

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE  
TRIALOMETANOS DA LAGOA DO PERI, FLORIANÓPOLIS - SC**

Carolina Gemelli Carneiro

Orientador: Msc. Bruno Segalla Pizzolatti

2012/1





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO  
DE TRIALOMETANOS DA LAGOA DO PERI,  
FLORIANÓPOLIS - SC**

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa  
Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental.**

**CAROLINA GEMELLI CARNEIRO**

**Orientador  
Bruno Segalla Pizzolatti**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2012**

Carneiro, Carolina Gemelli

Estudo do Potencial de Formação de Trihalometanos da  
Lagoa do Peri, Florianópolis-SC

Carolina Gemelli Carneiro - Florianópolis, 2012.

x, 59p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Study of the Potential Formation of Trihalomethanes  
Peri Lagoon, Florianópolis-SC

1. MON, 2. PFTAM, 3. manancial de abastecimento, 4. Lagoa do Peri.

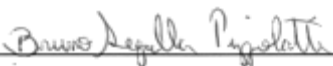
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO  
DE TRIALOMETANOS DA LAGOA DO PERI,  
FLORIANÓPOLIS - SC**

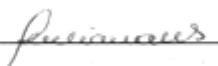
**CAROLINA GEMELLI CARNEIRO**

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa  
Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental.**

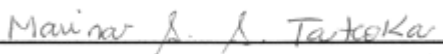
**BANCA EXAMINADORA:**



**Msc. Bruno Segalla Pizzolatti  
(Orientador)**



**Juliana M. Schöntag  
(Membro da Banca)**



**Marina Slussarek Tateoka  
(Membro da Banca)**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2011**



*“Dopo il fatto, ognuno è Savio”*

## **AGRADECIMENTOS**



Dedico este trabalho, com muito carinho, à toda a minha família, mas, principalmente, aos meus pais, Elaine e Fernando, que me ensinaram a ser persistente, humilde e ter alegria de viver.

À toda a equipe LAPOÁ pela prestatividade em qualquer momento de dúvida. Em especial ao Luis, pelo profissionalismo e amizade, ao meu Orientador Bruno, à minha banca Juliana e Marina, pelas boas críticas construtivas e pinceladas finais, que fizeram a diferença em meus trabalhos. Ao meu patrono, Professor Maurício Sens, pela oportunidade e ensinamentos.

Aos meus colegas de classe, principalmente com os quais passei horas da noite e feriados fazendo trabalhos e estudando para as provas. E àqueles que se tornaram, não só companheiros de estudo, mas amigos para a vida toda.

Aos professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, que com seus talentos especiais, ensinaram-me a filosofar quanto à magnitude deste maravilhoso curso e agir em prol de um mundo sustentável e contribuíram de maneira significativa em minha vida.

À UFSC por todo o acolhimento e conhecimento adquirido durante a graduação.



## RESUMO

A matéria orgânica natural (MON), a presença de algas e subprodutos extracelulares, presente em mananciais de abastecimento, reagem com o cloro, após o processo de desinfecção em ETAs, podendo formar os chamados subprodutos da desinfecção (SPDs), como os trihalometanos (TAM). Estes, estão intimamente ligados a problemas de saúde como o câncer, mutação genética, má-formação e anomalias congênitas em humanos e animais. O presente trabalho vem relatar um estudo realizado sobre o potencial de formação de TAM da água bruta da Lagoa do Peri, Florianópolis; que possui características particulares, contendo alto conteúdo de cianobactérias, durante todo o ano, influência alóctone e autóctone. O manancial apresentou um maior conteúdo de MON nos meses mais quentes do período de amostragem (maio/2011 a junho/2012), em termos de carbono orgânico total, dissolvido e particulado e a crescente proliferação de organismos fitoplantônicos e macrófitos, representados pelos dados de clorofila-a, os quais caracterizam manancial como eutrofizado. Nessa conjuntura, pôde-se observar que o potencial de formação total de trihalometanos (PFTAM) da água bruta, aumentou durante o mesmo período, desde valores próximos a 300 µg/L no inverno, até 600 µg/L no verão. O PFTAM mostrou uma maior produção relativa com o material particulado, indicando a importância de se utilizar métodos de tratamento eficazes para a remoção desses tipos de materiais. Além disso, medidas mitigatórias devem ser levadas em consideração, durante os meses de maior produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** MON, PFTAM, manancial de abastecimento, Lagoa do Peri;



## ABSTRACT

The natural organic matter (MON), the presence of algae and extracellular by-products in supply source, may be reacted to produce disinfection by-products (SPDs), such as trihalomethanes (THM) which are closely linked to health problems such as cancer, genetic mutation, malformation and congenital anomalies in humans and animals. This work reports a study on the THM potential formation of raw water from Lagoa do Peri lake, Florianopolis, which has special features, with high content of cyanobacteria in all year, and allochthonous influences, from the high vegetation around. The source had a higher MON content in the hottest months of the sampling period, in terms of total organic carbon, dissolved and particulate and the growing of macrophytes and phytoplanktonic organisms, represented by the data of chlorophyll-a, characterized as a eutrophic source. From this perspective, was observed that the trihalomethanes formation potential (THMFP) of raw water, increased during the same period, from values near 300 µg/L in the winter to 600 µg/L in the summer. Was observed higher THMFP from the particulate material, indicating the importance of using effective methods of treatment to remove of these types of materials. Mitigation measures should to be taken in highest production months.

**KEYWORDS:** MON, THMFP, water supply, Lagoa do Peri lake;



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação mensal média do PFTAM no ponto de amostragem de Koot-Amir (dosagem do cloro de 10 mg/L). Fonte: (FOOLADVAND <i>et al.</i> , 2011).....	39
Figura 2 – Relação dos valores de precipitação com o PFTAM para as40	
Figura 3 – Lapoá: Laboratório de Potabilização das águas.....	44
Figura 4 - Lapoá: Laboratório de Potabilização das águas. ....	44
Figura 5 – Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri. Fonte CASAN, 2009. ....	44
Figura 6 – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri. ....	44
Figura 7 – Vista panorâmica, a partir do norte, da área em estudo, mostrando parte da bacia da Lagoa (autor: Norberto Olmiro Horn Filho, 1999). Fonte: (OLIVEIRA, 2002).....	45
Figura 8 – Localização da ETA em relação à Lagoa do Peri. Fonte: Google Earth, 2012.....	45
Figura 9 – Barragem que liga a Lagoa do Peri ao Canal Sangradouro. Fonte: CASAN, 2012. ....	46
Figura 10 – Local de amostragem, Lagoa do Peri. Fonte: Google Earth 2009.....	47
Figura 11 – Realização, in loco, da filtração da amostra. ....	48
Figura 12 – Fluxograma de amostragem e filtração para preparação para análises laboratoriais. ....	51
Figura 13 – Mapa de localização do Manancial Lagoa do Peri. ....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da temperatura da água da Lagoa do Peri, durante o período de maio/2011 a junho/2012.....	56
Gráfico 2 – Variação do nível da água, durante o período de maio/2011 .....	56
Gráfico 3 – Relação do nível da água da Lagoa, em centímetro, com os dados pluviométricos fornecidos no período de agosto/2011 a março/2012.....	57
Gráfico 4 – Concentrações de clorofila-a relacionadas às temperaturas, durante o período de maio/2011 a junho/2012.....	58
Gráfico 5 – Medida de UV <sub>254</sub> , durante o período de maio/2011 a junho/2012.....	59
Gráfico 6 – Relação inversa COT x Nível da água, durante o período de .....	60
Gráfico 7 – Correlação dos efeitos da dosagem de cloro, para reação de 7 dias, com o PFTAM, durante o período de um ano. ....	62
Gráfico 8 – Correlação entre PFTAM e COT.....	63
Gráfico 9 – Comparação dos dados de precipitação (mm) e PFTAM, no período agosto/2011 a março/2012. ....	64
Gráfico 10 - Variações sazonais para o PFTAM total no período de maio/2011 a junho/2012.....	65
Gráfico 11 – Variações sazonais para o PFTAM particulado no período de .....	66
Gráfico 12 - Variações sazonais para o PFTAM dissolvido no período de .....	66



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais subprodutos da desinfecção.....	31
Tabela 2 – Informação Toxicológica dos TAM. ....	34
Tabela 3 - Quantidade máxima de TAM permitida pela legislação em diferentes países. ....	35
Tabela 4 - Estado trófico e qualidade da água dos lagos (Compilado de Valores Kalff (2002); Thomann e Mueller (1987). ....	42
Tabela 5 - Concentração de COT em vários corpos d'água.....	42
Tabela 6 – Registros de Precipitação, em milímetros, de cada mês de estudo. Estação Pluviométrica da Lagoa do Peri. ....	51
Tabela 7 - Concentração média para o período de maio/2011 a junho/2012.....	54
Tabela 8 - Parâmetros físicos analisados.....	55
Tabela 9 - Médias, desvio padrão, máximos e mínimos dos resultados	60
Tabela 10 - Relação média da contribuição da MON para a formação de TAM no período de doze meses (maio/2011 a junho/2012). ....	61



## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
2.1. Objetivo geral.....	25
2.2. Objetivos específicos .....	25
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>26</b>
3.1. Matéria Orgânica Natural (MON).....	26
3.2. Contribuição Algal.....	27
3.3. Nutrientes Dissolvidos .....	28
3.4. Desinfecção e Cloração.....	28
3.5. Subprodutos da Desinfecção (SPDs) .....	30
3.5.1. Formação de Trialometanos (TAM) reagido pelo Cloro .....	31
3.5.2. TAM e os efeitos na saúde.....	33
<b>3.6. Indicadores Substitutos na formação de TAM</b> .....	<b>35</b>
3.6.1. Concentração da Matéria Orgânica.....	35
3.6.1.1. Carbono Orgânico Total, Dissolvido e Particulado.....	36
3.6.1.2. UV <sub>254</sub> .....	36
3.6.1.3. Clorofila-a .....	37
<b>3.7. PFTAM (Potencial de Formação de Trialometanos)</b> .....	<b>37</b>
3.7.1. Fatores que Influenciam no PFTAM .....	37
3.7.1.1. pH.....	38
3.7.1.2. Dosagem de Cloro .....	38
3.7.1.3. Variação Temporal do PFTAM.....	38
3.7.1.4. Relação da Precipitação com PFTAM .....	39
<b>3.8. Caracterização de Corpos d'água (Lagos e reservatórios)</b> .....	<b>40</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
4.1. Locais de Estudo e de Análise.....	44
4.2. Coleta de dados – Amostragem .....	46
4.3. Pesquisa Exploratória.....	47
4.4. Procedimento laboratorial para preparação das análises.....	48
4.5. Determinação dos parâmetros indicadores da Matéria Orgânica.....	48
4.5.1. Determinação do COT e COD .....	48
4.5.2. Absorbância de UV <sub>254</sub> .....	49
4.5.3. Análise de Clorofila-a .....	49
4.6. pH.....	49
4.7. Sazonalidade.....	49
4.8. Determinação do potencial de formação de trialometanos (PFTAM).....	50
4.9. Dados de Precipitação .....	51

<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>53</b>
<b>5.1.</b>	<b>Caracterização do Manancial – Lagoa do Peri</b>	<b>53</b>
5.1.1.	Parâmetros físico-químicos analisados	54
<b>5.2.</b>	<b>Correlações dos parâmetros analisados</b>	<b>55</b>
5.2.1.	Temperatura da Água	55
5.2.2.	Relação Precipitação e Nível da Água da Lagoa	56
5.2.3.	Relação Temperatura e Clorofila-a	57
5.2.4.	Absorbância UV <sub>254</sub>	58
5.2.5.	Nível da Água e COT	59
5.2.6.	Potencial de Formação de Trihalometanos na Água bruta da Lagoa do Peri	60
5.2.7.	Efeitos da Demanda de Cloro 7-dias no PFTAM	61
5.2.8.	Efeito do COT no PFTAM	62
5.2.9.	Relação de Chuvas com PFTAM Total	63
5.2.10.	Sazonalidade do PFTAM	64
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>78</b>





## 1. INTRODUÇÃO

O processo de desinfecção, aplicado em águas para abastecimento, é considerado um dos avanços mais significativos para a saúde pública. Este procedimento resulta em melhoria da qualidade de vida, diminuição do número de mortes por doenças de veiculação hídrica e aumento na expectativa de vida do ser humano.

Diversas são as tecnologias que surgem em prol desse processo, que em sua totalidade, tem um objetivo único: a inativação de microorganismos patogênicos presentes nas águas.

No Brasil, a forma mais utilizada de desinfecção é a cloração (PAIM *et al.*, 2007). Desde o início do século XX, em todo o mundo, o cloro tem sido utilizado para tratar águas de abastecimento, o qual acarretou uma considerável redução da incidência de infecções e doenças transmitidas através da água (TAKAHASHI *et al.*, 2003). Porém, junto com esse benefício, surgiu outra problemática, a qual Castro (1998) relata claramente que todo tipo de desinfecção é capaz de produzir subprodutos da desinfecção (SPDs) como resultado da reação do agente químico desinfectante e de precursores presentes na água.

Em meados da década de 1970, descobriu-se que no tratamento da desinfecção, utilizando-se o agente químico cloro, gera trihalometanos (TAKAHASHI *et al.*, 2003), que são subprodutos intimamente ligados a problemas de saúde como o câncer, mutação genética por toxina, má-formação e anomalias congênitas em humanos e animais (MARQUES *et al.*, 2005).

Os trihalometanos (TAMs) são compostos organohalogenados, que totalizam dez diferentes tipos. A (AWWA, 1990) informa que os mais comuns são o clorofórmio, o dibromoclorometano, o bromodiclorometano e o bromofórmio. A principal fonte de TAMs, na água de consumo humano, provém da reação química do cloro livre aplicado na desinfecção, com a matéria orgânica natural (MON), que é resultante da decomposição orgânica ao redor do manancial ou do metabolismo da biota aquática (PARDO, 1996).

A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde regulamenta que a água destinada para consumo deve ser avaliada, no mínimo, trimestralmente em Estações de Tratamento de Água, para verificar a formação de TAMs, após a desinfecção. O valor máximo permitido de TAM na água para o consumo humano é de 0,1 mg/L.

No caso da Lagoa do Peri, manancial de estudo do presente trabalho, a matéria orgânica natural (MON), a presença de algas e cianobactérias assim como seus subprodutos extracelulares, são considera-

dos precursores de formação de TAMs, podendo reagir com o cloro e formar tais subprodutos da desinfecção (SPDs).

Em vista disso, percebe-se em todo o mundo um grande número de pesquisas relatando possível formação de TAMs com o objetivo de determinar o potencial de formação em um tipo de manancial, pois, além de caracterizar a MON existente nele, é possível projetar e monitorar um sistema de tratamento com maior eficiência e efetividade na remoção do material orgânico, evitando que a formação ultrapasse o valor permitido pela legislação vigente. Se o tratamento da água não remover efetivamente estes precursores, eles estarão presentes mesmo após o tratamento.

Diante desta problemática, o presente trabalho visa verificar o potencial de formação de trihalometanos (PFTAM) na Lagoa do Peri, pois a mesma é usada como fonte de abastecimento de água para consumo humano, em algumas regiões da Ilha de Florianópolis, Santa Catarina. O estudo desse potencial foi realizado considerando-se o material dissolvido e particulado, as variações sazonais, a interferência pluvial e a relação com parâmetros da água, como o carbono orgânico total, carbono orgânico dissolvido, absorção de luz ultravioleta 254 nm e clorofila – a.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O trabalho tem como objetivo principal o estudo do potencial de formação de trialometanos da água bruta da Lagoa do Peri, Florianópolis.

### **2.2. Objetivos específicos**

Para o cumprimento do objetivo central do trabalho foram levantados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar amostragens e análises do potencial de formação de trialometanos;
- Verificar a sazonalidade desse potencial de formação, no período de um ano;
- Analisar a interferência pluvial para o potencial de formação de trialometanos;
- Verificar as co-relações entre os parâmetros adotados para análise do material orgânico, presente no manancial;
- Verificar as co-relações do potencial de formação de trialometanos com os parâmetros de matéria orgânica, analisados.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Matéria Orgânica Natural (MON)

Edzwald & Tobiason (2011) definem a MON como a fração dominante de carbono orgânico em concentrações que variam de 0,5 a 100 mg/L de carbono. A MON é considerada um dos principais precursores de formação de TAM (LEÃO, 2008) e é comumente caracterizada no que diz respeito à origem (DI BERNARDO, 1995), sendo ela, autóctone ou alóctone (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

A matéria orgânica autóctone é produzida dentro de um corpo de água. Edzwald & Tobiason (2011), consideram que as algas são exemplos de representação de carbono orgânico particulado. As proteínas, aminoácidos, polissacarídeos, e outras matérias orgânicas produzidas a partir de respiração de algas e processos de decomposição representam o carbono orgânico dissolvido.

