



Ambiente & Água - An Interdisciplinary
Journal of Applied Science
ISSN: 1980-993X
ambi-agua@agro.unitau.br
Universidade de Taubaté
Brasil

Tamires Petry, Camila; Marques da Costa, Gustavo; Benvenuti, Tatiane; Siqueira Rodrigues, Marco Antônio; Droste, Annette
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
Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 11, núm. 4,
octubre-diciembre, 2016, pp. 867-877
Universidade de Taubaté
Taubaté, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92847951010>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc



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

doi:10.4136/ambi-agua.1779

Received: 06 Oct. 2015; Accepted: 17 Jul. 2016

Camila Tamires Petry¹; Gustavo Marques da Costa²; Tatiane Benvenuti²;
Marco Antônio Siqueira Rodrigues²; Annette Droste^{2*}

Universidade Feevale (Feevale), Novo Hamburgo, RS, Brasil

¹Instituto de Ciências da Saúde

²Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental

* Autor correspondente: e-mail: annette@feevale.br,
camilapetry@yahoo.com.br, markesdakosta@hotmail.com,
tati.eng.biobio@gmail.com, marcor@feevale.br

RESUMO

A qualidade química e a genotoxicidade da água do arroio Luiz Rau em Novo Hamburgo (Rio Grande do Sul, Brasil) e a relação entre os danos genéticos observados em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e parâmetros químicos foram analisados. Amostras de água foram coletadas bimestralmente, entre setembro de 2012 e março de 2013 em dois sítios: próximo à nascente (S1) e próximo à foz (S2) do arroio. Ramos com botões florais foram expostos à água dos sítios e à água destilada (controle negativo). Frequências de micronúcleos (MCN) foram determinadas em células-mãe de pólen. Os seguintes parâmetros químicos: pH, sólidos dissolvidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), oxigênio dissolvido, fósforo total (PT) e os elementos-traço cádmio, chumbo, cobre, cromo total e zinco foram analisados. Em todas as amostragens, as frequências de MCN observadas nos botões florais expostos à água dos dois sítios foram significantemente superiores (S1: 2,48 a 3,38, S2: 3,24 a 5,19) às observadas nos respectivos controles negativos (1,33 a 1,62). O PT esteve acima do limite legal ao longo de todo o período monitorado e a DBO_5 apresentou concentrações maiores àquelas estabelecidas pela legislação em dois meses no S1 e em três meses no S2. A análise de componentes principais mostrou relação entre a frequência de MCN, a DBO_5 e o PT, indicando a influência negativa de poluentes presentes na água sobre a espécie bioindicadora e reforçando a importância de se considerar os fatores ambientais de forma integrada em programas de monitoramento de corpos hídricos.

Palavras-chave: micronúcleo, monitoramento, poluente, *Tradescantia pallida* var. *purpurea*

Integrated assessment of chemical quality and genotoxicity of the water of the Luiz Rau Stream in the lower stretch of the Sinos River Basin, in South Brazil

ABSTRACT

This study assessed the chemical quality and genotoxicity of the water of the Luiz Rau Stream in Novo Hamburgo (Rio Grande do Sul, Brazil) and investigated the relationship

between the genetic damage observed in *Tradescantia pallida* var. *purpurea* and the chemical parameters analyzed. Water samplings were collected bimonthly from September 2012 to March 2013 from two sites, near the headspring (S1) and near the mouth (S2). Cuttings with flower buds were exposed to water from the sites and distilled water (negative control). Micronuclei (MCN) frequencies were determined in pollen mother cells. The chemical parameters analyzed were pH, total dissolved solids, biochemical oxygen demand (DBO_5), dissolved oxygen, total phosphorus (TP) and the trace elements cadmium, lead, copper, total chromium and zinc. In all samplings, the MCN frequencies observed in buds exposed to water from both sites were significantly higher (S1: 2.48 to 3.38, S2: 3.24 to 5.19) than those observed in the respective negative controls (1.33 to 1.62). The TP was above the legal limit throughout the monitored period and DBO_5 presented concentrations higher than those established by legislation in two months at S1 and three months at S2. The principal component analysis showed a relationship between MCN frequency, DBO_5 and TP, pointing to the negative influence of pollutants present in water on the bioindicator species and reinforcing the importance of considering the environmental factors in an integrated way in water-body monitoring programs.

Keywords: micronucleus, monitoring, pollutant, *Tradescantia pallida* var. *purpurea*.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e a intensificação das atividades antrópicas exercem impactos sobre os sistemas hídricos, como maior demanda de água para abastecimento público e aumento de cargas poluidoras pontuais e difusas devido ao lançamento de substâncias poluentes e bioacumuláveis na biota aquática (Merlo et al., 2011).

