

Análise de vinte anos de dados limnológicos e bacteriológicos nas lagoas costeiras do litoral norte do Rio Grande do Sul - Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela (Osório/RS)

Ingrid Teixeira dos Santos¹, Fabiana Schumacher Fermino²

¹ Curso de Graduação em Biologia, ênfase em Biologia Marinha e Costeira, Unidade de Osório, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Osório, RS, Brasil

E-mail: ingrid-santos@uergs.edu.br

² Prof. Adjunto do Curso de Graduação em Agronomia, Unidade de Santana do Livramento, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Santana do Livramento, RS, Brasil

E-mail: fs.fermino@yahoo.com.br

Recebido em: 3 out. 2018. Aceito em: 27 jan. 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.51.57-74>

Resumo

As lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela fazem parte do complexo de lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, estão situadas no município de Osório/RS e pertencem à Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. São classificadas de acordo com a resolução CONAMA nº 430/2011 como sendo Classe 4, Classe I e Classe I, respectivamente. A lagoa Marcelino Ramos, com ligação direta com as demais lagoas deste estudo através de um canal - recebeu carga de esgoto não tratado proveniente do município de Osório até o ano de 2015. Neste sentido o presente trabalho traz uma análise dos dados limnológicos e bacteriológicos das três lagoas costeiras avaliando oito variáveis limnológicas que são: temperatura da água, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal, potencial hidrogeniônico e condutividade, e coliformes termotolerantes. O objetivo foi analisar mudanças limnológicas nas lagoas estudadas ao longo de vinte anos – 1993 até 2013, assim como registrar se houve influência da lagoa Marcelino Ramos nas demais lagoas conectadas e as mudanças registradas nas estações inverno e verão considerando os parâmetros estudados. A Análise de Componentes Principais demonstrou que a variabilidade limnológica e de coliformes foi condicionada primeiramente pela sazonalidade separando verão e inverno. Contudo, conclui-se que a conectividade entre as lagoas não foi o suficiente para comprometer a qualidade limnológica nestes vinte anos de estudo.

Palavras-chave: Lagoas Costeiras. Variáveis Limnológicas. Qualidade das Águas.

Abstract

Twenty years analysis of limnological and bacteriological data on the coastal lagoons of the northern coast of Rio Grande do Sul - Marcelino Ramos, Peixoto and Pinguela (Osório / RS)

The Marcelino Ramos, Peixoto and Pinguela lagoons are part of the coastal lagoon complex of the Northern Coast of Rio Grande do Sul, are located in the municipality of Osório / RS and belong to the Tramandaí River Basin. They are classified according to CONAMA Resolution No. 430/2011 as Class 4, Class I and Class I, respectively. The Marcelino Ramos lagoon, with direct connection with the other lagoons of this study through a canal - received untreated sewage load from the municipality of Osório until the year 2015. In this sense the present work brings an analysis of the limnological and bacteriological data of the three coastal lagoons evaluating eight limnological variables that are: water temperature, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus, ammoniacal nitrogen, hydrogenation potential and conductivity, and thermotolerant coliforms. The objective was to analyze limnological changes in the studied lagoons over twenty years - 1993 to 2013, as well as to record if there was influence of the Marcelino Ramos lagoon in the other connected lagoons and the changes recorded in the winter and summer seasons considering the studied parameters. The Principal Component Analysis demonstrated that the limnological variability and the coliforms was conditioned firstly by the seasonality sorting out the summer and winter. It is concluded that the connectivity in between the lagoons wasn't enough to compromise the limnological quality of these twenty years of study.

Keywords: Coastal Lagoons. Limnological Variables. Quality of Water.

Introdução

Essencial à vida e à sobrevivência de todos os organismos vivos incluindo o homem, a água é conhecida como solvente universal e transporta compostos orgânicos, gases, elementos e substâncias dissolvidas (TUNDISI, 2005; TUNDISI, 2011).

No Brasil existe grande disponibilidade de água doce, sendo 53% do total de água existente na América do Sul e 12% do total mundial, porém é falsa a concepção de que a água doce disponível no planeta seja abundante. Apenas 3% de toda água da Terra é doce, sendo que 75% estão concentradas nas geleiras e 10% confinadas em aquíferos subterrâneos, portanto somente 15% de água doce está disponível (TUNDISI, 2011). Em virtude do avanço das pressões antrópicas sobre os recursos hídricos, torna-se cada vez mais necessário o acompanhamento das alterações da qualidade da água com a finalidade de impedir que problemas decorrentes da poluição acabem comprometendo o aproveitamento múltiplo e integrado desse recurso (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 1999). Por ser vital aos ecossistemas, fundamental para o abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento de suas atividades, faz-se necessário o monitoramento e o acompanhamento da qualidade da água doce disponível. Pode-se dizer então que as águas doces são essenciais ao abastecimento do consumo humano, ao desenvolvimento de suas atividades e de importância vital aos ecossistemas (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 1999).

Lagoas costeiras podem ser definidas precisamente como ecossistemas aquáticos superficiais que se desenvolvem na interface entre ecossistemas terrestres e marinhos costeiros e podem ser permanentemente abertos ou intermitentemente fechados a partir do mar adjacente por barreiras de deposição (ESTEVES, 2011). As lagoas costeiras são componentes valiosos e representativos em termos de ecossistema e capital natural (cerca de 12.2% do litoral da América do Sul), indicando que estas devem ser uma prioridade entre o planejamento de conservação dos ecossistemas naturais nos países neotropicais. Estes ecossistemas possuem rica biodiversidade, apresentando elevada produtividade primária, contribuindo assim com fluxo de energia e manutenção das cadeias alimentares aquáticas (ESTEVES, 2011).

É muito comum no Brasil a ocorrência de lagoas costeiras próximas a centros urbanos, implicando não só na importância social pelo seu uso, mas também pelos problemas ambientais causados pela ação antrópica (FARIA; ESTEVES, 2000). Entre os múltiplos usos estão: pesca, lazer, harmonia paisagística, abastecimento doméstico e irrigação. Porém, há impactos decorrentes da ocupação desordenada, como o lançamento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, sem tratamento adequado, resíduos sólidos e, nas últimas décadas resquícios da piscicultura intensiva (tanques-rede), como excesso de ração e excretas dos animais.

A qualidade da água não se dá apenas pelo seu estado de pureza ou por características básicas (insípida, inodora e incolor), ela pode ser determinada a partir das características químicas, físicas e biológicas (BRAGION; SALGADO, 2011). Porém, é importante salientar também que a qualidade da água não se traduz apenas pelas suas características físicas, químicas e biológicas, mas pela qualidade de todo o recurso hídrico envolvendo a saúde e o funcionamento equilibrado do ecossistema (LIMA, 2001). A água é qualitativamente avaliada através de indícios que constituem o que os técnicos chamam de parâmetros de qualidade. Os parâmetros estudados são definidos da seguinte maneira: temperatura: influenciam na densidade, viscosidade e oxigênio dissolvido, que refletem sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar), fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas), por fatores sazonais e diurnos ou estratificação vertical. Potencial Hidrogeniônico (pH): representa o equilíbrio entre íons H^+ e íons OH^- ; varia de 1 a 14. Indica se uma água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou alcalina (pH maior do que 7). O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos. É um fator de extrema importância, pois quando sofre alguma alteração considerável afeta não só os demais parâmetros como todas as formas de vida existentes no corpo d'água. Oxigênio Dissolvido (OD): um rio considerado limpo, em condições normais, apresenta normalmente de 8 a 10 mg/L de oxigênio dissolvido. A água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura. Águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam presença de matéria orgânica, pois a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água (CETESB, 2009). Nitrogênio: pode estar presente na água sob várias formas moleculares: amônia, nitrito ou nitrato. É um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso pode causar eutrofização. Nos animais e vegetais o nitrogênio se encontra na forma orgânica, mas em contato com a água, rapidamente transforma-se em nitrogênio amoniacal. A presença de nitrogênio amoniacal na água

representa presença de matéria orgânica em decomposição e que o ambiente está pobre em oxigênio. Também pode indicar a despejo de esgotos (APHA, 1995). Fosfatos: o fosfato pode ser proveniente de adubos à base de fósforo, ou da decomposição de materiais orgânicos e esgoto. Indica a presença de adubos químicos, detergentes e matéria orgânica. É essencial ao crescimento de organismos e pode ser o nutriente que limita a produtividade primária de um corpo d'água (APHA, 1995). O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos, ortofosfatos e os polifosfatos. Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, é denominado também um macronutriente, por ser exigido em grandes quantidades pelas células. Dessa forma, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico (CETESB, 2009). Coliformes Termotolerantes: bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (CONAMA, 2011).

O presente trabalho teve por objetivo analisar se ocorreu mudança em qualidade limnológica nas lagoas estudadas ao longo de vinte anos (1993 – 2013) com os parâmetros considerados, e se a conectividade entre as três lagoas (Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela) influenciou esta qualidade. Também analisar a sazonalidade (verão e inverno) ao longo dos vinte anos de estudo.

Materiais e Métodos

Análises limnológicas: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) – SMEWW, sendo DBO–SMEWW 5210B–Titulométrico Winkler; Fósforo total–SMEWW 4500-P e Nitrogênio Amoniacal e Total–SMEWW 4500–NH3 B; Turbidez–SMEWW 2130 B; temperatura da água com termômetro em graus Celsius; e bacteriológicos - método substrato Cromogênico/Enzimático SMEWW, 2130 B). Oxigênio dissolvido e pH com medições através do uso de sonda multiparâmetro marca Hanna, modelo HI9829. Trabalhou-se com duas coletas ao ano na subsuperfície da água em região litorânea, uma realizada nos meses que correspondem à estação inverno (julho ou agosto) e outra aos meses que correspondem à estação verão (janeiro ou fevereiro), ao longo de vinte anos de estudo (1993-2013).

Tratamento Estatístico - a análise descritiva foi inicialmente avaliada por meio de gráficos de perfis de média. A análise conjunta dos dados foi feita mediante análises estatísticas multivariadas. A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir de matriz de covariância com transformação dos dados pelo $[\log(x + 1)]$ para os dados abióticos. As transformações de dados e as análises multivariadas foram feitas a partir do programa PAST (HAMMER *et al.*, 2001).

Área de Estudo: O local do estudo foram as lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela (Osório, Rio Grande do Sul, Brasil). Estas lagoas fazem parte do complexo de lagoas costeiras do chamado Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Situam-se entre os paralelos 29°45'00" S e 29°53'59" S, e meridianos 50°10'22" W e 50°16'35" W (Figura 1).

