os meses de começo e final de ano das estações de primavera e verão e começo de outono apresentando valores de precipitação mais altos, em oposição aos valores de final de outono e inverno. De certa forma, os valores de cianobactérias no ponto de coleta GU 101 acompanham a variação pluviométrica, embora de forma mais amena. Fica claro, porém, que o início das chuvas após o período seco, em outubro e novembro, contribui para a proliferação das cianobactérias. Este fenômeno pode ser explicado pelo aumento do aporte de nutrientes

devido tanto ao processo natural quanto à lavagem que a chuva faz com água de escoamento superficial na Região Metropolitana, carregando detritos depositados nas margens do reservatório. Além disso, o aumento dos nutrientes converge de afluentes do Reservatório que têm ligação com as galerias de esgoto e bocas de lobo da RMSP. Esta densidade de cianobactérias se mantém elevada durante a estação chuvosa e quente, mas decresce um pouco no período mais frio e seco.

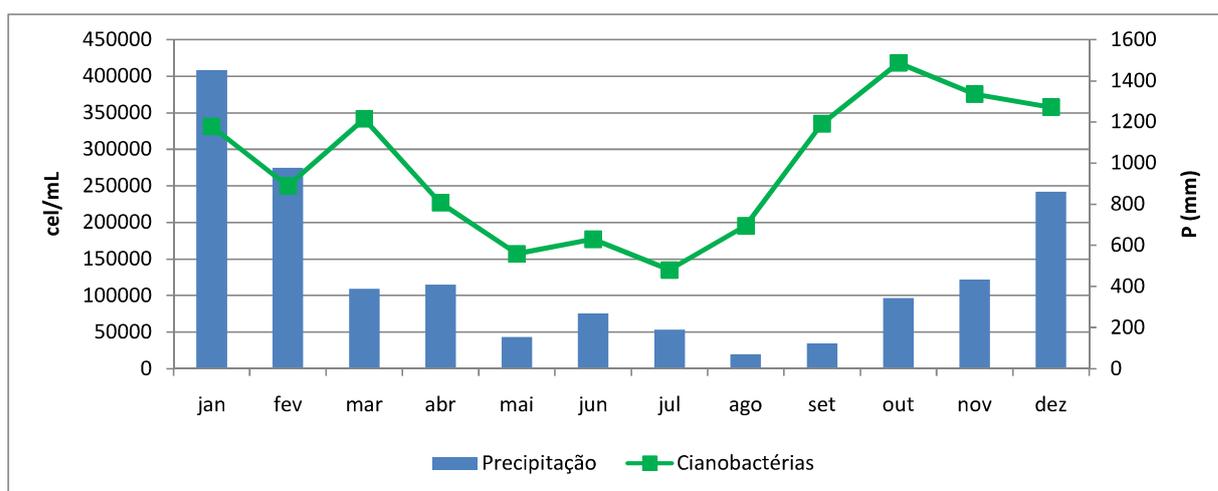


Figura 20: Gráfico dos valores totais mensais de pluviosidade e de densidade de cianobactérias acumulados por mês (2010 a 2012) no ponto GU 104
Fonte: EM-IAG/USP, 2013; SABESP, 2013.

No gráfico da **Figura 20**, a relação entre densidade de cianobactérias e pluviosidade fica mais clara: nota-se o mesmo fenômeno de aumento da proliferação no início do período chuvoso, no começo da primavera (outubro), mantido em níveis elevados até a diminuição da precipitação e da temperatura, em abril.

Os gráficos das **Figuras 21 e 22** explicitam a relevância do período quente e chuvoso na proliferação das cianobactérias. Ambos foram gerados utilizando a média dos valores de densidade de cianobactérias por período, ou seja, obteve-se a média dos valores de densidade de cianobactérias nos períodos chuvosos (C1, C2, C3, C4) e a média dos valores de densidade de cianobactérias nos períodos secos (S1, S2, S3). Este processo foi reproduzido com os dados referentes aos dois pontos de coleta.

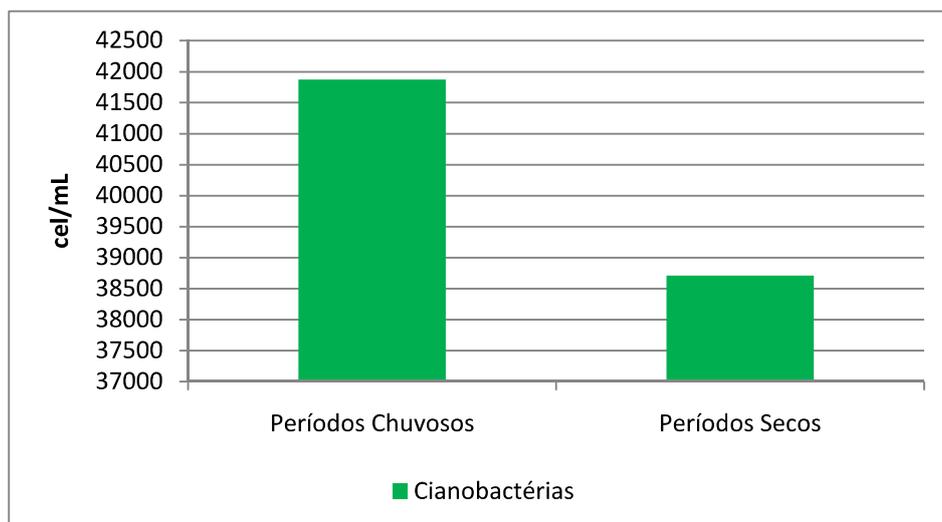


Figura 21: Gráfico da média das médias de densidade de cianobactérias por períodos chuvosos e secos no ponto de coleta GU 101
Fonte: SABESP, 2013.

