

Biomonitoramento e avaliação físico-química e microbiológica de represa do Sistema Cantareira em Bragança Paulista-SP

Biomonitoring and physicochemical and microbiological evaluation of the Cantareira System dam in Bragança Paulista-SP

Elis Angela Rebequi Pereira Monichetti ¹, Gustavo Henrique Gonçalves ¹,
Claudia de Moura ¹, Luciana Bizeto ¹, Ana Beatriz Carollo Rocha-Lima ¹.

A Represa Jaguari-Jacareí é a maior represa do Sistema Cantareira, o maior sistema de abastecimento de água administrado pela SABESP. Os objetivos do presente estudo foram determinar a presença de agentes potencialmente tóxicos e mutagênicos e avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da Represa de Abastecimento Jaguari-Jacareí, localizada no município de Bragança Paulista-SP, bem como comparar a taxa de mutagênese com a água pós-tratamento da mesma cidade. Para determinar a taxa de mutagênese foi utilizada a metodologia Trad-MCN, que avalia a integridade dos cromossomos após exposição da planta *Tradescantia pallida* purpurea às soluções experimentais e controle. Para determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foi utilizado o Ecolit II da Alfakit®. No bioensaio realizado através da metodologia Trad-MCN foi identificada uma quantidade de micronúcleos compatível com atividade genotóxica apenas nas águas da represa, e na avaliação físico-química e microbiológica das águas da represa por meio do Ecolit II foram detectadas inconformidades em relação aos padrões e parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 para as águas doces de Classe 1 para os parâmetros fósforo total e coliformes termotolerantes. Portanto, através do presente bioensaio, foi possível constatar que a água tratada do município não apresenta altos índices de mutagênese, porém, evidenciou-se também a necessidade de um monitoramento mais intensivo por parte do poder público nas águas in natura destinadas ao abastecimento público.

Palavras-chave: Mutação. TRAD-Mcn. Tradescantia. Saneamento ambiental. Toxicologia.

The Jaguari-Jacareí Dam is the largest in the Cantareira System, which is the largest water supply system managed by SABESP. The objectives of this study were to determine the presence of potentially toxic and mutagenic agents and to evaluate the physicochemical and microbiological parameters of the supply Dam Jaguari-Jacareí, located in the city of Bragança Paulista-SP, and compare the mutagenesis rate with the post-treatment water of the same city. To determine the rate of mutagenesis it was used Trad-MCN bioassay, which evaluates the integrity of the chromosomes after exposure of the plant *Tradescantia pallida* purpurea to experimental and control solutions. To determine the physicochemical and microbiological parameters it was used Ecolit II by Alfakit®. The Trad-MCN bioassay identified a micronuclei number compatible with genotoxic activity only in the Dam waters, and in the Dam's water evaluation through Ecolit II were detected nonconformities in the parameters Orthophosphate and Thermotolerant Coliforms in relation to the parameters established in CONAMA 357/2005 Resolution for class 1. Therefore, through the present assessment, it was possible to verify that the treated water of the municipality does not present high levels of mutagenesis, but also revealed a need for more intensive monitoring by the authorities of natural waters for public supply.

Keywords: Mutation. TRAD-Mcn. Tradescantia. Environmental sanitation. Toxicology.

Autor Correspondente: Ana Beatriz Carollo Rocha-Lima

Endereço para correspondência: Universidade Paulista - UNIP, campus Jundiaí, Instituto de Ciências da Saúde. Avenida Armando Giassetti, 577 - Vila Hortolândia - Trevo Itu/Itatiba - Jundiaí-SP, CEP 13214-525.

E-mail: abeatrizcrl@gmail.com

Declaração de Interesses: Os autores certificam que não possuem implicação comercial ou associativa que represente conflito de interesses em relação ao manuscrito.

¹ Instituto de Ciências da Saúde – Universidade Paulista-UNIP, Jundiaí-SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável aos seres vivos em geral e possui um valor incalculável para a sobrevivência do homem e dos ecossistemas. Em nosso cotidiano a água é utilizada para diversos fins, sendo o abastecimento doméstico um dos usos mais importantes, uma vez que supre todas as necessidades básicas do ser humano. A água também é necessária para o abastecimento industrial, irrigação, preservação da flora e fauna, geração de energia elétrica, diluição de despejos e outros (1,2).