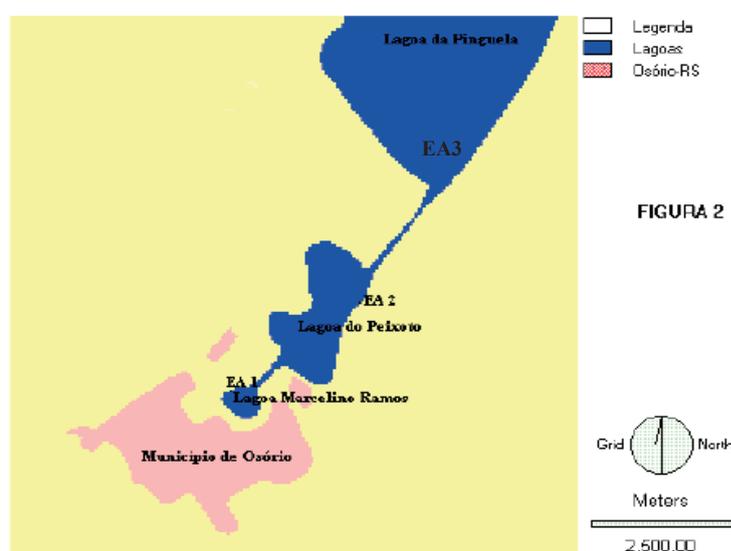


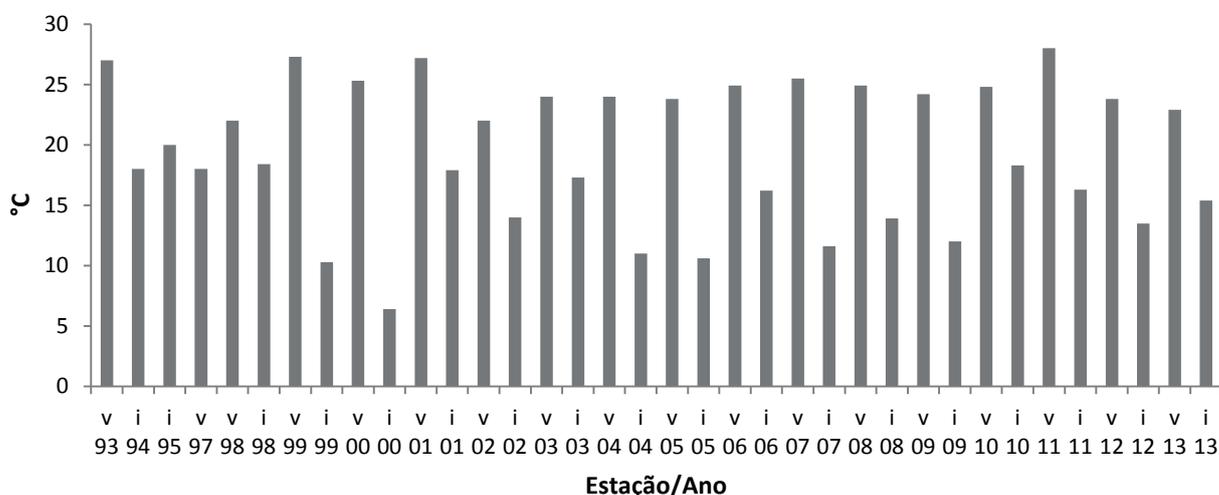
Figura 1

Lagoas costeiras Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela e o município de Osório/RS, com localização das três estações amostrais (EA1 na lagoa Marcelino Ramos, EA2 na lagoa do Peixoto e EA3 na lagoa da Pinguela).

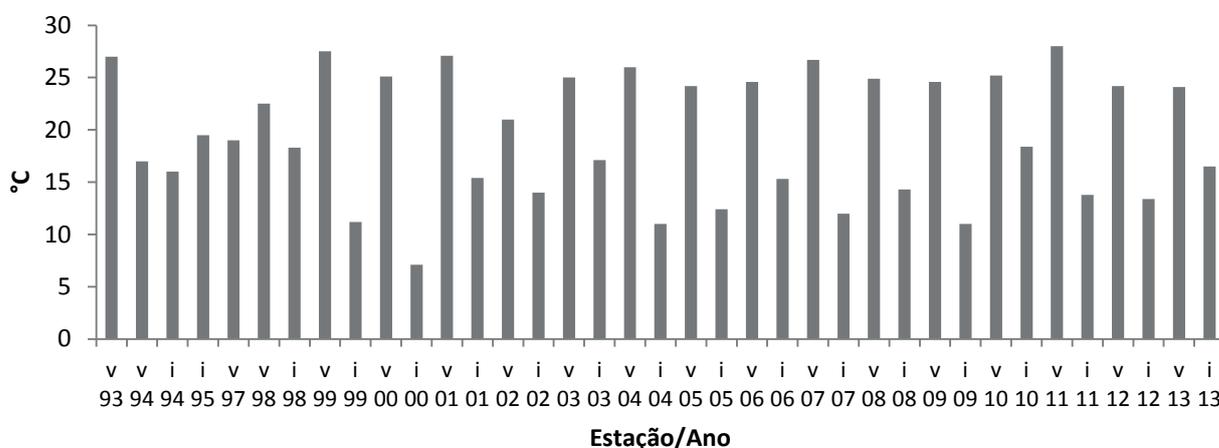
Resultados e Discussão

Na variável temperatura da água (Figura 2), o menor valor encontrado para a lagoa Marcelino Ramos foi de 6,4°C (inverno 2000) e o maior foi 28°C (verão 2011), o menor na lagoa Peixoto foi 7,1°C (inverno 2000) e o maior foi 28°C (verão 2011), o menor na Pinguela foi 8°C (inverno 2000) e o maior foi 27,2°C (verão 1999). Por se tratar da região sul do Brasil, especificamente no estado do Rio Grande do Sul, região litorânea com clima do tipo subtropical, os meses que correspondem ao inverno e ao verão diferem bastante em suas condições climáticas, tendo a temperatura da água uma diferença média de dez graus Celsius entre o verão e o inverno. Desta forma, na lagoa Marcelino Ramos, a média do verão foi 24,4°C e a média do inverno 14,5°C; na lagoa Peixoto a média do verão foi 24,8°C e a média do inverno foi 14,3°C; na lagoa da Pinguela a média do verão foi 24,7°C e a média do inverno foi 14,4°C. Ao longo dos vinte anos de estudo esta tendência permaneceu.

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

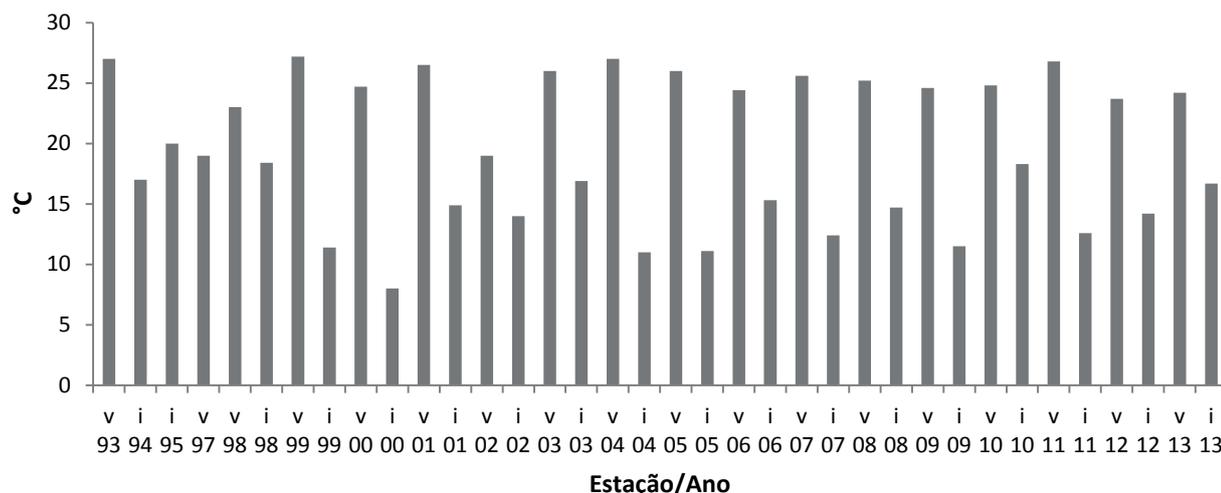


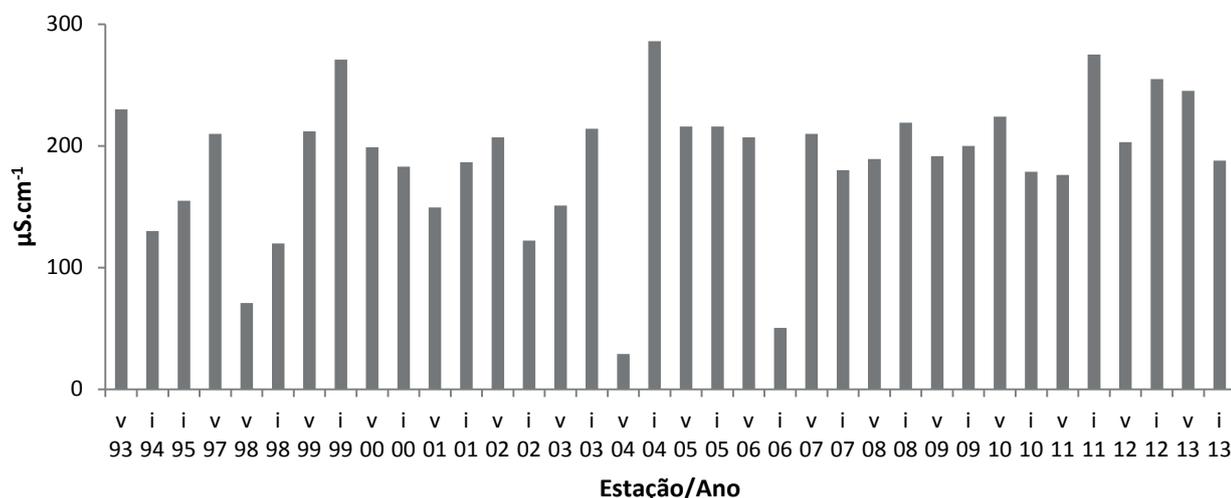
Figura 2

Valores da temperatura da água (°C) ao longo de 20 anos (n=1, 1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno).

A condutividade obteve, de forma geral nas três lagoas, menores e maiores valores no ano de 2004, seguido de 2007. Na lagoa Marcelino Ramos foi de $29,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (verão 2004) e o maior foi $286 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (inverno 2004), o menor na Peixoto foi $25,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (verão 2004) e o maior foi $223 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (verão 2007), o menor na Pinguela foi $15,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (verão 2004) e o maior foi $724 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (verão 2007), (Figura 3). A condutividade elétrica está em função direta da concentração de íons presentes na água, e sofre influência trófica, principalmente em ambientes sobre influência antrópica (ESTEVES, 2011). As lagoas Peixoto e Pinguela apresentaram valores médios em geral 50% mais baixos que os valores médios da lagoa Marcelino Ramos, e sutilmente mais baixos no inverno em relação aos valores do verão no período estudado. A lagoa Marcelino Ramos apresentou valores médios para o verão de $184,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e no inverno de $190,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; a lagoa Peixoto apresentou valores médios no verão de $122,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e no inverno $110,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; enquanto a lagoa Pinguela apresentou valores médios para o verão de $105,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e no inverno de $89,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Nos estudos de Grieco *et al.* (2017) e no presente estudo foram observadas a mesma tendência: valores de condutividade mais altos, em média, nos meses mais quentes (no caso em fevereiro na região Sudeste do Brasil onde a temperatura da água é maior) evidenciando a correlação positiva entre maiores temperaturas da água e condutividade. O aumento da temperatura pode promover o aumento de sólidos dissolvidos e alguns íons dissociados, que podem elevar a condutividade (WILBERS *et al.*, 2014).