O gráfico da **Figura 21** evidencia claramente a associação entre o período chuvoso na RMSP e a proliferação das cianobactérias, pois a média de proliferação nos períodos chuvosos no ponto GU 101 é mais de 150% maior que a proliferação nos períodos secos.

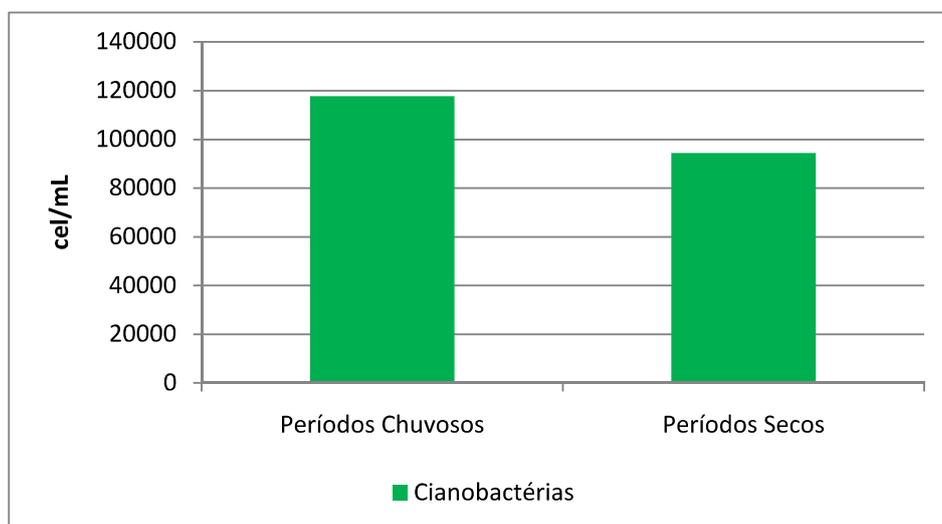


Figura 22: Gráfico da média das médias de densidade de cianobactérias por períodos chuvosos e secos no ponto de coleta GU 104
Fonte: SABESP, 2013.

O gráfico da **Figura 22** também evidencia a associação entre os períodos chuvosos e quentes na RMSP e a proliferação de cianobactérias, embora em menor escala. No ponto GU 104, a proliferação de cianobactérias nos períodos chuvosos foi 25% maior do que nos períodos secos e mais frios.

5.2.4 Diferença de resultados entre os pontos de coleta GU 101 e GU 104

Um dos pontos está no meio da represa (GU 104) enquanto o outro está na boca de captação (GU 101) o Reservatório do Sistema Guarapiranga, em se tratar de uma represa, se caracteriza como sistema lântico por tanto a movimentação de matéria orgânica presente neste corpo d'água é limitada, na área em que está o ponto GU 101, por ser próximo à captação e à margem da represa, pode ser que seja uma área sujeita à maior movimentação da água devido à sucção da boca de captação e por conseqüência a oferta de matéria orgânica para as cianobactéria não seria tão constante como no ponto GU 104 em que não há tanta movimentação na água constantemente, salvo em episódios de chuva. Isso pode explicar porquê o ponto GU 104 parece ter uma proliferação maior de cianobactérias durante todo o ano enquanto o ponto GU 101 apresenta uma maior diferença entre os períodos chuvosos e secos, segundo os gráficos, embora os gráficos gerados com os dados do ponto GU 104 também apontem para o mesmo resultado.

5.3 Variabilidade Climática na RMSP

O Gráfico da **Figura 23** apresenta a série histórica de pluviosidade relativa aos últimos 42 anos na RMSP. Neste período, a pluviosidade vem aumentando significativamente, como mostra a linha de tendência. A análise do gráfico indica que houve um aumento de, em média, 121,746 mm a cada década entre 1970 e 2012. Segundo a classificação de Monteiro (1976), vem aumentando a frequência de anos considerados de pluviosidade acentuada, com mais de 1300 mm de chuva anuais. A partir de 1986, somente o ano de 2003 não atingiu esse índice e, a partir de 2004, os anos se tornaram particularmente mais chuvosos.