O desenvolvimento célere das indústrias e tecnologia gera agressão à salubridade ambiental, e a atividade antrópica exerce impactos ao meio ambiente em velocidade superior à capacidade de renovação dos recursos ecossistêmicos. A água contaminada por agentes patogênicos e substâncias tóxicas pode colocar em risco a saúde da população; nessas condições, a água não deve ser utilizada para consumo humano por poder provocar danos à saúde. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que doenças relacionadas a água levam cerca de 25 milhões de pessoas à morte todos os anos. A poluição pode ocorrer por vários fatores, sejam eles naturais (decorrentes de erosão e escoamento superficial) ou decorrentes da ação humana (despejos industriais, esgotos domésticos e poluição causada por atividades agrícolas e pecuárias) (1,2,3).

A água própria para o consumo humano deve apresentar condições mínimas para utilização. A água própria para a ingestão deve ser incolor, insípida e inodora, conter sais minerais em quantidades adequadas à saúde, devendo estar livre de quaisquer materiais tóxicos e microrganismos prejudiciais à saúde. O tratamento da água para fins de abastecimento é importante para remover os contaminantes e impurezas que possam ser prejudiciais a todos os organismos; com o tratamento apropriado pode-se prevenir uma série de doenças causada pela água não tratada (1,3,4).

O rio Jaguari é um rio brasileiro que tem suas nascentes no estado de Minas Gerais, nos municípios de Camanducaia, Itapeva, Toledo e Extrema; sua confluência é para o estado de São Paulo. Em seu percurso, quando atravessa o município de Extrema, passa a ter um afluente importante, o rio Camanducaia. O rio Jaguari é represado juntamente ao rio Jacareí no município de Joanópolis–SP, onde interligam-se formando o reservatório Jaguari-Jacareí, pertencente ao Sistema Cantareira e edificado para permitir a progressão da água para a bacia do Alto Tietê a fim de suprir a região Metropolitana de São Paulo (5,6,7).

A represa Jaguari-Jacareí é a maior do Sistema Cantareira, abrangendo parcialmente os municípios de Bragança Paulista, Joanópolis, Piracaia e Vargem. Suas águas são de classe 1, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005, que classifica os corpos d'água e determina os procedimentos ambientais para o enquadramento (6,8).

O Sistema Cantareira é o maior sistema de abastecimento de água administrado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que é a concessionária responsável pelo

tratamento de água de toda a região Metropolitana de São Paulo. A capacidade da estação de tratamento é de 33 mil litros de água por segundo, destinados a 5,3 milhões de pessoas das Zonas Norte, Central, partes das Zonas Leste e Oeste da capital e parte do interior paulista. O sistema é composto pelos reservatórios Jaguari e Jacareí (interligados, conforme Figura 1), Cachoeira, Atibainha e Juquery (ou Paiva Castro) (4,5,6).