Marcelino Ramos



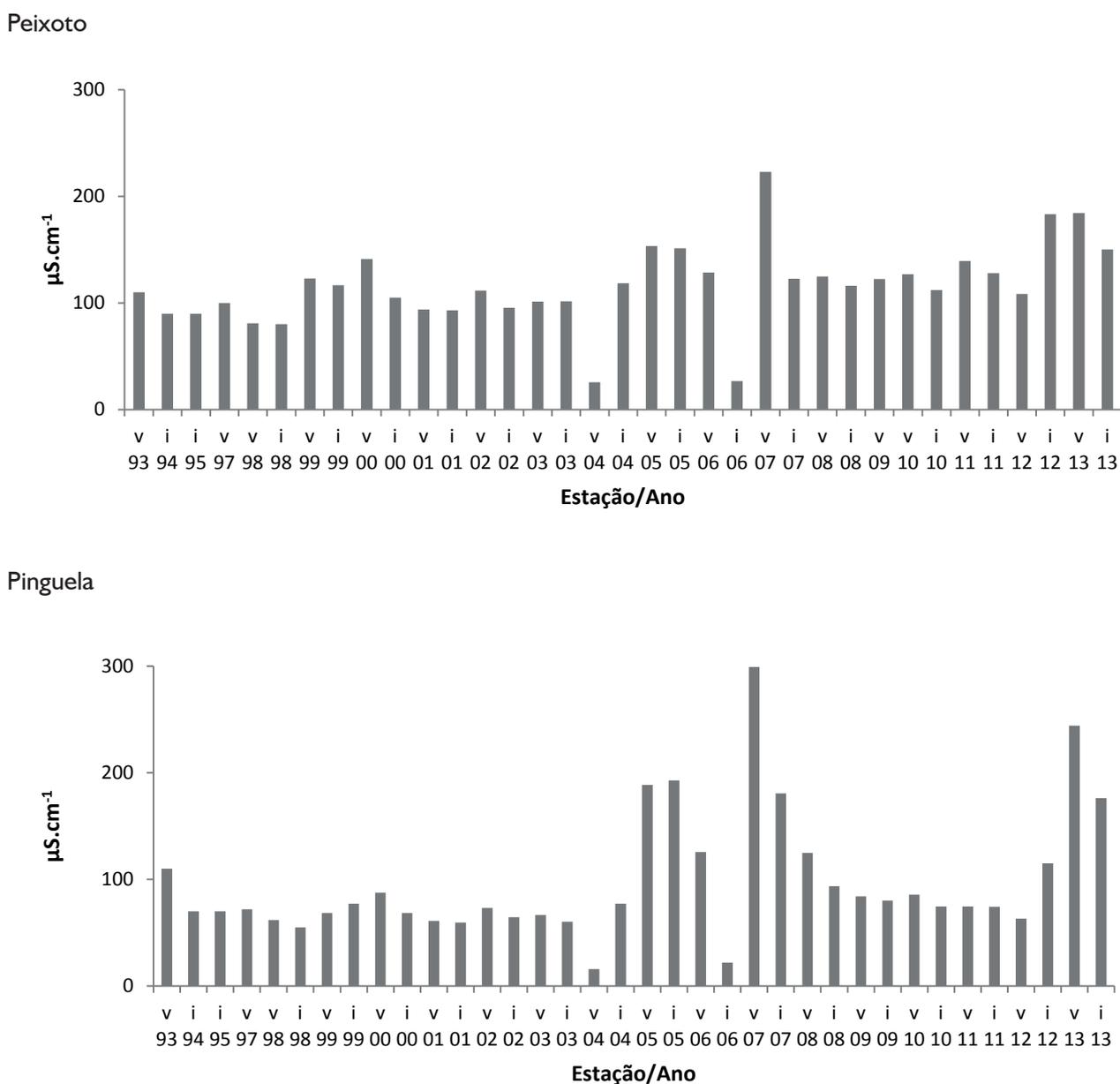
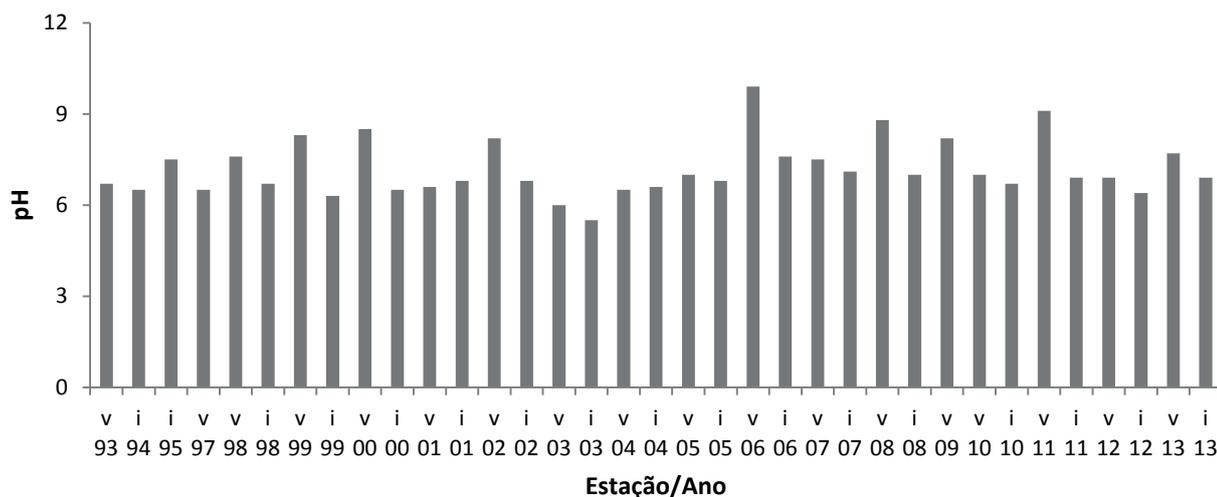


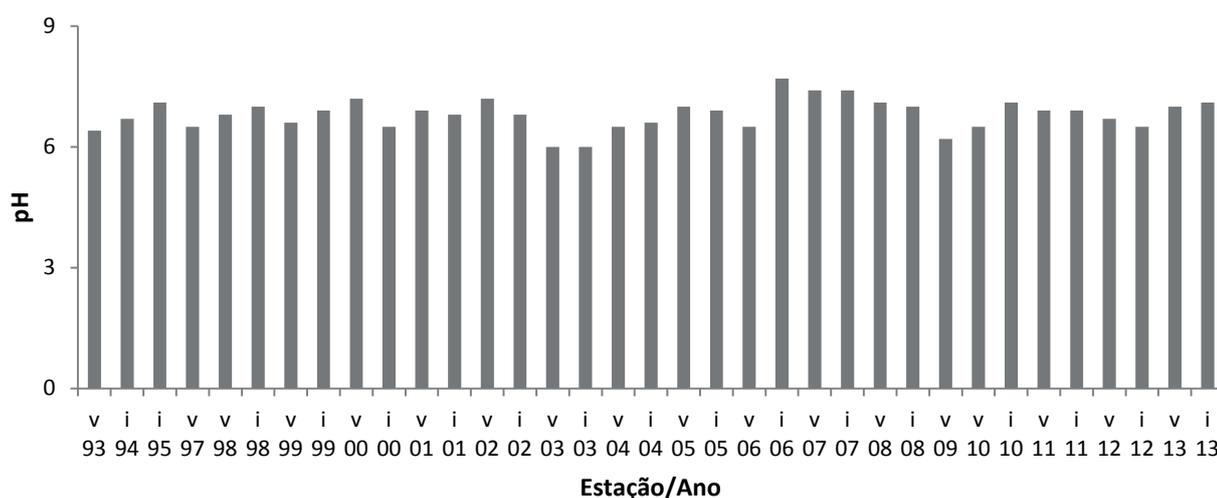
Figura 3
 Valores da condutividade (Condutividade em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $n=1$) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno).

Considerando o potencial hidrogeniônico – pH – os valores variaram, ao longo das três lagoas estudadas, de 5,5 no inverno 2003 até 9,9 no verão 2006, sendo que os valores médios ficaram em 6,8 para as lagoas Peixoto e Pinguela e 7,2 para a lagoa Marcelino Ramos (Figura 4). Considerando os valores médios de verão e de inverno nas três lagoas no período estudado, não houve grande diferença. O potencial hidrogeniônico (pH) das águas naturais é gerido, em grande parte, pela interação dos íons H^+ provenientes da dissociação do H_2CO_3 e a dos íons OH^- produzidos durante a hidrólise do bicarbonato. Atividades biológicas (fotossíntese e respiração) e fenômenos físicos (turbulência natural ou induzida com concomitante aeração) influenciam a regulação do pH através de suas respectivas capacidades de diminuir ou aumentar a concentração de dióxido de carbono (WETZEL, 2001).

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

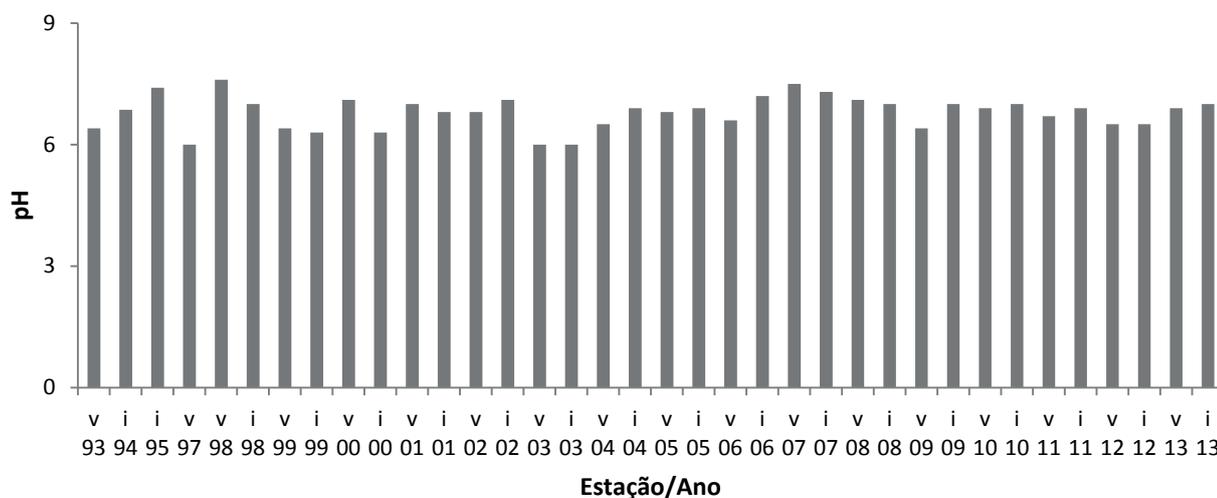
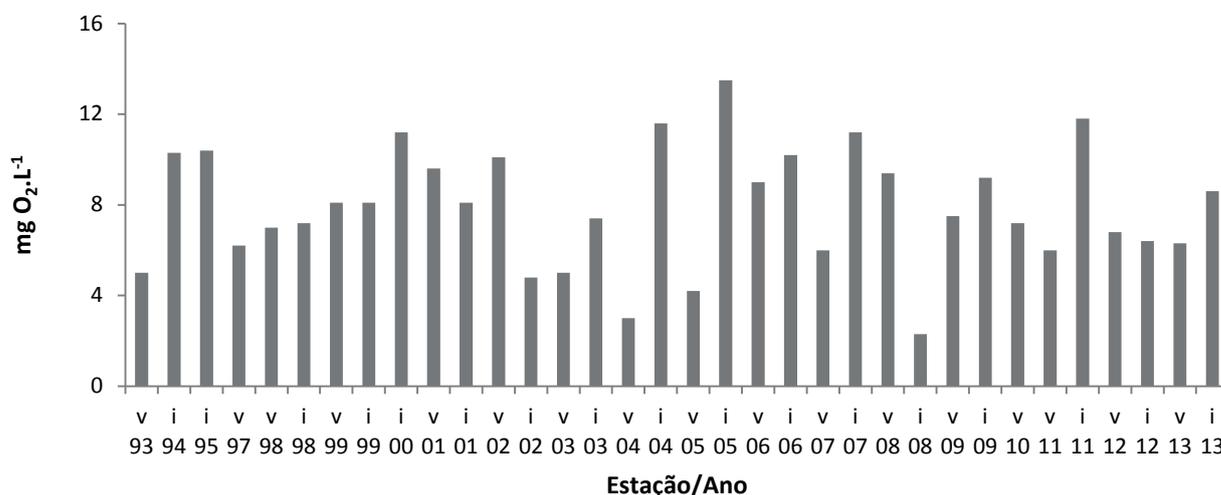