Já, a matéria orgânica alóctone provém de fora de corpos d'água e é transportada à destinação final através do escoamento de materiais provenientes do solo, arraste da vegetação em processo de deterioração nas bacias hidrográficas (STEPCZUK; MZRTIN; et al., 1998a) e de lavagem de corpos d'água a montante, tais como pântanos, brejos, reservatórios, entre outros (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Segundo Edzwald & Tobiason (2011), a MON originária de fonte autóctone ou alóctone dividem-se em duas classes, tais como, matéria orgânica aquática húmica e matéria orgânica não-húmicas.

Vários compostos orgânicos específicos podem ser identificados e atribuídos às substâncias não-húmicas, como os subprodutos de plantas e metabólitos, incluindo taninos, fenóis, carboidratos, açúcares e polissacarídeos, proteínas, aminoácidos e ácidos graxos (EDZWALD; TOBIASON, 2011). Tais compostos têm menor peso molecular em relação às substâncias húmicas aquáticas, a maioria são alifáticos, alguns são ácidos, alguns são bases e alguns são neutros. A maioria dos compostos não-húmicos de origem alóctone é proveniente de eventos pluviométricos, mas a maioria deles são autóctones. Eles também são suscetíveis a uma deterioração posterior (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

A MON húmica, que produz material residual orgânico, ocorre em corpos d'água e advém de reações de decomposição de plantas e matéria animal existentes na bacia. Solos, com alto conteúdo orgânico, transmitem matérias húmicas aquáticas durante os eventos de escoamento que se adentram em corpos de água. Da mesma forma, pântanos

e brejos são ricos em materiais húmicos aquáticos que podem entrar em corpos de água à jusante, especialmente após eventos de chuva. A matéria húmica aquática refere-se tanto aos ácidos húmicos aquáticos quanto aos ácidos fúlvicos (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Ácidos húmicos e fúlvicos não são moléculas específicas, porque resultam da decomposição de matéria orgânica. Edzwald & Tobiason (2011) afirmam que, ácidos húmicos são mais aromáticos e têm maior tamanho, peso molecular e reatividade com a cadeia de carbono aromática que os ácidos fúlvicos.

Estudos realizados por Veum (2006) demonstram que as frações hidrofóbicas são precursores dominantes de trialometanos, principalmente no que diz respeito aos constituintes dissolvidos na água.

A preocupação estética adequada para fins de consumo em águas de abastecimento sempre foi uma constante em estações de tratamento de água (ETAs). As águas naturais podem conter significativas concentrações de MON interferentes na cor, sabor e odor (SMITH *et al.* 2002). O material particulado e dissolvido, que não tenha propriedades para proporcionar cor real, podem ser precursores de subprodutos, com efeitos nocivos à saúde, quando reagidos com desinfetantes, acarretando assim, um controle de tratamento mais difícil e oneroso (FILHO, 2001) para as estações de tratamento.

Nessa conjuntura, é possível considerar que a MON pode interferir em alguns processos de tratamento de água, podendo causar obstruções de filtros, aumento de carreiras de filtração, alterar a qualidade da água para o sistema de distribuição, entre outros. Vários processos de tratamento de água precisam obter estudos para que a remoção da MON torne-se efetiva (EDZWALD; TOBIASON, 2011). Sendo assim, pode-se considerar que a importância de se obter conhecimento da mesma é significativa em todo o processo de tratamento de água de abastecimento.

### **3.2. Contribuição Algal**

De acordo com Veum (2006), a quantidade de algas em lagos está relacionada com a carga de nutrientes, principalmente as concentrações de nitrogênio e fósforo. No entanto, a variação regional da produção algal está correlacionada com a estrutura geológica da bacia hidrográfica e com as condições ambientais local (HENNEMANN, 2010).

Lagos eutróficos, com alto teor de nutrientes e altos níveis de clorofila, têm propensão maior para potencializar a formação de trialometanos, principalmente o material particulado (VEUM, 2006). As

algas e produtos extracelulares possuem capacidade de contribuição tão grande quanto os ácidos húmicos e fúlvicos (VEUM, 2006). Neste caso, Veum (2006) afirma ainda que, a biomassa algal pode ser fonte significativa de precursores de subprodutos da desinfecção, contribuindo durante a fase de crescimento, bem como durante a decomposição na formação de TAM.

É comum a ocorrência de florescimento de algas potencialmente tóxicas em ecossistemas de águas continentais (DI BERNARDO, 1995). No Brasil, o florescimento dessas algas capazes de sintetizar bioativos como, por exemplo, cianotoxinas, provenientes de cianobactérias, tem aumentado em intensidade e frequência, sobretudo em reservatórios durante grande parte do ano, principalmente devido às condições de eutrofia e hipertrofia, reduzida profundidade (entre 2,8 e 14,0 metros), temperatura da água relativamente alta (acima de 20°C) e pH alto (DI BERNARDO, 1995).

Muitos estudos realizados por Veum (2006) indicam que os precursores dissolvidos podem ser fontes mais importantes que os particulados (como as algas) na formação de trihalometanos, porém, como relatam Edzwald & Tobiason (2011), o crescimento excessivo de algas e bactérias (florações) em rios, lagos e reservatórios, pode se tornar um fator de maior relevância quanto à formação de trihalometanos, pois a quantidade de produtos químicos para a remoção dos indivíduos e das toxinas liberadas por eles seria maior durante o tratamento.

### **3.3. Nutrientes Dissolvidos**

Os conteúdos de nutrientes podem estar diretamente relacionados com o grau de poluição do meio aquático. Mesmo que as concentrações de nutrientes estejam associadas à classificação de ambientes eutrofizado, não significa que concentrações menores dos nutrientes possam influenciar como indicador de menor nível trófico (CAMOUZE, 1994).

### **3.4. Desinfecção e Cloração**

A desinfecção é um processo que usa um agente químico ou não químico, o qual objetiva a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários, vírus e algas. Ela pode ocorrer por meio de um ou mais dos seguintes mecanismos: destruição da estrutura celular; interferência no metabolismo com inativação de enzimas; interferência na bio-síntese e no crescimento celular,

evitando a síntese de proteínas, ácidos nucléicos e coenzimas (CESCO, 2007).

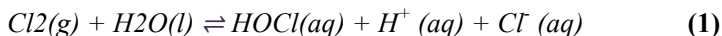
Conforme Cesco (2007), dentre os agentes químicos utilizados na desinfecção destacam-se o cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, ferrato de potássio e os íons metálicos prata e cobre, já, dentre os agentes físicos, destacam-se o calor e a radiação ultravioleta.

O uso de cloro no tratamento da água pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microorganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações ao mesmo tempo. A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração, o que acarreta, muitas vezes, o uso das palavras “desinfecção” e “cloração” como sinônimos (BAZZOLI, 1993). Segundo Paim *et al.* (2007), no Brasil, a forma de desinfecção mais utilizada, em tratamentos de água, é a cloração.

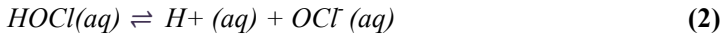
De acordo com Meyer (1994), os fatores que influem na desinfecção e, portanto, no tipo de tratamento a ser empregado, podem ser resumidos em: espécie e concentração do organismo a ser destruído, espécie e concentração do desinfetante, tempo de contato, características químicas e físicas da água e grau de dispersão do desinfetante na água. Porém, Cesco (2007) relata que a eficiência da desinfecção resulta na oxidação ou na ruptura da parede celular, com conseqüente desintegração das células, e da difusão de um agente no interior da célula, o qual interfere na sua atividade. Por ser um processo seletivo, a desinfecção não destrói todas as formas vivas e tampouco elimina todos os organismos patogênicos.

Quando as águas possuem alguma forma de contaminação, a cloração pode ser empregada com um objetivo adicional, aproveitando a ação oxidante do cloro. O cloro e seus compostos são fortes agentes oxidantes. Em geral, a reatividade do cloro diminui com o aumento do pH, e sua velocidade de reação aumenta com a elevação da temperatura. As reações do cloro com compostos inorgânicos redutores, como sulfitos, sulfetos, íon ferroso e nitrito, são geralmente muito rápidas e necessita-se de algumas horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos, se complete (BECKER, 2010).

Quando o cloro é adicionado a uma água quimicamente pura ocorre a seguinte reação (DEGRÉMONT, 1979):



Na temperatura ambiente, o tempo de reação é de décimos de segundo. O ácido hipocloroso (HOCl), formado pela adição de cloro à água, se dissocia rapidamente (DEGRÉMONT, 1979):



A ação desinfetante e oxidante do cloro é controlada pelo ácido hipocloroso, um ácido fraco. As águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5 e 10, valores nos quais as formas presentes são o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). O cloro existente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre (MEYER, 1994).

De acordo com Marmo (2006), os resultados de diferentes trabalhos de pesquisa recentes indicam que o uso do cloro como oxidante, reagindo com a matéria orgânica autóctona ou alóctona, presente na água, promove a formação de subprodutos da desinfecção (SPD). As principais classes desses compostos são representadas pelos trialometas (TAM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetoneitrilos (HAN), entre outros.

### 3.5. Subprodutos da Desinfecção (SPDs)

Pode-se considerar que, em numerosos casos, a MON é o principal precursor para a formação de SPDs. Os SPDs orgânicos halogenados são formados quando essa MON reage com cloro livre ou bromo livre (USEPA, 1999).

Em estações de tratamento de água para consumo humano cuja desinfecção é feita com cloro, pode ocorrer a formação de ácidos húmicos e fúlvicos e/ou outros subprodutos de plantas aquáticas (algas), para produzir subprodutos voláteis (CARASEK, 2007). A cloração resulta na formação de vários SPDs, que inclui os ácidos haloacéticos, haloacetonas, aldeídos e trialometas (BECKER, 2010).

Atualmente, cerca de 500 tipos de SPDs são conhecidos, porém poucos foram investigados devido à ocorrência significativa e aos efeitos que causam na saúde humana (BECKER, 2010).

Dentro dos SPDs, os TAM são os mais comumente encontrados após a cloração, sendo considerados carcinogênicos e potencialmente perigosos para a saúde humana (CANCHO, 2005). Devido a isso, a concentração de TAM na água distribuída para consumo humano deve ser a mais baixa possível (PAIM et al., 2007), aproximadamente 100 mg/L (USEPA, 1999).

Dos TAM, são predominantes os compostos: clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), bromodiclorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ) e bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) (AWWA., 1990). Portanto, quando se faz referência aos TAM, na realidade estão sendo mencionados apenas os quatro compostos mencionados acima (Tominaga & Midio, 1999). Vide Tabela 1.

Tabela 1 - Principais subprodutos da desinfecção.

<b>Subprodutos da desinfecção</b>	
<i>Residuais dos Desinfetantes</i>	<i>Subprodutos orgânicos Halogenados</i>
Cloro Livre	Trihalometanos (TAM)
Ácido Hipocloroso	Clorofórmio
Íon Hipoclorito	Bromodiclorometano
	Dibromoclorometano
Cloraminas	Bromofórmio
Monocloramina	

Fonte: Adaptado de USEPA (1999).

### **3.5.1. Formação de Trialometanos (TAM) reagido pelo Cloro**

Na década de setenta, foi descoberto que determinados compostos da MON, reagidos com cloro, podem formar compostos orgânicos halogenados (FILHO, 2001; OLIVEIRA; FERREIRA FILHO, 2003), denominados trialometanos (TAM). De acordo com Pardo (1996), os precursores de trialometanos são compostos orgânicos, principalmente ácidos húmicos e fúlvicos.

No Brasil, a maioria das estações de tratamento de água possui sistema de desinfecção através da cloração (OPAS, 1987). Devido a isso, a suspeita de formação desses compostos halogenados deve ser avaliada. Deve-se haver cuidado na padronização perante a legislação, sob a responsabilidade da concessionária encarregada do tratamento e da potabilização da água para abastecimento.

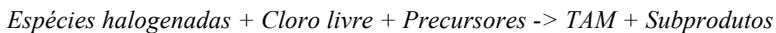
Outros tipos de precursores de TAM, já mostrados através de estudos, são as algas e seus produtos extracelulares (BECKER, 2010). Se o tratamento da água não os remover efetivamente, estarão presentes

mesmo após o tratamento, acarretando potencialidade na formação do composto.

Nessa conjuntura, Pardo (1996) relata que as organizações sanitárias internacionais vêm se preocupando com os subprodutos referentes à reação de compostos orgânicos com o cloro, devido à descoberta do grande potencial carcinogênico destes, quando ingeridos por animais, em testes de laboratório.

De acordo com Tominaga & Midio (1999), na formação de trialometas, os compostos de carbono simples são substituídos por halogênios e possuem a fórmula geral  $CHX_3$  (halofórmio), onde X pode ser cloro, bromo, possivelmente iodo, ou combinações a partir dos mesmos.

A reação de formação de TAM pode ocorrer pela seguinte forma (TOMINAGA; MIDIO, 1999; CESCO, 2007):



A reação de formação do composto halogenado não é instantânea e se inicia quando há o contato entre os reagentes (cloro e precursores); pode continuar ocorrendo por muito tempo, enquanto houver reagente disponível, principalmente o cloro livre. Quanto maior o tempo de contato com precursores, mais favorecida a reação de formação de TAM (FILHO, 2001; LEÃO, 2008).

Vários fatores como a temperatura ambiente, pH do meio, concentração e tipo de cloro, características dos precursores e outros podem influenciar esta reação, formando, em sua maioria, triclorometanos, clorofórmios e bromodiclorometanos (TOMINAGA; MIDIO, 1999).

Segundo Meyer (1994), as variáveis que influenciam a reação de formação dos TAM são:

- ✓ Tempo: a formação de trialometas em condições naturais não é instantânea. Quanto maior o tempo de contato entre o cloro e os precursores, maior será a probabilidade de formação dos TAM.
- ✓ Temperatura: o aumento da temperatura significa um aumento na probabilidade de formação dos TAM.
- ✓ pH: a formação dos TAM aumenta com a elevação do pH, pela sua ação catalítica sobre o halofórmio.
- ✓ Concentração de brometo e iodeto: os brometos e iodetos, na presença de cloro aquoso, são oxidados a espécies capazes de participar da reação de substituição orgânica, resultando na formação de TAM puro ou misturado (um ou mais de um dos compostos). O bromo é mais reativo que o cloro nas reações de substituição com os compostos orgânicos, mesmo que o cloro esteja presente em excesso quando compara-



do com o bromo inicial. Características e concentrações dos precursores: quanto maior a concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, maior será a formação de TAM. As características da água e dos precursores presentes também irão influenciar a formação de TAM.

✓ Concentração de cloro: quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação de TAM. A forma sob a qual o cloro se apresenta também é importante; o cloro livre tem maior poder de formação de TAM do que o cloro combinado.

### **3.5.2. TAM e os efeitos na saúde**

De acordo com Meyer (1994), os estudos sobre os efeitos negativos na saúde humana, provenientes da reação de compostos orgânicos com o cloro, tiveram aprofundamentos em meados da década de 70 por R.H. Harris. A partir das indicações pioneiras sobre a possibilidade de existir correlações entre águas de abastecimento e câncer, tais estudos fomentaram a preocupação sob a perspectiva da saúde pública e a preocupação com os níveis de formação desses compostos presentes na água. Isso tem levado a amplas discussões sobre a legislação em inúmeros países.

O cloro é um dos agentes mais utilizados em ETAs, pois, em quaisquer dos seus diversos compostos, destrói ou inativa os organismos causadores de enfermidades, sendo que esta ação se dá à temperatura ambiente e em tempo relativamente curto (TOMINAGA; MIDIO, 1999; TAKAHASHI *et al.*, 2003). Durante o processo de desinfecção, o cloro pode reagir com o material orgânico, que não ficou retido no procedimento de tratamento e persistiu até o final, resultando na formação de TAM.