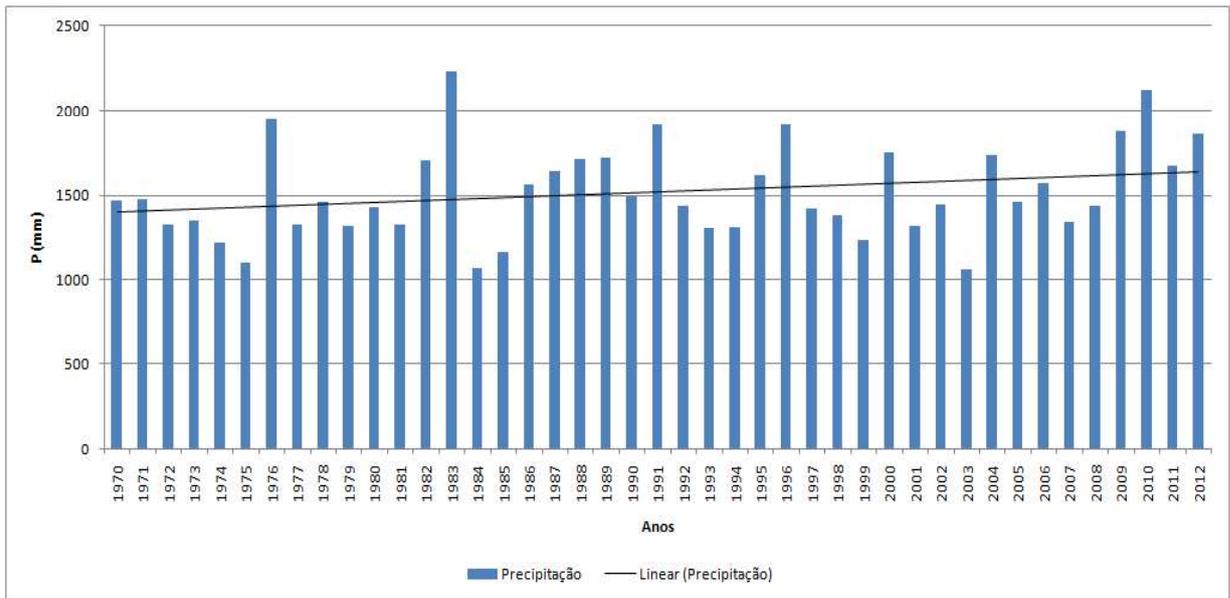


Figura 23: Gráfico da precipitação anual 1970-2012 e linha de tendência
Fonte: EM-IAG/USP, 2013.

Além das alterações observadas na pluviosidade, o gráfico da **Figura 24** também permite visualizar o aumento das temperaturas máximas e de sua frequência nas duas últimas décadas. Nota-se um princípio de mudança no padrão a partir de 1988, mas a partir de 1993, evidencia-se a elevação na frequência de temperaturas máximas.

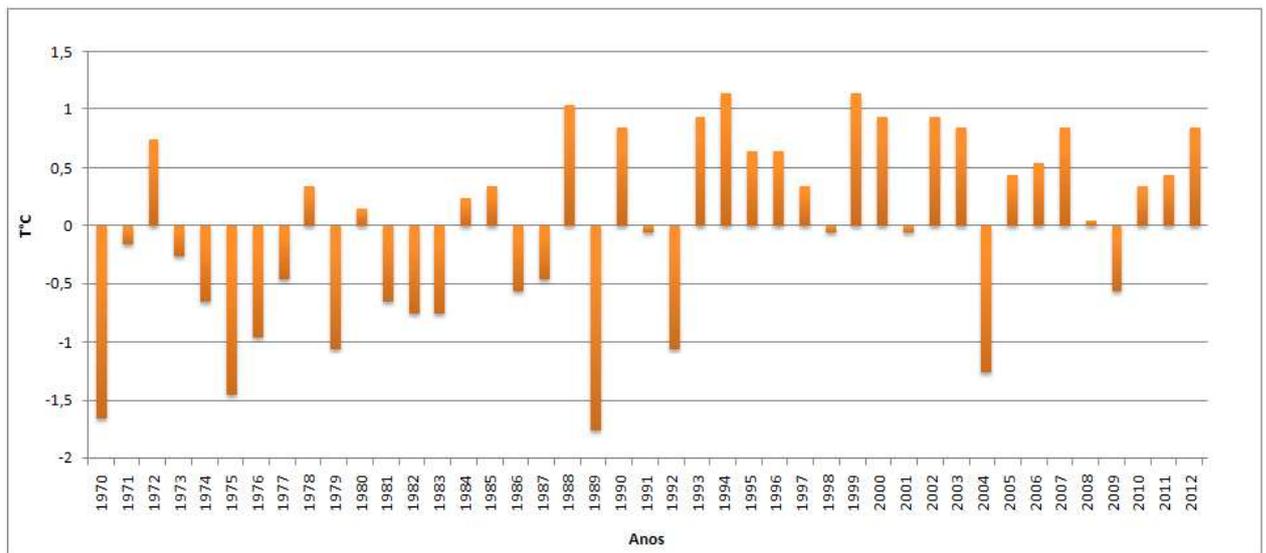


Figura 24: Desvio das temperaturas máximas anuais em relação à média das temperaturas máximas (°C)
Fonte: EM-IAG/USP, 2013.

A análise dos dados no gráfico da figura anterior indica que a temperatura subiu, em média, 0,27°C a cada década na RMSP. Na **Figura 24**, observam-se os desvios da temperatura máxima anual entre 1970 e 2012 em relação à normal climatológica do

mesmo período. Verifica-se que nos últimos 20 anos, apenas 2004 e 2009 tiveram máximas inferiores à média, enquanto que 1998, 2002 e 2008 apresentaram valores de máximas bem próximas à média de 34,26°C. É ainda possível perceber que os dez anos que apresentaram as máximas mais altas são a partir de 1988.

Os resultados encontrados corroboram os estudos (PEREIRA FILHO *et al*, 2007; SILVA, 2010; NOBRE *et al*, 2010; MARENGO, 2013) e indicam a forte presença da variabilidade climática nos últimos 20 anos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, aferiu-se que as cianobactérias apresentam associação com as variáveis meteorológicas de São Paulo, e que essa associação é positiva nos períodos quentes e chuvosos e negativa nos períodos frios e secos. Embora haja abundância de insolação nestes períodos secos e frios, potencializando a fotossíntese, os níveis de insolação não demonstraram ser um fator determinante para as florações no Reservatório Guarapiranga.

Adicionalmente, não foi possível verificar a influência isolada dos elementos climáticos na proliferação das cianobactérias – o método utilizado de recorte de tempo em semanas não se mostrou eficaz para este propósito. Pode-se deduzir que o tempo de resposta aos estímulos climáticos na proliferação das cianobactérias não é tão curto como um intervalo de sete dias. Também não foram encontradas associações quando se estabeleceram *lags* de alguns dias.