Figura 4

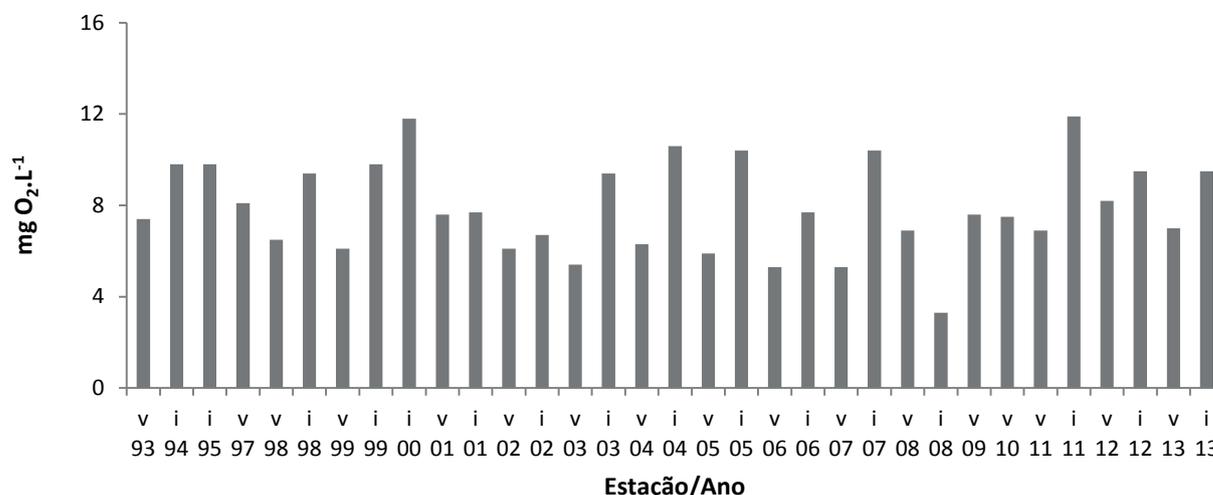
Valores do Potencial Hidrogeniônico (pH, n = 1) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i = inverno).

Considerando os teores de oxigênio dissolvido, em $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, com valores médios nas estações verão e inverno do período de 1993 até 2013, obteve-se: na lagoa Marcelino 7,0 no verão e 8,7 no inverno; na lagoa Peixoto 6,5 no verão e 9,1 no inverno; na lagoa Pinguela, 7,6 no verão e 9,3 no inverno (Figura 5). É de conhecimento comum que a temperatura da água afeta diretamente a solubilidade do oxigênio na água, de forma que temperaturas mais altas diminuem a solubilidade do oxigênio e temperaturas mais baixas aumentam esta solubilidade. De fato, maiores concentrações de oxigênio foram encontrados, via de regra, nos meses correspondendo ao inverno e vice-versa. Outros fatores podem ter influenciado, com certeza, os teores de oxigênio, pois a estrutura e o funcionamento de qualquer ecossistema muda de uma fase oxigenada a desoxigenada e vice-versa. O OD promove valiosas informações sobre as reações químicas e biológicas que ocorrem na água. No presente estudo, o valor médio para o verão, durante o período estudado, na lagoa Marcelino Ramos foi de $6,85 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, e o valor médio para o inverno foi de $8,96 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$; na lagoa Peixoto o valor médio do verão foi de $6,75 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto que no inverno foi de $9,23 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$; na lagoa da Pinguela o valor médio do verão foi de $7,68 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e no inverno foi de $9,54 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Diminuições nas concentrações de OD em água estão diretamente relacionadas ao aumento da quantidade de matéria orgânica proveniente de efluentes domésticos, industriais e fontes difusas (ALVANI *et al.*, 2011). Desta maneira percebemos o que já fosse esperado nas lagoas estudadas, ou seja, que os menores valores fossem pertencentes à lagoa Marcelino Ramos em relação as demais.

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

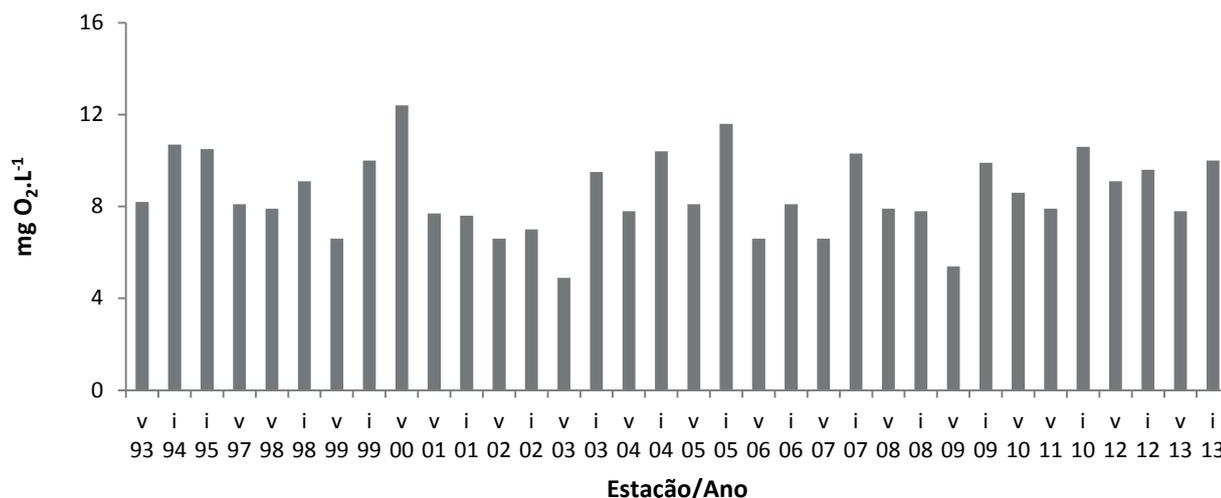
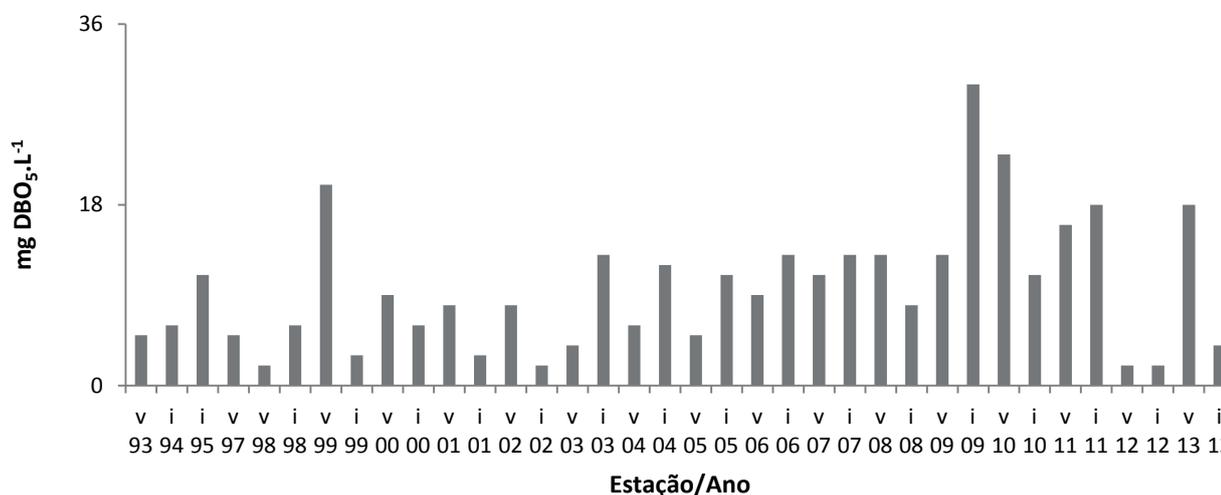


Figura 5.

Valores do Oxigênio Dissolvido (OD, em mg O₂.L⁻¹, n=1) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno).

A variável demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), teve valores para a lagoa Marcelino que variaram de 2 mg DBO₅.L⁻¹ até 30 mg DBO₅.L⁻¹, repetindo-se em diferentes anos/estações de coleta. Para a lagoa Peixoto, valores de 1 mg DBO₅.L⁻¹ até 3 mg DBO₅.L⁻¹, também repetindo-se em estações/anos de coleta. A mesma tendência foi observada na lagoa Pinguela, onde os valores variaram de 1 mg DBO₅.L⁻¹ até 3 mg DBO₅.L⁻¹ em diferentes estações/ano de coleta (Figura 6). No entanto, quando calculamos os valores médios no verão e no inverno para cada lagoa, houve diferença entre ambientes: na lagoa Marcelino Ramos, o valor médio de DBO no verão foi de 9,83 mg DBO₅.L⁻¹, no inverno 9,56 mg DBO₅.L⁻¹; na lagoa Peixoto foi de 1,33 mg DBO₅.L⁻¹ no verão e 1,44 mg DBO₅.L⁻¹ no inverno e, por último, na lagoa da Pinguela foi de 1,17 mg DBO₅.L⁻¹ no verão e 1,28 mg DBO₅.L⁻¹ no inverno. Rocha *et al.* (2016) verificaram valores mais altos de DBO correspondendo aos períodos de alta pluviosidade na represa de São Pedro (Minas Gerais). Realizaram coletas bianuais em período de seca e de chuva, e atribuíram a influência do escoamento superficial carreando sedimentos com nutrientes e matéria orgânica para dentro do corpo d'água. Diferentemente no presente estudo, há de se considerar grandemente a impactação antrópica da lagoa Marcelino Ramos que recebe esgoto não tratado proveniente do município de Osório.