A Bacia do Rio dos Sinos, localizada na região leste do Estado do Rio Grande do Sul, possui uma área de 3.800 km² na qual se encontram 32 municípios com aproximadamente 1,3 milhão de habitantes. As atividades econômicas de maior destaque nesta bacia estão ligadas ao segmento coureiro-calçadista, que é responsável por 40% da produção brasileira deste setor, bem como a indústrias químicas, têxteis e metalúrgicas (FEPAM, 2015). O Rio dos Sinos, principal rio da bacia, é dividido em três trechos e apresenta qualidade hídrica comprometida, principalmente na porção inferior (FEPAM, 2015). A falta de tratamento do esgoto doméstico na maioria dos municípios (Oliveira et al., 2012) antes de seu despejo no rio e em seus afluentes contribui de maneira significativa para este cenário ambiental.

Um dos principais afluentes no trecho inferior do Rio dos Sinos é o arroio Luiz Rau, localizado no município de Novo Hamburgo, na Bacia do Rio dos Sinos. Ao longo de seus 14 km de extensão, este arroio recebe intensa carga de esgoto doméstico e industrial, sendo denominado “arroio Preto” devido à coloração de suas águas (PMNH, 2015). O Índice de Qualidade das Águas (IQA) do arroio Luiz Rau tem recebido o conceito ‘ruim’ de forma constante ao longo da sequência histórica de 20 anos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Henrique Roessler (FEPAM), órgão responsável pelo monitoramento, pela fiscalização e pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul (FEPAM, 2015).

O aumento da diversidade das substâncias orgânicas e inorgânicas tem tornado a análise química dos corpos hídricos complexa (Nunes et al., 2011). Além disso, os parâmetros físico-químicos estabelecidos nas legislações ambientais não são capazes de distinguir entre compostos biodisponíveis e compostos inertes, limitando a avaliação de risco ambiental (Kieling-Rubio et al., 2015). A identificação de poluentes isolados não considera os efeitos aditivos, sinérgicos ou antagônicos de suas combinações no ambiente (Merlo et al., 2011).

Bioindicadores vêm sendo integrados em estudos de qualidade ambiental, com a vantagem de permitirem inferências acerca do efeito tóxico dos poluentes sobre a biota, a partir da interpretação das respostas destes organismos (Merlo et al., 2011). *Tradescantia*

pallida (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* Boom é uma espécie bioindicadora de genotoxicidade ambiental (Merlo et al., 2011; Pereira et al., 2013), e o bioensaio Trad-MCN permite a quantificação de micronúcleos (MCN) nas células-mãe de grãos de pólen em fase de tétrades, decorrentes da exposição das plantas a agentes com potencial genotóxico (Ma et al., 1994). Porém, este bioensaio ainda é pouco explorado para avaliação da genotoxicidade de água, e apenas mais recentemente estudos vêm sendo direcionados para corpos hídricos na Bacia do Rio dos Sinos (Cassanego et al., 2014; Endres-Júnior et al., 2015; Kieling-Rubio et al., 2015).

O presente estudo teve como objetivos: (i) avaliar a genotoxicidade da água do arroio Luiz Rau em dois sítios, próximo à nascente e próximo à foz (ii) avaliar a qualidade da água do arroio por meio de parâmetros químicos e (iii) investigar a possível relação entre os danos genéticos observados em *T. pallida* var. *purpurea* e parâmetros químicos analisados. As hipóteses foram de que: (i) próximo à foz, a qualidade da água do arroio Luiz Rau é mais baixa e sua genotoxicidade é mais alta do que próximo à nascente; (ii) a água do arroio contribui com agentes poluentes e genotóxicos para o Rio dos Sinos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O arroio Luiz Rau está localizado em Novo Hamburgo, município que possui aproximadamente 250 mil habitantes, densidade populacional de cerca de 1.100 habitantes/km² e cuja economia está baseada principalmente na indústria coureiro-calçadista (PMNH, 2015). O clima da área de estudo é do tipo Cfa segundo a classificação de Köppen, subtropical temperado, com temperatura superior a 22°C no verão e precipitação acumulada anual de cerca de 1.600 mm, distribuída uniformemente ao longo do ano (PEEL et al., 2007). Os sítios de coleta de água do arroio foram denominados sítio 1, a 1,17 km da nascente (29°37'43,84"S; 51°08'09,65"W, 74 m de altitude) e sítio 2, a 2,15 km da foz (29°43'4,45"S; 51°07'55,02"W, 9 m de altitude) (Figura 1). O sítio 1 localiza-se em um remanescente florestal inserido na matriz urbana de Novo Hamburgo, em cujo entorno há atividade de mineração superficial de rochas. O sítio 2 se situa a uma distância aproximada de 10 km do sítio 1, está localizado em um bairro residencial e comercial, e a vegetação é predominantemente herbácea, com presença de árvores isoladas.