Desde que os subprodutos da desinfecção foram detectados, pela primeira vez na água, vários estudos epidemiológicos. Estes estudos têm sugerido a existência de uma possível ligação entre a exposição aos subprodutos da cloração e aos efeitos adversos à saúde humana, tais como: aumento do risco de câncer de bexiga e de colo-retal, problemas respiratórios, efeitos adversos reprodutivos, como aborto espontâneo e baixo peso ao nascer (GETER *et al.*, 2004; ANDREOLA *et al.*, 2005; FREIRE *et al.*, 2008).

Existem processos alternativos de desinfecção que evitam a formação de TAM, como as cloraminas, permanganato de potássio, dióxido de cloro, ozonização e radiação ultravioleta, porém, estes podem formar outros subprodutos, os quais não foram completamente avaliados quanto aos riscos de doenças (TOMINAGA; MIDIO, 1999).

Em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos, sobre a intensidade e probabilidade de formação dos compostos causadores de doenças com grau de periculosidade avançado, quatro tipos de trihalometanos foram considerados importantes nesse quesito (FILHO, 2001): clorofórmio, bromofórmio e bromodichlorometano (após evidência laboratorial suficiente) e, para o dibromoclorometano como um possível carcinógeno humano (BECKER, 2010).

Como consequência disso, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos propôs o limite preventivo máximo permissível de 100 µg/L (média de concentração anual) de TAM para águas de abastecimento (MEYER, 1994; USEPA, 1999; TOMINAGA; MIDIO, 1999).

Posteriormente, no Canadá, considerando a cloração de água bruta, foi indicada associação entre dosagem de cloro e influência no câncer de estômago e intestino grosso em homens. Outra associação foi com o clorofórmio na água tratada e o risco de morte por câncer de cólon (homens e mulheres), câncer de estômago, câncer retal e de tórax, entre outros (FILHO, 2001).

Becker (2010) também alega que a USEPA classificou os quatro principais TAM, quanto aos efeitos nocivos, sendo B2 os carcinogênicos prováveis e o C o carcinogênico possível, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Informação Toxicológica dos TAM.

<b>Tipo de TAM</b>	<b>Classificação USEPA</b>	<b>Efeitos Nocivos</b>
Clorofórmio	B2	Câncer de fígado, rins, efeitos sobre a reprodução
Dibromoclorometano	C	Efeitos sobre a reprodução, sistema nervoso, fígado e rins
Bromodichlorometano	B2	Câncer, efeitos sobre o fígado, rins, e efeitos reprodutivos
Bromofórmio	B2	Câncer, efeitos sobre o fígado, rins, e efeitos reprodutivos

Fonte: Adaptado de Becker (2010).

Sendo assim, a Portaria 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 no Brasil, redefiniu, a partir da Portaria 518/2004, o valor máximo permitido de TAM em água potável como sendo 0,1 mg/L.

Os valores máximos de TAM variam muito entre os países, como mostra a Tabela 3, indicando que existem países bem restritivos, como a França, e outros menos exigentes, como o Canadá. Tais padrões são

baseados na necessidade de reduzir os níveis de risco à carcinogenicidade (USEPA, 1999). Atualmente a USEPA tem desenvolvido inúmeras normas promulgadas para tais contaminantes visando melhoria na qualidade de vida.

As diferenças de valores da quantidade máxima de TAM, em cada país, indicam que deve haver maior refinamento dos estudos referentes aos efeitos destes compostos no organismo do ser humano, em prol de uma mesma conclusão e permissividade máxima do composto, em águas para abastecimento.

Tabela 3 - Quantidade máxima de TAM permitida pela legislação em diferentes países.

<b>Países</b>	<b>Quantidade máxima de TAM permitida pela legislação (µg/L)</b>
Canadá	350
EUA	100
Brasil	100
Holanda	75
Alemanha	25
França	10

Fonte: Adaptado de Becker (2010).

### **3.6. Indicadores Substitutos na formação de TAM**

A matéria orgânica precursora pode ser verificada usando-se diferentes alternativas de medição no lugar de análises difíceis ou dispendiosas na conjuntura do setor de águas de abastecimento (VEUM, 2006). Os itens, a seguir, mostram os indicadores substitutos da formação de TAM.

#### **3.6.1. Concentração da Matéria Orgânica**

De acordo com Leite (2009)

“As águas naturais contêm misturas de substâncias húmicas e não-húmicas. A matéria orgânica de origem natural (MON) pode ser subdividida na fração hidrofóbica, composta principalmente de material húmico e a hidrofílica, composta principalmente de ácidos fúlvicos. Estudos têm demonstrado que estes compostos são os principais

precursores da formação de TAM total” (LEITE, 2009).

O tipo e concentração de MON geralmente são medidos por métodos indiretos, os quais possuem algumas limitações, porém são medidas acessíveis para serem realizadas. Dentre elas estão (USEPA, 1999):

- Carbono orgânico total e dissolvido (COT e COD);
- Absorção em UV a 254 nm;
- Clorofila-a;

### **3.6.1.1. Carbono Orgânico Total, Dissolvido e Particulado**

Edzwald & Tobiason (2011) alegam que COT (carbono orgânico total) é a concentração total de carbono orgânico na água e é composto por COD (carbono orgânico dissolvido) e COP (carbono orgânico particulado). O COD é definido como o carbono orgânico medido que passa pelo filtro com porosidade de 0,45 µm de diâmetro. O que ficar retido no filtro pode ser definido como COP.

A MON, na forma de partículas (COP), pode ser atribuída a vírus, bactérias, algas, material vegetal e detritos orgânicos. Os maiores contribuintes para as águas superficiais são as algas, especialmente em lagos e reservatórios. No entanto, o COP das águas superficiais é baixo em comparação ao COD, geralmente menos de um por cento, exceto para alguns lagos eutróficos (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Em resumo, o COD compõe-se entre 90 a 99 por cento dos COT para as águas superficiais utilizadas para abastecimento (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

### **3.6.1.2. UV<sub>254</sub>**

Resultados de absorvância ultravioleta em comprimento de onda  $\lambda$  de 254 nm (UV<sub>254</sub>) podem ser usados como parâmetros indicadores substitutos para COD, COT e, conseqüentemente, precursores de TAM. Tais resultados também demonstram utilidades no monitoramento de estações de tratamento de água para a remoção dos precursores de TAM e COT. A medição UV<sub>254</sub> é simples, rápida e barata, tornando-a um bom parâmetro substituto (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Dado que compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção apresentam alto grau de aromaticidade, grande número de duplas e triplas ligações e grupos funcionais fenólicos e, pelo fato destes

possuírem a capacidade de absorverem radiação ultravioleta, a determinação da absorbância de uma amostra no comprimento de onda igual a 254 nm torna-se um potencial parâmetro indicador utilizado na previsão da formação de compostos orgânicos, subprodutos da desinfecção (FILHO, 2001).

### **3.6.1.3. Clorofila-a**

Segundo Becker (2010), a biomassa das algas e cianobactérias e os produtos extracelulares das mesmas podem facilmente reagir com o cloro e produzir precursores de TAM. Esses precursores possuem características fisiológicas que propiciam reações para formação dos TAM.

Um exemplo disso foi a observação de Hoehn *et al.* (1980) o qual, conseqüentemente, relatou que os produtos extracelulares das algas, ao reagir com o cloro, atingiram uma maior quantidade de clorofórmio disponível do COT analisando e comparando apenas sob a perspectiva da biomassa algal. Observou-se, também, que as algas liberaram grande quantidade de precursores de TAM durante a fase exponencial de crescimento em relação a outro período do ciclo de vida.

A biomassa da comunidade fitoplantônica pode ser medida através da concentração de clorofila-a (TUCCI; ANNA, 2003). Normalmente a análise de clorofila-a é utilizada para caracterizar reservatórios com presença de algas o qual gera interesse em determinar algum tipo de correlação entre este parâmetro e o PFTAM (BECKER, 2010).

## **3.7. PFTAM (Potencial de Formação de Trialometanos)**

O PFTAM é uma medida indireta da quantidade do material precursor total que está na água em um dado ponto do sistema em estudo, como manancial ou mesmo uma estação de tratamento, sendo um dado de grande interesse para o operador da estação. Portanto, se no teste a água apresenta um alto PFTAM, é porque ela apresenta características propícias para a formação de TAM total (LEITE, 2009).

### **3.7.1. Fatores que Influenciam no PFTAM**

Alguns fatores podem influenciar diretamente e/ou indiretamente na medição da capacidade de formação de trialometanos em Mananciais. A alta alcalinidade interfere diretamente na reatividade da matéria orgânica com o cloro. A dosagem de cloro afeta indiretamente, pois

depende de várias condições ambientais e da capacidade de reação da matéria orgânica para assegurar a formação do mesmo. Já, a variação temporal e análise da precipitação podem interferir de acordo com as condições climáticas do local de estudo para se avaliar o potencial.

### **3.7.1.1. pH**

De acordo com Fooladvand *et al.* (2011), a diferenciação do pH, na água em estudo, tem efeitos significativos sobre o PFTAM, sobre a formação de subprodutos da desinfecção e no tempo de reação da matéria orgânica com o cloro, ou seja, o PFTAM aumenta com o aumento do pH, pois os grupos funcionais na reação de formação de TAM são ativados com mais intensidade para reagirem com o cloro.

### **3.7.1.2. Dosagem de Cloro**

A formação de TAM varia em função da dosagem de cloro (BECKER, 2010), porém, as proporções de variação não seguem um mesmo padrão nas diferentes amostras de estudo, pois dependem da amostra, condições ambientais e verificação da capacidade de reação da matéria orgânica com o cloro. O parâmetro da dosagem de cloro depende das características e concentrações de matéria orgânica da fonte de água coletada, assim como o potencial de remoção dessa matéria, durante a filtração da água (LEITE, 2009).

### **3.7.1.3. Variação Temporal do PFTAM**

Veum (2006) afirma que as tendências sazonais no PFTAM foram demonstradas em diversos estudos. Em geral, estudos descrevem que o PFTAM começa a aumentar na primavera, e atinge o máximo no final do verão ou vice-versa. Essa tendência reflete no aumento da produtividade autóctone, devido à proliferação de algas no final do verão. Picos de PFTAM, durante períodos de baixa produtividade, correlacionam-se com eventos de tempestade, demonstrando a importância dos insumos alóctones durante o ano todo.

Fooladvand *et al.* (2011) realizou um estudo que relacionava o PFTAM com a variação temporal e espacial nas águas do Rio Karoon, Iran. A Figura 1, mostra que o PFTAM foi variado durante o período de estudo de 2008 e 2009. Os níveis de PFTAM foram especialmente elevados no verão (meses de julho a setembro), porém baixos na primavera e outono (abril, maio e outubro, novembro respectivamente).

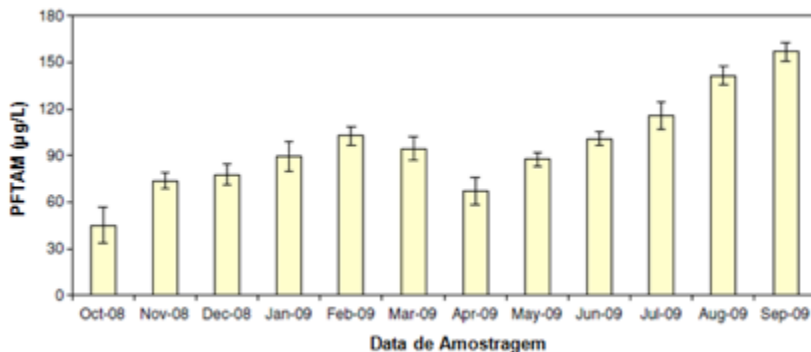


Figura 1 - Variação mensal média do PFTAM no ponto de amostragem de Koot-Amir (dosagem do cloro de 10 mg/L). Fonte: (FOOLADVAND *et al.*, 2011).

Estas variações sazonais do PFTAM podem ser explicadas por uma série de fatores diferentes. Em primeiro lugar, a temperatura média da água bruta foi baixa no início da primavera (12,3 °C), e este fator resultou em menor demanda de cloro, pois decresce a proliferação de microorganismos autóctones e, conseqüentemente, diminui a quantidade de MON no corpo d'água. Finalmente, observou-se que as variações da qualidade da água foram também apreciáveis dentro das estações do ano.

Portanto, o PFTAM varia, geralmente, devido à temperatura da água e, principalmente, às concentrações de precursores de TAMs (VEUM, 2006).

#### 3.7.1.4. Relação da Precipitação com PFTAM

De acordo com Mello *et. al.* 2009, é possível fazer correlações da origem da matéria orgânica precursora da formação de TAM, provinda de fontes difusas, ou seja, matéria orgânica alóctone, com as médias mensais das variáveis: chuva e PFTAM. O trabalho em questão relacionou as médias mensais de chuva e do PFTAM em 2007 no Estado de São Paulo e na UGRHI 6 - Alto Tietê.

“A relação entre as duas variáveis, para ambos os casos, pode ser claramente verificada”... “apresentam concentrações maiores do PFTAM nos meses mais chuvosos (janeiro, fevereiro, novembro e dezembro) e no mês de julho, que, apresen-

tando comportamento atípico em 2007, também foi um mês chuvoso.”

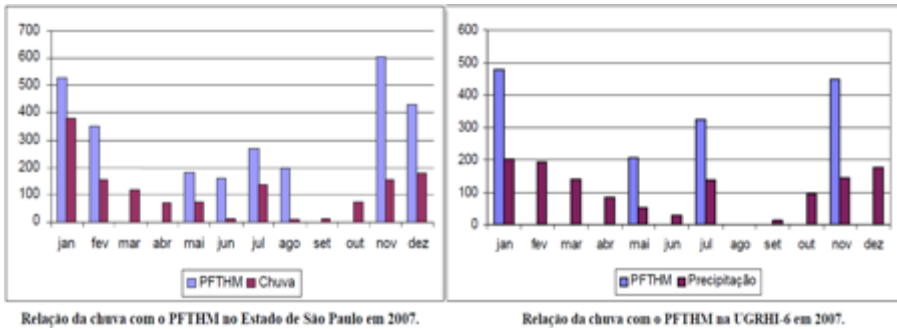


Figura 2 – Relação dos valores de precipitação com o PFTAM para as duas situações (MELLO; JÚNIOR, N. M., 2009).

### 3.8. Caracterização de Corpos d'água (Lagos e reservatórios)

De acordo com Edzwald & Tobiason (2011), os corpos d'água podem ser classificados de acordo com a estratificação e mistura, temperatura e parâmetros indicadores substitutos, como o carbono orgânico total (COT), clorofila, oxigênio saturado, nitrogênio inorgânico, nitrogênio total, fósforo total, entre outros.

A química de lagos e reservatórios é afetada grandemente pela mistura e estratificação, que ocorrem na maioria desses corpos d'água. A estratificação pode não ocorrer em lagos que sejam muito rasos e capazes de manter a mistura em toda sua profundidade.

A estratificação acontece porque a densidade da água depende da temperatura. A densidade máxima da água ocorre a 4 ° C, e diminui à medida que a temperatura da água diminui de 4 ° C, para a formação de gelo a 0 ° C. Da mesma forma, a densidade diminui à medida que a temperatura da água aumenta, acima de 4 ° C (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Edzwald & Tobiason (2011) afirmam que os lagos estratificam-se ou não, pois depende de tamanho, profundidade e da extensão de proteção contra a ação do vento. Lagos rasos não estratificam e são considerados como tendo mistura completa. Lagos com pequenas áreas de superfície e que são protegidos do vento podem estratificar quando tiverem profundidades de 3 m ou mais, enquanto lagos com grandes áreas de superfície, a estratificação pode ocorrer em profundidades maiores.



Algumas classes de estratificação e mistura são identificados abaixo:

- Lagos polimíticos frios: estes lagos são cobertos de gelo por uma grande parte do ano e livres de gelo durante o verão. Os lagos rasos dentro desta categoria estratificam-se nos dias ensolarados de verão e misturam-se durante a noite. Lagos mais profundos estratificam-se no verão. Lagos nesta categoria poderiam ser encontrados em áreas montanhosas dos Estados Unidos e do norte do Canadá.

- Lagos quentes polimíticos: estes são os lagos relativamente rasos ou lagos mais profundos com exposição extensa ao vento. Não há cobertura de gelo durante o ano. Estratificação só ocorre em uma base diária ou por dias. Lagos nesta categoria incluem lagoas encontradas no sul de países de climas quentes.

- Lagos quente Monomictic: estes lagos não têm uma cobertura de gelo durante o ano. Eles estratificam durante o período quente do ano. São geralmente mais profundos, de clima temperado e tropical.