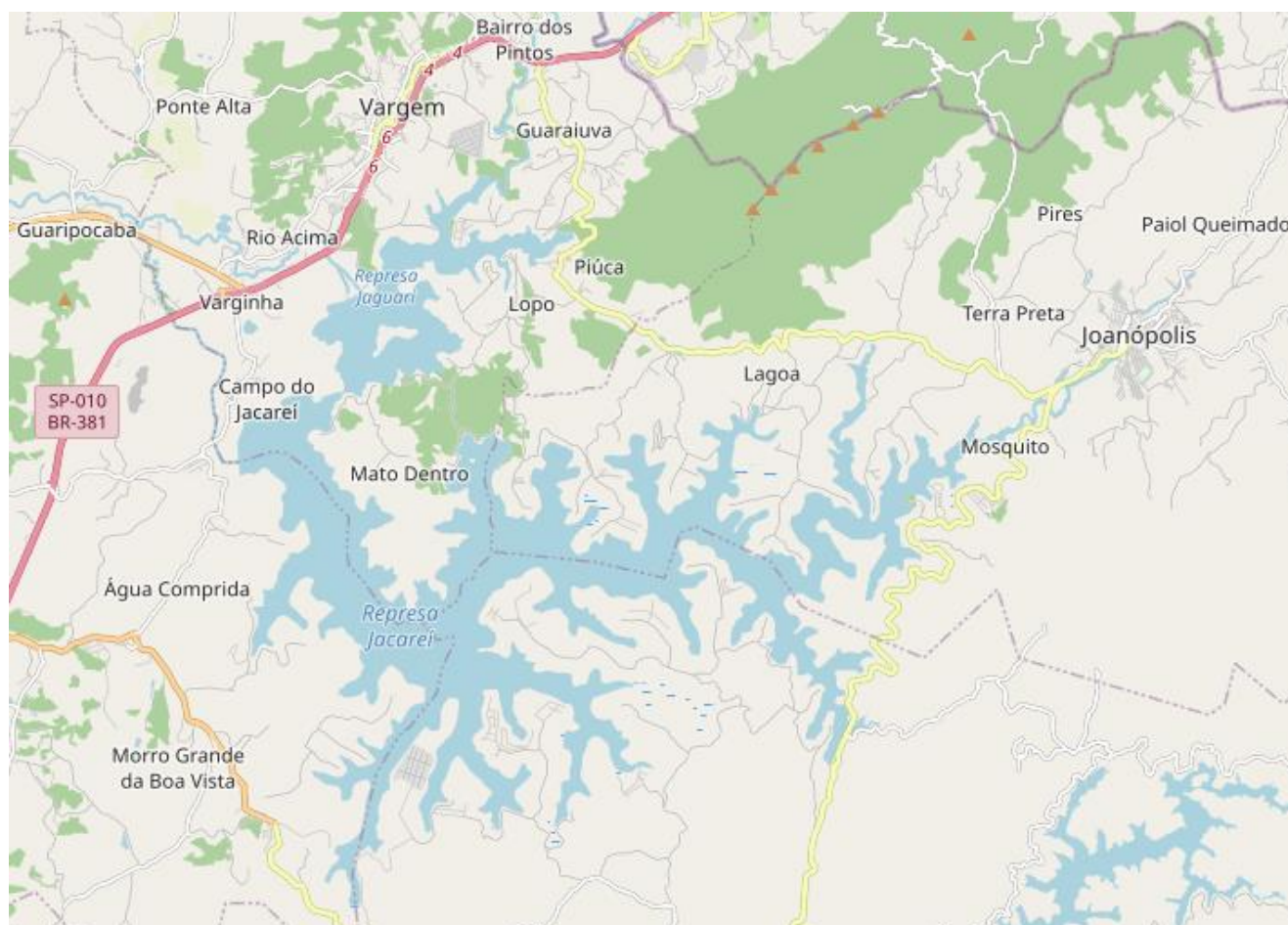


Figura 1 - Reservatórios Jaguari e Jacareí.

Fonte: Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE): <https://visualizador.inde.gov.br/>.

O processo convencional de tratamento da água feito pela SABESP no Sistema Cantareira se inicia com a captação e o bombeamento para as estações de tratamento. Depois de bombeada, a água passará pelas seguintes etapas de tratamento: (i) pré-cloração: adição de cloro para facilitar a retirada de matéria orgânica e metais; (ii) pré-alcalinização: adição de cal ou soda à água para ajustar o pH aos valores exigidos para as fases seguintes do tratamento; (iii) coagulação e floculação: adição do sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma intensa agitação da água para provocar a desestabilização elétrica das partículas de sujeira, fazendo com que as impurezas se aglutinem formando flocos para serem facilmente removidos na etapa seguinte; (iv) decantação: os

flocos de sujeira são mais pesados do que a água, portanto caem e se depositam no fundo do decantador; (v) filtração: a água passa por várias camadas filtrantes nas quais ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. Após estas etapas, a água fica livre de impurezas e límpida, porém, ainda não está própria para o consumo. Para garantir a potabilidade, a água passa ainda pela (vi) desinfecção, que consiste na cloração final que, de acordo com o Ministério da Saúde, deve conter uma concentração mínima de 0,2 mg/l (miligramas por litro) de cloro residual para garantir que a água chegue livre de vírus e bactérias até o consumidor; e pela (vii) fluoretação, que ajuda no combate às cáries da população (4).

Existem muitos métodos de avaliação da toxicidade da água, e no presente bioensaio se fez a opção pela metodologia Trad-MCN, que consiste na utilização da espécie vegetal *Tradescantia pallida* purpurea (família Commelinaceae), que possui considerável sensibilidade a agentes tóxicos e/ou mutagênicos e apresenta alterações morfológicas fáceis de serem identificadas, porém, é inespecífica. O método Trad-MCN visa analisar a integridade dos cromossomos, dado que as evidências de mutagênese se exteriorizam na forma de micronúcleos quando o material genético entra em contato com agentes tóxicos. A avaliação consiste em quantificar os micronúcleos, que são partes do material genético vegetal que não sofreram reparação na meiose e foram expelidas pelo núcleo. Essa escolha se deu pela qualidade já comprovada em diversos estudos anteriores (9,10,11).

A qualidade da água pré e pós tratamento pode também ser avaliada a partir da medição de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos. A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde determina os procedimentos de controle e vigilância na qualidade da água tratada para consumo humano (12,13,14).

A Turbidez se dá devido a partículas sólidas em suspensão, como argila e matéria orgânica, interferindo na absorção e reflexão da luz. A turbidez aumenta naturalmente em função da erosão e devido a despejos industriais e domésticos (1,2,12).