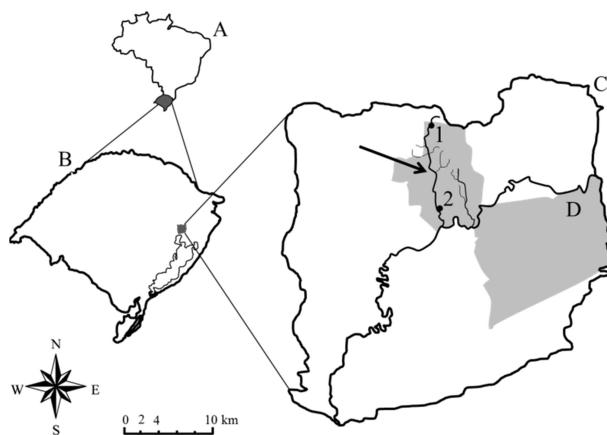


Figura 1. Localização dos sítios de coleta das amostras de água do arroio Luiz Rau (seta), no município de Novo Hamburgo (D), trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos (C), Rio Grande do Sul (B), Brasil (A). (1) Sítio no trecho inicial do arroio; (2) sítio no trecho final do arroio.

2.2. Coleta de água

As amostras de água foram coletadas na superfície da água, com periodicidade bimestral, entre setembro de 2012 e março de 2013. O critério de escolha do dia da coleta foi a ausência de precipitação de chuva três dias antes e no dia desta. A coleta, o transporte e o processamento da água foram realizados de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 9898/1987) (ABNT, 1987) e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2012). As amostras de água foram armazenadas em recipientes de vidro (volume total de 8 L), acondicionadas em caixas térmicas e imediatamente transportadas ao laboratório para o bioensaio de genotoxicidade e as análises químicas.

2.3. Bioensaio Trad-MCN

Os espécimes de *T. pallida* var. *purpurea* utilizados para os experimentos foram cultivados em vasos (37 cm x 20 cm x 20 cm) contendo 4 kg de solo comercial em uma área não poluída da universidade e regados três vezes por semana. Mensalmente, foram aplicados 100 mL de solução de fertilizante N:P:K (nitrogênio:fósforo:potássio) na proporção de 10:10:10 (Cassanego et al., 2014). Todas as plantas derivaram de propagação vegetativa, com propágulos provindos da mesma população.

O bioensaio Trad-MCN foi realizado conforme metodologia descrita por Cassanego et al. (2014). Foram utilizados 15 ramos com botões florais jovens de *T. pallida* var. *purpurea* para cada amostragem, que foram mantidos parcialmente imersos em 2 L de água destilada por 24 h. Após este período de adaptação, apenas ramos com botões florais túrgidos foram expostos por 8 h às amostras de água do arroio. A exposição foi seguida por recuperação em água destilada por 24 h, período necessário para o término do processo meiótico (Ma et al., 1994). Simultaneamente foi realizado um controle negativo para cada período amostrado, seguindo a metodologia descrita acima, em que se substituiu a água das amostras por água destilada. Os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura de 26±1°C e luz natural. Os botões florais foram fixados em etanol absoluto e ácido acético glacial, na proporção de 3:1 (v:v), por um período de 24 h, sendo armazenados após este período em etanol 70% e mantidos sob refrigeração a 7°C. Para a preparação das lâminas, os botões florais foram dissecados e as anteras maceradas em carmim acético a 1%. Para a contagem dos micronúcleos (MCN) foram observadas 300 tétrades por lâmina, em um total de sete lâminas por exposição e sítio, por meio de microscopia óptica em aumento de 400 vezes. As frequências de MCN foram expressas em MCN/100 tétrades (Cassanego et al., 2014).

2.4. Análises químicas

As análises químicas das amostras de água foram realizadas conforme metodologia descrita em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2012). Os parâmetros analisados foram: (a) pH, por potenciometria (SM 4500-H⁺), (b) sólidos dissolvidos totais (SDT), por gravimetria (SM 2540 C), (c) demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), por manometria (SM 5210 B), (d) oxigênio dissolvido (OD), por Winkler/Azida (SM 4500-O C), (e) fósforo total (PT), por colorimetria (SM 4500-P C), e (f) os elementos-traço cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo total (Cr) e zinco (Zn), por espectrofotometria de absorção atômica de chama (SM 3111 B) (Varian AA110). A classificação das amostras de água foi realizada de acordo com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 1 (Brasil, 2005).