As análises climáticas de pluviosidade e temperatura da RMSP indicam que vêm ocorrendo alterações climáticas e que sua variabilidade tende a acentuar o tempo quente e chuvoso, uma vez que a pluviosidade tem aumentado a cada década, assim como as temperaturas máximas anuais.

Segundo os resultados deste estudo, as condições climáticas ideais para a proliferação de cianobactérias no Reservatório Guarapiranga – períodos de alta pluviosidade e elevadas temperaturas – vêm se acentuando nas últimas quatro décadas e mais ainda nos últimos 20 anos. Sendo assim, pode-se inferir que a frequência e intensidade das proliferações de cianobactérias no Reservatório Guarapiranga e os consequentes riscos à saúde humana podem aumentar, caso se mantenha a tendência do clima na RMSP.

Os resultados desta pesquisa podem vir a alimentar modelos preditivos relacionados aos malefícios das alterações climáticas na Região Metropolitana de São Paulo, ou ainda, de outras regiões com características semelhantes, uma vez que a proliferação de cianobactérias em lagos e mananciais eutróficos constitui um problema global. Com isso em mente, formas de mitigar as alterações climáticas podem prevenir

desfechos ligados às cianotoxinas e aos trihalometanos, evitando malefícios à saúde da população e poupando gastos no tratamento de morbididades relacionadas.

As florações de cianobactérias representam matéria orgânica em excesso que é difícil de ser retirada da água e tratada pelos meios convencionais. Além do comprometimento da qualidade da água a partir da combinação do cloro com a matéria orgânica, que gera os trihalometanos, os resultados desta pesquisa mostram que a tendência é de que esta configuração traga mais risco à saúde, uma vez que a água destinada ao consumo apresenta concentração cada vez maior de cianobactérias e cianotoxinas e, por isso, deve ser tratada com ainda mais produtos químicos, mais cloro, o que vai provocar a multiplicação de trihalometanos. Portanto, podem aumentar os desfechos ligados à exposição às cianotoxinas não neutralizadas e aos trihalometanos derivados do processo de desinfecção por cloro, o que ampliará o risco à saúde pública na região abastecida pelo Reservatório Guarapiranga.

Um fator associado e de grande importância é o viés econômico, pois os resultados demonstram uma configuração que tende a se acentuar e exige o emprego de formas adicionais de desinfecção, que são bastante custosas em relação ao sistema tradicional.

Recomendam-se como trabalhos futuros a análise da potencial formação de trihalometanos na água do Reservatório Guarapiranga e a análise espacial de desfechos epidemiológicos ligados à exposição a trihalometanos e cianotoxinas na Região Metropolitana de São Paulo, com a finalidade de aprofundar as influências da variabilidade climática sobre a saúde pública da RMSP.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWWA – American Water Works Association. **Journal AWWA**. 2005;97(5).

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 10.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

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

_____. **Current studies on toxic cyanobacteria in Brazil**. REUNIÃO ANUAL DA FEDERAÇÃO DE SOCIEDADES DE BIOLOGIA EXPERIMENTAL, 12, Caxambu, MG, 1996, 40p.

BERGAMASCO, A. M. D. D. *et al.* Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19 n. 4, pp. 479-86, 2011.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas (ANA)**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 17.mar.2013

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. 2004. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/programa_vigiagua.pdf>. Acesso em: 15.mar.2013

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos 2004**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2005.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2009**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2011. 616 p.: texto, tabelas.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 53, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Alterada pelas Resoluções n° 370, de 2006, n° 397, de 2008, n° 410, de 2009, e n° 430, de 2011. Complementada pela Resolução n° 393, de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: jan. 2013.

CAVALCANTE, R. R. M. *et al.* **Análise Temporal da Densidade de Cianobactérias de um reservatório de abastecimento humano**. *In*: Congresso de Pesquisa e Inovação da rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, IV, 2009, Belem, PA.

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: 01 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.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. I, n. 20, pp.193-204, 2003.

DAWSON, B.; TRAPP, R.G. **Bioestatística Básica e Clínica**, 3.ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2003.

DEBREDT, G. L. B. **Estudo de cianobactérias em reservatório com elevado grau de trofia** (Reservatório de Salto Grande - Americana - SP). 2002. 207p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

DINIZ, C.R de S. **Efeito dos trihalometanos em parâmetros fisiológicos de *Mus musculus* da estirpe ICR**. Dissertação (Mestrado em Biologia Clássica), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 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. (coord.). **Fundamentos de Limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVES, F.A. and F. MEIRELLES-PEREIRA. Eutrofização artificial. *In* F.A ESTEVES (coord.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência,2011. pp. 625-655.

ESTEVES, F.A. and M.S. SUZUKI. Comunidade Fitoplanctônica. *In* F.A ESTEVES (coord.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência,2011. pp. 625-655.

FALCONER, R. Toxic cyanobacterial bloom problems in Australian waters: risks and impacts on human health. **Phycologia**. v.40, n. 3, pp. 228-233. maio 2001.

FONSECA, F. S. *et al.* Influência de fatores climatológicos na ocorrência de microcistina. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 4, pp. 461-6, 2010

FRAIETTA, M.; F, JARDIM, F. A.; MOREIRA A. A. **Ocorrência de Floração *Cylindrospermopsis Raciborskii* na captação de água da cidade de Guaranésia**. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. 2005, Campo Grande-MS. Anais... Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, , 2005.

