

Monitoramento químico e do potencial genotóxico para o diagnóstico da qualidade de corpos hídricos

Chemical and genotoxic potential monitoring for diagnosis of water bodies quality

RESUMO

As bacias hidrográficas com forte urbanização estão sujeitas a impactos antrópicos que comprometem a qualidade dos corpos hídricos. Parâmetros químicos e indicadores biológicos fornecem dados relevantes sobre os potenciais efeitos dos poluentes hídricos sobre os organismos vivos. O objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da água do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos em Campo Bom (RS, Brasil) por meio de parâmetros químicos e com *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. O monitoramento da água foi sazonal, durante um ano. A água dos três pontos amostrais foi enquadrada na classe 4 conforme a legislação nacional e o índice de contaminação por tóxicos foi considerado alto. A água da foz do arroio apresentou o maior índice de estado trófico. *Tradescantia pallida* var. *purpurea* evidenciou genotoxicidade da água do arroio e do rio.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade da água, poluentes, genotoxicidade

ABSTRACT

Watersheds with strong urbanization are subject to human impacts that may compromise the quality of water bodies. Chemical parameters and biological indicators provide relevant data on the potential effects of water pollutants on living organisms. The aim of this study was to evaluate the water quality of the Schmidt stream and the Sinos River in Campo Bom (RS, Brazil), using chemical parameters and *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. Water monitoring was seasonal, during one year. The water of the three sampling sites was classified as class 4 according to the national legislation, and the toxic contamination index was considered high. The water from the mouth of the stream presented the highest trophic state index. *Tradescantia pallida* var. *purpurea* evidenced water genotoxicity of the stream and river.

KEYWORDS: water quality, pollutants, genotoxicity

Gustavo Marques da Costa
Doutorando em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale
Novo Hamburgo, RS, Brasil
markesdakosta@hotmail.com

Mara Betânia Brizola Cassanego
Doutoranda em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale
Novo Hamburgo, RS, Brasil
maxyuri@terra.com.br

Camila Tamires Petry
Graduanda do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Feevale
Novo Hamburgo, RS, Brasil
camilapetry@yahoo.com.br

Tatiane Benvenuti
Doutoranda em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS
Porto Alegre, RS, Brasil
tati.eng.biobio@gmail.com

Maria Angélica Kieling Rubio
Doutora em Botânica, UFRGS
Porto Alegre, RS, Brasil
angelrubio@ig.com.br

Marco Antônio Siqueira Rodrigues
Professor do PPG em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale
Novo Hamburgo, RS, Brasil
marcor@feevale.br

Annette Droste
Professora do PPG em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale
Novo Hamburgo, RS, Brasil
annette@feevale.br

INTRODUÇÃO

A poluição dos corpos hídricos constitui um dos grandes problemas ambientais em função do crescimento populacional e do lançamento de resíduos industriais e domésticos, que levam ao aumento das cargas poluidoras pontuais e difusas nos corpos d'água (CAMPANHA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012), podendo causar danos irreversíveis ou até letais a biota, além de inúmeras doenças na população humana (TUNDISI, 2003; SOUZA *et al.*, 2012).

A Bacia do Rio dos Sinos ocupa uma área com cerca de 3.800 km², localizada na região leste do Estado do Rio Grande do Sul, e abrange 32 municípios que desenvolvem diferentes atividades econômicas, como indústria e agricultura. O Rio dos Sinos, principal curso hídrico da bacia, apresenta uma extensão de 190 km, caracterizado em três terços, denominados de trecho superior, médio e inferior e já apresentou a qualidade de água mais baixa do Brasil (FIGUEIREDO *et al.*, 2010; HUPFFER *et al.*, 2012; FEPAM, 2013). Dentre os principais afluentes do Rio dos Sinos, no trecho inferior da bacia, destaca-se o arroio Schmidt, localizado em um importante polo da indústria coureiro-calçadista (IBGE, 2013), no município de Campo Bom (ROBAINA *et al.*, 2002).