2.5. Análise estatística

As frequências de MCN foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e a homogeneidade de variâncias foi

avaliada pelo teste de Levene. Para cada sítio e para o controle, as médias das frequências de MCN obtidas nos diferentes meses foram comparadas pelo teste de Tukey. Para cada mês, as médias das frequências de MCN obtidas para os sítios foram comparadas às do controle pelo teste de Dunnett. O teste de correlação de postos de Pearson foi aplicado para verificar a relação entre a frequência de MCN e os parâmetros químicos. Foram adotados os valores de referência que qualificam as correlações de acordo com Callegari-Jacques (2003). A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para avaliar as variáveis biótica e abióticas. Para a PCA, foi utilizada a matriz de correlação, uma vez que as variáveis são estimadas por diferentes unidades de medida. Apenas *eigenvalues* maiores que 1 foram utilizados como critério para extração dos componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas usando o programa SPSS versão 22, e o nível de significância adotado foi de 5%. O gráfico da PCA foi construído usando o programa PAST versão 3.02.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os botões florais expostos às amostras de água do arroio Luiz Rau apresentaram frequências que variaram de 2,48 a 3,38 MCN no sítio 1, e de 3,24 a 5,19 no sítio 2. Em todos os meses amostrados, estas frequências foram significativamente maiores do que aquelas do controle negativo (Tabela 1), as quais foram inferiores ao valor considerado resultante de mutações espontâneas em plantas de *T. pallida* var. *purpurea* (Pereira et al., 2013). Nunes et al. (2011) já haviam registrado o efeito tóxico da água deste corpo hídrico sobre o índice mitótico em *Allium cepa*. Os autores atribuíram os resultados aos efeitos tóxicos de agentes orgânicos e inorgânicos detectados nas amostras de água. Frequências de MCN comparáveis às do presente estudo, entre 3,0 e 3,5, foram registradas para *T. pallida* var. *purpurea* exposta à água do Rio dos Sinos em Campo Bom, município vizinho de Novo Hamburgo (Cassanego et al., 2014).

Tabela 1. Frequência de micronúcleos (MCN/100 tétrades) em células-mãe de grãos de pólen de botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos a amostras de água do arroio Luiz Rau e do controle negativo entre setembro de 2012 e março de 2013.

Amostras	Frequência de MCN (média ± desvio padrão)				F	p
	Setembro 2012	Novembro 2012	Janeiro 2013	Março 2013		
Sítio 1	2,95 ± 0,56*ab	2,67 ± 0,47*ab	3,38 ± 0,65**a	2,48 ± 0,60*b	3,276	0,038
Sítio 2	3,62 ± 0,95*b	5,19 ± 0,84**a	3,90 ± 1,07**ab	3,24 ± 1,17*b	4,897	0,009
Controle	1,57 ± 0,37a	1,62 ± 0,23a	1,43 ± 0,50a	1,33 ± 0,27a	0,938	0,438
F	16,910	72,701	19,763	10,729		
p	<0,001	<0,001	<0,001	0,001		

Asteriscos na mesma coluna indicam diferenças significativas (* $p \leq 0,05$) e altamente significativas (** $p \leq 0,001$) em relação ao controle de acordo com o teste de Dunnett ($p=0,05$).

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O efeito genotóxico denotado inclusive para o sítio próximo à nascente do arroio já foi descrito para amostras de água de nascentes de outros arroios no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, para as quais frequências de MCN semelhantes às do presente estudo foram observadas (Endres-Júnior et al., 2015; Kieling-Rubio et al., 2015). No município de Novo Hamburgo, *T. pallida* var. *purpurea* exposta à água da nascente principal do arroio Vila Kunz apresentou frequências de 1,3 a 6,5 MCN e, quando da exposição à água da nascente secundária, frequências de 2,2 a 3,6 MCN (Endres-Júnior et al., 2015). Kieling-Rubio et al.

