

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE ÁREAS DE CAPTAÇÃO E TRECHOS URBANOS DO CAPARAÓ CAPIXABA COM ENSAIO DE ALGA

Jéssica Dutra Ferreira¹, Giselly Mardegan dos Santos¹, Diego Lacerda de Souza², Bráulio Cherene Vaz de Oliveira², Cristiane dos Santos Vergilio¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário S/N, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, jessicadutra017@gmail.com, giselly_mardegan@hotmail.com, cristiane.vergilio@ufes.br

²Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, lacerdadesouza28@gmail.com, brauliocherene@gmail.com

Resumo

O uso de agrotóxicos e a falta de saneamento básico são alguns problemas ambientais que atingem a microrregião do Caparaó e contribuem para a perda da qualidade da água. O presente estudo visa avaliar a toxicidade da água dos municípios da região. Amostras de água de 10 municípios do Caparaó foram coletadas em áreas de captação e trechos urbanos. Foi determinada a concentração de metais na água e realizados ensaios ecotoxicológicos com a microalga *Raphidocelis subcapitata*. Observou-se uma perda de cobertura vegetal nas áreas de captação para o abastecimento público e ao longo do leito do rio, além de uma piora na qualidade da água à medida que se aproxima da cidade. Foram registrados menores valores de pH, valores mais elevados de condutividade, menores níveis de oxigênio dissolvido e níveis de Zn, Cd, Fe dissolvido e Pb acima do permitido pela legislação (CONAMA 357/2005). Os ensaios ecotoxicológicos demonstraram menor porcentual algáceo em trechos urbanos. O presente estudo evidencia que existem níveis preocupantes de metais nos rios, e que a água pode não fornecer condições adequadas para a sobrevivência da biota.

Palavras-chave: Água. Ensaios ecotoxicológicos. Metais. *Raphidocelis subcapitata*.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas - Biologia Geral

Introdução

A microrregião do Caparaó se localiza no sudoeste do estado do Espírito Santo. A economia da região, em sua maioria, se baseia em atividades rurais, como o cultivo de café. Apesar da importância econômica, a atividade agrícola contribui para o surgimento de diversos problemas ambientais, como o uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes. Alguns fertilizantes e agrotóxicos podem ter resíduos de metais tóxicos na sua constituição, como cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn). Esses elementos podem se mover através do escoamento superficial e atingir os rios, com potencial de contaminação para diversos organismos aquáticos (Martos, 2019).

Além disso, cerca de 82,5% do esgoto da região do Caparaó não é tratado, sendo despejado diretamente nos rios (ANA, 2017). Em trechos urbanos, o problema se agrava, devido ao maior despejo de esgoto doméstico e de efluentes industriais, que pode elevar a quantidade de compostos tóxicos na água, aumentar a concentração de matéria orgânica e nutrientes e causar eutrofização destes mananciais, reduzindo a qualidade da água e tornando este recurso indisponível para a população (Santos, 2022).

A microrregião do Caparaó possui muitas nascentes e rios que compõem bacias hidrográficas importantes para todo o sul do Espírito Santo, como a bacia do Itapemirim e a bacia do Itabapoana (Lima; Oliveira, 2022). Deste modo, estudos que avaliem a qualidade da água nestes mananciais são de suma importância para a preservação dos recursos hídricos de toda a região.

Os ensaios ecotoxicológicos são grandes aliados para a avaliação da qualidade da água, e a microalga *Raphidocelis subcapitata* é muito utilizada por possuir rápido crescimento e maior sensibilidade a diferentes substâncias, quando comparada a outros organismos (Suzuki *et al.*, 2018). Esta microalga é um produtor primário e se encontra na base da cadeia trófica, assim, alterações na sua fisiologia e crescimento podem afetar a manutenção de populações de consumidores, com isso, sua avaliação pode ser um indicativo de prejuízo à toda cadeia aquática local.

Com o intuito de elucidar possíveis efeitos tóxicos da água de áreas de captação para abastecimento público e trechos urbanos da região do Caparaó Capixaba, o presente estudo visa realizar uma avaliação da toxicidade, utilizando a microalga *Raphidocelis subcapitata*, correlacionando com os dados de concentração de metais presentes na água.

Metodologia

A coleta das amostras foi realizada em agosto de 2019, durante a estação seca, em 10 municípios da região do Caparaó Capixaba, nas áreas de captação para o abastecimento público e em trechos urbanos. A amostragem da água superficial foi feita retirando os primeiros 30 centímetros da lâmina d'água, com o auxílio de um balde de aço inox. Em cada local de amostragem foram aferidos os parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido).