Marcelino Ramos



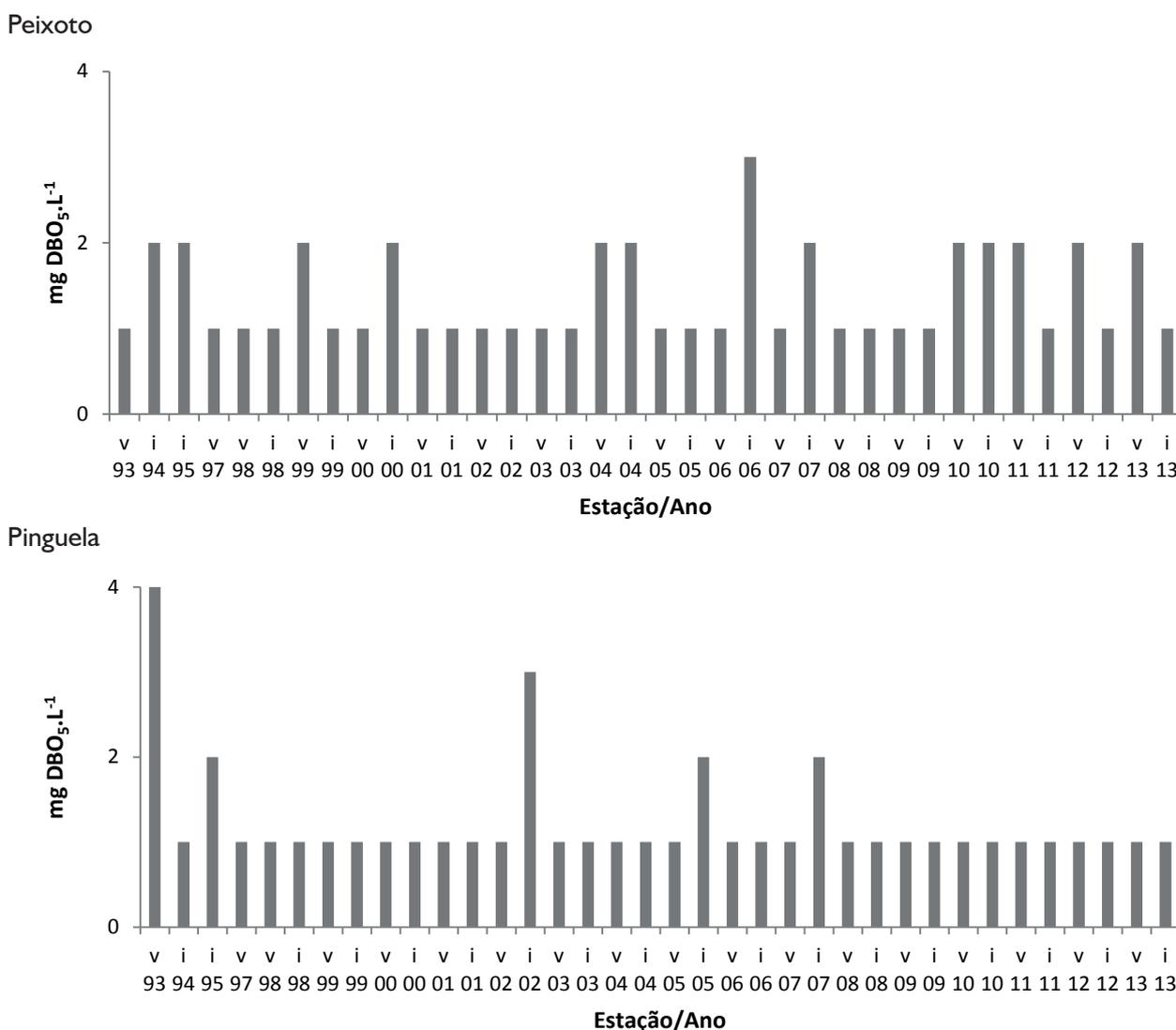


Figura 6

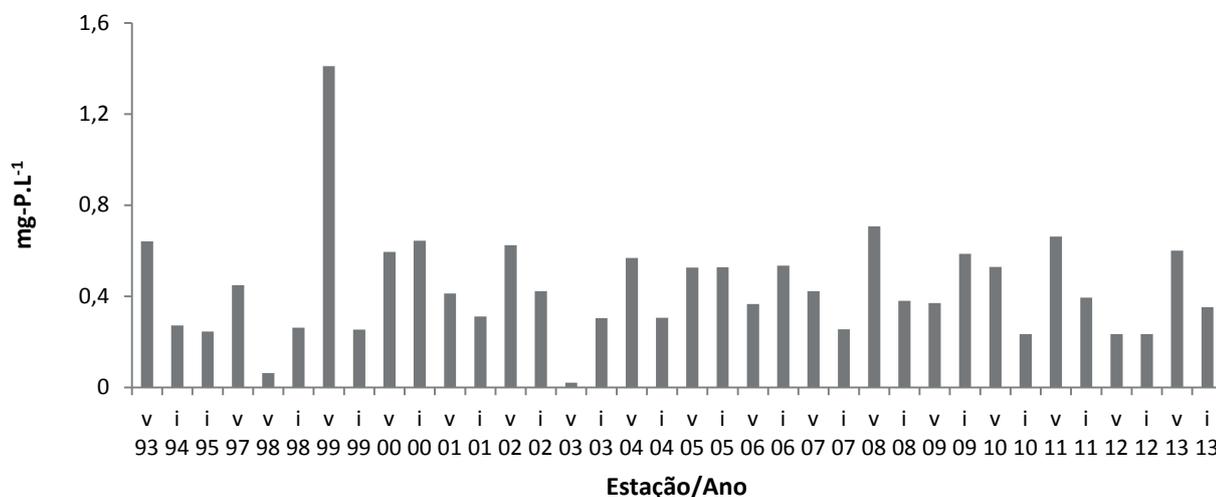
Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO, em mg DBO₅.L⁻¹, n=1) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno).

Ao longo dos 20 anos de estudo da variável fósforo total, de 1993 a 2013, o menor valor encontrado para a lagoa Marcelino Ramos foi de 0,0217 mg-PL⁻¹ (verão 2003) e o maior foi 1,410 mg-PL⁻¹ (verão 1999), o menor na Peixoto foi 0,024 mg-PL⁻¹ (verão 2010) e o maior foi 0,216 mg-PL⁻¹ (inverno 2006), o menor na Pinguela foi 0,010 mg-PL⁻¹ (inverno 2002) e o maior foi 0,239 mg-PL⁻¹ (verão 2008), (Figura 7). O fósforo total compreende todas as formas de fósforo, dissolvido e particulado, sendo fundamental para o monitoramento e controle da eutrofização artificial (ESTEVES, 2011). Analisando os dados de vinte anos nas três lagoas estudadas, a lagoa Marcelino Ramos apresentou, em média, nos meses de verão e de inverno, de 300 a 400% a mais em relação às outras duas lagoas – Peixoto e Pinguela. O valor médio para o verão na lagoa Marcelino Ramos foi de 0,511 mg-PL⁻¹ e no inverno foi de 0,364 mg-PL⁻¹, enquanto que na lagoa Peixoto foi de 0,120 mg-PL⁻¹ no verão e 0,140 mg-PL⁻¹ no inverno. Para a lagoa da Pinguela o valor médio encontrado no verão foi de 0,090 mg-PL⁻¹ e no inverno foi de 0,100 mg-PL⁻¹.

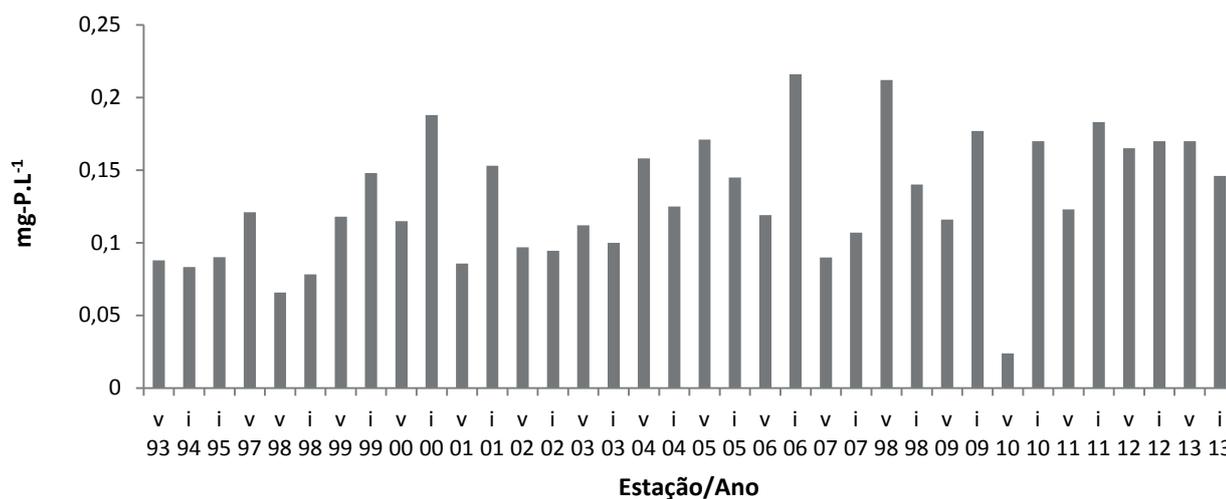
Pesquisa realizada no lago Sumidouro (Minas Gerais), em estação seca e estação chuvosa, constatou-se que onde o fósforo total decresceu, o oxigênio dissolvido aumentou (SILVINO; BARBOSA, 2015). Também que o fósforo total decresceu nas coletas realizadas na estação seca (meses de inverno), atribuída muito mais às menores entradas de materiais do que a um suposto consumo por parte das comunidades biológicas – macrófitas aquáticas. No presente estudo, a mesma tendência foi observada: a lagoa Marcelino Ramos apresentou valores consideravelmente mais altos de fósforo total, evidenciando a grande influência antrópica, assim como os menores valores de oxigênio dissolvido. Resultados com tendências semelhantes para fósforo

total e OD foram registrados em PIRES *et al.* (2015), onde trabalhou-se com quatro reservatórios urbanos da região metropolitana da cidade de São Paulo (Billings, Guarapiranga, Jundiá e Paiva Castro) associando os teores de nutrientes com o tempo de residência da água.