(2015) registraram frequências de 3,85 e 2,28 MCN em *T. pallida* var. *purpurea* exposta à água dos arroios Portão (Portão) e Pampa (Novo Hamburgo), respectivamente. As nascentes configuram locais onde aflora naturalmente a água subterrânea, desempenhando um papel fundamental para a manutenção da qualidade e quantidade da água dos arroios e rios (Pinto et al., 2012). Quando localizadas em áreas urbanas, as nascentes tornam-se descaracterizadas e vulneráveis à degradação pela redução da vegetação arbórea em seu entorno, bem como pela alta densidade populacional e atividades antrópicas a ela relacionadas, tais como deposição inadequada de resíduos sólidos no entorno e lançamento de esgoto doméstico. A presença natural de elementos químicos também pode contribuir para a toxicidade em organismos, como relatado por Kieling-Rubio et al. (2015) para o ferro, cuja concentração aumentada nas águas próximo a nascentes pode estar associada ao perfil edáfico da região (Streck et al., 2008).

No sítio 1, o pH, a concentração de SDT, o OD e os elementos-traço Cu e Zn apresentaram valores dentro do limite legal para águas doces de classe 1 e o Cr não foi detectado durante todo o período amostrado (Tabela 2), o que está de acordo com o enquadramento do trecho do arroio Luiz Rau no qual este sítio está inserido (COMITESINOS, 2015), conforme critérios estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). A DBO₅ apresentou valores superiores a 5 mg L⁻¹, com exceção de setembro de 2012 e março de 2013 no sítio próximo à nascente. Este parâmetro não foi representativo, uma vez que o limite de detecção foi superior à concentração máxima permitida pela legislação para águas doces de classe 1, que é de 3 mg L⁻¹. O PT ultrapassou os limites para a classe 1 em todos os meses monitorados, com exceção de setembro de 2012 e março de 2013. Em novembro de 2012, as concentrações de Cd e Pb foram superiores às estabelecidas na legislação, e, em janeiro de 2013, a concentração de Pb foi quatro vezes maior do que o limite legal neste sítio.

No sítio 2, apenas o pH e a concentração de SDT apresentaram valores compatíveis com os de águas doces de classe 1 (Tabela 2) e o Cr não foi detectado, corroborando com dados obtidos por Nascimento e Naime (2009), que não detectaram cromo na água do arroio Pampa. Apesar da expressiva contribuição do setor coureiro-calçadista para a economia da região, o cromo, quando detectado na água de corpos hídricos da Bacia do Rio dos Sinos, na maior parte das vezes, permanece em concentrações abaixo do limite legal para águas doces classe 1 (Robaina et al., 2002; Dalla Vecchia et al., 2015), o que, conforme Nascimento et al. (2015) se deve à eficiência do tratamento de efluentes por parte das indústrias, consequente do efetivo sistema de licenciamento e controle ambiental na região. Além disso, em pH neutro ou levemente básico, como observado no presente estudo, o cromo é relativamente imóvel no efluente de curtumes (Chuan e Liu, 1996) no qual é lançado principalmente cromo trivalente associado a ligantes orgânicos e inorgânicos (Walsh e O'Halloran, 1996). As águas receptoras destes efluentes contêm cromo basicamente na forma de hidroxi-complexos de baixa solubilidade associados à fase particulada (Kotas e Stasick, 2000) e de concentrados nos sedimentos, estando pouco biodisponível na água (Pawlowski et al., 2006). Os valores registrados para OD, PT, Pb e Cu foram compatíveis com concentrações estabelecidas para estes parâmetros em águas doces de classe 4 em pelo menos um dos meses monitorados, corroborando com o enquadramento do trecho do arroio no qual está inserido este sítio de estudo (COMITESINOS, 2015), segundo os critérios da Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). Especialmente o PT apresentou concentrações três a dez vezes superiores aos limites para a classe 3 (Tabela 2). O lançamento de detergentes superfosfatados e de matéria fecal nos efluentes domésticos, além da drenagem pluvial de ambientes agrícolas e o lançamento de efluentes industriais podem ser citados como fonte de concentrações aumentadas de PT na água (ANA, 2015). Considerando que o município de Novo Hamburgo trata apenas 2% do esgoto doméstico gerado (PMNH, 2015) e que os corpos hídricos são

receptores de grande parte dos efluentes, o arroio Luiz Rau vem sofrendo com o processo de degradação decorrente das cargas poluentes domésticas e industriais, estas principalmente provindas do setor coureiro calçadista e da metalurgia (FEPAM, 2015).

Tabela 2. Características químicas das amostras de água dos sítios do arroio Luiz Rau entre setembro de 2012 e março de 2013.