- Lagos Dimictic: esses lagos têm dois períodos de estratificação. A estratificação ocorre durante o período de inverno por causa da cobertura de gelo e no verão. A não-estratificação ocorre na primavera e no outono. Estes lagos são encontrados extensamente em regiões temperadas dos Estados Unidos e Canadá.

Lagos oligotróficos são geralmente mais profundos, são caracterizados por baixas concentrações de nutrientes primários (N e P); baixas concentrações de algas, medidas por parâmetros como a clorofila, e mantido OD no hipolímnio. No outro extremo estão os lagos eutróficos, que são geralmente rasos em comparação aos lagos oligotróficos e contêm alta concentração de nutrientes e algas, e condições anóxicas no hipolímnio (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Segundo Edzwald & Tobiason (2011), o abastecimento de água deve ser tomado a partir dos lagos oligotróficos, para evitar problemas de qualidade da água. Lagos mesotróficos encontram-se entre os outros dois tipos citados acima, em relação aos nutrientes e às concentrações de algas. No entanto, caracterizam-se por perder oxigênio no hipolímnio no final do verão. Quando o hipolímnio torna-se anóxico em lagos mesotróficos e lagos eutróficos, o ferro e o manganês ficam solúveis em estados reduzidos e afetam a água no tratamento.

A Tabela 4 representa uma, das diversas maneiras de classificar um corpo hídrico de acordo com seu estado trófico.

Tabela 4 - Estado trófico e qualidade da água dos lagos (Compilado de Valores Kalf (2002); Thomann e Mueller (1987).

<b>Estado Trófico</b>	<b>O<sub>2</sub> (% de saturação)</b>	<b>N Inorgânico (µg/L)</b>	<b>N Total (µg/L)</b>	<b>P Total (µg/L)</b>	<b>Clorofila (µg/L)</b>
<b>Oligotrófico</b>	>80	<200	<350	<10	<4
<b>Mesotrófico</b>	10 a 80	200 a 400	350 a 650	10 a 30	4 a 10
<b>Eutrófico</b>	<10	300 a 650	650 a 1200	>30	>10

A Tabela 5, resume faixas e meios para as concentrações de COT para vários tipos de corpos de água, como foi citado acima.

Tabela 5 - Concentração de COT em vários corpos d'água.

<b>Corpo Hídrico</b>	<b>Faixa de valores COT (média)</b>	<b>Outros</b>
<b>Águas Subterrâneas</b>	0,5 a 10 (0,7)	Maioria com concentrações de 2mg/L ou menos
<b>Rios e Córregos</b>	1,5 a 20	Concentração de 5 mg/L ou menos; grandes valores jusante a pântanos; alguns podem exceder 20 mg/L
<b>Lagos Oligotróficos</b>	1,0 a 3,0 (2,2)	
<b>Lagos Mesotróficos</b>	2,0 a 4,0 (3,0)	
<b>Lagos Eutróficos</b>	3,0 a 30 (12,0)	
<b>Pântanos</b>	17,0	Típico
<b>Pântanos inundados</b>	33,0	Típico
<b>Água do Mar</b>	0,72 a 0,96 (COD)	Nos 100m superiores para os oceanos, exceto o Oceano Antártico; menor COD em águas oceânicas profundas

Água do Mar	1 a 5 (COT)	Gama típica de águas superiores e depende da concentração de algas e derrames de petróleo
-------------	----------------	---

Fonte: (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Pode-se observar que os rios e córregos podem ter uma ampla gama de COT, geralmente quando são influenciados por pântanos. Para pequenos lagos e reservatórios, as concentrações de COT são influenciadas pelo divisor de águas, de modo que uma fração significativa do COT pode ter uma origem alóctone. Para lagos e reservatórios maiores em bacias hidrográficas onde os pântanos não possuem significativa contribuição, o estado trófico dos lagos afeta a concentração COT, sendo assim, uma grande parte do COT, pode ser autóctone (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Como indicado na Tabela 5, os lagos oligotróficos (aqueles pobres em nutrientes e biomassa algal) têm as menores concentrações de COT. Como lagos e reservatórios tendem aos estados mesotróficos e eutróficos, o COT aumenta devido ao efeito das algas (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

De acordo com Hennemann, 2010 os corpos d'água devem ser classificados individualmente, porém abrangendo os diversos tipos de classificação.

“Por exemplo, as concentrações de fósforo podem ser altas o suficiente para uma lagoa ser classificada como eutrófica, mas a atenuação da luz por partículas em suspensão pode manter os níveis de clorofila na faixa mesotrófica” (HENNEMANN, 2010).

“O melhor indicador de estado trófico pode variar de um corpo d'água para outro e também sazonalmente, de forma que o melhor índice deve ser escolhido de forma pragmática” (HENNEMANN, 2010) apud (CARLSON, 1977).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Locais de Estudo e de Análise

As análises da pesquisa foram realizadas no Laboratório de Potabilização de Água - LAPOÁ, localizado no Centro Tecnológico - CTC da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri - LALP, situado na Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN. Vide figuras 3, 4, 5 e 6.



Figura 3 – Lapoá: Laboratório de Potabilização das águas.



Figura 4 - Lapoá: Laboratório de Potabilização das águas.



Figura 5 – Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri. Fonte CASAN, 2009.



Figura 6 – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri.

Já, o local de estudo foi o manancial Lagoa do Peri, que está localizado a sudeste da Ilha de Santa Catarina, entre as latitudes Sul 27°42'59" e 27°46'45" e as longitudes Oeste 48°30'33" e 48°31'59" (OLIVEIRA, 2002), considerado parte integrante da Bacia Hidrográfica da Lagoa do Peri (Figura 7), tem área superficial de 5,2 km<sup>2</sup> e é alimen-

tado principalmente pelos Rio Cachoeira Grande e Rio Ribeirão Grande (SIMONASSI, 2001).

Adjacente à Lagoa do Peri, existe a Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, conforme a Figura 8, que capta a água bruta e utiliza o sistema de tratamento por filtração direta e como desinfecção, a cloração; com intuito de abastecer o Sul e o Leste da Ilha de Santa Catarina, desde o ano 2000 (CASAN, 2012).



Figura 7 – Vista panorâmica, a partir do norte, da área em estudo, mostrando parte da bacia da Lagoa (autor: Norberto Olmiro Horn Filho, 1999). Fonte: (OLIVEIRA, 2002).

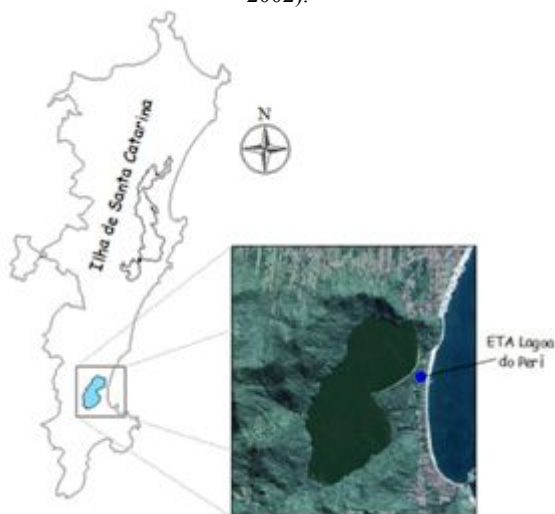


Figura 8 – Localização da ETA em relação à Lagoa do Peri. Fonte: Google Earth, 2012.

A Lagoa é separada do mar por uma estreita franja de aproximadamente 800 m de largura(OLIVEIRA; FERREIRA FILHO, 2003). A única comunicação com o Oceano Atlântico é feita através de um canal (Canal Sangradouro), conforme Figura 9. A água da Lagoa, por estar aproximadamente a 3 m acima do nível do mar (MONDARDO, 2004), suficiente para não ocorrer a intrusão da cunha salina em variações de maré, é totalmente doce.



Figura 9 – Barragem que liga a Lagoa do Peri ao Canal Sangradouro. Fonte: CASAN, 2012.

#### **4.2. Coleta de dados – Amostragem**

Neste estudo científico, fez-se necessária a adoção de procedimentos metodológicos caracterizando o estudo com vias a atender aos objetivos propostos.

Yin (2001) descreve a metodologia como a erudição de diretrizes e escolha certa de instrumentos usados para se fazer ciência, não se restringindo apenas aos métodos e técnicas utilizados na pesquisa.

Em maio de 2011 foi dado início à amostragem da água bruta na Lagoa. A coleta foi realizada mensalmente e adjacente ao ponto de captação da Estação de Tratamento da Lagoa do Peri (Figura 10 – Local de amostragem, Lagoa do Peri. Fonte: Google Earth 2009.Figura 10), seguindo as recomendações de APHA, AWWA, WEP (2005). O término das amostragens deu-se em junho de 2012, completando o ciclo anual.



Figura 10 – Local de amostragem, Lagoa do Peri. Fonte: Google Earth 2009.

Em cada amostragem foram coletados cerca de três litros (3,0 L) de água bruta, em um galão totalmente vedado da luz, previamente limpo e enxaguado com água ultra-pura.

O procedimento de coleta da água bruta, em todo o tempo de amostragem, foi seguido por uma padronização de distanciamento de um metro de altura, em relação ao nível do solo, como também o de medição da temperatura da água no momento.

#### **4.3. Pesquisa Exploratória**

Para a elaboração exploratória do presente trabalho, foi realizada uma pesquisa de fundamentação em fontes secundárias, contendo informações sobre a Lagoa do Peri e sobre outros mananciais, com bibliografias e documentos relevantes em relação ao contexto e ao objetivo que se pretendeu alcançar.

As análises dos próprios dados, adquiridos durante o tempo de pesquisa também serviram como embasamento para tal objetivo. Isso contribuiu para uma melhor avaliação dos resultados perante aos esforços, tanto em campo como em laboratório, para estudar o presente manancial.

#### 4.4. Procedimento laboratorial para preparação das análises

Deslocada a amostra, em um galão contendo, aproximadamente, três litros (3,0 L) de água, até o LAPOÁ, cerca de um litro (1,0 L) da mesma, foi armazenada em uma garrafa, rigorosamente limpa, com a finalidade de não haver contato de outro tipo de matéria orgânica que interferisse, posteriormente, nos resultados das análises. A esta amostra foi dado o nome de: Água Bruta sem filtrar ( $AB_{SF}$ ).

Enquanto outra porção de um litro (1,0 L) foi encaminhada à filtração, com o intuito de se obter somente o material dissolvido para os decorrentes estudos. A esta amostra foi dado o nome de: Água Bruta filtrada ( $AB_{Fil}$ ).

Tais amostras foram acondicionadas em local refrigerado em torno de 04° C e proteção contra a luz.

Com a  $AB_{SF}$  foi possível fazer análise de COT e potencial de formação de trialometanos totais ( $PFTAM_T$ ), já, com a  $AB_{Fil}$  pôde-se fazer análises de COD,  $UV_{254}$  e potencial de formação de trialometanos dissolvidos ( $PFTAM_D$ ).



Figura 11 – Realização, in loco, da filtração da amostra.

#### 4.5. Determinação dos parâmetros indicadores da Matéria Orgânica

A presença de matéria orgânica foi acompanhada por meio de análises de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico dissolvido (COD), absorção de luz ultravioleta a 254 nm e clorofila-a.

##### 4.5.1. Determinação do COT e COD

Para COT, não houve filtração da amostra e para COD, as amostras foram filtradas em filtros de fibra de vidro de 0,45  $\mu$ m Macherey-Nagel, previamente lavados em sistema de filtração com 1,0 L de água ultrapura, com a finalidade de remover qualquer resíduo de matéria



orgânica presente no filtro e sua possível interferência. O COT e o COD foram determinados pelo método colorimétrico 10129 da Hach (Hach 2007), utilizando espectrofotômetro HACH 2800 (HACH COMPANY, 2007).

#### **4.5.2. Absorbância de UV<sub>254</sub>**

Para leitura de UV<sub>254</sub>, as amostras foram, primeiramente, filtradas em filtros de fibra de vidro de 0,45 µm Macherey-Nagel, da mesma maneira que no sistema de análise para COD.

A medição das absorbâncias de luz UV a 254 foi realizada seguindo o método 5910B do Standard Methods (APHA; AWWA; WEF, 2005) utilizando um espectrofotômetro UV-Visible modelo Cary 1E marca Varian.

#### **4.5.3. Análise de Clorofila-a**

Outro parâmetro a ser avaliado é a concentração de clorofila-a. A medição foi realizada seguindo o método ISO 10260 A849i, porém utilizando etanol 95% em vez de 80%, para favorecer a máxima extração de pigmentos (ISO 10260 A849I, 1992). As amostras foram filtradas com filtros de fibra de vidro de 0,7 µm Macherey-Nagel, lavados previamente com 300 mL de água ultra pura. As leituras de absorbância foram feitas com o espectrofotômetro HACH 2800 (HACH COMPANY, 2007).

### **4.6. pH**

O pH foi mensurado no laboratório com o auxílio de sondas de leitura específicas do método 10069 da HACH (HACH, 2007), que é adaptado do método 4500-Cl G (APHA; AWWA; WEF, 2005).

### **4.7. Sazonalidade**

A sazonalidade do PFTAM foi determinada a partir de resultados de análises durante os anos 2011 e 2012. Nela será possível verificar a variação de formação e compará-la com os resultados de precursores interferentes, sendo eles, particulados e dissolvidos.

#### 4.8. Determinação do potencial de formação de trialometanos (PFTAM)

Becker (2010) afirma que no *Standard Methods* existem ensaios que auxiliam em pesquisas qualitativas e quantitativas em relação aos trialometanos. O PFTAM (pH 7,0; 25°C; 7 dias de incubação com 3-5 mg/L de cloro residual livre (CRL)) é normalmente utilizado para comparar o potencial de formação de TAM entre mananciais ou sistemas de tratamento diferentes entre países do hemisfério norte.

Todavia, a fim de realizar uma proximidade do método com a realidade regional e obter resultados mais efetivos na contribuição científica, na qual se encontra a Lagoa do Peri, houve a necessidade de levar em consideração as interações do manancial com o clima, com a biota autóctone e alóctone, entre outros, através da realização de uma adaptação do método de procedimentos para determinação do PFTAM.

No presente trabalho, teste para obtenção do PFTAM é baseado nos métodos *5710B THMFP* (APHA; AWWA; WEF, 2005) e *10224 THM Plus* (HACH, 2007) e é aplicado nas amostras de água bruta sem filtrar (PFTAM<sub>T</sub> – Potencial de Formação de Trialometanos total) e nas amostras de água bruta após a filtração (PFTAM<sub>D</sub> - Potencial de Formação de Trialometanos dissolvido) por membrana de fibra de vidro de 0,45 µm.

O método de PFTAM consiste em determinar a concentração inicial de trialometanos na amostra de água (TTAM<sub>0</sub>), mediante aplicação do método mencionado, e, após os dias de incubação, realizar leituras de cloro residual entre 2 mg/L e 5 mg/L, nas amostras, seguindo o mesmo procedimento inicial; para obter a concentração total final de trialometanos (TTAM<sub>f</sub>).

Portanto, o PFTAM é correspondente a diferença entre a concentração inicial, TTAM<sub>0</sub>, e a concentração de TTAM<sub>f</sub>.

A quantidade de cloro a adicionar nas amostras foi determinada pela demanda de cloro (D). O teste de demanda de cloro consistiu na cloração de 125 ml da amostra para garantir aproximadamente 100 mg/L de cloro na amostra e a determinação de cloro, após incubação por 4 horas, em ausência total de luz e 25 ± 2 °C. A demanda de cloro é a diferença entre a concentração de cloro inicial e a concentração de cloro após as 4 horas de incubação (APHA; AWWA; WEF, 2005). Posteriormente, para a determinação do PFTAM uma nova porção da mesma amostra é clorada a pH 7,0 ± 0,2 e incubada na ausência total de luz por 7 dias, utilizando frascos de 125 mL com dosagens de cloro de D, D+3, D+6, D+9 ou D+12 (mg/L), a 25 ± 2 °C.

Após esse período, avalia-se o pH e o cloro residual utilizando o método colorimétrico de N, N-diethylphenylene-1,4 diamine, DPD, método 10069 da HACH (HACH, 2007), que é adaptado do método 4500-Cl G (APHA; AWWA; WEF, 2005). Então, o TTAMf foi determinado nas amostras com cloro residual entre 2 e 5 mg/L. Vide procedimento esquemático, em apêndice.