A Temperatura é uma propriedade física das águas; trata-se de um parâmetro de intensidade de calor dado pela radiação solar e alterado por despejos industriais e residenciais. A temperatura tem grande influência no crescimento e na atividade biológica dos organismos aquáticos (1,2,12).

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um indicador de relação numérica que mostra o equilíbrio entre íons H⁺ e íons OH⁻. Sua variação é de 0 a 14, sendo 7 o valor considerado neutro. Para o consumo humano, recomenda-se um pH entre 6,0 e 9,5 (4). As maiores alterações no pH da água nas represas e nos rios se dá devido ao despejo de origem industrial (1,2,12).

O Oxigênio Dissolvido (OD) é a concentração de oxigênio contido na água, sendo um fator relevante para a sobrevivência de seres aquáticos aeróbicos; o oxigênio é introduzido na água através do ar atmosférico: a água fria possui maior quantidade de oxigênio dissolvido do que a água quente. A redução do oxigênio dissolvido também se dá devido a despejos orgânicos (1,2,12).

O Nitrito (NO₂) e o Nitrato (NO₃) são produzidos a partir da decomposição de material orgânico vegetal ou animal e são parâmetros que indicam contaminação por efluentes (1,2,12).

A Amônia (NH₃) se apresenta em baixos teores na água natural e se forma pelo processo de degeneração biológica da matéria orgânica vegetal e animal. Altas concentrações de amônia são encontradas onde há despejo de esgoto bruto e efluentes industriais, nessas condições a amônia é tóxica para a vida aquática (1, 2,15).

O Fósforo Total (PT) é um importante parâmetro para a classificação de águas naturais e é também um nutriente essencial ao desenvolvimento de plantas aquáticas, estando relacionado a processos

naturais como a decomposição de matéria orgânica e dissolução de rochas ou ao despejo de esgoto doméstico, pesticidas e fertilizantes, desta forma prejudicando o meio ambiente (1, 2,12).

Os Coliformes Totais estão presentes tanto no ambiente quanto no trato gastrointestinal de animais homeotérmicos, e não possuem significado sanitário. Porém, os Coliformes Termotolerantes ou Fecais são microrganismos que sobrevivem em faixa de temperatura superior a 40 °C e estão presentes exclusivamente no trato gastrointestinal de animais homeotérmicos, dessa forma sendo este um parâmetro microbiológico de extrema importância na determinação da contaminação fecal das águas. O principal bioindicador termotolerante utilizado é a enterobactéria *Escherichia coli*, que não deve estar presente na água para o consumo humano (1, 2, 4, 12).

Estudos de ecossistemas aquáticos visam principalmente o controle da qualidade e preservação para o abastecimento público, de forma a avaliar suas características físicas, químicas e biológicas em atendimento às legislações. Deste modo, o presente estudo possui grande relevância na avaliação de águas in natura e na presença de agentes tóxicos e mutagênicos na água a ser distribuída para população (1,4).

Dessa forma, os objetivos do presente estudo foram determinar a presença de agentes potencialmente tóxicos e mutagênicos e avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da represa de Abastecimento Jaguari-Jacareí, localizada no município de Bragança Paulista-SP, e comparar a taxa de mutagênese com a água pós-tratamento da mesma cidade.

METODOLOGIA

Para que fosse realizada a avaliação das águas destinadas ao abastecimento urbano, o objeto de estudo escolhido foi a represa Jaguari-Jacareí, devido à sua importância como fonte de abastecimento urbano do município de Bragança Paulista e da região metropolitana de São Paulo.

1. COLETA DAS AMOSTRAS

A amostra de água in natura foi coletada na represa Jaguari-Jacareí localizada nas proximidades do bairro Serrinha na cidade de Bragança Paulista-SP (ponto 1: coordenadas decimais -22.979289, -46.437455) (Figura 2a). A amostra pós-tratamento foi coletada na torneira de uma residência no bairro Vila Aparecida na mesma cidade (ponto 2: coordenadas decimais -22.958285, -46.533017) (Figura 2b).



Figura 2 - a) Foto de satélite do ponto de coleta P1: Represa Jaguari-Jacareí em Bragança Paulista. b) Foto de satélite do ponto de coleta P2: Residência no bairro Vila Aparecida na mesma cidade.

As plantas foram coletadas em área urbana na cidade de Jundiaí. As inflorescências apresentavam botões que estavam na prófase I da meiose, fase na qual ocorre o maior dano ao DNA. Foram coletadas aproximadamente 100 hastas (Figura 3).