Exposições	pH	SDT	DBO ₅	Parâmetros ¹					
				OD	PT	Cd	Pb	Cu	Zn
Sítio 1									
Set 2012	7,07	245	< 5,0	6,89	0,03	n.d. ²	n.d.	0,003	0,015
Nov 2012	7,37	214	7,0	7,56	0,13	0,002	0,014	n.d.	0,016
Jan 2103	7,66	196	9,0	7,55	0,14	n.d.	0,043	0,008	0,032
Mar 2013	7,90	208	< 5,0	n.a. ³	0,03	n.d.	n.d.	0,004	0,022
Sítio 2									
Set 2012	7,24	150	13,0	5,75	0,57	n.d.	n.d.	0,102	0,091
Nov 2012	7,04	252	28,0	1,70	1,40	n.d.	0,016	0,002	0,114
Jan 2103	7,26	126	12,0	5,76	0,46	0,003	0,042	0,014	0,370
Mar 2013	7,65	220	8,0	n.a.	0,55	n.d.	n.d.	0,030	0,064
Valores de referência para águas doces - CONAMA 357/2005									
Classe 1	6,0-9,0	500	≤3,0	≥6,00	0,10	0,001	0,010	0,009	0,180
Classe 2	6,0-9,0	500	≤5,0	≥5,00	0,10	0,001	0,010	0,009	0,180
Classe 3	6,0-9,0	500	≤10,0	≥4,00	0,15	0,010	0,033	0,013	5,000
Classe 4	6,0-9,0	500	≤10,0	≥2,00	0,15	0,010	0,033	0,013	5,000

¹**SDT:** sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1}), **DBO}_5:** demanda bioquímica de oxigênio ($\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$), **OD:** oxigênio dissolvido ($\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$), **PT:** fósforo total (mg L^{-1}), **Cd:** cádmio (mg L^{-1}), **Pb:** chumbo (mg L^{-1}), **Cu:** cobre (mg L^{-1}), **Zn:** zinco (mg L^{-1}).

Limites de detecção: Cd: 0,0015 mg L⁻¹; Pb: 0,01 mg L⁻¹; Cu: 0,0012 mg L⁻¹; Zn: 0,0058 mg L⁻¹.

²não detectado pelo método analítico.

³não avaliado.

A relação entre os danos genéticos e parâmetros químicos foi evidenciada pelo resultado do teste de correlação de Pearson, que mostrou relação de magnitude muito forte entre a frequência de MCN e o PT ($r=0,93$; $p<0,001$) e entre a frequência de MCN e a DBO₅ ($r=0,96$; $p<0,001$). A PCA indicou a existência de dois componentes principais que explicaram 74,46% da variância total. As variáveis que apresentaram maior correlação com o primeiro componente, que explicou 44,09% da variância, foram MCN, DBO₅, PT e Cu, que se relacionaram positivamente umas com as outras, além do OD, que se relacionou negativamente com as demais variáveis. O segundo componente explicou 30,36% da variância, e dentre as variáveis que o compuseram, Cd, Pb e Zn estiveram relacionados positivamente entre si e SDT se relacionou negativamente com estes. A interpretação da distribuição nos dois componentes indicou o agrupamento das amostras de cada sítio de tal forma que demonstrou a menor qualidade e maior genotoxicidade da água das amostras no sítio próximo à foz do arroio (Figura 2). Na literatura, não se têm registros do efeito de altas concentrações de PT e DBO₅ sobre plantas bioindicadoras. No entanto, estes parâmetros são indicadores de presença de matéria orgânica, oriunda do lançamento de efluentes domésticos, que, além de poder conter substâncias tóxicas, pode causar a diminuição na concentração de

oxigênio, além de elevar a DBO₅. De fato, na foz do arroio Luiz Rau, a mortandade de peixes acompanhada por altas concentrações de DBO₅ é considerada frequente (FEPAM, 2015). O fato de a exposição dos botões florais de *T. pallida* var. *purpurea* ocorrer por um período curto provavelmente está relacionado com a ausência de relação entre as frequências de MCN e a presença de elementos-traço na água.