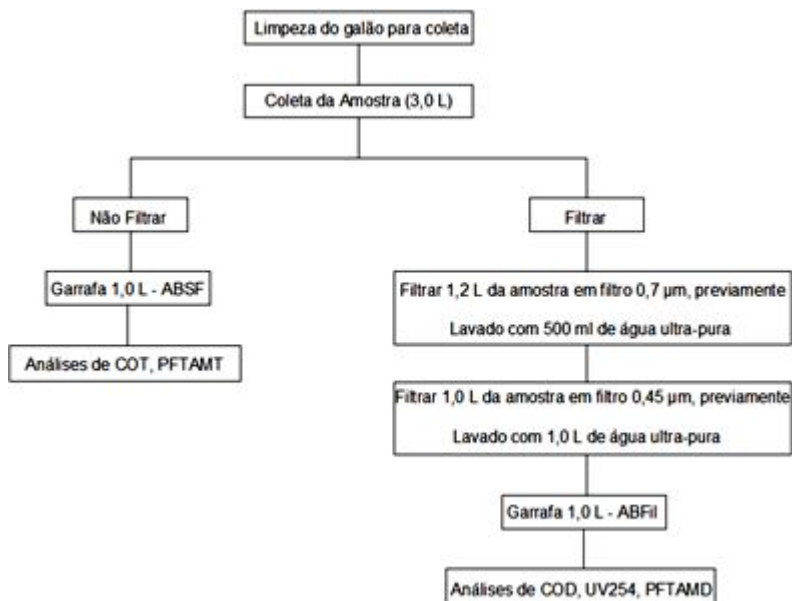


Figura 12 – Fluxograma de amostragem e filtragem para preparação para análises laboratoriais.

#### 4.9. Dados de Precipitação

Os dados de precipitação foram fornecidos pela CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, GMA / DIMAM – Divisão de Meio Ambiente Estação Pluviométrica da Lagoa do Peri, referentes aos meses de agosto/2011 a março/2012, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Registros de Precipitação, em milímetros, de cada mês de estudo. Estação Pluviométrica da Lagoa do Peri.

Meses	Precipitação média diária (mm)
ago-11	12.5

set-11	7.9
out-11	2.7
nov-11	3.1
dez-11	6.2
jan-12	8.3
fev-12	8.6
mar-12	3.9

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização do Manancial – Lagoa do Peri

A Lagoa do Peri está rodeada por colinas nos bordos sul e norte (OLIVEIRA; FERREIRA FILHO, 2003), cuja cobertura vegetal é caracterizada por floresta ombrófila densa, estágios sucessionais, pastagens, vegetação litorânea, plantações diversas e campos edáficos secundários. Já, a vegetação ribeirinha existente no local de estudo, compõe-se por espécies herbáceas, arbóreas e arbustivas (SIMONASSI, 2001).

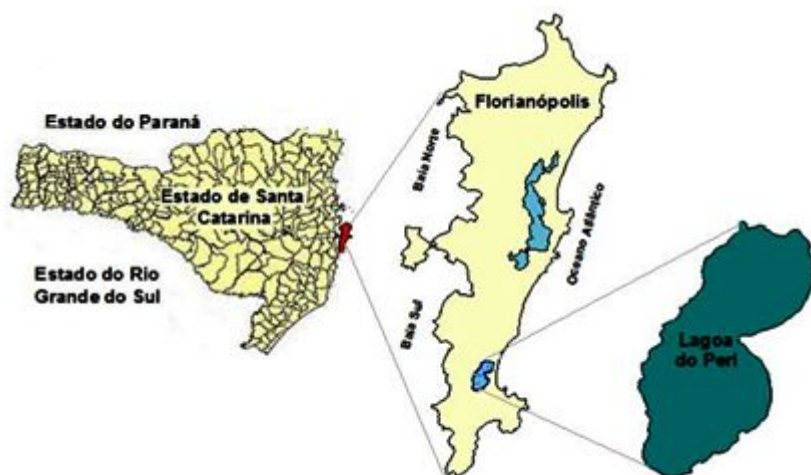


Figura 13 – Mapa de localização do Manancial Lagoa do Peri.

Hennemann (2010) constatou que a lagoa apresenta ausência de anoxia e um relativo grau de homogeneidade espacial em suas características limnológicas, classificando-a como do tipo polimítico quente. Também afirmou, através da medição de indicadores do grau de trofia, que a lagoa do Peri apresenta-se em boas condições de preservação.

Um fator importante na água da Lagoa é a presença de cianobactéria, principalmente *Cylindrospermopsis raciborskii* em concentrações da ordem de  $10^6$  células/mL durante a maior parte do ano (MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DE MELO, 2009). Outro estudo realizado no manancial foi que a influência da vegetação, das algas e cianobactérias tem sido associada com uma alta produção de TAM após

a desinfecção por cloração na água provinda da Estação de Tratamento (BUDZIAK e CARASEK, 2007).

Os dados de pH existentes para a lagoa do Peri indicam que suas águas são geralmente neutras, mas variam entre levemente ácidas e levemente básicas (HENNEMANN, 2010).

### 5.1.1. Parâmetros físico-químicos analisados

Os parâmetros físico-químicos da água da Lagoa do Peri foram estudados e testados conforme a necessidade de analisar variâncias uni ou multi-fatoriais.

A Tabela 7, a seguir, mostra as médias, desvio padrão, máximos e mínimos, que deram suporte para classificar, pragmaticamente, a Lagoa de acordo com avaliação da qualidade da água, no período de um ano, representada pela clorofila-a e concentração de COT (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Tabela 7 - Concentração média para o período de maio/2011 a junho/2012.

PARÂMETROS				
COT (mg/L)	COD (mg/L)	COP (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	UVA 254nm X 100
7,65 <sup>a</sup> ± 2,20 <sup>b</sup> (4,4 - 11,10) <sup>c</sup>	5,47 ± 1,29 (3,2 - 7,7)	2,18 ± 0,92 (1,2 - 3,4)	29,26 ± 16 (10,36 - 57,50)	7,29 ± 0,94 (6,2 - 9,95)

(<sup>a</sup>) média das amostras coletadas. (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Sendo os resultados expostos dos valores médios de 29,26 ± 16 µg/L de clorofila-a e 7,65 ± 2,20 mg/L de COT, os quais levam a conclusão de que a lagoa pode enquadrar-se em estado eutrofizado de classificação.

Simonassi (2001) realizou análises de nutrientes como nitrato, nitrito e fosfato, na Lagoa, onde os mesmos revelaram baixas concentrações durante o período de estudo. Concentrações de nitrato e nitrito apresentaram médias de 0,33 ± 0,1 µmol/L (n=83) e 0,06 ± 0,04 µmol/L, respectivamente e concentração média de fosfato 0,20 ± 0,16 µmol/L (n=83).

“Na Lagoa do Peri, embora as concentrações de nutrientes sejam altas quando comparadas

a outras lagoas costeiras... não pode ser considerada como um indicativo de ambiente poluído ou que esteja passando por processo de eutrofização cultural” (SIMONASSI, 2001).

A Tabela 8 alude aos parâmetros físicos verificados durante o período de estudo. Tais parâmetros foram essenciais na análise de resultados e correlações com os experimentos executados.

Tabela 8 - Parâmetros físicos analisados.

PARÂMETROS			
Nível Lagoa (cm)	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
$314,5^a + 62,2^b$ (239,0 - 405,0) <sup>c</sup>	$21,7 + 4,1$ (15,5 - 28,6)	$6,2 + 1,1$ (4,2 - 7,7)	$85,6 + 13,6$ (52,0 - 100,0)

(<sup>a</sup>) média das amostras coletadas. (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

## 5.2. Correlações dos parâmetros analisados

Na tentativa de relacionar ao máximo, os parâmetros analisados, e obter êxito suficiente para entender as ocorrências físicas e químicas que acontecem nesse ecossistema, foram obtidos alguns gráficos de interesse para o presente estudo.

### 5.2.1. Temperatura da Água

A água da Lagoa apresentou variação sazonal característica, onde as temperaturas, registrada no período de um ano, foram máxima de 28,60°C e mínima de 15,50°C.

Tais temperaturas da água são comparáveis às observadas por (SIMONASSI, 2001), onde foram registradas máximas de 28,00°C e mínimas de 18,00°C.

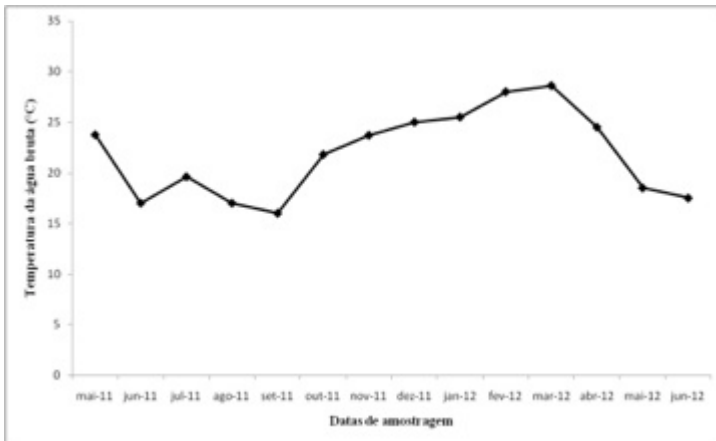


Gráfico 1 – Variação da temperatura da água da Lagoa do Peri, durante o período de maio/2011 a junho/2012.

### 5.2.2. Relação Precipitação e Nível da Água da Lagoa

O nível da água foi medido em centímetros e tomando-se como referencial 0,0 cm, o nível do mar. Portanto, a leitura foi realizada através de uma régua graduada, instalada no vertedouro da Lagoa, próximo ao canal Sangradouro.

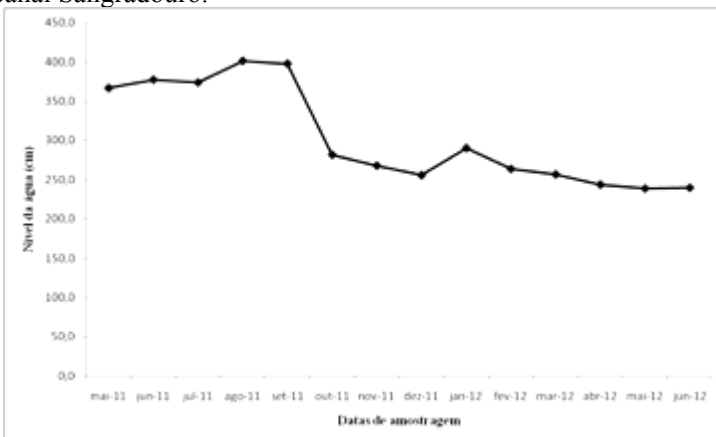


Gráfico 2 – Variação do nível da água, durante o período de maio/2011 a junho/2012.

O Gráfico 2, mostra uma contínua diminuição do nível da água da Lagoa, durante o período de amostragem. Relacionando-se o nível da



água com as médias de precipitação, fornecidas no período de agosto/2011 a março/2012 da estação pluviométrica da Lagoa do Peri; no Gráfico 3, é possível perceber que as variáveis estão diretamente relacionadas.

Percebeu-se uma diminuição do nível de água à medida que reduziu-se a precipitação na região, nos meses de agosto a novembro. Porém, a partir do mês de dezembro, o nível da Lagoa aumentou, mesmo com a diminuição das chuvas. Isto pode acontecer por causa da contribuição contínua de água provinda do escoamento superficial ao entorno e dos rios que deságuam na Lagoa, mesmo depois de a chuva ter diminuído seu fluxo.

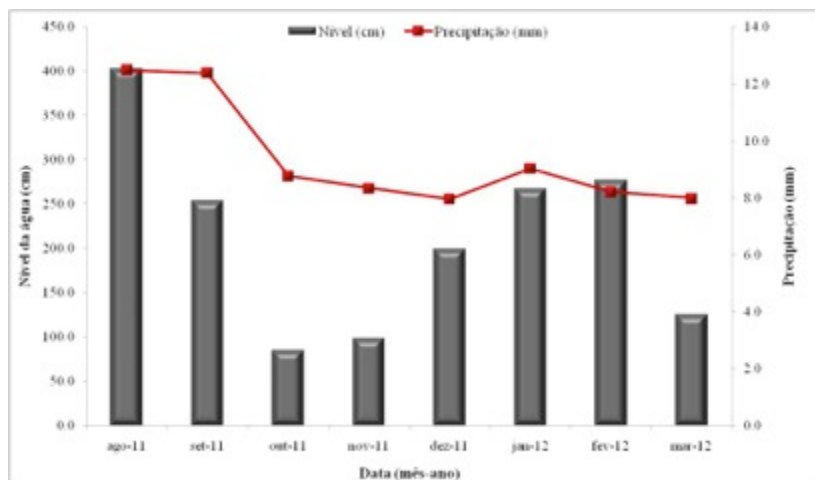


Gráfico 3 – Relação do nível da água da Lagoa, em centímetro, com os dados pluviométricos fornecidos no período de agosto/2011 a março/2012.

### 5.2.3. Relação Temperatura e Clorofila-a

Segundo Simonassi, 2001, realizar análise do pigmento, clorofila-a, representa medir a produtividade primária de um ecossistema.

Nos meses de junho a dezembro de 2011 foram registradas as menores médias de concentração, com aproximadamente 17,0  $\mu\text{g/L}$  de clorofila-a, devido ao fato de as temperaturas serem baixas e assim influenciarem na reprodução da biomassa, como mostra no Gráfico 4.

Também, de acordo com o Gráfico 4, percebe-se que de outubro/2011 a março/2012, houve um acompanhamento do crescimento da concentração de clorofila-a com a elevação da temperatura. Indicando

maior proliferação dos seres fitoplantônicos e macrófitos. Porém, nos meses restantes de amostragem, notou-se uma continuidade do crescimento exponencial do pigmento mesmo que as temperaturas estivessem diminuindo, por causa da mudança de estação. A média de concentração de clorofila-a, nos últimos meses foi de 39,8  $\mu\text{g/L}$  ( $n=10$ ).

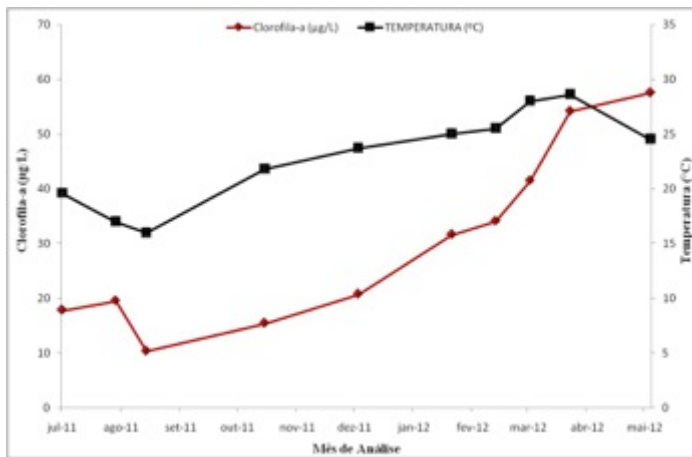


Gráfico 4 – Concentrações de clorofila-a relacionadas às temperaturas, durante o período de maio/2011 a junho/2012.

#### 5.2.4. Absorbância $UV_{254}$

A absorbância de luz ultravioleta, lida em 254 nm, representa o potencial indireto de formação de subprodutos da desinfecção. Os dados foram analisados em cada amostragem realizada ( $n=20$ ), onde percebeu-se uma constância de valores, com média de 7,29 ( $ABS_{254} \times 100$ ).

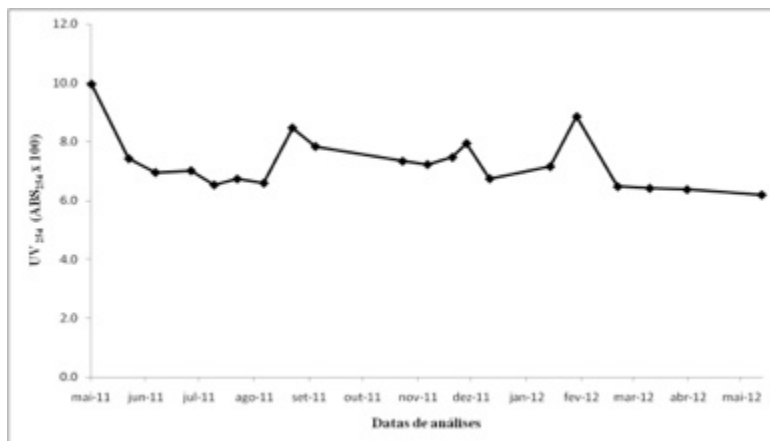


Gráfico 5 – Medida de UV<sub>254</sub>, durante o período de maio/2011 a junho/2012.