Neste contexto, a preocupação com o estado de degradação de corpos hídricos induz a necessidade de se estabelecer métodos analíticos eficientes para avaliação e gestão ambiental (RODRIGUES e CASTRO, 2008). O monitoramento dos cursos d'água normalmente é realizado por meio da avaliação físico-química e bacteriológica para enquadramento utilizando parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2005). Parâmetros como a concentração de fósforo, nitrogênio e demanda de oxigênio são indicadores típicos de

contaminação antrópica por matéria orgânica, destacando-se o esgoto doméstico, enquanto que os metais podem refletir desde a formação geológica da região avaliada, até a ocorrência de poluentes provenientes de atividades industriais. Contudo, estes parâmetros, quando analisados isoladamente, podem subestimar a real magnitude dos danos que estão sendo causados aos ecossistemas aquáticos (KARR e CHU, 1999).

Vários índices de qualidade de água vêm sendo desenvolvidos avaliando um conjunto de parâmetros que permitem diagnosticar o grau de conservação ou degradação dos corpos hídricos (RODRIGUES e CASTRO, 2008). Sendo assim, o monitoramento com organismos bioindicadores pode ser um parâmetro para integrar a avaliação da qualidade da água (UMBUZEIRO *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Plantas bioindicadoras vêm sendo integradas em estudos de monitoramento da qualidade da água por serem sensíveis a misturas complexas de poluentes hídricos (DUAN *et al.*, 1999; GRISOLIA e STARLING, 2001). *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* Boom, espécie bem adaptada aos climas sub-tropical e tropical, apresenta alta sensibilidade a agentes genotóxicos presentes em corpos hídricos e águas residuais provenientes de esgotos domésticos (UMBUZEIRO *et al.*, 2007; MIELLI *et al.*, 2009; THEWES *et al.*, 2011).

A avaliação da qualidade da água é importante para a demanda e o abastecimento público. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) dispõe dos seguintes instrumentos para gestão e utilização de corpos hídricos: os planos de recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso da água, o sistema de informações sobre os recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água e a cobrança pelo uso da água bruta (BRASIL, 1997). Esta Política destaca a importância da avaliação integrada da qualidade e da quantidade da água para o

enquadramento dos corpos hídricos, considerando os usos preponderantes, de forma a viabilizar a gestão sistemática.

Considerando a forte intervenção antrópica no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos no município de Campo Bom por meio de parâmetros químicos e do bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Campo Bom localiza-se na região metropolitana de Porto Alegre, distante aproximadamente 50 km da capital do Rio Grande do Sul, Brasil. Pertencente a uma das regiões do estado com maior número de atividades industriais e com elevada ocupação urbana, este município faz parte do trecho inferior da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, com uma população de 60.074 habitantes, distribuídos em uma área de 61 km², residindo principalmente na área urbana. A base econômica de Campo Bom é formada por indústrias calçadistas, metalúrgicas e olarias (ROBAINA *et al.*, 2002; IBGE, 2013; FEE, 2013).

Os pontos de coleta das amostras de água situam-se no arroio Schmidt (nascente: 29°39'0,23"S e 51°4'49,99"O 68 m alt. e foz: 29°41'22,00"S e 51°2'40,83"O, 11 m alt.) e em um ponto no Rio dos Sinos (29°41'29,7"S e 51°02'11,1"O, 11 m alt.), no município de Campo Bom (Figura 1).