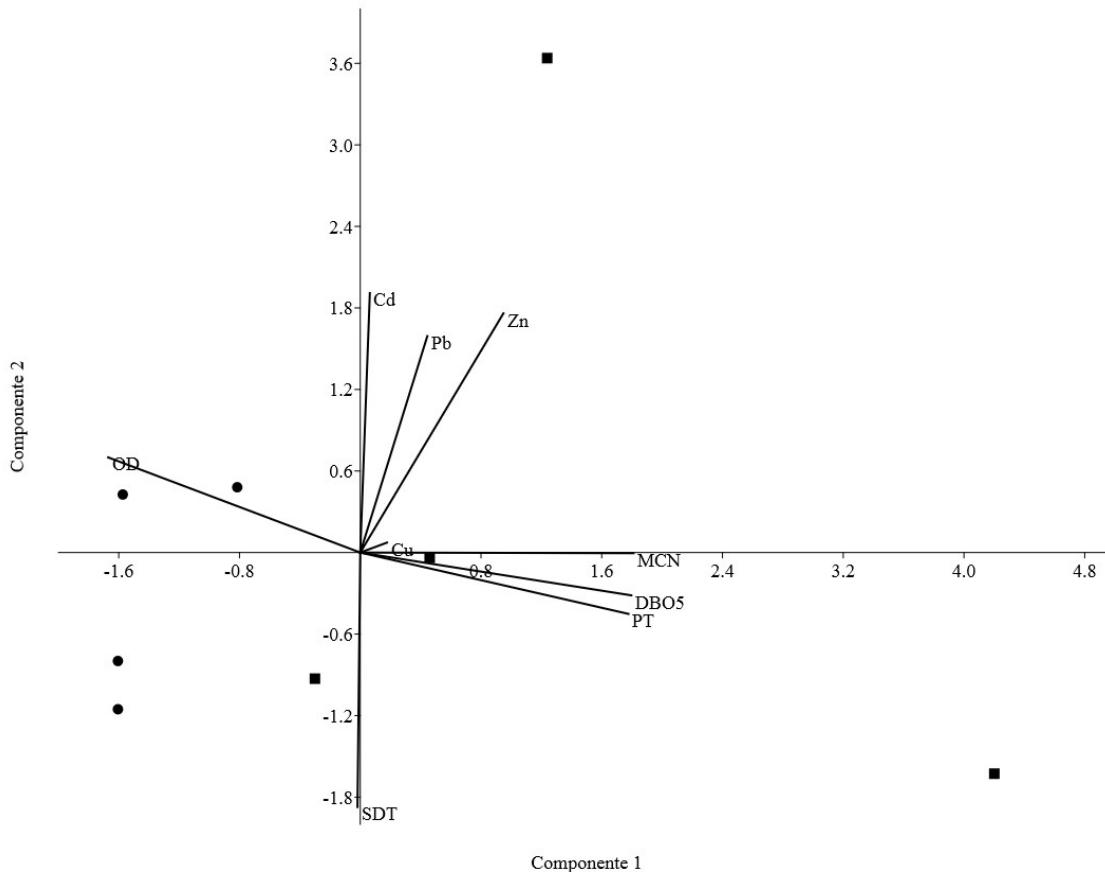


Figura 2. Análise de componentes principais dos parâmetros avaliados nos sítios estudados (Sítio 1: ponto, Sítio 2: quadrado). MCN: frequência de micronúcleos; DBO₅: demanda bioquímica de oxigênio; PT: fósforo total; SDT: sólidos dissolvidos totais; OD: oxigênio dissolvido; Cd: cádmio; Pb: chumbo; Zn: zinco; Cu: cobre.

4. CONCLUSÃO

O bioensaio com *T. pallida* var. *purpurea* indicou genotoxicidade da água nos sítios avaliados do arroio Luiz Rau durante todo o período de estudo, apontando para o risco ao qual a biota aquática e os organismos que fazem uso desta água estão expostos. Os altos valores da demanda bioquímica de oxigênio e do fósforo total, bem como as elevadas frequências de micronúcleos, confirmam as hipóteses de que a qualidade da água próximo à foz do arroio é mais baixa e sua genotoxicidade é mais alta do que próximo à nascente e que o arroio contribui com agentes poluentes e genotóxicos para o Rio dos Sinos. A relação observada entre a frequência de MCN, a DBO₅ e o PT indica a influência negativa de poluentes presentes na água sobre a espécie bioindicadora e reforça a importância de se considerar os fatores ambientais de forma integrada em programas de monitoramento de corpos hídricos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Sul (FAPERGS), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Ministério da Ciência e Tecnologia/Financiadora de Estudos e Projetos (MCT/FINEP) pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). **Portal da qualidade das águas**. Disponível em: http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn7. Acesso em: 24 ago. 2015.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2012. 1360 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. 22 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357/2005 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 de março de 2005.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- CASSANEGO, M. B. B.; COSTA, G. M.; SASAMORI, M. H.; ENDRES-JÚNIOR, D.; PETRY, C. T.; DROSTE, A. The *Tradescantia pallida* var. *purpurea* active bioassay for water monitoring: evaluating and comparing methodological conditions. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 424-433, 2014. <http://dx.doi.org/10.4136/ambienteagua.1411>
- COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS - COMITESINOS. **Deliberação CBHSINOS042** – Da definição do enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em: http://www.comitesinos.com.br/wp-content/uploads/2014/06/42DelibEnquadramento_mar14COORD.pdf. Acesso em: 27 ago. 2015.
- CHUAN, M. C.; LIU J. C. Release behaviour of chromium from tannery sludge. **Water Research**, v. 30, p. 932-938, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00227-8](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(95)00227-8)
- DALLA VECCHIA, A. D.; RIGOTTO, C.; STAGGEMEIER, R.; SOLIMAN, M. C.; SOUZA, F. G.; HENZEL, A. et al. Surface water quality in the Sinos River basin, in Southern Brazil: tracking microbiological contamination and correlation with physicochemical parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 9899-9911, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4175-6>