### 5.2.5. Nível da Água e COT

O COT é uma das medidas mais utilizadas para quantificar a MON na água. No decorrer das análises, durante o período de um ano, percebeu-se um crescimento da concentração de carbono, com valores médios de  $5,70 \pm 2,0$  mgC/L no período outono-inverno e  $9,60 \pm 2,0$  mgC/L no período verão-primavera. Porém, durante esse mesmo tempo de observação, verificou-se a diminuição do nível de água na lagoa devido à diminuição das chuvas e aumento da temperatura.

Percebe-se assim, que houve um aumento de carbono orgânico proveniente, principalmente, de organismos autóctones, a medida que a contribuição hídrica na Lagoa diminuiu ( $R^2=0,6877$ ).

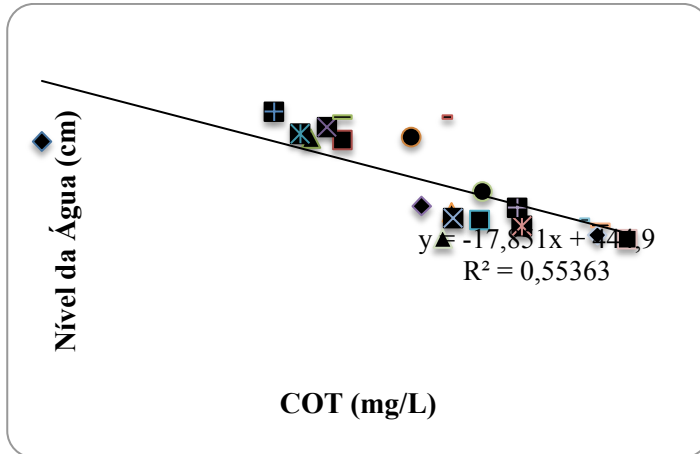


Gráfico 6 – Relação inversa COT x Nível da água, durante o período de maio/2011 a junho/20212.

### 5.2.6. Potencial de Formação de Trihalometanos na Água bruta da Lagoa do Peri

Na

Tabela 9, a seguir, é possível verificar a variação média do PFTAM durante o período de um ano de amostragem e análise (n=21). Percebe-se que houve maior contribuição global da MON dissolvida na formação de TAM em comparação com os valores do material particulado.

Tabela 9 - Médias, desvio padrão, máximos e mínimos dos resultados de análise do PFTAM

PARÂMETROS		
PFTAM Total ( $\mu\text{g CHCl}_3/\text{L}$ )	PFTAM Dissolvido ( $\mu\text{g CHCl}_3/\text{L}$ )	PFTAM Particulado ( $\mu\text{g CHCl}_3/\text{L}$ )
492 <sup>a</sup> $\pm$ 99,7 <sup>b</sup>	291 $\pm$ 44,0	201 $\pm$ 111,0
(287 - 640) <sup>c</sup>	(167 - 380)	(120 - 374,5)

(<sup>a</sup>) média das amostras coletadas. (<sup>b</sup>) Desvio padrão. (<sup>c</sup>) Mínimos e máximos.

Porém, os dados da Tabela 10 indicam que a contribuição do material particulado (normalizado a carbono orgânico), formado principalmente por fitoplâncton e outros microorganismos, apresenta uma

maior contribuição na formação de TAM, indicando a importância da aplicação de um sistema de tratamento que favoreça a remoção desse tipo de material.

Tabela 10 - Relação média da contribuição da MON para a formação de TAM no período de doze meses (maio/2011 a junho/2012).

<b>Potencial de Formação de TAM/contribuição do Carbono Orgânico</b>	Total ( $\mu\text{gCHCl}_3/\text{mgC}$ )	Dissolvido ( $\mu\text{gCHCl}_3/\text{mgC}$ )	Particulado ( $\mu\text{gCHCl}_3/\text{mgC}$ )
	64.3	53.2	92.2

### 5.2.7. Efeitos da Demanda de Cloro 7-dias no PFTAM

O PFTAM para o Manancial foi realizado mensalmente de maio/2011 a junho/2012 (n = 19), e mostrou variação de 314  $\mu\text{g/L}$  em meados de junho/2011 a 640  $\mu\text{g/L}$  em fevereiro/2012. O valor médio foi de 492  $\mu\text{g/L}$  (

Tabela 9). O crescimento abrupto no PFTAM aconteceu decorrente de altas temperaturas durante o pico de verão e por causa da maior quantidade de matéria orgânica para reagir com cloro.

O gráfico 7 relaciona, proporcionalmente, a demanda de cloro 7-dias com o PFTAM. Como o conteúdo de cloro foi aumentado, o potencial de formação de TAM aumentou também.

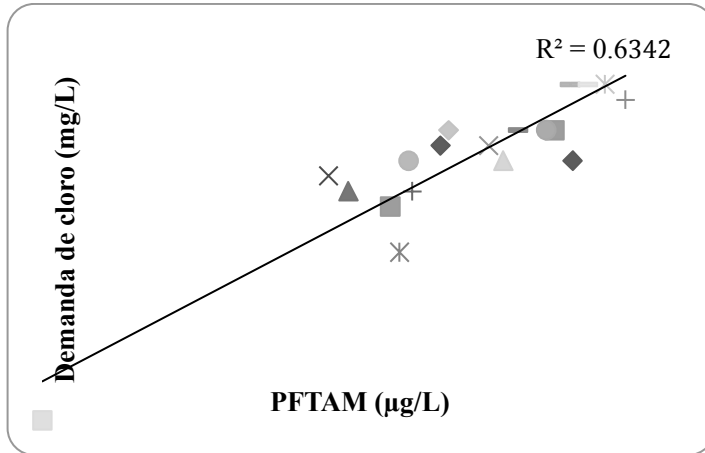


Gráfico 7 – Correlação dos efeitos da dosagem de cloro, para reação de 7 dias, com o PFTAM, durante o período de um ano.

### 5.2.8. Efeito do COT no PFTAM

Semelhante a demanda de cloro, as análises de COT apresentaram um aumento durante a chegada do verão, seguido por um declínio gradual até o inverno. O mesmo aconteceu com o PFTAM, durante todo o período de pesquisa.

Como reportado por Fooladvand (2011), a formação de TAMs sobe com aumento do teor de material solúvel húmico em água de ocorrência natural. A taxa de formação de TAM se compara à de COT. Isto mostra que uma maior disponibilidade de COT irá fornecer mais PFTAM.

Portanto, uma maior disponibilidade de COT irá fornecer mais TAM se cloro residual é suficiente. Como relatado por Babcock e Singer (1979), a característica e do tipo de matéria orgânica pode ser responsável pelas diferenças de reatividade na cloração. Ácidos fúlvicos representam 90% a mais que húmicos, em muitas fontes de água. No entanto, Babcock e Singer (1979) descobriram que as contribuições relativas à produção TAM veio de fração húmica já que reagem mais facilmente com o cloro. Portanto, o Gráfico 8 alude a essa correlação proporcional, no período de estudo.

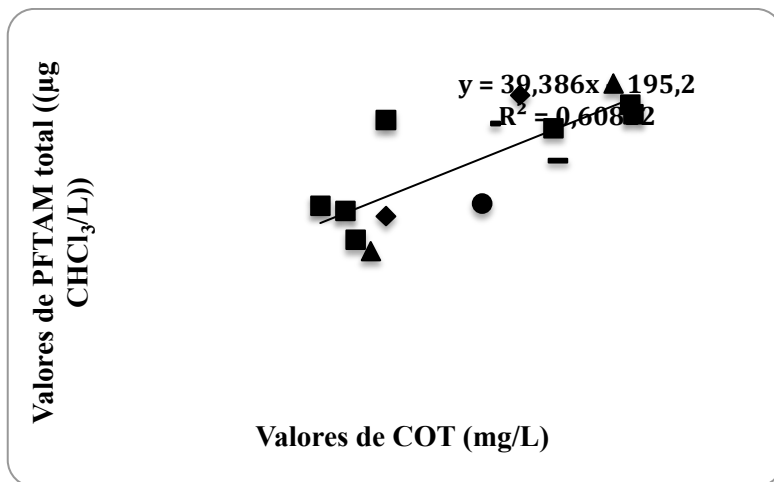


Gráfico 8 – Correlação entre PFTAM e COT.

### 5.2.9. Relação de Chuvas com PFTAM Total

Com intuito de verificar a origem da matéria orgânica, precursora da formação de TAM derivada de fontes difusas, foram relacionadas as médias mensais das variáveis Chuva, fornecidos pela CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - Estação Pluviométrica da Lagoa do Peri, e PFTAM Total referentes aos meses de agosto/2011 a março/2012.

O Gráfico 9, mostra a relação entre as variáveis.

Não foi possível correlacionar as concentrações de PFTAM com a quantidade de chuva na região, por isso, pôde-se considerar que a matéria orgânica interferente na formação de TAM, para a Lagoa do Peri, em sua maioria é de procedência autóctone, tanto a contribuição dissolvida, quanto à particulada.

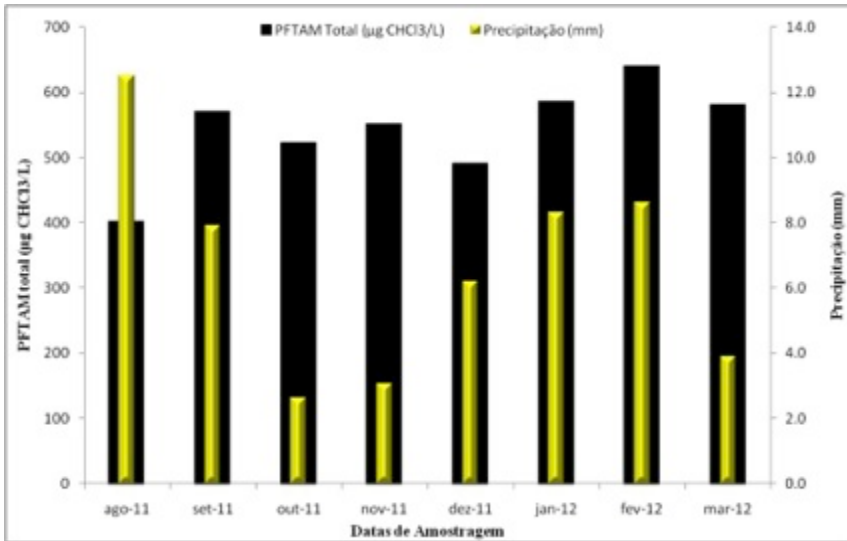


Gráfico 9 – Comparação dos dados de precipitação (mm) e PFTAM, no período agosto/2011 a março/2012.

### 5.2.10. Sazonalidade do PFTAM

Os dados de sazonalidade encaixaram-se com as características peculiares das estações do ano, para os PFTAM totais, caracterizando uma capacidade de formação de trihalometanos gradativamente alta, com a ascensão da temperatura e vice-versa. Evidentemente, o aumento de temperatura gera um aumento de produção primária no manancial, provocando uma ascensão no conteúdo da matéria orgânica e, conseqüentemente, no PFTAM.

No Gráfico 10, é possível visualizar que nos meses de maio a agosto de 2011, o PFTAM total é menor (valor médio de 380,0 µg/L) que nos meses de setembro/2011 a abril/2012 (valor médio de 570,0 µg/L), que são os meses compreendidos entre a primavera e verão. Depois, no mês de maio a junho de 2012, a concentração de TAM volta a baixar (valor médio de 360,0 µg/L), assim como a temperatura.



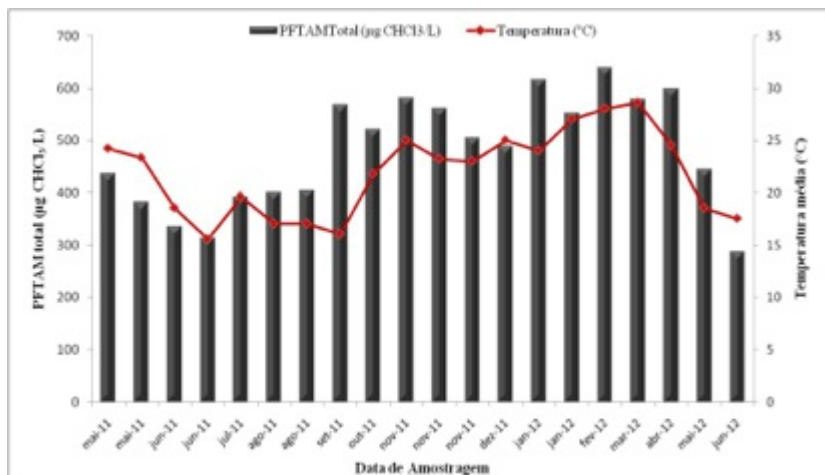


Gráfico 10 - Variações sazonais para o PFTAM total no período de maio/2011 a junho/2012.

No entanto, para os casos de análise de PFTAM do material particulado e dissolvido, não é possível perceber com clareza essa sazonalidade, mesmo os dois juntos caracterizando o PFTAM total.

O gráfico 11 mostra que a temperatura influenciou diretamente no potencial, durante o período de amostragem. Os fatores como insolação, competição por alimento, boas condições para reprodução do fito plâncton, entre outros, podem ter interferido também nesse comportamento.

Ainda no Gráfico 11 (n=13), é possível perceber que houve um aumento do PFTAM a partir do mês de janeiro/2012 e diminuiu consideravelmente, a partir do mês de abril/2012, (valor médio de 350,0 µg/L). Nos meses de julho/2011 a dezembro/2011, assim como a partir do mês de maio/2012, percebe-se uma concentração mais baixa, porém, constante de valores do potencial (valor médio de 190,0 µg/L).

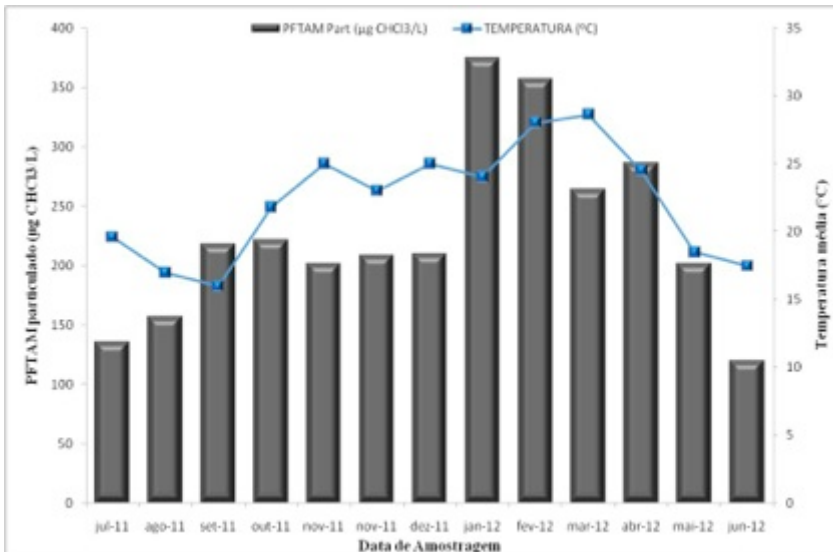


Gráfico 11 – Variações sazonais para o PFTAM particulado no período de julho/2011 a junho/2012.

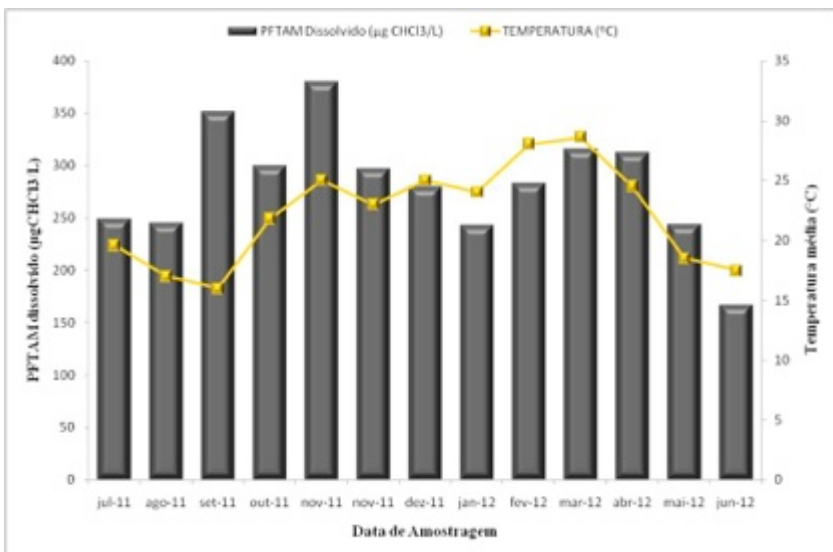


Gráfico 12 - Variações sazonais para o PFTAM dissolvido no período de julho/2011 a junho/2012.