Figura 3 - Coleta das plantas na região urbana de Jundiaí.

2. AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE ÁGUAS IN NATURA E DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO

Para avaliação de parâmetros toxicológicos, a água da represa Jaguari-Jacareí e a água pós-tratamento foram analisadas pelo método Trad-MCN, que consiste em avaliar a integridade dos cromossomos das inflorescências da planta *Tradescantia pallida* purpurea na prófase I da meiose, mais especificamente entre o paquíteno e diplóteno, após exposição ao possível agente tóxico.

2.1. INTOXICAÇÃO

O método de intoxicação da planta constituiu-se em três etapas, descritas a seguir:

- I. Adaptação: as hastes ou cuttings foram colocadas em água de torneira por 24 horas.
- II. Intoxicação: as hastes foram divididas em quantidades idênticas e, dispostas por 8 horas nas seguintes amostras: experimental I (água da represa Jaguari-Jacareí), controle branco/experimental II (água de torneira) controle positivo (formol 1:1000) e controle negativo (água destilada).
- III. Recuperação: as hastes foram deixadas por mais 24 horas em água de torneira.
- IV. Fixação: as inflorescências sem as folhas foram colocadas em uma solução de ácido acético: de álcool etílico (1:3) por um tempo superior a 48 horas (11,16).

O controle positivo trata-se de formol, substância conhecidamente mutagênica que gera a expulsão de micronúcleos pelo bioindicador vegetal. Os controles negativo e branco (água destilada e água de torneira, respectivamente), são os veículos de imersão do bioindicador, de modo que não devem ser mutagênicos e conseqüentemente não gerar a expulsão de micronúcleos pelo bioindicador vegetal. Sendo a água de torneira o controle branco e a amostra na qual se objetivou avaliar a presença ou ausência de mutagênese, a amostra controle branco/experimental II tratou-se da mesma amostra.

2.1. PREPARO DE LÂMINAS

Para a confecção das lâminas foram utilizados os botões de tamanho médio a grande, que são os mais prováveis para a visualização das tétrades (agrupamento de quatro células haploides precursoras de esporos, resultantes de uma célula-mãe após a meiose II). Os botões foram macerados com estilete histológico de ponta fina juntamente com os corantes carmim e orceína acética. Após a maceração, foram retirados os possíveis resíduos vegetais da lâmina, e posteriormente foi inserida uma lamínula sob o líquido residual contendo as tétrades, e a lâmina coberta foi fixada em uma chama de espreiteira para a leitura microscópica (10,11).

2.3. ANÁLISE MICROSCÓPICA

A leitura da lâmina foi realizada em microscópio óptico Leica Galen III, em aumento de 1000x, para a quantificação de tétrades e micronúcleos. Foi realizada a contagem de 300 tétrades por amostra.

3. AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS IN NATURA

A avaliação físico-química dos parâmetros Turbidez, Temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrito (NO₂), Nitrato (NO₃), Amônia (NH₃) e Fósforo Total (PT) e a avaliação microbiológica do parâmetro CT (Coliformes Termotolerantes) foram realizadas in loco na represa

Jaguari-Jacareí por meio da utilização do Ecolkit II fabricado pela empresa Alfakit®, desenvolvido para realização da avaliação da qualidade de recursos hídricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste bioensaio foram avaliadas 1200 tétrades, sendo 300 na amostra experimental I, 300 no controle branco/experimental II, 300 no controle positivo e 300 no controle negativo. A Figura 4 corresponde a uma tétrede contendo um micronúcleo bem corado na porção superior do núcleo da tétrede situada na posição superior e direita (indicada com uma seta).