A determinação dos metais na água foi baseada na metodologia 3015A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2007). As amostras digeridas com ácido nítrico (HNO₃) 65%, foram aquecidas em micro-ondas por 25 minutos a 175 °C e 1600W. Os extratos foram filtrados e os elementos foram determinados por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado. Os elementos Al, Cu e Fe foram obtidos a partir da fração dissolvida, enquanto os elementos Cd, Cr, Mn, Pb e Zn foram obtidos a partir da água bruta. Para obtenção do material dissolvido, uma alíquota (1000 mL) de água foi filtrada no dia da amostragem, com filtros de fibra de vidro pré-pesados (0,70 µm). O filtrado foi acidificado até pH 2 e armazenamento em recipientes de polietileno a 4°C para análise dos metais dissolvidos.

O ensaio ecotoxicológico com *Raphidocelis subcapitata* foi baseado na normativa NBR 12648 (ABNT, 2018) adaptado para testes em tubos de ensaio estéreis, vedados com tampão de algodão. As algas (1×10^4 células/mL) foram distribuídas em tubos de ensaio contendo 10 mL de água de cada um dos pontos amostrais, e para o controle foi utilizado o meio L.C. Oligo. Para cada tratamento foram preparadas 10 replicatas. Os tubos ficaram expostos por 96 horas em uma incubadora BOD sob luz fluorescente branca contínua, a uma temperatura de 24 °C. Ao final do experimento, foi adicionado 0,5 mL de formol tamponado a 10% em cada réplica e foram retiradas alíquotas de 10 microlitros (µL) para contagem no microscópio óptico, com o auxílio de uma câmara Neubauer.

Para as análises dos dados foi realizada uma análise de variância (Two-way ANOVA) seguido pelo teste Bonferroni, sendo considerada uma margem de erro de 5%. Os cálculos e os gráficos foram realizados utilizando o software Graphpad prism versão 4.

Resultados

Os pontos de captação para abastecimento público dos municípios do Caparaó Capixaba possuem nascentes e estações de coleta impactadas e que não apresentam a vegetação ciliar com raio mínimo de 50 metros (Figura 1), estando em desacordo com a Lei nº 12.651/12 (Brasil, 2012).

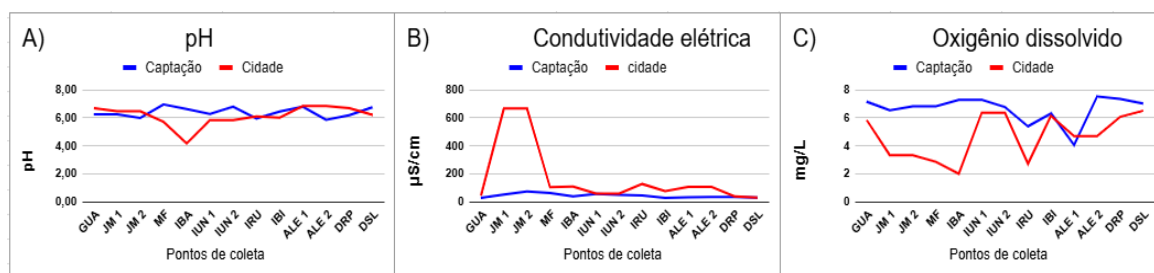
Figura 1. Áreas de captação nos municípios de Divino de São Lourenço (a) e Jerônimo Monteiro (b) com perda da vegetação marginal.



Fonte: Cristiane dos Santos Vergilio, 2019.

A avaliação dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade e oxigênio dissolvido) demonstra uma piora na qualidade da água quando os rios atravessam a cidade. Isso pode ser evidenciado pela tendência a menores valores de pH (Figura 2A), por valores mais elevados de condutividade elétrica (Figura 2B) e por níveis mais baixos de oxigênio dissolvido (Figura 2C) nas áreas urbanas.

Figura 2. Comparação entre os parâmetros físico-químicos (pH (A), condutividade elétrica (B) e oxigênio dissolvido (C)) das áreas de captação e trechos urbanos dos municípios do Caparaó Capixaba.



Fonte: Os autores. Legenda: GUA: Guaçuí, JM 1: Jerônimo Monteiro - Captação 1, JM 2: Jerônimo Monteiro - Captação 2, MF: Muniz Freire, IBA: Ibatiba, IUN 1: Iúna - Captação 1, IUN 2: Iúna - Captação 2, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, ALE 1: Alegre - Captação 1, ALE 2: Alegre - Captação 2, DRP: Dolores do Rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço.