FUNDAÇÃO IBGE. **IBGE**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23.jan.2013

- JULIÃO, F.C. **Água para consumo humano e saúde**: ainda uma iniquidade em área periférica do município de Ribeirão Preto. 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor nas grandes metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- LOPES, M. *et al.* Alterações Climáticas e Gestão da Água em Portugal. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 06, pp. 1333-1357, 2012.
- LOPES, V.C.; LIBANIO, M. Proposição de um índice de qualidade de estações de tratamento de água (IQETA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.1, n.1, 1996.
- MAGALHÃES, MN e LIMA, ACP. **Noções de Probabilidade e Estatística**. São Paulo: IME-USP, 2ª ed, 2000.
- MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, pp. 83- 96, 2008.
- MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C.; OBREGON, G.O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **Climate Research**, v. 57, pp. 61–72, jul. 2013.
- MAYER, M.G.R. *et al.* **Variação espaço-temporal da qualidade das águas de um rio poluído com esgoto doméstico (PB-Brasil)** In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, XXVI, 1998, Lima – Peru, **Anais ... Lima AIDIS**, 1998.
- MELO, G. *et al.* Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife. v. 06, pp.1300-16, 2012.
- MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica e notas introdutórias. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, pp. 205-221, jan./jul. 2003.
- MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Cadernos de Saúde Pública**., Rio de Janeiro, v.10, n. 1, pp. 99-110, jan./mar. 1994.
- MONTEIRO JUNIOR, L. **Infraestruturas urbanas**: uma contribuição ao estudo da Drenagem em São Paulo. 2011. 278 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano Regional) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e clima urbano. In: **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. pp.09-68.
- _____. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: USP/ Instituto de Geografia, 1973. 129 p.

NASCIMENTO, P. B. **Cianobactérias como indicadores de poluição nos mananciais abastecedores do sistema Cantareira**. 2010. 116 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

NOBRE *et al.* **RMSP e as vulnerabilidades as mudanças climáticas** 2010. INPE/UNICAMP/USP/IPT/UNESP – Rio Claro. Disponível em: <http://www.issonaoenormal.com.br/CLIMA_SP_FINAL.pdf> Acesso em: set. 2012.

PASCOALINO, A. **Vulnerabilidade socioambiental e mortalidade por doenças de veiculação hídrica nas metrópoles brasileiras**. *In: Encontro Latino Americano de Geografia*, 12. 2009. Anais... Montevideo: Imprensa Gega, 2009. v. 1.

PATZ, J.A. Cambio climático. *In: Salud Ambiental de lo Global a lo Local*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud, 2010. pp. 257-290.

PATZ, J.A.; CHRISTENSON, M. El cambio climático y la salud. *In: Determinantes ambientales y sociedades de la salud*. México: Organización Panamericana de la Salud, 2010. pp. 215-232.

PEREIRA FILHO, A.J. *et al.* 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, 2007. pp. 99-122.

PETRY, A.T. *et al.* **Efeito potencial de gradiente trófico em rio urbano na formação de trihalometanos**, *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23. 2005, Campo Grande-MS. Anais... Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, ,, 2005.

PORTO, S. K. S. S. **Controle e Vigilância de Trihalomethanos em Água de Abastecimento Humano: o caso do desastre ambiental dos Rios Pomba e Paraíba do Sul**. 2008. 143p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) – Fiocruz. Rio de Janeiro, 2008.

PRIMAVESI, O., ARZABE, C. PEDREIRA, M. S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

RIBEIRO, P.C. **Análise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização**. 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande –PB, 2007.

RIBEIRO SOBRAL, H. Heat Island in São Paulo, Brazil: Effects on health. **Critical Public Health**, v.15, n.2, pp.147-156, jun. 2005.

RIBEIRO, H. *et al.* Alterações no clima urbano. *In: SALDIVA, P.H.N. (coord.) Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles*. 1.ed. São Paulo: Ex Libris, 2010. v.1, pp.67-87, 2010.

RICHTER, E.M. *et al.* Avaliação da Composição química de águas do Sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003. **Química Nova**, v. 30, n. 5, pp.1147-1152, oct. 2007.

RODRIGUES, L., L.; SANT'ANNA, C.L.; TUCCI, A. Chlorophyceae das Represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo. v. 33, n. 2, pp.247-264, jun. 2010

SABESP. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticiasdetalhe.aspx?secaoId=65&id=1907>>

Acesso em: 22 ago.2011.

SALVO, M.T.; ISAAC, R.L. **Avaliação da Eficiência de Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas por Processos do Tratamento Convencional e por...** Disponível em:

<[SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1993.](http://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=Salvo+Isaac+2002&btnG=&lr=(>. 2002</p></div><div data-bbox=)

SANTOS, S. M.; GOUVEIA, N. Presença de trihalometanos na água e efeitos adversos na gravidez. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. São Paulo; v. 14, n. 1, pp. 106-119, 2011.

SEADE. Disponível em:

<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil_regional/index.php> Acesso em: 16.

mar.2012.

SILVA, A.B. **Avaliação do emprego da ultrafiltração em membrana na remoção de células de cianobactérias para águas de abastecimento**. 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, E. N. **Ambientes Atmosféricos Intra-urbanos na Cidade de São Paulo e Possíveis Correlações com Doenças dos Aparelhos Respiratório e Circulatório**. 2010. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

SINGER, P. **Economia Política da Urbanização**. São Paulo: Brasiliense/Cebrap, 1973.

SORRE, M. **Les fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951.