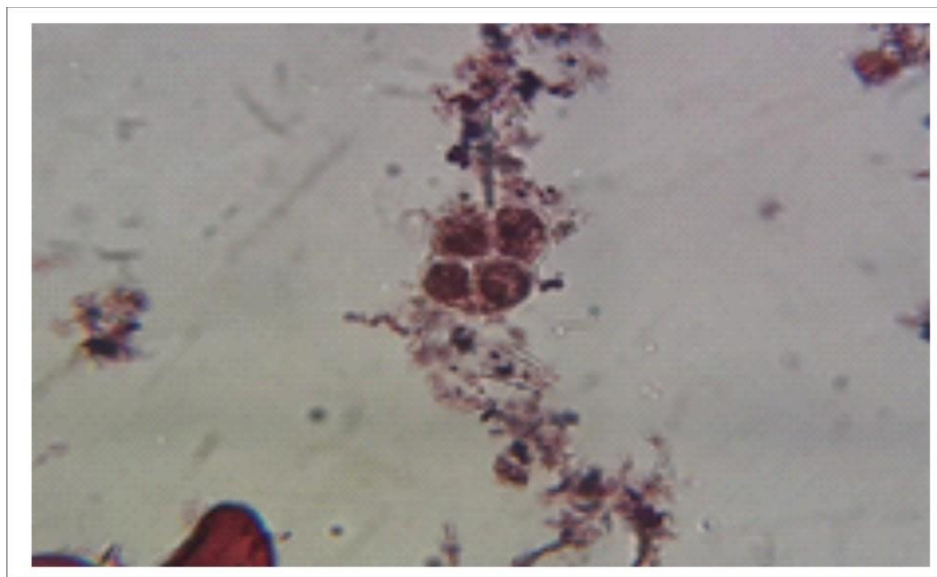


Figura 4 - Tétrede contendo micronúcleos. Fonte: Do autor

Os resultados obtidos nas amostras e nos controles encontram-se expressos na Tabela 1 em valores absolutos (quantidade de tétrades com micronúcleos por amostra em cada 300 tétrades analisadas) e em porcentagem de micronúcleos em relação aos valores absolutos:

Tabela 1 - Resultados amostrais absolutos e em percentual. Fonte: do Autor

Amostras e Controles	Valor absoluto	% de micronúcleos
Experimental I (água da represa Jaguari-Jacareí)	6	2
Negativo / experimental II (água de torneira)	0	0
Positivo (formol 1:1000)	17	5,7
Branco (água destilada)	1	0,3

Os resultados físico-químicos e microbiológicos obtidos através do Ecolkit II na represa Jaguari-Jacareí, em comparação à Classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005 encontram-se expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos na amostra da represa Jaguari-Jacareí. Os resultados que apresentaram inconformidades com os parâmetros estabelecidos pela Classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005 encontram-se destacados em negrito e itálico. Fonte: Do Autor.

Parâmetro	Classe 1 CONAMA 357/2005	Resultados Obtidos
Turbidez	100 NTU	< 25 NTU
Temperatura	--	24°C
pH	6 a 9	7,5
OD	>5 mg/L O ₂	9 mg/L O ₂
NO ₂	1,0 mg/L N	0 mg/L N
NO ₃	10,0 mg/L N	0,30 mg/L N
NH ₃ (para pH £ 7,5)	3,7 mg/L N	0,10 mg/L N
<i>PT (ambiente lântico)</i>	<i>0,020 mg/L P</i>	<i>0,75 mg/L P</i>
<i>CT</i>	<i>200 UFC/100mL</i>	<i>1.200 UFC/100mL</i>

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece, dentre outras condições e padrões, para as águas doces de classe 1 a “não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido” (8). Diversos estudos anteriores (9,10,11) obtiveram êxito na utilização da metodologia Trad-MCN e atestaram a confiabilidade do método. Nos resultados do presente bioensaio, que utilizou a metodologia citada, foram observados valores intermediários entre as águas da represa Jaguari-Jacareí e os controles utilizados como parâmetro; dessa forma, a quantidade de micronúcleos foi compatível com atividade genotóxica, indicando que as águas da represa Jaguari-Jacareí não são tão inócuas quanto a água de torneira ou a água destilada e nem tão mutagênicas quanto o formol, substância química conhecidamente genotóxica. Porém, na amostra experimental II (água da torneira) não foi localizado nenhum micronúcleo, o que evidencia a eficácia do tratamento realizado pela concessionária SABESP. Estudos adicionais são necessários a fim de verificar se a água da torneira apresenta conformidade com a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (8,13), já que não foi objetivo do presente estudo avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas pós-tratamento. O ponto 2 apenas se destinou a elucidar se as etapas de tratamento são capazes de diminuir as substâncias mutagênicas das águas in natura.

Petry e colaboradores (2016) utilizaram a metodologia Trad-MCN para analisar a genotoxicidade da água no riacho Luiz Rau no município de Novo Hamburgo - RS entre os anos de 2012 e 2013, e obtiveram os percentuais de 9,53% e 13,26% de micronúcleos em dois pontos amostrados, e apontaram que os resultados obtidos indicavam alto risco à biota aquática e para os indivíduos que

fazem utilização desta água. O presente bioensaio, apesar de ter detectado potencial genotoxicidade, obteve um percentual abaixo de 2% de micronúcleos na água da represa Jaguari-Jacareí e nenhum micronúcleo na água da torneira, o que indica uma taxa de mutagênese inferior nas águas do sistema Cantareira em relação às águas analisadas no estudo supracitado (19).