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

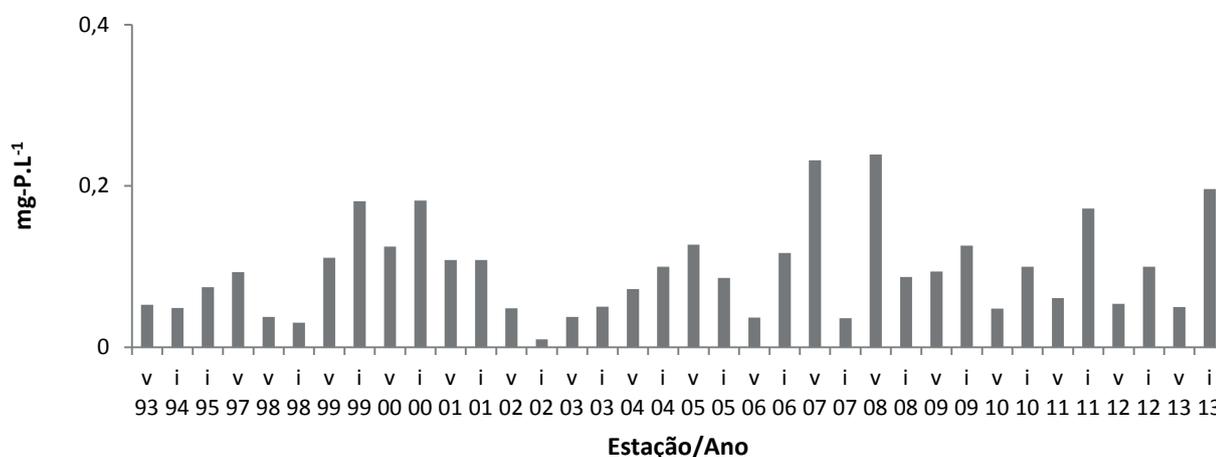
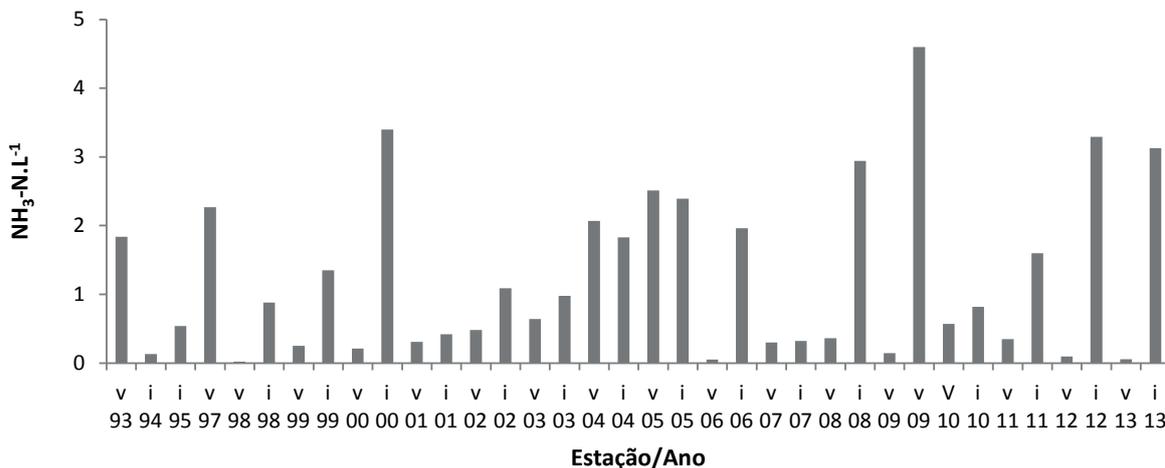


Figura 7

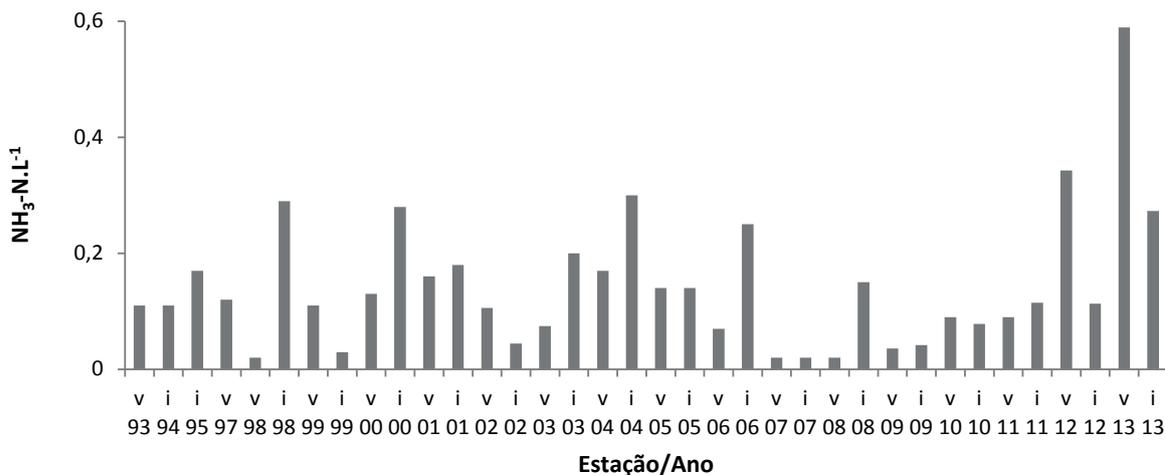
Valores de Fósforo Total (PT, em mg-P.L⁻¹, n = 1) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno).

A amônia teve valores ao longo dos 20 anos de estudo e ao longo das três lagoas analisadas bastante diversos. Na lagoa Marcelino, o menor valor encontrado foi de 0,02 mg NH₃-N.L⁻¹ (verão 1998) e o maior chegou a 4,6 mg NH₃-N.L⁻¹ (verão 2009), o menor na Peixoto foi 0,02 mg NH₃-N.L⁻¹ repetindo-se em mais de uma coleta, e o maior foi 0,589 mg NH₃-N.L⁻¹ (verão 2013), o menor na Pinguela foi 0,02 mg NH₃-N.L⁻¹ e o maior foi 0,23 mg NH₃-N.L⁻¹ (verão 2004) (Figura 8). Quando analisamos os mesmos dados considerando valores médios de verão e de inverno, a variação permanece, da seguinte forma: lagoa Marcelino Ramos no verão seu valor médio foi 0,9 mg NH₃-N.L⁻¹, inverno 1,592 mg NH₃-N.L⁻¹; lagoa Peixoto no verão foi 0,133 mg NH₃-N.L⁻¹ e inverno 0,155 mg NH₃-N.L⁻¹ e na lagoa da Pinguela no verão o valor médio foi 0,091 mg NH₃-N.L⁻¹ e no inverno 0,095 mg NH₃-N.L⁻¹.

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

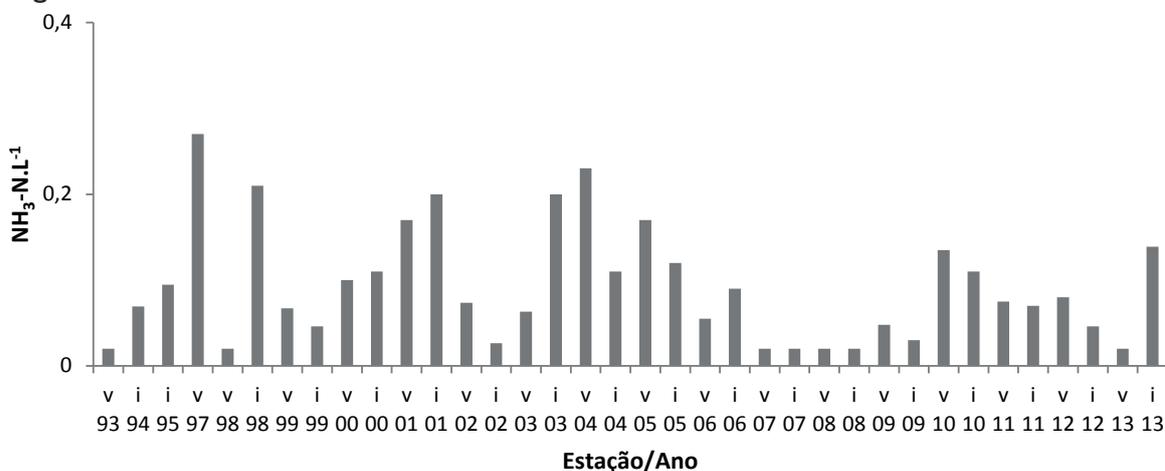
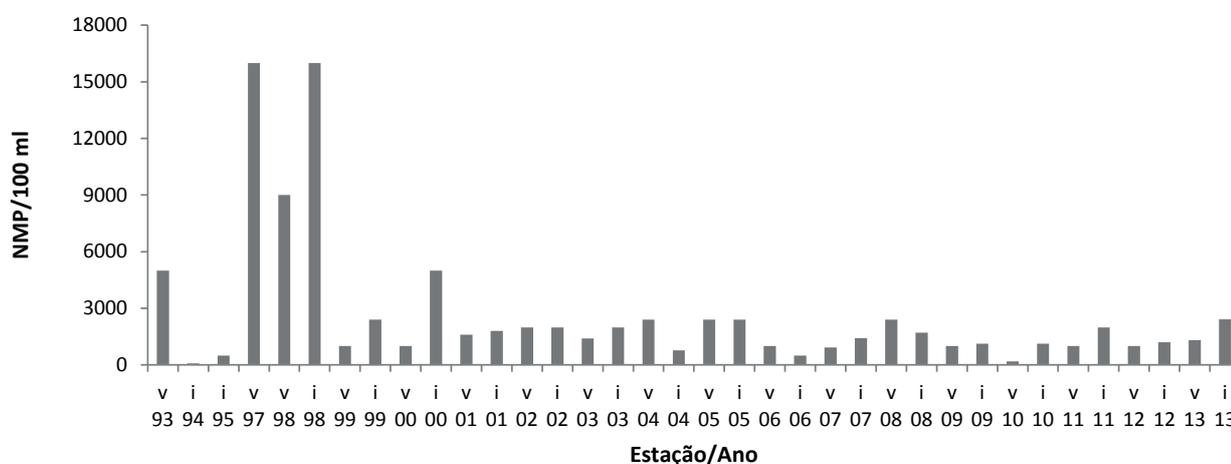


Figura 8

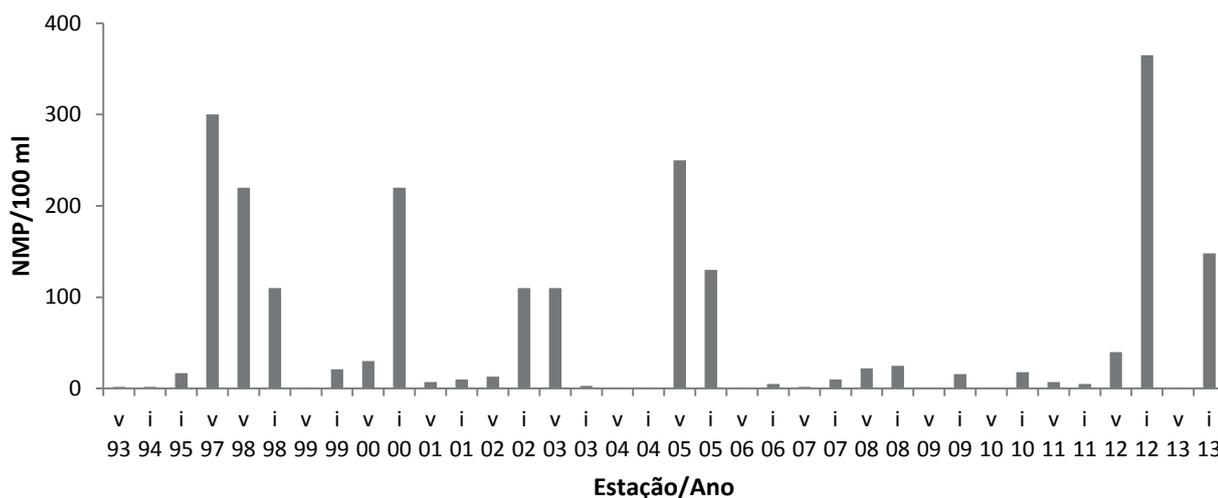
Valores de Amônia (em mg NH₃-N.L⁻¹, n = 1) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i = inverno).