O Gráfico 12 refere-se à variação sazonal do PFTAM da MON presente na Lagoa. Os valores de concentração de PFTAM dissolvidos mostraram uma tendência à proporcionalidade em relação aos valores de temperatura, porém, houve aumento do PFTAM no período entre a primavera – setembro a novembro 2011 (valor médio de 340,0 µg/L) – e final de verão até início de outono – fevereiro a maio 2012 (valor médio de 390,0 µg/L), os quais não garantem que tais valores condizem com as características peculiares das variações de estações do ano, durante o período de análise.

Nos gráficos 11 e 12, foi possível concluir que as frações precursoras de MON dissolvidas na água, tiveram um potencial dominante de formação de trihalometanos, ao reagir com cloro, nas estações de outono e primavera. Já, os precursores particulados, demonstraram maior PFTAM no verão. Ambos os potenciais foram baixos no período do inverno.

## 6. CONCLUSÕES

Realizar estudos físico-químicos e caracterizar qualquer manancial que é ou será utilizado para abastecimento público, é um dever e bom senso de qualquer instituição perante a sociedade; pois, através disso, será possível adequar a melhor tecnologia de tratamento e de manutenção para a água que será destinada, assegurando saúde para todos os usuários.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS) limita que o valor de subprodutos da desinfecção, como os trihalometanos, concentre-se em no máximo, 0,1 mgCHCl<sub>3</sub>/L em águas destinada ao consumo humano.

O estudo foi especificado ao manancial Lagoa do Peri e visou avaliar PFTAM do manancial, simulando, através da metodologia aplicada em bancada, a desinfecção, sem qualquer sistema de tratamento para remoção da MON, apenas a captação e desinfecção.

O intuito foi verificar se a Lagoa do Peri encontrar-se-ia adequada ao abastecimento de água, quanto ao potencial formação de trihalometanos, sob a perspectiva da Portaria nº 2.914/2011.

De acordo com os resultados obtidos, fazendo aferição aos parâmetros analisados, tem-se que:

➤ Quanto à caracterização da Lagoa do Peri

O manancial foi caracterizado de acordo com os parâmetros físico-químicos analisados, classificando-o como do tipo polimítico quente.

Nos resultados expostos dos valores médios de  $29,26 \pm 16$  ug/L de clorofila-a e  $7,65 \pm 2,20$  mg/L de COT, a lagoa enquadra-se em estado eutrofizado de classificação, seguindo instruções de (EDZWALD; TOBIASON, 2011). Essa trofia pode estar relacionada à presença de cianobactéria, principalmente *Cylindrospermopsis raciborskii* em concentrações da ordem de  $10^6$  células/mL durante a maior parte do ano (MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DE MELO, 2009).

A Lagoa apresentou-se, durante o período de estudo, com valores de nível médio de água entre  $314,5 \pm 62,2$  centímetros, média de temperatura entre  $21,7 \pm 4,1$  °C, turbidez média de  $6,2 \pm 1,1$  uT e média de cor aparente de  $85,6 \pm 13,6$  uH.

➤ Quanto ao PFTAM e suas co-relações

A quantidade de matéria orgânica disponível que reagiu com o cloro, foi proporcional ao PFTAM gerado, como se mostraram os resultados referentes à demanda de cloro a 7 dias ( $R^2 = 0,6342$ ) e o comportamento do COT ( $R^2 = 0,6082$ ). Enquanto o conteúdo de cloro aumen-

tava, mais cloro residual tornou-se reativo com a matéria orgânica, potencializando, assim, a formação de TAM.

O COT também se relacionou com o nível da água da Lagoa, o qual aumentou seus valores médios de  $5,70 \pm 2,0$  mg C/L no período outono-inverno e  $9,60 \pm 2,0$  mgC/L no período verão-primavera proveniente, principalmente, de organismos autóctones, a medida que a contribuição hídrica na Lagoa diminuiu.

Não foi possível correlacionar as concentrações de PFTAM com a quantidade de chuva na região, por isso, pôde-se considerar que a matéria orgânica interferente na formação de TAM, para a Lagoa do Peri, em sua maioria é de procedência autóctone, tanto a contribuição dissolvida, quanto a particulada.

Quanto aos dados de sazonalidade, o PFTAM total encaixou com as características peculiares das estações do ano, caracterizando uma capacidade de formação de trialometanos gradativamente alta, com a ascensão da temperatura (valor médio de  $481,20 + 107,0$   $\mu\text{g/L}$ ). No entanto, as frações precursoras de MON dissolvidas na água, tiveram um potencial dominante de formação de trialometanos, ao reagir com cloro, nas estações de outono e primavera (valor médio de  $281,1 + 54,2$   $\mu\text{g/L}$ ) e os precursores particulados, demonstraram maior PFTAM no verão (valor médio de  $200,1 + 76,0$   $\mu\text{g/L}$ ).

A Lagoa do Peri, tomando como ponto de vista a sua capacidade para formar trialometanos, após a desinfecção, não se encontraria em conformidade com os padrões da Portaria n° 2.914/2011. O maior PFTAM, principalmente relacionado ao material particulado, indica a importância da aplicação de tecnologias apropriadas para a remoção desse tipo de material orgânico, como por exemplo filtração por membranas, filtração em margem, tratamento convencional, utilização de filtração direta, entre outros.

O conteúdo de MON e, conseqüentemente, o PFTAM, mostrou um aumento nos meses com temperaturas mais elevadas. Dessa forma, considera-se importante tomar medidas mitigadoras, como alterar a forma de desinfecção por ozonização, utilização de raios ultravioletas, ou então, uso de permanganato de potássio, que é mais barato, na prevenção de picos de precursores de TAM, principalmente durante esses meses mais quentes.

Para isso, torna-se imprescindível a adoção de amplos programas de apoio tecnológico, que induzam a ações de monitoramento e manutenção compatíveis com a estrutura de saneamento existente, para que se aprofundem pesquisas sobre os TAMs.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

De acordo com os aprendizados adquiridos na execução desse estudo, recomenda-se realizar análises de TAMs e de substitutos de MON, por um período mais longo, a fim de verificar a influência do ambiente, como um todo, perante as modificações sazonais.

Como já mencionado, no local de pesquisa há uma ETA cuja tecnologia implantada é a filtração direta. Recomenda-se executar estudos freqüentes quanto ao PFTAM, após essa filtração, no intuito de avaliar se a água para abastecimento público encontra-se viável quanto à legislação e qualidade exigida para uso.

## 8. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLA, R.; BERGAMASCO, R.; GIMENES, M. L.; DIAS FILHO, B. P.; CONSTANTINO, A. F. Formação de Trihalometanos em uma Estação de Tratamento de Água. **Acta Sci. Technol.**, v. 27, n. 2, p. 133–141, 2005.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 2005.

AWWA. **Water Quality and Treatment: a Handbook of Community Water Supplies**. New York: McGraw-Hill, 1990.

BABCICK, D.; SINGER, P. Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids. **Journal of AWWA**, v. 71, p. 149–152, 1979.

BAZZOLI, N., 1993. **O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacional de Saúde – Coordenação Regional de Minas Gerais**. Recife: FNS/Opas. (Mimeo.)

BECKER, B. R. **Proposta de Teste para Verificação da Formação de Trihalometanos (TAM) em ETAs**, 2010. Universidade Federal de Santa Catarina.

Brasil (2011). Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União, n. 239: 30-46. .

CAGGIANI, A.; CASTAGNINO, G.; MAIO, J. DI; et al. Control en la Formación de Trihalometanos (THMs) em la Usina Potabilizadora Ose - Fray Bentos y Adaptaciones que se realizaron en el tratamiento con los resultados obtenidos. **XXXI CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS**, p. 7p., 2008.

CALDERÓN, J.; CAPELL, C.; CENTRICH, F. et al. Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público. **Gac Sanit**, v. 16, n. 3, p. 241–243, 2002.

CAMOUZE, J.-P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas.** São Paulo (SP): Edgard Blucher: FAPESP, 1994.

CANCHO, V.; VENTURA, B. **Optimization of methods for the determination of DBPs.** Global NEST Journal, Vol 7, No 1, pp 72-94, 2005

CARASEK, E ; BUDZIAK, D. **Determination of trihalomethanes in drinking water of three different water sources of Florianopolis, Brazil using Purge & Trap and Gas Chromatography.** Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 18, p. 741-747, 2007

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes1. , v. 22, n. 2, 1977.

CASTRO, C. M. **A formação de supprodutos nos processos de desinfecção.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas; UFRGS. 1998.

CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento,** 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Campus de Ilha Solteira.

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN:  
<http://www.casan.com.br> Acesso: abril de 2012. .

DEGRÉMONT. **Water Treatment Handbook.** New York: John Wiley & Sons. 1979

DI BERNARDO, Luiz. **Algas e suas influencias na qualidade das aguas e nas tecnologias de tratamento.** Rio de Janeiro (RJ): ABES, 1995. xii, 127p. ISBN 85.7022-117.7

EDZWALD, J. K.; TOBIASON, J. E. CHEMICAL PRINCIPLES , SOURCE WATER COMPOSITION , AND WATERSHED PROTECTION. In: J. K. Edzwald (Ed.); **Water Quality & Treatment.** p.3.2 – 3.76, 2011. Denver.

EVIA, F. R. U. I. Z.; ORRES, M. J. F. E. Determining the Henry ' s Law Constants of THMs in Seawater by Means of Purge-and-Trap Gas Chroma-



tography ( PT-GC ): The Influence of Seawater as Sample Matrix. **Analytical Chemistry**, v. 26, n. June, 2010.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização Multi-Objetivo de Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento: Remoção de Turbidez, Carbono Orgânico Total e Gosto e Odor. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 11, n. 1, p. 7–15, 2006.

FILHO, S. S. F. **Remoção de Compostos Orgânicos Precusores de Subprodutos da Desinfecção e seu Impacto na Formação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento.** , v. 6, n. 1, p. 1–16, 2001.

FOOLADVAND, M.; RAMAVANDI, B.; ZANDI, K.; ARDESTANI, M. Investigation of trihalomethanes formation potential in Karoon River water, Iran. **Environmental monitoring and assessment**, v. 178, n. 1-4, p. 63–71, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20824334>>. Acesso em: 4/11/2011.

FREIRE, C.; SOLER, R.; FERNÁNDEZ, M. F. et al. Valores de trihalometanos en agua de consumo de la provincia de Granada, España. **Gaceta sanitaria**, v. 22, n. 6, p. 520–526, 2008. Elsevier. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0213-9111\(08\)75349-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0213-9111(08)75349-4)>. .

GETER, D. R.; CHANG, L. W.; HANLEY, N. M. et al. Analysis of in vivo and in vitro DNA strand breaks from trihalomethane exposure. , v. 8, p. 1–8, 2004.

HACH COMPANY. HACH DR 2800 Spectrophotometer. **Boron**, 2007. USA.

HACH. DR/2010. Spectrophotometer Procedures. Manual da Hach, 1999. .

HENNEMANN, M. C. **Dinâmica da Qualidade da Água em uma Lagoa Costeira □: o Caso Peculiar da Lagoa do Peri , Ilha de Santa Catarina , Brasil**, 2010. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

HOEHN, R.C.; BARNES, D.B.; THOMPSON, B.C.; RANDALL, C.W.; GRIZZARD, T.J.; SHAFFER, P.T.B. **Algae as sources of trihalomethane precursors**. J. American Water Works Association, v. 72, n. 6, p. 344–349, jun. 1980

ISO 10260 A849I. Water Quality - Measurement of Biochemical parameters - Spectrometric determination of the chlorophyll-a concentration. Pasta ISO 05. ,1992.

LEITE, R. W. **Validação de um método de extração gás-líquido “heads-space” acoplado a um CG-EM para determinação de THM em água potável da região de Maringá**Dados, 2009. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Química, Programa de Pós-Graduação em Química.

LEÃO, V. G. **Água Tratada: Formação de trihalometanos pelo uso do cloro e os riscos potenciais à saúde pública em cidades da mesorregião do Leste Rondoniense.**, 2008. Universidade de Brasília.

LIMA, M. O.; SANTOS, E. C. O.; JESUS, I. M. et al. Assessment of Surface Water in Two Amazonian Rivers Impacted by Industrial Wastewater, Barcarena City, Pará State (Brazil). **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 00, n. 00, p. 1–12, 2011.

MARMO, C. R.; SANTOS, B. V. A. P.; JÚNIOR, R. B. Remoção de Trihalometanos em águas de abastecimento por tratamento convencional e uso de carvão ativado em pó ( CAP ). **XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, p. 1–8, 2006.

MARQUES, D. M.; HAMESTER, A.; PETRY, A. T. **Análise das diferentes fontes de matéria orgânica precursora em ambiente lótico urbano na formação de trihalometanos.** ,2005.

MELLO, G. S. L.; JÚNIOR, N. M. Relação do potencial de formação de trihalometanos com as variáveis chuva, carbono orgânico dissolvido e número de células de cianobactérias nos mananciais do Estado de São Paulo. **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 1–5, 2009.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas , a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública Chlorine Use in Water Disinfection , Trihalomethane Formation , and Potential Risks to Public Health. **Public Health**, v. 10, n. 1, p. 99–110, 1994.

MONDARDO, R. I. **Influência da Pré-oxidação na Tratabilidade das Águas Via Filtração Direta Descendente em Manancial com elevadas**

**Concentrações de Microalgas e Cianobactérias**, 2004. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DE MELO, L. C. Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. **Artigo ABES Vol.11 N° 4**, p. 337–342, 2009.

NUCKOLS, J. R.; ASHLEY, D. L.; LYU, C. et al. Influence of Tap Water Quality and Household Water Use Activities on Indoor Air and Internal Dose Levels of Trihalomethanes. **Environmental Health**, v. 113, n. 7, p. 863–870, 2005.

NUNES, L.; GOMES, L.; MARIA, S. et al. Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2011.

OLIVEIRA, A. C.; FERREIRA FILHO, S. S. Minimização da Formação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, , n. 1, p. 1–19, 2003.

OLIVEIRA, J. S. **Análise sedimentar em zonas costeiras: subsídio ao diagnóstico ambiental da Lagoa do Peri - Ilha de Santa Catarina - SC, Brasil**, 2002. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

OPAS (Organización Panamericana de la Salud), 1987. **Guias para La Calidad del Agua Potable**. Volumes I, II e III. Genebra: Opas.

PAIM, A. P. S.; SOUZA, J. B.; ADORNO, M. A. T.; MORAES, E. M. Monitoring the Trihalomethanes Present in Water After Treatment with Chlorine Under Laboratory Condition. **Environ Monit Assess**, p. 265–270, 2007. Springer Science + Business Media B.V. 2007.

PARDO, S. D. A. **Avaliação do Poetencial de formação de trihalometanos em sistemas de abastecimento de água**, 1996. Universidade Estadual de Campinas.

SANTOS, C. T. **Influência do Tamanho Molecular Aparente de Substâncias Húmicas Aquáticas na Eficiência da Coagulação por Hidroxicloreto de Alumínio**, 2009. Universidade de São Paulo.

SCIELO. **Scientific Electronic Library** Online. Disponível em:  
<http://www.scielo.org/php/index.php> Acesso em: 20 janeiro 2012. .

SIMONASSI, J. C. **Caracterização da Lagoa do Peri, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**, 2001. Universidade Federal de Santa Catarina.

STEPCZUK, C.; MZRTIN, A. B.; EFFER, S. W.; BLOOMFIELD, J. A.; AUER, M. T. Allochthonous Contributions of THM Precursors to a Eutrophic Reservoir. **Lake and Reservoir Management**, v. 14, n. 2-3, p. 344–355, 1998a. Disponível em:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07438149809354342>>.  
Acesso em: 4/11/2011.