TARDIFF, R.G., HUBNER, R.P., GALIK, S.A. **Estimation of health risks and safety form exposures to chlorine and chloroform for swimmers in pools**. Maryland: National Association of Gas Chlorinators, 2000.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. Os Climas Naturais. *In*: Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. GEOUSP - **Coleção novos caminhos**. São Paulo: USP/Laboratório de Climatologia/DG/FFLCH, 2001.

_____. Os Climas Urbanos. *In*: Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. GEOUSP - **Coleção novos caminhos**. São Paulo: USP/Laboratório de Climatologia/DG/FFLCH, 2001.

TARDIFF, R.G., HUBNER, R.P., GALIK, S.A. **Estimation of health risks and safety form exposures to chlorine and chloroform for swimmers in pools.** Maryland: National Association of Gas Chlorinators, 2000.

TOMINAGA, M.Y.; MIDIO, A. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública** v.33, n.4, pp. 413-421, 2005.

UNFPA. **Situação da população mundial 2007:** desencadeando o potencial do crescimento urbano. Disponível em: <www.unfpa.org> Acesso em: 16.nov.2012

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. **Química Nova**, v. 27, n.1, pp.139-145, 2004.

VINCENTI, A.M.; FANTUZZI, G.; MONICI, L.; CASSINADRI, M.; PREDIERI G.; AGGAZZOTTI, G. A. Retrospective cohort study of trihalomethane exposure through drinking water and cancer mortality in Northern Italy. **Science of the Total Environment.** [s.l.] [s.n.]2004.

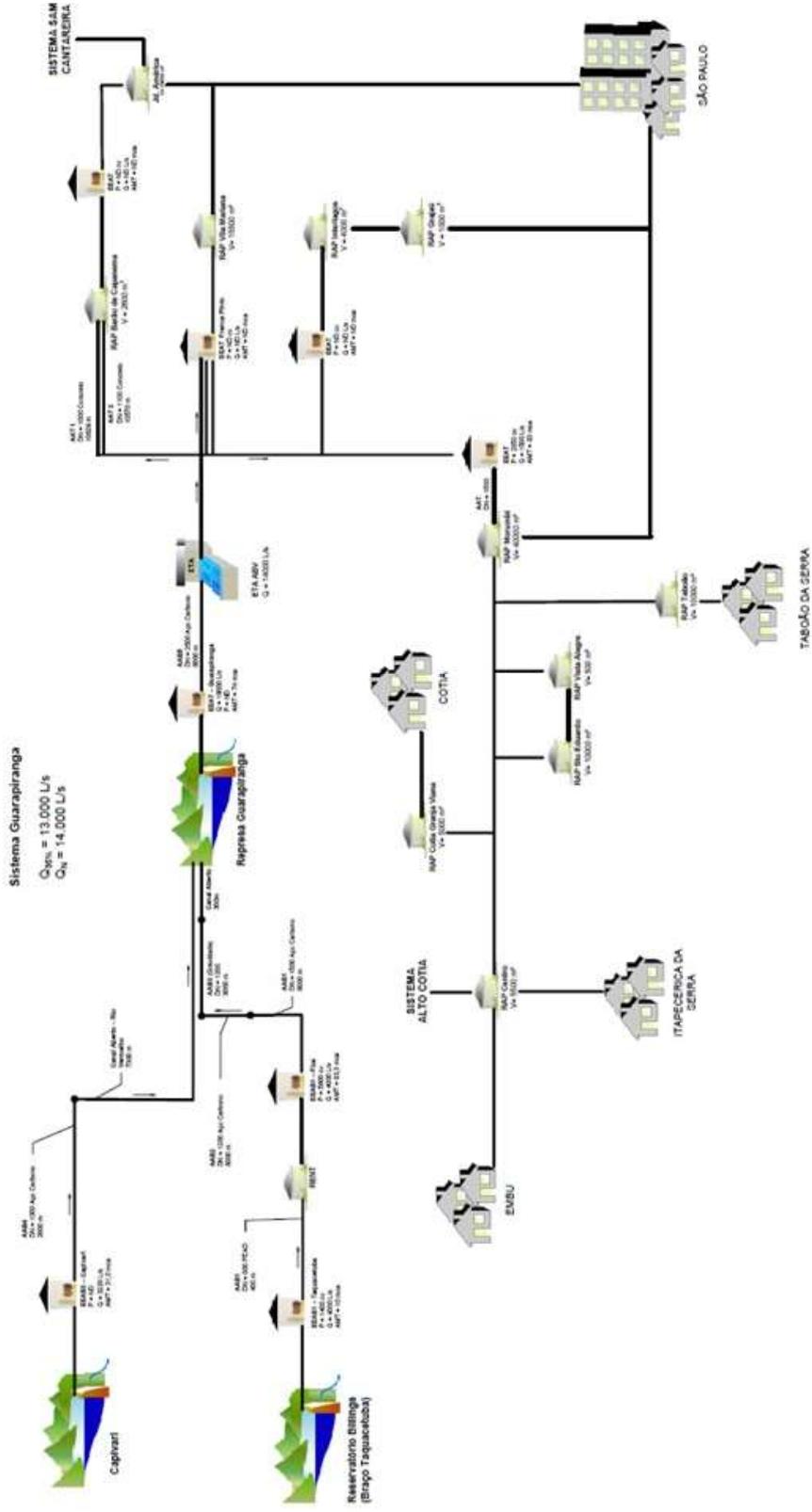
WHO. **Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management.** 1 ed. London: WHO, 1999.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality.** 2.ed. Geneva: WHO, 1996.

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

YOO, R. S.; Carmichael, W.W., Hoehn, R.C., and S.E. Hrudey. **Cyanobacterial (Blue-Green Algae) toxins: a resource guide.** AWWA, 1995.