Coleta das amostras e análises químicas da água

As amostras de água foram coletadas na superfície dos pontos amostrais do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos, no inverno e na primavera

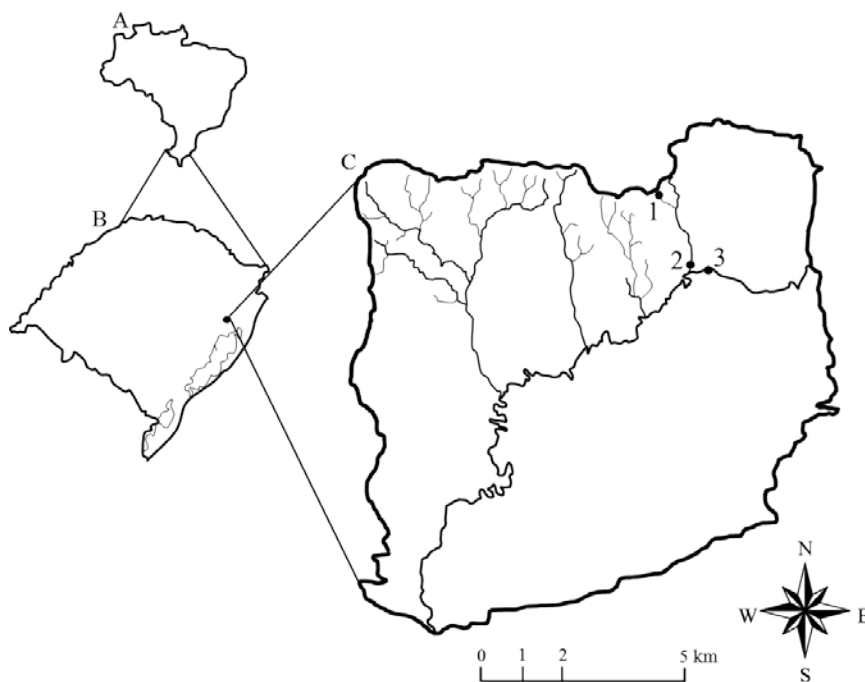


Figura 1 - Localização dos pontos amostrais no município de Campo Bom: (1) nascente do arroio Schmidt; (2) foz do arroio Schmidt; (3) Rio dos Sinos, no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos (C), Rio Grande do Sul (B), Brasil (A)

de 2012 e no verão e no outono de 2013. O transporte das amostras ao laboratório foi realizado de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 9898, 1987) e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). As análises químicas da água foram realizadas conforme metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Os parâmetros analisados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), sólidos suspensos totais (SST) e os metais cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo total (Cr_{total}) e zinco (Zn). Os resultados obtidos em cada parâmetro analisado foram comparados com os valores determinados na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Enquadramento das classes de águas doces

O enquadramento das classes de águas doces foi realizado conforme a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que estabelece valores máximos para os diferentes parâmetros físico-químicos.

Índice de contaminação por tóxicos (ICT)

De acordo com a metodologia desenvolvida pelo IGAM (Instituto de Gerenciamento Ambiental de Minas Gerais - Brasil), é possível classificar os corpos hídricos, nos pontos de monitoramento, de acordo com a concentração de alguns parâmetros tóxicos, como Cd, Pb, Cu, Cr e Zn, baseado na concentração limite indicada na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). No monitoramento realizado, foi considerada a concentração limite

estabelecida para as águas de classe 1.

O índice de contaminação por tóxicos (ICT) pode ser “baixo”, “médio” ou “alto”, se as concentrações dos parâmetros avaliados forem iguais ou inferiores a 20% dos limites estabelecidos, estiverem entre 20% e 100% ou, ainda, acima de 100% dos limites da legislação, respectivamente. A pior situação do conjunto de resultados define a faixa de contaminação. Assim, se um dos parâmetros apresenta valor acima de 100% (o dobro da concentração limite), em pelo menos uma das estações do ano, a contaminação no ponto de amostragem será classificada como alta (IGAM, 2012).

Índice de estado trófico (IET)

O índice de estado trófico (IET) permite classificar corpos d’água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por

$$IET = 10 \left(6 - \frac{(0,42 - 0,36 \times \ln(PT))}{\ln(2)} \right) - 20 \quad (1)$$

nutrientes (ALMEIDA *et al.*, 2009). No índice IET, os resultados calculados a partir dos valores de fósforo são uma medida do potencial de eutrofização de rios, conforme Lamparelli (2004) e Fia *et al.* (2009), pela equação 1.