As captações de Iúna e Ibitirama apresentaram níveis de Zinco (Zn) e Cádmio (Cd) acima do estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, para águas doces de classe 1 (Tabela 1). Enquanto que um maior número de violações da CONAMA 357/2005 (classes 1 e 3) foi observado nos rios e córregos urbanos, em especial para o ferro dissolvido (Fe) em Muniz Freire, Ibatiba e Irupi, manganês (Mn) em Muniz Freire, Ibatiba e Alegre e chumbo (Pb) em Irupi e Ibitirama (Tabela 2).

Tabela 1. Concentração de metais nos mananciais de captação de água dos municípios do Caparaó Capixaba.

Localização	Água (ppb ou mg/L)							
	Al dis	Cd	Cr	Cu dis	Fe dis	Mn	Pb	Zn
GUA	<0,0009	<0,0001	<0,0003	<0,0006	0,17	0,01	<0,0022	0,09
JM 1	0,02	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,03	0,01	<0,0022	0,03
JM 2	<0,0009	<0,0001	0,001	<0,0006	0,07	<0,0004	<0,0022	<0,0018
MF	<0,0009	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,14	0,06	<0,0022	0,01
IBA	<0,0009	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,17	0,08	<0,0022	0,09
IUN 1	<0,0009	<0,0001	0,002	<0,0006	0,27	0,03	<0,0022	0,29
IUN 2	<0,0009	<0,0001	0,003	<0,0006	0,16	0,09	<0,0022	0,01
IRU	0,01	<0,0001	0,002	<0,0006	0,18	0,05	<0,0022	0,01
IBI	<0,0009	0,001	0,001	<0,0006	0,1	0,04	<0,0022	0,02
ALE 1	0,01	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,04	0,02	<0,0022	<0,0018
ALE 2	0,01	<0,0001	<0,0003	<0,0006	<0,0006	0,03	<0,0022	0,02
DRP	<0,0009	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,08	0	<0,0022	<0,0018
DSL	<0,0009	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,004	0,02	<0,0022	<0,0018
CONAMA (I)	0,2	0,1	0,05	0,009	0,3	0,1	0,01	0,18

Fonte: Os autores. Legenda: GUA: Guaçuí, JM 1: Jerônimo Monteiro - Captação 1, JM 2: Jerônimo Monteiro - Captação 2, MF: Muniz Freire, IBA: Ibatiba, IUN 1: Iúna - Captação 1, IUN 2: Iúna - Captação 2, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, ALE 1: Alegre - Captação 1, ALE 2: Alegre - Captação 2, DRP: Dolores do Rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço. Al dis: Alumínio dissolvido, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu dis: Cobre dissolvido, Fe dis: Ferro dissolvido, Mn: manganês, Pb: Chumbo, Zn: Zinco.

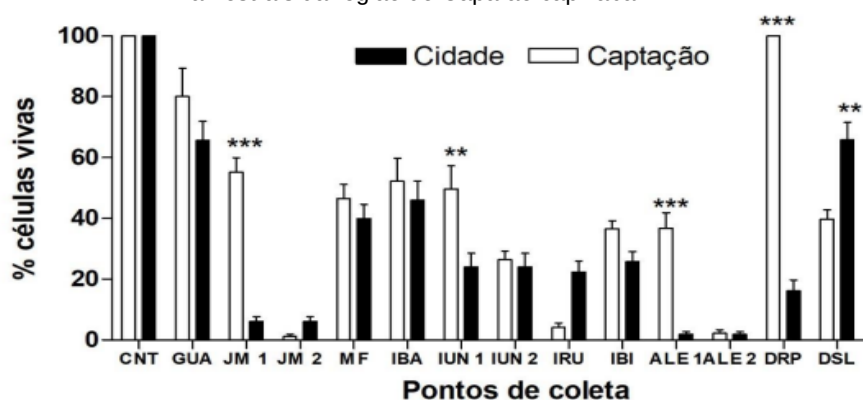
Tabela 2. Concentração de metais em mananciais de trechos urbanos dos municípios do Caparaó Capixaba.