- ENDRES-JÚNIOR, D.; SASAMORI, M. H.; CASSANEGO, M. B. B.; DROSTE, A. Biomonitoring of water genotoxicity in a Conservation Unit in the Sinos River Basin, Southern Brazil, using the *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 2, supl., p. 91-97, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.0713>
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER - FEPAM. **Qualidade ambiental – região hidrográfica do Guaíba**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp. Acesso em: 30 jun. 2015.
- KIELING-RUBIO, M. A.; BENVENUTI, T.; COSTA, G. M.; PETRY, C. T.; RODRIGUES, M. A. S.; SCHMITT, J. L. et al. Integrated environmental assessment of streams in the Sinos River basin in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 2, supl., p. 105-113, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.1013>
- KOTAŚ J.; STASICK A. Z. Chromium occurrence in the environment and methods if its speciation. **Environmental Pollution**, v. 107, p. 263-283, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00168-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00168-2)
- MA, T. H.; CABRERA, G. L.; CHEN, R.; GILL, B. S.; SANDHU, S. S.; VANDENBERG, A. L. et al. *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Mutation Research**, v. 310, p. 221-230, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107\(94\)90115-5](http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107(94)90115-5)
- MERLO, C.; ABRIL, A.; AMÉ, M. V.; ARGÜELO, G. A.; CARRERAS, H. A.; CHIPPERO, M. S. et al. Integral assessment of pollution in the Suquía River (Córdoba, Argentina) as a contribution to lotic ecosystem restoration programs. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 5034-5045, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.037>
- NASCIMENTO, C. A.; NAIME, R. Monitoramento de pH, temperatura, OD, DBO e condições microbiológicas das águas do arroio Pampa em Novo Hamburgo (RS). **Estudos Tecnológicos**, v. 5, n. 2, p. 227-244, 2009.
- NASCIMENTO, C. A. A.; STAGGEMEIER, R. A.; BIANCHI, E. A.; RODRIGUES, M. T. A.; FABRES, R. A.; SOLIMAN, M. C. A. et al. Monitoring of metals, organic compounds and coliforms in water catchment points from the Sinos River basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 2, supl., p. 50-56, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.1613>
- NOVO HAMBURGO. Prefeitura Municipal - PMNH. **Novo Hamburgo: passado e futuro**. Disponível em: <http://www.novohamburgo.rs.gov.br/modules/catasp/novohamburgo.php?conteudo=70>. Acesso em: 22 jun. 2015.
- NUNES, E. A.; LEMOS, C. T.; GAVRONSKI, L.; MOREIRA, T. N.; OLIVEIRA, N. C. D.; SILVA, J. Genotoxic assessment on river water using different biological systems. **Chemosphere**, v. 84, n. 1, p. 47-53, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.085>
- OLIVEIRA, J. P. W.; SANTOS, R. N.; PIBERNAT, C. C.; BOEIRA, J. M. Genotoxicity and physical chemistry analysis of Waters from Sinos River (RS) using *Allium cepa* and *Eichhornia crassipes* as bioindicators. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p. 15-22, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/2316-5200.2012v1n1p15>

- PAWLIKOWSKI, M.; SZALIŃSKA, E.; WARDAS, M.; DOMINIK, J. Chromium originating from tanneries in river sediments: a preliminary investigation from the upper Dunajec river (Poland). **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 15, n. 6, p. 885-894, 2006.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B.L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Science**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.
- PEREIRA, B. B.; CAMPOS-JUNIOR, E. O.; MORELLI, S. *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 87, p. 17-22, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.10.003>
- PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300018>
- ROBAINA, L. E.; FORMOSO, M. L. L.; PIRES, C. A. F. Metais pesados nos sedimentos de corrente como indicadores de risco ambiental – Vale dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20020008>
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.
- WALSH, A. R.; O'HALLORAN, J. Chromium speciation in tannery effluent – II. Speciation in the effluent and in a receiving estuary. **Water Research**, v. 30, n. 10, p. 2393-2400, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00174-1](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(96)00174-1)