Os valores para a determinação do Índice de Estado Trófico foram de: IET ≤ 47 para ultraligotrófico, 47 < IET ≤ 52 para oligotrófico, 52 < IET ≤ 59 para mesotrófico, 59 < IET ≤ 63 para eutrófico, 63 < IET ≤ 67 para supereutrófico e IET > 67 para hipereutrófico, onde o fósforo total (PT) é expresso em µg/L (ALVES *et al.*, 2012).

Cultivo das plantas e bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea*

Amostras de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivadas em vasos (37 cm x 20 cm x 20 cm), contendo 4 kg de solo comercial, em uma área não-poluída da universidade. As plantas foram regadas três vezes por semana. A exposição das plantas, a fixação e o armazenamento das inflorescências, bem como a preparação das lâminas foram realizados de acordo com Thewes *et al.* (2011). Após 24 h de adaptação em água destilada, as inflorescências foram expostas por 8 h às amostras de água do arroio e do rio e recuperadas por 24 h em água destilada. Sete lâminas foram preparadas para cada amostra. Simultaneamente, foi realizado o controle negativo, seguindo a metodologia descrita acima, porém substituindo a água das amostras por água destilada. Para a contagem dos micronúcleos (MCN) foram observadas 300 tétrades por lâmina, em um total de sete lâminas por ponto amostral, em microscopia óptica, aumento de 400x. As frequências de micronúcleos foram expressas em MCN/100 tétrades (THEWES *et al.*, 2011).

Análise estatística dos dados do bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea*

As frequências de MCN obtidas nas amostras de água em cada estação foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa SPSS versão 20.

RESULTADOS

Análises químicas

Na nascente do arroio Schmidt, a maioria das concentrações dos parâmetros analisados se mantiveram baixas durante o período de amostragem, com exceção da DBO₅, que apresentou valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 1, em todas as estações (BRASIL, 2005) (Tabela 1).

Os parâmetros indicativos de contaminação de origem orgânica (DBO₅ e NTK) e os metais cádmio (Cd) e chumbo (Pb) apresentaram maior concentração na foz do arroio Schmidt e no Rio dos Sinos, estando acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, enquanto que o zinco (Zn) apresentou-se em concentrações abaixo do definido para a classe 1 (BRASIL, 2005), embora detectado em todas as amostras avaliadas (Tabela 1).

Enquadramento das águas doces, ICT e IET

A água dos pontos amostrais do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos foi enquadrada na classe 4 para águas doces, sendo imprópria para consumo humano segundo a Resolução CONAMA 357/2005, em

função da alta concentração de DBO₅ e NTK (BRASIL, 2005) (Tabela 1).

O índice de contaminação por tóxicos (ICT) foi considerado alto nos três pontos amostrados devido às altas concentrações de Cd no rio e de Pb na nascente e na foz do arroio, embora em algumas amostras este índice tenha sido classificado como médio, devido às concentrações de alguns parâmetros apresentarem-se entre 20% e 100% acima do limite estabelecido. Para os metais Zn, Cr e Cu, o ICT foi baixo em todo o período amostrado e nos três pontos amostrais, por apresentar concentrações inferiores a 20% do limite estabelecido (Tabela 2).

De acordo com o índice de estado trófico (IET), a água da nascente do arroio apresentou a melhor condição, onde a concentração média obtida para o fósforo total (PT) indicou estado mesotrófico. Na foz do arroio, o estado trófico foi classificado como hipereutrófico, em função da alta concentração de fósforo total na água, enquanto que a água do rio foi caracterizada como eutrófica (Tabela 2).