Localização	Água (ppb ou mg/L)							
	Al dis	Cd	Cr	Cu dis	Fe dis	Mn	Pb	Zn
GUA	0,01	<0,0001	0,003	<0,0006	0,2	0,03	<0,0022	0,05
JM	0,03	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,2	0,04	<0,0022	0,04
MF	0,01	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,5	0,12	<0,0022	0,01
IBA	0,02	<0,0001	0,002	0,002491	0,4	0,18	<0,0022	0,03
IUN	0,00	<0,0001	0,0004	<0,0006	0,2	0,02	<0,0022	0,01
IRU	0,01	<0,0001	0,002	<0,0006	0,9	0,08	0,01	0,04
IBI	<0,0009	<0,0001	0,004	<0,0006	0,1	0,04	0,02	0,14
ALE	0,02	<0,0001	0,002	<0,0006	0,1	0,1	<0,0022	0,03
DRP	0,01	<0,0001	<0,004	<0,0006	0,1	0,05	<0,0022	0,00
DSL	0,03	<0,0001	0,003	<0,0006	0,1	0,01	<0,0022	0,00
CONAMA (I)	0,1	0,001	0,05	0,009	0,3	0,1	0,01	0,18
CONAMA (III)	0,2	0,01	0,05	0,013	5	0,5	0,033	5

Fonte: os autores. Legenda: GUA: Guaçuí, JM: Jerônimo Monteiro, MF: Muniz Freire, IBA: Ibatiba, IUN: Iúna, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, ALE: Alegre, DRP: Dolores do Rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço. Al dis: Alumínio dissolvido, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu dis: Cobre dissolvido, Fe dis: Ferro dissolvido, Mn: manganês, Pb: Chumbo, Zn: Zinco.

Os ensaios ecotoxicológicos com a microalga *Raphidocelis subcapitata* demonstraram um menor percentual algáceo nas amostras de trechos urbanos dos municípios de Jerônimo Monteiro (JM 1), Iúna (IUN 1), Alegre (ALE 1) e Dolores do Rio Preto, quando comparada às áreas de captação. Nos demais municípios de Guaçuí, Jerônimo Monteiro (JM2) Muniz Freire, Ibatiba, Iúna (IUN 2), Irupi, Ibitirama e Alegre (ALE 2), não foram observadas diferenças significativas em relação ao crescimento algáceo entre as áreas de captação e trechos urbanos (Figura 3).

Figura 3. Porcentagem de células vivas de *R. subcapitata* após exposição à água de diferentes pontos amostrais da região do Caparaó Capixaba.



Fonte: os autores. Legenda: CNT: Controle, GUA: Guaçuí, JM 1: Jerônimo Monteiro - captação 1, JM 2: Jerônimo Monteiro - captação 2, MF: Muniz Freire, IBA: Ibatiba, IUN 1: Iúna - captação 1, IUN 2: Iúna - captação 2, IRU: Irupi, IBI: Ibitirama, ALE 1: Alegre - captação 1, ALE 2: Alegre - captação 2, DRP: Dolores do Rio Preto, DSL: Divino de São Lourenço. Os (***) indicam que os valores apresentam diferença estatística entre as áreas de captação e cidade, considerando $P < 0.001$. Os (**) indicam que os valores apresentam diferença estatística entre as áreas de captação e cidade, considerando $P < 0.01$.

Discussão

A perda de cobertura vegetal em pontos de coleta de água para abastecimento público é preocupante. A vegetação ciliar contribui para a proteção do solo e manutenção da qualidade da água. A substituição da vegetação nativa por pastagens, como observado em muitas captações da região, pode contribuir para o assoreamento dos rios e córregos devido ao aumento do escoamento superficial. Esse processo pode levar a uma piora da qualidade e implicar em um maior custo para o tratamento da água para o abastecimento público.

A medida que os rios se aproximam de trechos urbanos, passam a receber efluentes industriais e domésticos, o que contribui para o aumento de íons dissolvidos na água, causando o aumento da condutividade elétrica (Souza; Bacicurinski; Silva, 2010) e o aumento da concentração de matéria orgânica. A decomposição da matéria orgânica pode ocorrer em conjunto com o consumo do oxigênio dissolvido da água e a formação de gás sulfídrico, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido e o pH da água, tornando-a imprópria para a sobrevivência da biota (Nozaki *et al.*, 2014).

O escoamento superficial das propriedades rurais pode contribuir para o aumento da concentração de metais na água, uma vez que os agrotóxicos e fertilizantes aplicados nestas áreas, podem ter resíduos de metais na sua composição. A contaminação por metais é preocupante devido a sua capacidade de induzir efeitos tóxicos. Elementos como o Fe e Mn são essenciais para atividades metabólicas, porém em concentrações elevadas tem efeito tóxico, podendo acumular nos organismos. Enquanto que Pb e Cd, por sua vez, não possui nenhuma função biológica descrita, e pode causar danos a processos fisiológicos de plantas, inibindo seu crescimento e, no caso de seres humanos, a exposição crônica ao Pb pode causar danos cerebrais (Jaishankar *et al.*, 2014).