STEPCZUK, C.; MZRTIN, A. B.; EFFER, S. W.; BLOOMFIELD, J. A.; AUER, M. T. Spatial and Temporal Patterns of THM Precursors in a Eutrophic Reservoir. **Lake and Reservoir Management**, v. 14, n. 2-3, p. 356–366, 1998b. Disponível em:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07438149809354343>>.  
Acesso em: 4/11/2011.

STEPCZUK, C.; OWENS, E. M.; EFFLER, S. W.; AUER, M. T.; BLOOMFIELD, J. A. A Modeling Analysis of THM Precursors for a Eutrophic Reservoir. **Lake and Reservoir Management**, v. 14, n. 2-3, p. 367–378, 1998. Disponível em:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07438149809354344>>.  
Acesso em: 4/11/2011.

TAKAHASHI, Y.; ONODERA, S.; MORITA, M.; TERAQ, Y. A Problem in the Determination of Trihalomethane by Headspace-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. **Journal of Health Science**, v. 49, n. 1, p. 1–7, 2003. Disponível em:  
<<http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jhs/49.1?from=CrossRef>>. .

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. Exposição Humana a Trialometanos Presentes em Água Tratada. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 413–421, 1999. Disponível em:  
<<http://www.ajph.org/cgi/doi/10.2105/AJPH.91.3.499>>. .

TUCCI, A.; ANNA, L. S. **Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico**, São Paulo, SP, Brasil., v. 2, p. 97–112, 2003.

USEPA. **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. United States Environmental Protection Agency, 1999.

VALENTE, A. L.; AUGUSTO, F.; MONTERO, L.; ROCHA, E. C. DA; PAWLISZYN, J. Aplicação de SPME (Solid Phase Micro-Extraction) na Análise de Águas potáveis de Três Localidades do Estado de São Paulo. **Química Nova**, v. 21, n. 6, p. 804–806, 1998.

VEUM, K. S. **Disinfection by-product precursors and formation potentials of Missouri Reservoirs**, 2006. Faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia.

YIN, R. K. Estudo de Caso, planejamento e métodos. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2001. .

[www.sanetal.com.br](http://www.sanetal.com.br). Acesso em: 24/05/2012. .

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE 1

## PROCEDIMENTO PARA DEMANDA DE CLORO E POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TAMs

**Equipamento:** Espectrofotômetro Hach DR 2800

**Cuidados:** Sempre utilizar luvas e jaleco; realizar experimentos com luz apagada!

**Descarte:** Rejeitos contendo cloro livre devem ser armazenados em um béquer para descarte durante o experimento. Adicionar sulfito de sódio ( $\text{NaSO}_3$ ) à solução, abrir completamente a torneira e despejar o rejeito lentamente no dreno.

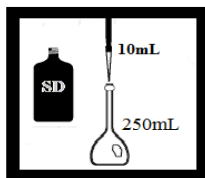
**Antes de iniciar os testes:**

- Verificar que todas as vidrarias estejam limpas conforme o procedimento de *Limpeza para Trialometanos*.
- As amostras devem estar na temperatura ambiente para continuidade do procedimento.
- Amostras com cloro adicionado e solução de dosagem de cloro devem ser mantidas em abrigo de luz.
  - Sempre enxaguar as ponteiras com a solução a ser pipetada.

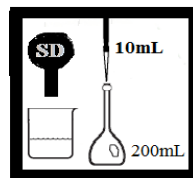
Material	Quantidade	Nº de catálogo
Água sanitária	1	
Balão Volumétrico 250mL	1	
Balão Volumétrico 200mL	1	
Garrafa âmbar 500mL	1	
Pipeta 10,00mL	1	
Ponteiras de pipeta 10,00mL	4+6*número de amostras	
Béquer 50mL	3	
Água ultrapura	1	
Cubetas para leitura	1	
Procedimento de Análise Cloro Livre	1	Método 10069
Balão volumétrico 100mL	1+ número de amostras	
Garrafa âmbar 125ml/72mL	1+ 5*número de amostras	
Papel alumínio	1	
Calculadora	1	
Solução Tampão pH 7,0	1	
Pipeta 1,00 mL	1	
Ponteira 1,00mL	Aprox. 1+4*número de amostras	

**1ª ETAPA** Preparo da Solução Dosadora (SD) e determinação da  $[Cl_2]_{SD}$ .Determinação  $[Cl_2]_{SD}$ 

1. **Apenas para verificação! Iniciar no passo 2:** Meça 50mL de água sanitária. Adicione à garrafa âmbar de 500 mL. Preencha até a boca com água ultrapura. [sol.]≈2500mg/L



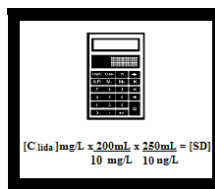
2. Utilizar a pipeta automática para diluir 10,0 mL da solução em um balão volumétrico de 250 mL com água **deionizada**. Tampar e agitar levemente. [ ]≈100 mg/L



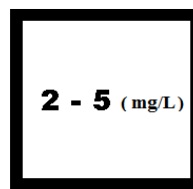
3. **Trocar** a ponteira da pipeta. Com auxílio de um bquer, diluir 10,0 mL da nova solução em um balão volumétrico de 200 mL. Tampar e agitar levemente. [ ] ≈ 5 mg/L



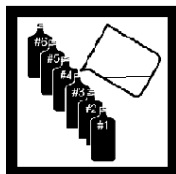
4. Determinar a  $[Cl_2]_{SD}$  através do método 10069. Anote o valor da leitura. Faça duplicata.



5. Calcule a concentração da solução dosadora real  $[Cl_2]_{SD}$  multiplicando o valor de leitura pelo fator de diluição 500.



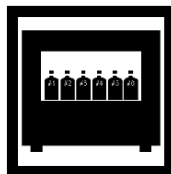
6. Sempre que se for utilizar a solução dosadora, deve-se repetir este procedimento a partir do passo 2, devido à degradação do cloro da solução. Limpar vidraria dessa com água u.p.

**2ª ETAPA** Cloro Inicial e Demanda de Cloro Inicial ->  $Cl_2$  4h.

1. **PARA TODAS AS AMOSTRAS:** Preencher 3/4 das garrafas âmbar, com amostra. Pipetar  $V_{SD}$  (passo 5) às garrafas para garantir 100mg/L. Trocar de ponteira para cada amostra!



2. Preencher com amostra até que haja um menisco acima da boca da garrafa. Tampar e agitar levemente, evitar que fiquem bolhas de ar.

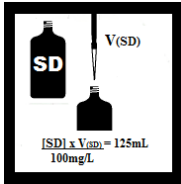


3. Etiquetar as garrafas, enrolar a amostra em papel alumínio e colocar na estufa por 4 h. Etiquetar no alumínio também.

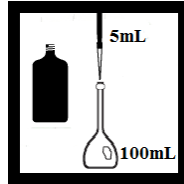


4. Após as 4 horas, fazer o mesmo procedimento do passo 6 para cada amostra. Fazer a leitura no HACH DR2800. **Trocar de ponteira para cada amostra!**





5. Pipetar um volume ( $V_{SD}$ ) de SD que garanta  $100\text{mgCl}_2/\text{L}$  na garrafa de  $125\text{mL}$ . Preenchê-la com água **ultrapura** como descrito no passo 2 desta etapa.

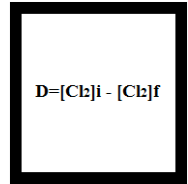


6. Trocar a ponteira. Pipetar  $5,00\text{mL}$  da garrafinha em um balão volumétrico de  $100\text{mL}$  e diluir a solução em água ultrapura.



**Método**  
**10069**  
Programa 88  
Cloro Livre

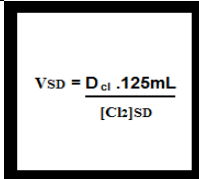
7. Fazer a leitura no HACH DR2800 e multiplicar o resultado pelo fator de diluição 20. Esta é a concentração inicial ( $C_i$ ).



$$D = [Cl_2]_i - [Cl_2]_f$$

8. Multiplique o valor lido por 20, encontrando  $[Cl_2]_f$ . Calcular a Demanda de Cloro ( $D_{Cl}$ ).

### 3ª ETAPA Determinação do potencial de formação THM a 7 dias de reação (PFTHM, 7d)

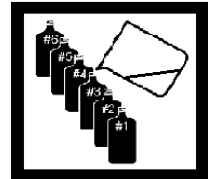


1. Calcule o volume  $V_{SD}$  a cada demanda (**D, D+3, D+6, D+9...**) de cada amostra e faça uma tabela (Nota no próximo quadro).

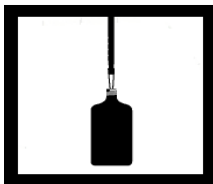


2. Organize e etiquete as garrafinhas com D, D+3, D+6, D+9, D+12 ...

Nota: D representa a demanda de cloro ( $\text{mg/L}$ ) calculada na ETAPA 2 e D+3 é igual a D mais  $3\text{mg/L}$ . Analogamente aos demais.



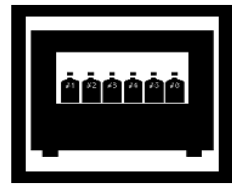
3. Preencha as  $3/4$  da garrafa com amostra e adicione  $2,5\text{mL}$  ( $p$  g  $125\text{mL}$ ) da solução-tampão. Tampar e agitar. Repita para todas as amostras.



4. Enxaguar a ponteira com a SD. Pipetar  $V_{SD}$  e colocar na garrafinha submergindo a ponta da pipeta. Tampe e agite duas vezes. Trocar a ponteira para cada dosagem!

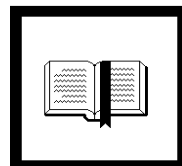
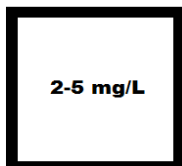


5. Encha a garrafa com amostra até que se forme um menisco sobre a sua boca. Tampe com cuidado, evitando a formação de bolhas de ar.



6. Envolve a garrafa em papel alumínio, etiquete novamente e coloque na estufa por 7 dias a  $25^\circ\text{C}$ . Depois, seguir para ETA-PA 4.

**4ª ETAPA** Leitura das Análises: Determinação do potencial de formação THM a 7 dias (PFTHM, 7d)



1. Após os 7 dias de incubação, retirar as amostras da ETAPA 3 da estufa. Utilizar o método 10069 para determinação de cloro livre no HACH DR2800.

2. Para cada amostra, começar a fazer a leitura a partir da garrafa etiquetada **com maior demanda (D+9)**, e selecionar apenas uma garrafa por amostra que obtenha leitura entre 2 e 5mg/L.

3. Imediatamente, aplicar o método 10132 para determinação de THM.  
**OBS: Para o branco 10mL água Ultra-pura e no procedimento não vai para quente.**

4. Anotar os valores obtidos em uma coluna *THM final*.

**OBS: Para padrão 0,1 mL de padrão na cubeta de 10mL de água ultra-pura.**

## APÊNDICE 2

**PROCEDIMENTO PARA CLOROFILA-A**

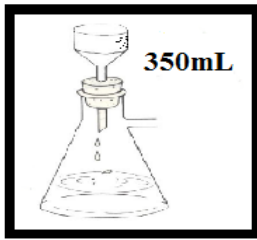
**Equipamento:** Espectrofotômetro Hach DR 2800 ; dispositivo de filtração a vácuo; filtro de fibra-de-vidro livre de matéria orgânica; banho-maria; vasos de extração (âmbar); termômetro; béquer

**Cuidados:** Realizar experimentos com luz apagada. Programa de múltiplas ondas no Espectrofotômetro Hach DR 2800.

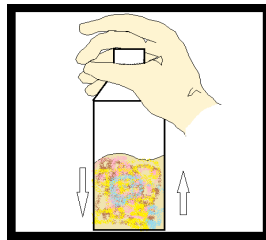
**Antes de iniciar os testes:**

- Fazer armazenamento refrigerando a amostra no escuro por menos de 8hs é aceitável, mas deve ser evitado. Se possível fazer imediatamente depois da amostragem a filtração e extração.
- LIMPEZA: sabão normal, solução sabão, água morna, água deionizada (5x), água ultra-pura (4x) , vidraria estufa 50°C.
- As amostras não devem ser expostas à luz e ao ar, porém elas devem estar homogenizadas.
- O armazenamento dos extratos antes da medição fotométrica deve ser mantido a no máximo 3 dias sob refrigeração de 4° C. A acidificação pode causar turbidez.

Material	Quantidade	N° de catálogo
Tubos de extração (âmbar)	2	
Termômetro	1	
Filtro de fibra-de-vidro 0,7 µm	1	
Pipeta e ponteira 10,00mL	1	
Banho-maria	1	
Béquer 50mL	1	
Ácido clorídrico (3 mol/L)	gotas	
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) sol. Aq. 90%	1	
Tubinhos 10 ml para leitura	1	
Procedimento leitura	1	Programa múltiplas ondas
Papel alumínio	1	
Calculadora	1	



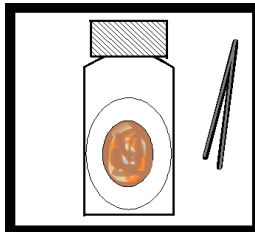
1. Lavar o filtro de fibra-de-vidro GF-1  $0,7 \mu\text{m}$  (diâmetro 47mm) com 500 mL de água ultra-pura em quitassato reservado.



2. Apague a luz. **Homogenize** a amostra. Filtre o volume (Vs) escolhido (350 mL) através de filtro de fibra-de-vidro GF-1  $0,7 \mu\text{m}$  (diâmetro 47mm).



3. Secar o filtro GF-1  $0,7 \mu\text{m}$  com vácuo, para que não fique água retida no mesmo.



4. Utilizar uma pinça para colocar o filtro no tubo âmbar apropriado. Se não for possível colocá-lo no tubo, picote-o e o introduza. (evite contato com dedos).



5. Pipetar  $V_e = 20 \text{ ml}$  de etanol 95% no tubo âmbar e permita que toda a parte filtrada fique submersa. Fechar bem a tampa e mexer levemente a amostra. Deixar sempre na escuridão.

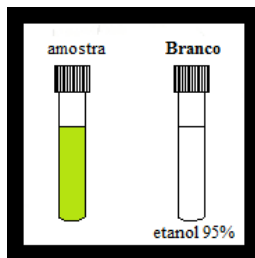


6. Coloque o tubo no banho quente ( $75 \text{ }^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C}$ ). Assegure-se que o nível da amostra ficará alinhado ao banho. Deixe por 5 minutos e mexa se necessário.

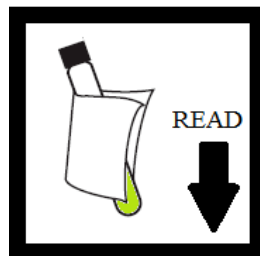


7. Tire os tubos e deixe esfriar até a temperatura ambiente por **15 min**.

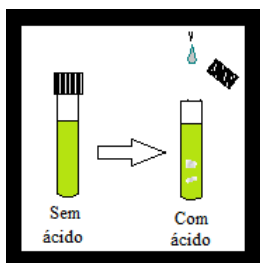
**NOTA:** os extratos podem ser guardados na geladeira por até 3 dias, antes da medição.



8. Filtrar o extrato sobrenadante através do filtro 0,7  $\mu\text{m}$  em novos tubos (10mL), sem enxaguar com novo solvente. **Preparar o branco com etanol 95% sem ácido, para zerar.**



9. Medir a absorbância em 665 nm ( $A_{665}$ ) e 750 nm ( $A_{750}$ ) para os tubos **sem ácido**, comparando sempre com o branco



10. Acidifique os extratos/tubos com **0,01 mL de HCl (0,4N – 6 gotas de HCl 0,1M)**, depois da medição da absorbância do tubo sem ácido, espere **5 a 30 min**, e meça as absorbâncias novamente comparando sempre com o branco.

FÓRMULA GERAL

$$P_c = (A - A_a) \times 29,6 \times \frac{10^3 V_e}{V_s d}$$

$\rho$  ( $\mu\text{g/L}$ )

11 **Cálculo da concentração ( $\rho_c$ ), onde:**

**A** =  $A_{665} - A_{750}$  (Absorbância do extrato **antes** da acidificação).

**Aa** =  $A_{665} - A_{750}$  (Absorbância do extrato **depois** da acidificação).

**Ve** = 20 mL (volume de etanol)

**Vs** = 350 mL (volume de amostra)

**10<sup>3</sup>** fator de correção de unidade

**d** = 1 cm ( comprimento da célula óptica)

## APÊNDICE 3

**TABELA DE DADOS**  
**(Período de um ano de amostragens)**