Bioensaio em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* (Trad-MCN)

Nos pontos amostrados no arroio Schmidt e no Rio dos Sinos, os botões florais expostos às amostras de água do rio apresentaram frequência de MCN significativamente maior, enquanto que botões expostos à água da foz do arroio apresentaram frequência intermediária e aqueles expostos às amostras da nascente e do controle negativo apresentaram frequências estatisticamente inferiores, no inverno (F=25,222; p<0,001). A frequência de MCN das amostras do Rio dos Sinos foi significativamente superior em relação às observadas para a nascente e a foz que não diferiram entre si, na primavera. Contudo, as frequências de MCN das amostras da foz e do rio diferiram

Tabela 1 - Características químicas das amostras de água do arroio Schmidt (nascente e foz) e do Rio dos Sinos coletadas no inverno e na primavera de 2012 e no verão e no outono de 2013

Parâmetros	Inverno			Primavera			Verão			Outono			Padrão/Classe 1
	Nascente	Foz	Rio	Nascente	Foz	Rio	Nascente	Foz	Rio	Nascente	Foz	Rio	Conama 357/2005
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	8,0	30,0	7,0	10,0	36,0	6,0	<5,0	16,0	<5,0	13,0	21,0	10	≤ 3,0
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	9,5	41,7	12,4	10,5	57,4	14,7	8,6	24,7	18,8	14,3	41,6	14,7	n.i
PT (mg L ⁻¹)	0,02	1,31	0,07	0,03	1,59	0,1	0,25	0,31	0,14	n.d.	0,52	0,24	0,1
NTK (mg L ⁻¹)	1,10	13,55	n.d.	0,86	15,93	1,36	1,12	6,41	2,73	12,13	10,79	2,1	2,18
SST (mg L ⁻¹)	13,7	28,5	9,8	4,8	14,0	12,0	8,8	18,4	46,8	7,0	4,3	19,8	n.i
Cd (mg L ⁻¹)	0,002	0,002	n.d.	n.d.	n.d.	0,006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,002	0,004	0,001
Pb (mg L ⁻¹)	0,011	n.d.	0,015	n.d.	n.d.	0,012	0,033	0,031	0,023	n.d.	n.d.	n.d.	0,01
Cu (mg L ⁻¹)	n.d.	n.d.	0,002	n.d.	n.d.	0,003	0,005	0,003	0,006	n.d.	n.d.	0,007	0,009
Cr Total (mg L ⁻¹)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,008	0,05
Zn (mg L ⁻¹)	0,006	0,016	0,015	0,021	0,027	0,026	0,043	0,038	0,025	0,023	0,037	0,038	0,18

n.d. = não detectado pelo método analítico; n.i. = não informado pela Resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 2 - Enquadramento das classes de água doce, índice de contaminação por tóxicos (ICT) e índice de estado trófico (IET) nos pontos amostrais do arroio Schmidt (nascente e foz) e do Rio dos Sinos a partir dos valores médios das análises químicas das amostras de água

	Arroio Schmidt (nascente)	Arroio Schmidt (foz)	Rio dos Sinos
Classe	4	4	4
ICT	Alto	Alto	Alto
IET	Mesotrófico	Hipereutrófico	Eutrófico

Tabela 3 - Frequência de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos às amostras de água do arroio Schmidt (nascente e foz), do Rio dos Sinos e do controle negativo, no inverno e na primavera de 2012 e no verão e no outono de 2013

Pontos Amostrais	Frequência de MCN (média ± desvio padrão)				F	p
	Inverno	Primavera	Verão	Outono		
Arroio/Nascente	1,71 ± 0,40cAB	2,14 ± 0,32bcA	2,52 ± 0,72bcA	1,62 ± 0,65bB	4,035	0,019
Arroio/Foz	3,52 ± 1,07bA	2,38 ± 0,62bBC	3,19 ± 0,86abAB	1,62 ± 0,65bC	8,811	<0,001
Rio dos Sinos	4,81 ± 0,74aA	3,71 ± 0,56aAB	3,81 ± 1,14aAB	3,28 ± 0,23aB	4,517	0,012
Controle	1,85 ± 0,74cA	1,62 ± 0,30cA	1,43 ± 0,50cA	1,33 ± 0,27bA	1,555	0,226
F	25,222	24,917	10,421	22,842		
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		

Na coluna, letras minúsculas indicam diferença significativa entre os pontos amostrais e o controle negativo e na linha, letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as estações do ano, pelo teste de Tukey (p=0,05)

do controle negativo que não apresentou diferença significativa em relação à nascente (F=24,917; p<0,001) (Tabela 3).