Coliformes termotolerantes, dentre as variáveis estudadas, foi a que mais demonstrou uma variação espaço-temporal ao longo dos 20 anos de estudo. Na lagoa Marcelino, o menor valor encontrado foi de 3 NMP/100 ml (verão 1999) e o maior foi 16.000 NMP/100 ml (inverno 1998); na Peixoto, variou de 1 NMP/100 ml (várias estações/ano) até 365 NMP/100 ml (inverno 2012); e, na Pinguela, o menor foi 1 NMP/100 ml (várias estações/ano) e o maior foi 78 NMP/100 ml (verão 2012) (Figura 9). Considerando os valores médios no verão e no inverno, a lagoa Marcelino Ramos mostrou-se mais elevada em duas casas decimais, da seguinte forma: valor médio no verão foi de 2810 e no inverno foi de 2466; lagoa Peixoto o valor médio no verão foi de 56 e no inverno foi de 67. Na lagoa da Pinguela o valor médio no verão foi de 287 e no inverno 8. Observando os valores no verão de 1997 para as três lagoas estudadas, percebe-se um aumento significativo, sendo o maior valor encontrado nos vinte anos de estudo: na lagoa Marcelino Ramos teve um valor de 16.000, na lagoa Peixoto com 300 e Pinguela com 5.000, o que elevou bastante sua média no verão.

Marcelino Ramos



Peixoto



Pinguela

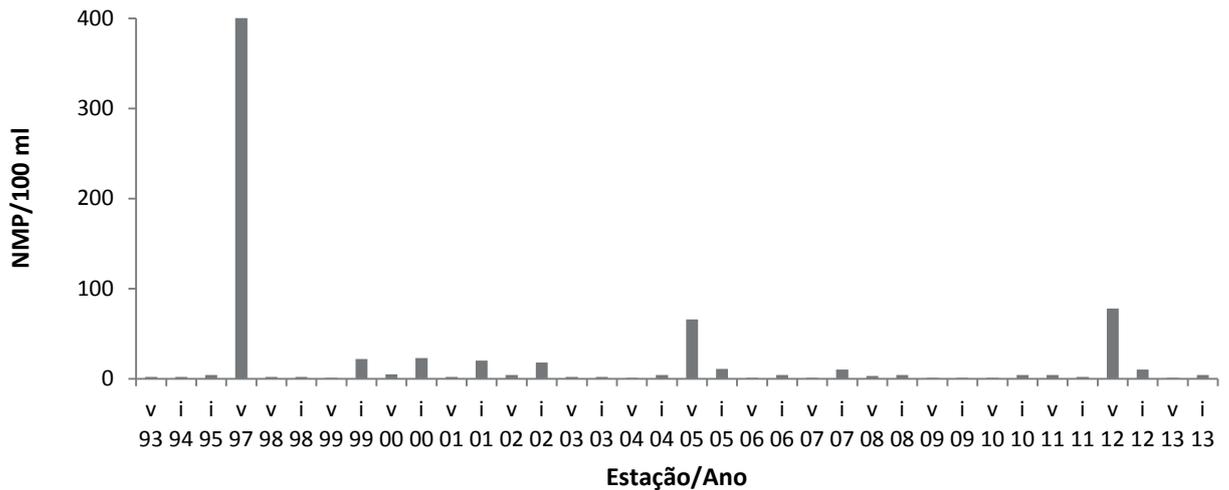


Figura 9

Valores de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml – Número Mais Provável) ao longo de 20 anos (1993 – 2013) nas lagoas Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela nas estações verão e inverno. (v = verão; i= inverno). OB: escalas diferentes.

Em um estudo realizado pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – RS) intitulado “Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais no Litoral Norte/ RS”, onde foram analisados dados de 1993 até 2000 de uma área monitorada compreendendo 16 lagoas 4 rios e os estuários de Tramandaí e Torres, a lagoa Marcelino Ramos destacou-se pela presença de matéria orgânica, oriunda dos esgotos cloacais do município de Osório, predominando concentrações de Classes 4, já nas lagoas Peixoto e Pinguela predominou Classe I. (http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/litoral_norte.asp; Plano de Bacias do Rio Tramandaí - 2005). Segue abaixo a descrição mais minuciosa dos corpos d’água conforme CONAMA 430/2011:

Os corpos de água doce podem ser classificados em:

- I - classe especial: aquelas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano depois de uma desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
- II - classe 1: são águas destinadas ao consumo humano após passar por um tratamento convencional; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que serão consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam consumidas cruas.
- III - classe 2: águas que são destinadas ao abastecimento humano após tratamento convencional; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de parques e de jardins, campos de esporte e lazer, onde o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e a pesca.
- IV - classe 3: aquelas águas destinadas ao abastecimento humano desde que passe por um tratamento convencional ou avançado; a dessedentação de animais; à recreação de contato secundário; à irrigação de culturas cerealíferas, forrageiras e arbóreas; à pesca amadora.
- V - classe 4 são águas que podem ser destinadas a navegação; e a harmonia paisagística.

Atualmente, existe uma nova Estação de Tratamento de Esgoto- ETE do município de Osório, construída próxima à lagoa dos Barros que será o corpo receptor dos efluentes tratados, desativando a antiga estação situada às margens da lagoa Marcelino Ramos. Trata-se do Plano de Bacias do Rio Tramandaí. As construções tiveram fim no ano de 2014, mas a operação ainda segue inativa devido a um processo jurídico onde o município de Santo Antônio da Patrulha quer a proibição do lançamento de efluente na lagoa dos Barros. (<http://www.osorio.rs.gov.br/site/noticia/visualizar/id/3290/?ETE-de-Osorio-aguarda-licenca-para-entrar-em-operacao.html>). Este Plano de Bacias do Rio Tramandaí está dividido em 3 fases:

- Fase A- Levantamento da situação atual;
- Fase B- Decisão pelo uso futuro da água e seu enquadramento;
- Fase C- Planos de ações.

As fases A e B já foram publicadas em 2005 conforme a Resolução do Conselho de Recursos Hídricos 20/2008. A Fase C ainda está em andamento. De acordo com o Plano de Bacias do Rio Tramandaí (2005) a qualidade das águas da Lagoas Marcelino Ramos está classificada como Classe 4, e as lagoas Peixoto e Pinguela Classe I. O Relatório da Fase B do Plano de Bacias do Rio Tramandaí (2005) propõe medidas a serem feitas para melhorar a qualidade da água das lagoas costeiras, que para a Lagoa do Marcelino Ramos iria passar de Classe 4 para Classe 3 e as Lagoas Peixoto e Pinguela manter-se-iam em Classe I, são elas:

- a) Implantação e/ou ampliação da rede coletora e de tratamento de esgotos da cidade de Osório;
- b) Intensificação na fiscalização dos padrões de emissão das indústrias;
- c) Recomposição da mata ciliar;
- d) Monitoramento da qualidade da água.

O Art. 1 do Decreto N° 150/2008 que trata do projeto de revitalização da lagoa do Marcelino em parágrafo único traz o seguinte:

Parágrafo Único. Na execução do Projeto de Revitalização da Lagoa do Marcelino previsto no *caput* do presente artigo, que visa a instalação de complexo eco paisagístico para recuperação de área degradada, poderá ser incluído a implantação de equipamentos públicos, tais como:

- I - trilhas ecoturísticas;
- II - ciclovias;
- III - pequenos parques de lazer, excluídos parques temáticos ou similares;
- IV - acesso e travessia aos corpos de água;
- V - mirantes;
- VI - equipamentos de segurança, lazer, cultura e esporte;
- VII - bancos, sanitários, chuveiros e bebedouros públicos; e
- VIII - rampas de lançamento de barcos e pequenos ancadouros. (Redação acrescida pelo Decreto n° 154/2012)

Em setembro de 2017 em decisão da juíza da 2ª Vara da Comarca do Fórum de Santo Antônio da Patrulha autoriza o funcionamento da ETE de Osório desde que seja formada uma equipe técnica para realizarem estudos pela UFRGS, GAT-MPRS e FEPAM. (Prefeitura Osório). A ETE ainda não entrou em funcionamento.

Para avaliar as principais tendências de variação das características limnológicas e de coliformes termotolerantes da água, durante as estações inverno e verão ao longo do período de estudo (1993 – 2013, 101 coletas de água, $n = 1$), foi aplicada Análise de Componentes Principais (ACP). A análise resumiu 88,28% da variabilidade dos dados em seus dois primeiros eixos (Figura 10, Tabela 1). Na componente principal I (79,68%), observa-se muitas unidades amostrais pertencentes às lagoas Peixoto e Pinguela, e nenhuma da lagoa Marcelino Ramos do lado esquerdo do eixo. No entanto, ao lado direito, estão todas unidades amostrais referentes à lagoa Marcelino, em associação aos maiores valores de coliformes termotolerantes encontrados, principalmente. Tal variável apresentou correlação elevada com este eixo, de 0,9.

Já, no eixo 2 (8,6%), a ordenação deu-se mais em função da estação do ano - verão ou inverno. Na parte positiva do eixo dois encontram-se a maioria das unidades amostrais correspondentes à estação inverno, independente do ano estudado, enquanto na parte negativa (abaixo) a maioria das estações correspondentes ao verão. A amônia teve uma alta correlação com este eixo (0,86).

Depreende-se, portanto, que a variabilidade limnológica e de coliformes termotolerantes da água com as variáveis estudadas foi fundamentalmente condicionada pela estação do ano, embora também pela escala sazonal de variação ao longo das três lagoas. Os anos de coletas das amostras (desde 1993 até 2013) não demonstrou uma tendência na PCA. Ao analisar as variáveis em cada lagoa/ano/estação ao longo dos vinte anos em de gráficos de perfis, não houve uma tendência no tempo.

Em síntese, o Eixo I indicou que a maior variabilidade dos dados foi atribuída, principalmente, às lagoas estudadas (Marcelino, Peixoto e Pinguela) quando observamos ao longo do seu eixo; enquanto o Eixo 2, observando de cima para baixo, foi condicionado principalmente pela estação do ano separando o verão do inverno. Também a Análise de Componentes Principais mostrou claramente que a conectividade entre as lagoas ainda parece não ser suficiente para comprometer a qualidade limnológica das lagoas Pinguela e Peixoto, apesar dos valores de algumas variáveis serem bastante diversos na lagoa Marcelino e do tempo estudado (vinte anos).