ANEXO 1 – Croqui do Sistema de Abastecimento de Água – Sistema Guarapiranga



POPULAÇÃO URBANA (hab)		SISTEMA PRODUTOR		TIPOS DE CAPTAÇÃO		SITUAÇÃO		SISTEMA INTEGRADO – GUARAPIRANGA		N° 0000	
1	10.000 a 200.000	1	Adutora	1	Captação em Rio	1	Em Obra	1	EMASP	1	0000
2	200.000 a 500.000	2	Estação Elevatória	2	Captação em Barragem	2	Operando	2	EMASP	2	0000
3	500.000 a 1.000.000	3	Estação Elevatória	3	Captação em Barragem	3	Operando	3	EMASP	3	0000
4	1.000.000 a 2.000.000	4	Estação Elevatória	4	Captação em Barragem	4	Operando	4	EMASP	4	0000
5	2.000.000 a 5.000.000	5	Estação Elevatória	5	Captação em Barragem	5	Operando	5	EMASP	5	0000
6	5.000.000 a 10.000.000	6	Estação Elevatória	6	Captação em Barragem	6	Operando	6	EMASP	6	0000
7	10.000.000 a 20.000.000	7	Estação Elevatória	7	Captação em Barragem	7	Operando	7	EMASP	7	0000
8	20.000.000 a 50.000.000	8	Estação Elevatória	8	Captação em Barragem	8	Operando	8	EMASP	8	0000
9	50.000.000 a 100.000.000	9	Estação Elevatória	9	Captação em Barragem	9	Operando	9	EMASP	9	0000
10	100.000.000 a 200.000.000	10	Estação Elevatória	10	Captação em Barragem	10	Operando	10	EMASP	10	0000
11	200.000.000 a 500.000.000	11	Estação Elevatória	11	Captação em Barragem	11	Operando	11	EMASP	11	0000
12	500.000.000 a 1.000.000.000	12	Estação Elevatória	12	Captação em Barragem	12	Operando	12	EMASP	12	0000
13	1.000.000.000 a 2.000.000.000	13	Estação Elevatória	13	Captação em Barragem	13	Operando	13	EMASP	13	0000
14	2.000.000.000 a 5.000.000.000	14	Estação Elevatória	14	Captação em Barragem	14	Operando	14	EMASP	14	0000
15	5.000.000.000 a 10.000.000.000	15	Estação Elevatória	15	Captação em Barragem	15	Operando	15	EMASP	15	0000
16	10.000.000.000 a 20.000.000.000	16	Estação Elevatória	16	Captação em Barragem	16	Operando	16	EMASP	16	0000
17	20.000.000.000 a 50.000.000.000	17	Estação Elevatória	17	Captação em Barragem	17	Operando	17	EMASP	17	0000
18	50.000.000.000 a 100.000.000.000	18	Estação Elevatória	18	Captação em Barragem	18	Operando	18	EMASP	18	0000
19	100.000.000.000 a 200.000.000.000	19	Estação Elevatória	19	Captação em Barragem	19	Operando	19	EMASP	19	0000
20	200.000.000.000 a 500.000.000.000	20	Estação Elevatória	20	Captação em Barragem	20	Operando	20	EMASP	20	0000
21	500.000.000.000 a 1.000.000.000.000	21	Estação Elevatória	21	Captação em Barragem	21	Operando	21	EMASP	21	0000
22	1.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000	22	Estação Elevatória	22	Captação em Barragem	22	Operando	22	EMASP	22	0000
23	2.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000	23	Estação Elevatória	23	Captação em Barragem	23	Operando	23	EMASP	23	0000
24	5.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000	24	Estação Elevatória	24	Captação em Barragem	24	Operando	24	EMASP	24	0000
25	10.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000	25	Estação Elevatória	25	Captação em Barragem	25	Operando	25	EMASP	25	0000
26	20.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000	26	Estação Elevatória	26	Captação em Barragem	26	Operando	26	EMASP	26	0000
27	50.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000	27	Estação Elevatória	27	Captação em Barragem	27	Operando	27	EMASP	27	0000
28	100.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000	28	Estação Elevatória	28	Captação em Barragem	28	Operando	28	EMASP	28	0000
29	200.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000	29	Estação Elevatória	29	Captação em Barragem	29	Operando	29	EMASP	29	0000
30	500.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000	30	Estação Elevatória	30	Captação em Barragem	30	Operando	30	EMASP	30	0000
31	1.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000	31	Estação Elevatória	31	Captação em Barragem	31	Operando	31	EMASP	31	0000
32	2.000.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000.000	32	Estação Elevatória	32	Captação em Barragem	32	Operando	32	EMASP	32	0000
33	5.000.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000.000	33	Estação Elevatória	33	Captação em Barragem	33	Operando	33	EMASP	33	0000
34	10.000.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000.000	34	Estação Elevatória	34	Captação em Barragem	34	Operando	34	EMASP	34	0000
35	20.000.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000.000	35	Estação Elevatória	35	Captação em Barragem	35	Operando	35	EMASP	35	0000
36	50.000.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000.000	36	Estação Elevatória	36	Captação em Barragem	36	Operando	36	EMASP	36	0000
37	100.000.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000.000	37	Estação Elevatória	37	Captação em Barragem	37	Operando	37	EMASP	37	0000
38	200.000.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000.000	38	Estação Elevatória	38	Captação em Barragem	38	Operando	38	EMASP	38	0000
39	500.000.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000.000	39	Estação Elevatória	39	Captação em Barragem	39	Operando	39	EMASP	39	0000
40	1.000.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000.000	40	Estação Elevatória	40	Captação em Barragem	40	Operando	40	EMASP	40	0000
41	2.000.000.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000.000.000	41	Estação Elevatória	41	Captação em Barragem	41	Operando	41	EMASP	41	0000
42	5.000.000.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000.000.000	42	Estação Elevatória	42	Captação em Barragem	42	Operando	42	EMASP	42	0000
43	10.000.000.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000.000.000	43	Estação Elevatória	43	Captação em Barragem	43	Operando	43	EMASP	43	0000