Os botões expostos às amostras de água do rio apresentaram frequência de MCN significativamente maiores, diferindo dos botões expostos na nascente e no controle negativo, no verão. No entanto, a frequência de MCN observada na foz não diferiu estatisticamente da nascente, embora diferisse do controle negativo que foi semelhante à nascente (F=10,421; p<0,001). A maior frequência de MCN foi observada nas amostras do rio, no outono, diferindo estatisticamente da nascente, foz e do controle negativo que não diferiram entre si (F=22,842; p<0,001) (Tabela 3).

Durante as estações monitoradas, os botões expostos às amostras de água da nascente do arroio apresentaram frequências de MCN significativamente diferentes entre o outono e o verão, sendo semelhantes entre as demais estações (F=4,035; p=0,019). Na foz, houve diferença significativa entre as frequências de MCN obtidas no inverno e no outono (F=8,811; p<0,001). No rio, as frequências de MCN também diferiram estatisticamente entre o inverno e o outono (F=4,517; p=0,012). Entre as estações, não houve diferença significativa nas frequências de MCN observadas para o controle negativo (F=1,155; p=0,226) (Tabela 3).

DISCUSSÃO

As amostras de água do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos foram enquadradas na classe 4, em função de pelo menos um dos parâmetros analisados ter apresentado valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

A presença de sólidos suspensos totais foi observada em todas as amostras de água. A ocorrência se justifica pelo transporte de sedimentos e por matéria orgânica, constituída por folhas e húmus, podendo também estar associada à pluviosidade (NAIME e FAGUNDES, 2005). Aumentos de concentração de SST nos esgotos sanitários podem estar acompanhados por aumentos da concentração de DBO₅ (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003). O aumento da carga de sedimentos

pode ser provocado principalmente pela falta de proteção do solo, somado ao lançamento de resíduos sólidos e esgotos no sistema de drenagem (BARROS e SOUZA, 2012).

Na foz do arroio Schmidt, o efeito cumulativo de efluentes industriais e de esgotos, bem como a presença de resíduos de atividades agropecuárias, contribui para uma elevada concentração de DQO e DBO₅. As concentrações de DBO₅ na foz variaram entre 16 e 36 mg O₂ L⁻¹, estando acima do estabelecido para a classe 3 (BRASIL, 2005). Barros e Souza (2012) observaram concentrações elevadas de DBO₅, entre 12,0 e 16,0 mg L⁻¹ no córrego André em Mirassol D'Oeste, Mato Grosso, destacando que estes valores também podem estar relacionados com a carga de efluentes domésticos e industriais e com a baixa vazão do córrego. No ponto amostral do Rio dos Sinos, a concentração de DBO₅ foi menor, provavelmente por ser um corpo com maior volume hídrico.

O índice de contaminação por tóxicos foi considerado alto em função dos metais pesados cádmio e chumbo apresentarem-se em concentrações superiores aos limites estabelecidos para águas de classe 1, nos três pontos amostrados (BRASIL, 2005). Robaina *et al.* (2002) avaliaram a presença de metais em sedimentos do Rio dos Sinos e de afluentes. Dentre os afluentes avaliados, o arroio Schmidt apresentou risco moderado para o chumbo, enquanto que no Rio dos Sinos foram observadas condições de risco baixo ou muito baixo para o cádmio e o chumbo. No entanto, Vargas *et al.* (2001) haviam registrado anteriormente concentrações elevadas de chumbo no Rio dos Sinos, principalmente em seu trecho inferior. Este metal pode ser proveniente de indústrias metalúrgicas e curtumes, causando efeitos tóxicos e genotóxicos aos organismos aquáticos.