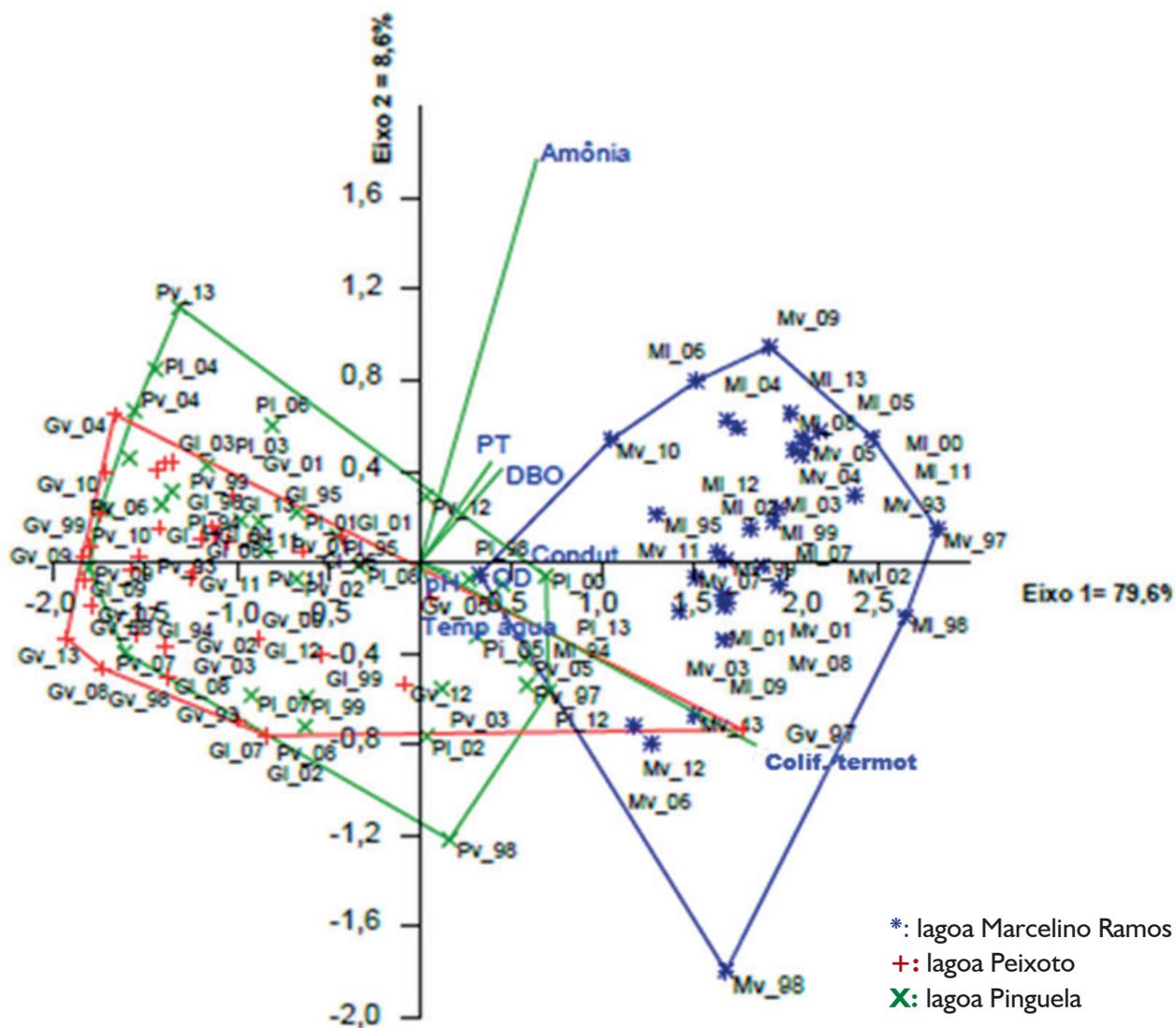


Figura 10

Ordenação pela ACP das lagoas estudadas (M, G e P) e estações do ano (v, i), ao longo do período de coleta das amostras (anos de 1993 até 2013 – 93 até 13, em um total de 101 amostras // n = 1). Abreviações – M: lagoa Marcelino; P = lagoa Peixoto; G= lagoa Pinguela; v: verão; i: inverno; PT: fósforo total; Temp água: temperatura da água; Colif. termot: coliformes termotolerantes; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Conduct: condutividade.

Tabela 1

Correlação das variáveis com os eixos 1 e 2. Em negrito, $r \geq 0,5$.

Variáveis	Componentes Principais	
	1	2
Temperatura da água	-0,01	-0,02
Ph	0,02	-,0,04
Condutividade	0,08	-0,02
Oxigênio dissolvido	0,008	-0,31
DBO	0,22	0,20
Coliformes termot.	0,89	-0,40
PT	0,19	0,21
Amônia	0,31	0,86
Varição Explicada	79,68%	8,60%

A Planície Costeira é o setor da Bacia Hidrográfica do rio Tramandaí (onde se localizam as lagoas Marcelino, Peixoto e Pinguela entre outras) com maior ocupação humana, apresentando a maior atividade de turismo no Estado do Rio Grande do Sul, e, o regramento quanto ao uso da paisagem é uma das prioridades na gestão desta Bacia. Neste sentido, um aspecto de transformação profunda das paisagens é a urbanização, que se concentra e se expande aceleradamente próxima ao litoral marinho. Os usos intensivos das terras férteis aluviais e das águas para irrigação nas lavouras e horticulturas, com pesadas dosagens de agrotóxicos, somados à falta de vegetação ciliar (APPs – Áreas de Proteção Permanentes) no entorno dos principais rios não são praticas sustentáveis. Por outro lado, a agroecologia e a restauração da vegetação ciliar protetora, são urgentes. Outro grande problema ocorre próximo às lagoas, predominando o arroz irrigado e a pecuária extensiva. A pesca artesanal é uma das atividades mais antigas na Bacia, graças à abundância de corpos d'água de boa qualidade. Porém, na atualidade, a redução do pescado, a falta de saneamento e os conflitos relacionados ao uso dos recursos naturais têm se mostrado como um grande desafio para a gestão territorial (CASTRO; MELLO, 2013).

A Bacia do Rio Tramandaí insere-se na Região Hidrográfica Costeira do Sul, porção do território brasileiro cujas águas deságuam no Oceano Atlântico em alguma foz entre o sul de São Paulo e o sul do Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul, esta é uma das 25 Bacias estaduais e faz parte das Bacias Litorâneas, apresentando uma particularidade na direção do escoamento superficial até a foz: os setores norte e o sul, com diferenças marcantes no relevo, clima, geologia, vegetação, hidrografia, uso da terra e com águas que correm tanto do norte para o sul quanto do sul para o norte. Por conta da interação do ciclo hidrológico com fatores físicos, biológicos e humanos, este conceito é estratégico para a compreensão e manejo da dinâmica e dos produtos dos ecossistemas, tendo implicações sócio-ecológico-econômicas decisivas. A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT) localiza-se na região nordeste do Rio Grande do Sul, abrangendo áreas litorâneas, serra e planalto, cujas altitudes variam de 1000 m até o nível do mar. Sua posição geográfica, que inclui o litoral norte gaúcho e proximidade com a capital Porto Alegre, atrai centenas de milhares de visitantes todo verão, aquecendo a economia bem como aumentando o consumo de água e aumento de dejetos. Esta região cresceu, em termos demográficos, acima da média do estado e do Brasil; dos 10 municípios que mais cresceram no RS desde 2002, 7 são do litoral norte, justamente os que apresentam orla marítima. (CASTRO; MELLO, 2013).

As lagoas costeiras, pertencentes a esta Bacia, são caracterizadas especialmente por formarem um sistema em cordão de lagoas ligadas por canais (SCHWARZBOLD; SCHÄFER, 1984), tão importante para a estabilidade do ambiente costeiro, economia local, abastecimento público e lazer, as Lagoas Costeiras do Rio Grande do Sul são cenários de constantes alterações em vista do clima e da crescente presença antrópica. Monitorar este espaço para obter informações é ação prioritária definida no Plano de Ação da BH do Rio Tramandaí para conhecer o ambiente e fundamentar a tomada de decisões para gestão de recursos hídricos locais (CASTRO; MELLO, 2013). É necessário, também, revisar indicadores de classe destes corpos d'água para acompanhar a evolução, bem como, averiguar a que compostos estamos expostos.

Conclusão

A conectividade entre as três lagoas não comprometeu a qualidade ambiental dos sistemas Peixoto e Pinguela ao longo dos vinte anos de estudo. A temperatura da água foi determinante separando claramente as estações inverno e verão, e pode ter influenciado quando considerou-se as médias dos valores de parâmetros nas duas estações, como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, condutividade e nitrogênio amoniacal, sempre com valores mais elevados no inverno. Coliformes termotolerantes nas lagoas Peixoto e Pinguela teve valores médios mais altos no inverno em relação ao verão, o que demonstrou novamente a influência da temperatura da água.

Por fim, ao longo dos vinte anos de estudo nas três lagoas, considerando as variáveis analisadas, o sistema variou espacialmente condicionado por coliformes termotolerantes, separando a lagoa Marcelino Ramos das demais. Coliformes termotolerantes abrangem várias bactérias, no entanto, somente *Escherichia coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo indicadora de poluição fecal em ambientes aquáticos. Sugere-se, portanto, a adoção de medidas da bactéria *E. coli* em programas de monitoramentos de qualidade de águas, a fim de ampliar indicadores e comparar com limites estabelecidos por órgãos ambientais.

Agradecimento

À Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM, Rio Grande do Sul - pela cedência dos dados limnológicos e bacteriológicos utilizados neste trabalho.

Referências

- ALVANI, J. *et al.* The effects of human activity in Yasuj Area on the health of Stream city. **International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic and Management Engineering**, v. 50, p. 341-345, 2011.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. New York: American Public Health Association, 1995.
- BRAGION, Isabella V.; SALGADO, Rafael S. **Avaliação da Qualidade da Água de um Corpo D'Água da Estação Ambiental São Camilo**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – São Paulo, Centro Universitário São Camilo, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº430/2011**, de 13 de maio de 2011. Publicação Diário Oficial da União número 92, 16/05/2011, p. 89.
- CASTRO, D. de; MELLO, R. S.P. (Org.). **Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí** – Atlas Ambiental. Porto Alegre: Editora Via Sapiens, 2013.
- COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí**. Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em:
https://www.mprs.mp.br/media/areas/ambiente/arquivos/paibh/plano_bacia_hidrografica_rio_tramandai.pdf Acesso em 17 dez. 2017.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis de qualidade de água**. São Paulo: CETESB, 2009.
- ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FARIA, B. M.; ESTEVES, F.A. Carbono orgânico nas lagoas costeiras do norte fluminense: origem, degradação e transferência para a cadeia trófica. In: GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for chemical analysis of freshwater**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978.
- GRIECO, A. A. *et al.* Diagnóstico espacial e temporal de condições físico-químicas e microbiológicas do Córrego do Tanquinho, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, vol. 12, n. 2, mar./apr., 2017.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4 (1), 2001.
- LIMA, Eliana B. N. R. **Modelação Integrada Para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá**. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2001.
- PIRES, D.A. *et al.* Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 27 (4), 370-380, 2015.
- REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Caderno de trabalho do relatório temático A**. 3.:1ª etapa do plano de Bacia do Rio Tramandaí. Porto Alegre: Profill, 2004.
- ROCHA, C.H. *et al.* Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). **Eng. Sanit. Ambient.** v.21, n.1, 131-138. Jan/mar 2016.
- SCHWARZBOLD, A. e SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Amazoniana, Kiel**, v. IX, (1), p.87-107. 1984.
- SILVINO, R.F.; BARBOSA, F.A.R. Eutrophication potential of lakes: an integrated analysis of trophic state, morphometry, land occupation, and land use. **Braz. J. Biol.**, vol. 75, n. 3, p. 607-615, 2015.
- TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- TUNDISI, José G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.
- WETZEL, R. G. **Limnology**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.
- WILBERS, G. J. *et al.* Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam. **Science of the Total Environment**, v. 485-486, p. 653-665, 2014.