44	20.000.000.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000.000.000	44	Estação Elevatória	44	Captação em Barragem	44	Operando	44	EMASP	44	0000
45	50.000.000.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000.000.000	45	Estação Elevatória	45	Captação em Barragem	45	Operando	45	EMASP	45	0000
46	100.000.000.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000.000.000	46	Estação Elevatória	46	Captação em Barragem	46	Operando	46	EMASP	46	0000
47	200.000.000.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000.000.000	47	Estação Elevatória	47	Captação em Barragem	47	Operando	47	EMASP	47	0000
48	500.000.000.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000.000.000	48	Estação Elevatória	48	Captação em Barragem	48	Operando	48	EMASP	48	0000
49	1.000.000.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000.000.000	49	Estação Elevatória	49	Captação em Barragem	49	Operando	49	EMASP	49	0000
50	2.000.000.000.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000.000.000.000	50	Estação Elevatória	50	Captação em Barragem	50	Operando	50	EMASP	50	0000
51	5.000.000.000.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000.000.000.000	51	Estação Elevatória	51	Captação em Barragem	51	Operando	51	EMASP	51	0000
52	10.000.000.000.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000.000.000.000	52	Estação Elevatória	52	Captação em Barragem	52	Operando	52	EMASP	52	0000
53	20.000.000.000.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000.000.000.000	53	Estação Elevatória	53	Captação em Barragem	53	Operando	53	EMASP	53	0000
54	50.000.000.000.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000.000.000.000	54	Estação Elevatória	54	Captação em Barragem	54	Operando	54	EMASP	54	0000
55	100.000.000.000.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000.000.000.000	55	Estação Elevatória	55	Captação em Barragem	55	Operando	55	EMASP	55	0000
56	200.000.000.000.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000.000.000.000	56	Estação Elevatória	56	Captação em Barragem	56	Operando	56	EMASP	56	0000
57	500.000.000.000.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000.000.000.000	57	Estação Elevatória	57	Captação em Barragem	57	Operando	57	EMASP	57	0000
58	1.000.000.000.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000.000.000.000	58	Estação Elevatória	58	Captação em Barragem	58	Operando	58	EMASP	58	0000
59	2.000.000.000.000.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000.000.000.000.000	59	Estação Elevatória	59	Captação em Barragem	59	Operando	59	EMASP	59	0000
60	5.000.000.000.000.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000.000.000.000.000	60	Estação Elevatória	60	Captação em Barragem	60	Operando	60	EMASP	60	0000
61	10.000.000.000.000.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000.000.000.000.000	61	Estação Elevatória	61	Captação em Barragem	61	Operando	61	EMASP	61	0000
62	20.000.000.000.000.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000.000.000.000.000	62	Estação Elevatória	62	Captação em Barragem	62	Operando	62	EMASP	62	0000
63	50.000.000.000.000.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000.000.000.000.000	63	Estação Elevatória	63	Captação em Barragem	63	Operando	63	EMASP	63	0000
64	100.000.000.000.000.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000.000.000.000.000	64	Estação Elevatória	64	Captação em Barragem	64	Operando	64	EMASP	64	0000
65	200.000.000.000.000.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000.000.000.000.000	65	Estação Elevatória	65	Captação em Barragem	65	Operando	65	EMASP	65	0000
66	500.000.000.000.000.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000	66	Estação Elevatória	66	Captação em Barragem	66	Operando	66	EMASP	66	0000
67	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000.000.000.000.000	67	Estação Elevatória	67	Captação em Barragem	67	Operando	67	EMASP	67	0000
68	2.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 5.000.000.000.000.000.000.000.000.000	68	Estação Elevatória	68	Captação em Barragem	68	Operando	68	EMASP	68	0000
69	5.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 10.000.000.000.000.000.000.000.000.000	69	Estação Elevatória	69	Captação em Barragem	69	Operando	69	EMASP	69	0000
70	10.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 20.000.000.000.000.000.000.000.000.000	70	Estação Elevatória	70	Captação em Barragem	70	Operando	70	EMASP	70	0000
71	20.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 50.000.000.000.000.000.000.000.000.000	71	Estação Elevatória	71	Captação em Barragem	71	Operando	71	EMASP	71	0000
72	50.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 100.000.000.000.000.000.000.000.000.000	72	Estação Elevatória	72	Captação em Barragem	72	Operando	72	EMASP	72	0000
73	100.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 200.000.000.000.000.000.000.000.000.000	73	Estação Elevatória	73	Captação em Barragem	73	Operando	73	EMASP	73	0000
74	200.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 500.000.000.000.000.000.000.000.000.000	74	Estação Elevatória	74	Captação em Barragem	74	Operando	74	EMASP	74	0000
75	500.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000	75	Estação Elevatória	75	Captação em Barragem	75	Operando	75	EMASP	75	0000
76	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 a 2.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000	76	Estação Elevatória	76	Captação em Barragem	76	Operando	76	EMASP	76	0000
77	2.000.000.0										