Considerando os valores médios da concentração de fósforo total, o índice de estado trófico foi

classificado em mesotrófico, hipereutrófico e eutrófico na nascente e na foz do arroio, e no rio, respectivamente, corroborando com os resultados obtidos por Cunha *et al.* (2013). O índice de estado trófico calculado para cada um dos pontos pode ser devido à eutrofização natural, que é o resultado da descarga de nitrogênio e fósforo nos ecossistemas aquáticos ou pode ocorrer em função dos despejos de esgotos domésticos e industriais e de fertilizantes aplicados na agricultura, o que acelera o processo de enriquecimento de algas e macrófitas nas águas superficiais (ALMEIDA *et al.*, 2009). Na região da Bacia do Rio dos Sinos, o tratamento do esgoto, na maioria dos municípios, ainda é baixo, o que pode estar contribuindo para a eutrofização dos corpos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Segundo Fia *et al.* (2009), o índice de estado trófico avalia o impacto relacionado às atividades antrópicas nas bacias hidrográficas, auxiliando na formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visam à sustentabilidade dos recursos hídricos.

As frequências de MCN observadas nos botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* evidenciaram genotoxicidade da água na foz do arroio Schmidt e no Rio dos Sinos, uma vez que foram superiores às frequências observadas nos botões expostos à água do controle, que variam de 1,33 a 1,85 MCN, alertando sobre os possíveis efeitos genotóxicos dos poluentes hídricos sobre os organismos. Pereira *et al.* (2013) consideraram como resultado de mutações espontâneas frequências de até 2,0 MCN/100 tétrades em plantas cultivadas em ambientes desprovidos de poluição. Os botões expostos às amostras de água do Rio dos Sinos apresentaram as maiores frequências, variando de 3,28 a 4,81 MCN. O efeito genotóxico de corpos hídricos também foi previamente relatado para clones de

Tradescantia e para *T. pallida*. Ruiz *et al.* (1992) avaliaram a genotoxicidade da água de um canal que recebe efluentes industriais, em Queretaro (México), observando frequências de MCN entre 2,5 e 9,0 em *Tradescantia* clone 4430, superiores ao controle (1,5). Jiang *et al.* (1999), observaram frequências de 5,2 a 7,0 MCN em *Tradescantia* clone 03 expostas às amostras de água coletadas em diferentes pontos do Rio Lijang, China. No rio Panlong, também na China, foram observadas frequências de MCN entre 3,19 e 8,53 em *Tradescantia* clone 4430 (Duan *et al.*, 1999). Umbuzeiro *et al.* (2007) realizaram um estudo em um tributário do Rio Cristais em São Paulo, usando *T. pallida* e verificaram uma frequência de 1,8 MCN no tributário, considerado como ponto de referência e 6,2 MCN a jusante de uma indústria têxtil no rio.

Apesar de as amostras de água da nascente do arroio Schmidt não terem apresentado potencial genotóxico significativo, as frequências de MCN foram significativamente maiores em relação ao controle, na primavera e no verão. Estudos adicionais são necessários para verificar se a nascente do arroio Schmidt pode ser considerada como uma área de referência quanto ao potencial genotóxico da água, uma vez que os índices de qualidade da água caracterizaram as amostras como impróprias para o consumo humano.