No presente estudo, as águas in natura da represa Jaguari-Jacareí apresentaram valores em desacordo com a Resolução para os parâmetros Fósforo Total ($0,75 \text{ mg/L} > 0,020 \text{ mg/L P}$) e Coliformes Termotolerantes ($1.200 > 200 \text{ UFC/100mL}$). Santos e colaboradores (2013) analisaram o córrego Colônia Mineira e a bacia do córrego do Limoeiro utilizando o Ecolit II. Ambos os córregos apresentaram inconformidades na qualidade da água de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para o parâmetro Fósforo Total para a Classe 2 de águas doces ($1,73 \text{ mg/L} > 0,030 \text{ mg/L P}$). Os autores atribuíram a inconformidade encontrada a uma possível contaminação de ambos os objetos de estudo por despejos de esgoto doméstico, pesticidas e/ou fertilizantes (20).

Cunha e Whately (2007) fizeram uma avaliação de todo o Sistema Cantareira, no qual identificaram inconformidades em relação aos padrões e parâmetros estabelecidos para a Classe 1 de águas doces estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para os mesmos parâmetros do que o presente estudo: Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes. Dessa forma, os resultados do presente bioensaio corroboram com os resultados de Cunha e Whately (2007), já que indicam inconformidades nos mesmos parâmetros para o mesmo local de amostragem.

Dessa forma, os resultados de estudos anteriores e do presente estudo indicam contaminação por despejos de esgoto doméstico, pesticidas e/ou fertilizantes das águas analisadas e consequente risco de eutrofização, embora em outros parâmetros indicadores dos mesmos tipos de contaminação (derivados do nitrogênio: Nitrito, Nitrato e Amônia) e de eutrofização (depleção do Oxigênio Dissolvido) não tenham sido detectadas inconformidades em relação aos parâmetros estabelecidos.

Hackbart e colaboradores (2015) avaliaram por meio de métodos modernos e eficientes o sistema de abastecimento Cantareira, identificando inconformidades nas amostras de Oxigênio Dissolvido e Fósforo Total, que não estavam de acordo com os parâmetros da Classe 1 determinada pela Resolução CONAMA 357/2005. O presente bioensaio corrobora com os resultados obtidos por este estudo no que tange aos resultados das avaliações do parâmetro Fósforo Total, porém a depleção do Oxigênio Dissolvido identificada pelo estudo de Hackbart e colaboradores (2015) pode identificar eutrofização do corpo hídrico que não pôde ser identificada no presente estudo e nem em estudos anteriores (21).

Os resultados do presente bioensaio e os resultados obtidos na presente avaliação físico-química e microbiológica presumem que o Sistema Cantareira, enquadrado na Classe 1 de águas doces de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, apresenta inconformidades com os parâmetros estabelecidos para esta classificação quando analisados pelo método Trad-MCN, pelo Ecolit II e até mesmo por métodos mais modernos e eficientes. Embora o presente bioensaio tenha se restringido a uma única amostragem, estudos anteriores que fizeram utilização de métodos similares ou até mais modernos encontraram resultados semelhantes aos do presente bioensaio.

Com base nestes resultados, sugere-se que (i) estudos complementares e específicos sejam realizados a fim de monitorar a qualidade das águas da represa Jaguari-Jacareí; (ii) haja um aumento na periodicidade das análises realizadas pela SABESP, que atualmente ocorrem de 2 em 2 meses aproximadamente; e (iii) haja um aumento na quantidade de pontos de coleta por parte da Cetesb, que no momento corresponde a 1 único ponto em todo o sistema Cantareira (6).

Espera-se que o presente bioensaio possa contribuir para incentivar o poder público a realizar ações de monitoramento e de melhoria da qualidade da água, ações estas que podem vir a proporcionar a melhoria da qualidade dos recursos hídricos naturais e, conseqüentemente, a melhoria dos índices de saúde da população.

CONCLUSÃO

No presente bioensaio ficou evidente a competência da metodologia Trad-MCN na avaliação de genotoxicidade da água, bem como a eficácia do Ecolit II em determinar valores para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água. Os métodos aqui utilizados são fidedignos, de baixo custo e de fácil qualificação e quantificação, e apresentam seus resultados de forma clara.

No bioensaio realizado por meio da metodologia Trad-MCN foi identificada uma quantidade de micronúcleos compatível com atividade genotóxica apenas nas águas da represa, e na avaliação físico-química e microbiológica das águas da represa através do Ecolit II foram detectadas inconformidades em relação aos padrões e parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 para as águas doces de Classe 1 para os parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes.