Concentrações elevadas de metais são um indicativo de problema ambiental na região do Caparaó, podendo evidenciar que as águas não oferecem condições para a sobrevivência da biota. Estudos anteriores, realizados por Lacerda *et al.* (2020), demonstraram acumulação de metais em peixes de diferentes espécies da região e incidência de efeitos tóxicos, como a presença de micronúcleos e anormalidades nucleares eritrocíticas, o que faz necessário a avaliação da qualidade da água com o uso de outros bioindicadores, visando elucidar efeitos tóxicos em diferentes níveis tróficos.

Os ensaios com *R. subcapitata* demonstraram uma redução no percentual algáceo nas áreas urbanas de alguns municípios, quando comparada às áreas de captações (Figura 3), evidenciando uma piora na qualidade da água dos trechos urbanos, a nível de não fornecer condições adequadas para a sobrevivência da biota em seu ambiente natural.

Destaca-se que mesmo algumas áreas de captação (IUN 1 e IBI) apresentaram níveis de metais acima do máximo permitido pela legislação brasileira para Zn e Cd (Tabela 1), o que levanta uma preocupação em função da toxicidade desses elementos em altas concentrações e necessidade de monitoramento à longo prazo. Apesar da violação nos níveis de metais, esses pontos ainda possibilitaram o crescimento algáceo, em função da capacidade de tolerância a metais (Carvalho *et al.*, 2017).

Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que os trechos urbanos dos rios da região do Caparaó apresentam uma piora da sua qualidade, demonstrada pela perda de cobertura vegetal, redução do pH e do oxigênio dissolvido, aumento da condutividade elétrica e nos níveis de metais. Os ensaios ecotoxicológicos com a alga *R. subcapitata* demonstraram uma menor porcentagem de células vivas em alguns trechos urbanos, em relação às áreas de captação, evidenciando que as águas dos trechos urbanos podem não fornecer condições adequadas para a sobrevivência da biota em seu ambiente natural. Este estudo inicial ressalta a necessidade de mais estudos da qualidade da água na região do Caparaó. Além disso, os resultados demonstram a necessidade da preservação das áreas de captação, visando a manutenção do abastecimento público dos municípios. Além da necessidade de implementação de sistemas de captação e tratamento de esgoto doméstico para melhorar a qualidade dos rios nos trechos urbanos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas esgoto**, 2017. Disponível em: <http://atlasegotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 05 de out. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12648: 2018. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com alga (*Chlopyceae*)**. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília. Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

BRASIL, **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 25 de maio de 2012.

CARVALHO, Marcela Merides. *et al.* Estudo da toxicidade de metais (zinco e cádmio) sobre *Ceriodaphnia dubia*, por multivias de exposição e recuperação biológica de descendentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 961-968, 2017.

JAISHANKAR, Monisha. *et al.* Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60, 2014.

LACERDA, Diego. *et al.* Comparative metal accumulation and toxicogenetic damage induction in three neotropical fish species with distinct foraging habits and feeding preferences. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 195, p. 110449, 2020.

LIMA, Túlio Luís Borges; OLIVEIRA, Marcelo Leles Romarco. Dinâmica dos sistemas agrários no Caparaó capixaba. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e40011730071-e40011730071, 2022.

MARTOS, Lara Martholly Di. **Contaminantes metálicos em fertilizantes fosfatados e águas superficiais: determinação simultânea e sequencial de urânio, prata, tálio, chumbo e cádmio por voltametria de redissolução**. TESE (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Química, Florianópolis, 2019.

NOZAKI, Cássia Tiem. *et al.* Comportamento temporal do oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas de Saúde Ambiental-ASA** (ISSN 2357-7614), v. 2, n. 1, p. 29-44, 2014.

SANTOS, Thalita Lacerda. **Biorremediação de nitrogênio, fósforo e metais por comunidade nativa de microalgas e bactérias em efluente tratado anaerobiamente**. DISSERTAÇÃO (Mestrado) – Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, 2022.

SOUZA, Claudinei Fonseca; BACICURINSKI, Ilana; SILVA, Ênio Farias de França. Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no município de Taubaté-SP. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2010

SUZUKI, Shigekatsu. *et al.* *Raphidocelis subcapitata* (= *Pseudokirchneriella subcapitata*) provides an insight into genome evolution and environmental adaptations in the Sphaeropleales. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.

USEPA, EPA. Method 3015A (SW-846): **Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts**. Revision 1. Washington, DC, 2007.

Agradecimentos

A FAPES (FAPES/CNPq/Decit-SCTIE-MS/SESA) pelo financiamento do projeto através do Programa de Pesquisa para o SUS: Gestão compartilhada em Saúde (PPSUS) (TO: 290/2016 - Processo: 74713469 e TO: 209/2018 - Processo: 83164200).