Portanto, através do presente estudo, foi possível constatar que a água tratada do município não apresenta altos índices de mutagênese, porém evidenciou-se também a necessidade de um monitoramento mais intensivo por parte do poder público nas águas in natura destinadas ao abastecimento público.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao XXVII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp pela publicação do resumo do presente estudo e ao Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), na figura do prof. Dr. Paulo Hilário do Nascimento Saldiva e da MSc. Débora-Jâ de Araujo Lobo, pelas técnicas e conhecimentos compartilhados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LACAZ, C.L. **Guia para identificação: fungos, actinomicetos e algas de interesse médico**. São Paulo: Sarvier, 1998.
- (1) BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2007.
- (2) DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.
- (3) MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 370-374, 2002.
- (4) SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>. Acesso em 31 mai. 2020.
- (5) AGÊNCIA PCJ - Agência das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Disponível em: <http://www.agenciapcj.org.br>. Acesso em 22 mar. 2017.
- (6) WHATELY, M.; CUNHA, P. C. **Um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo: Resultados do Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007.
- (7) TERCEIRA VIA Cooperação e Desenvolvimento. Formação de Multiplicadores para Sociobiodiversidade na Preservação de Recursos Hídricos no Município de Joanópolis. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/51858326-Diagnostico-agroecologia-e-sistemas-agroflorestais.html>>. Acesso em 22 mar. 2017.

- (8) BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 17 mar. 2005. Seção 53, p. 58-63.
- (9) MIELLI, A. C.; SALDIVA, P. H. N.; UMBUZEIRO, G. A. Comparação entre as respostas do Clone 4430 e *Tradescantia pallida* no teste de Micronúcleos (TRAD- MCN). **Journal Brazilian Society Ecotoxicology**, v. 4, p. 49-54, 2009.
- (10) CARLUCI, N. N.; FOGAGNOLLI, S. E. I.; GUIMARÃES, E. T.; PEREIRA, F. A. C. Micronúcleo em *Tradescantia pallida* como proposta metodológica para avaliação da presença de contaminantes mutagênicos no solo. **Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura**, v. 2, n. 2, 2014.
- (11) MA, T. H. *Tradescantia micronucleus* bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. **Environmental Health Perspectives**, v. 37, p. 85, 1981.
- (12) SOS MATA ATLÂNTICA. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/>>. Acesso em 25 mar. 2017.
- (13) BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2011. Seção 3, p. 01.
- (14) ANA – Agência Nacional De Águas. Disponível em: <<http://www.arquivos.ana.gov.br/institucional>>. Acesso em 14 set. 2017.
- (15) REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.,14, n.,3, p. 353-362, 2009.
- (16) OLIVEIRA, M. L. **Utilização de *Tradescantia pallida* como bioindicador de contaminação ambiental ao longo do Rio Igarapu, Piauí**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2014.
- (17) MAZIVIERO, G. T. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de lodo de esgoto por meio dos sistemas-teste *Allium cepa* e *Tradescantia pallida***. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
- (18) ALVES, E. S.; PEDROSO, A. N. V.; DOMINGOS, M. G. T.; GUIMARÃES, E. T.; SALDIVA, P. H. N. Biomonitoramento indoor do potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbário do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad- MCN. **Hoehnea**, v. 30, n. 2, p. 89-94, 2003.
- (19) PETRY, C. T.; COSTA, G. M.; BENVENUTI, T.; RODRIGUES, M. A. S.; DROSTE, A. Avaliação integrada da qualidade química e da genotoxicidade da água do arroio Luiz Rau, no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, no Sul do Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, 2016.
- (20) SANTOS, F. R.; BARBOSA, H. P. Um Estudo Comparativo de Dois Córregos Urbanos em Presidente Prudente–SP: Colônia Mineira e Limoeiro. **Geografia em Atos (Online)**, v. 2, n. 13, 2013.
- (21) HACKBART, V. C. S.; MARQUES, A. R. P.; KIDA, B. M. S.; TOLUSSI, C. E.; NEGRI, D. D. B.; MARTINS, I. A.; FONTANA, I.; COLLUCCI, M. P.; BRANDIMARTI, A. L.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SILVA, S. C.; MEIRINHO, P. A.; FREIRE, R. H. F.; POMPÊO, M. Avaliação expedita da heterogeneidade espacial horizontal intra e inter reservatórios do sistema Cantareira (Represas

Jaguari-Jacareí, São Paulo). In: POMPÊO, M. et al. (Orgs.) **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015, p. 96-108.

Recebido: 21 de fevereiro de 2019
Aprovado: 18 de maio de 2020



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.