Embora os valores de metais pesados como cobre, cromo e zinco obtidos para as águas do arroio Schmidt e do Rio dos Sinos tenham estado abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, substâncias genotóxicas ainda não investigadas ou combinações químicas mutagênicas podem ter contribuído para o aumento da frequência de MCN. Dentre os metais analisados, o cádmio e o chumbo podem ter apresentado um efeito genotóxico sobre *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, considerando que apresentaram

valores superiores aos estabelecidos pela legislação brasileira. Os metais pesados são tóxicos aos organismos podendo ser transferidos através da cadeia alimentar causando doenças como deficiência em cálcio e saturnismo (BOUZON *et al.*, 2012; PEREIRA, 2004). Em um estudo realizado na Bacia do Rio dos Sinos, Vargas *et al.* (2001) encontraram concentrações elevadas de metais pesados, alertando sobre a possibilidade de genotoxicidade em *Salmonella*.

O cenário observado no arroio Schmidt e no ponto amostral do Rio dos Sinos tem sido também registrado para outros corpos hídricos da Bacia do Rio dos Sinos. Níveis aumentados de poluentes foram detectados na água do terço inferior do Rio dos Sinos (BLUME *et al.*, 2010), o que reforça significativa toxicidade observada em *Daphnia similis*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia* e *Hyalella azteca*, quando expostas às amostras de água do arroio Estância Velha, afluente deste rio (MITTEREGGER-JÚNIOR *et al.*, 2007). Scalon *et al.* (2010) verificaram genotoxicidade em peixes expostos em amostras de água coletadas ao longo do rio.

Para uma efetiva gestão dos recursos hídricos, considerando os instrumentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), é requisito a obtenção de informações sobre as características e o comportamento de fatores bióticos e abióticos, bem como acerca das interações entre estes (NAIME e FAGUNDES, 2005), assim que se possa identificar e gerenciar de forma adequada as possíveis fontes de poluição e os riscos ambientais aos quais os organismos vivos estão expostos. Considerar de forma sistêmica o conjunto de fatores para o monitoramento de corpos hídricos é de relevância para o reconhecimento de sua condição e das variáveis que interferem na sua qualidade, objetivando assegurar a disponibilidade de água à atual e às

futuras gerações em padrões adequados aos respectivos usos.

CONCLUSÃO

Os ambientes aquáticos têm sofrido interferências de origem antrópica que têm introduzido significativas quantidades de diferentes substâncias biologicamente ativas, incluindo compostos químicos orgânicos e inorgânicos. Mesmo que tais poluentes estejam em conformidade com a legislação vigente, estes podem acumular-se na biota aquática em concentrações superiores àquelas detectadas no ambiente, sendo capazes de ocasionar efeitos adversos potencialmente tóxicos e genotóxicos.

Os parâmetros utilizados no presente estudo foram capazes de apontar as condições peculiares de cada ambiente avaliado em relação a variações sazonais e efeitos antrópicos, constituindo indicadores significativos que podem integrar programas de gerenciamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Feevale pela infraestrutura disponibilizada, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de doutorado de G. M. Costa (CAPES/FAPERGS) e M. B. B. Cassanego (CAPES/PROSUP); à Universidade Feevale pela bolsa de IC de C. T. Petry; ao Ministério da Ciência e Tecnologia Financiadora de Estudos e Projetos (MCT/FINEP) pelo suporte financeiro (Processo 551923/2011-3); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas (DTI-B) concedidas à T. Benvenuti e M. A. Kieling-Rubio.

REFERÊNCIAS

ABNT/NBR 9898 - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

ALMEIDA, V. L. S. *et al.* Zooplanktonic community of six reservoirs in northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n.1, p. 57-65, 2009.

ALVES, I. C. C. *et al.* Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, v. 42, n.1, p. 115-124, 2012.

APHA - **American Public Health Association**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC. 1220p, 2005.

BARROS, R. V. G.; SOUZA, C. A. Qualidade do recurso hídrico do Córrego André, Mirassol D'Oeste, MT. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 24, p. 1-16, 2012.

BLUME, K. K. *et al.* Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1185-1193, 2010.

BOUZON, Z. L. *et al.* Influences of cadmium on fine structure and metabolism of *Hypnea musciformis* (Rodophyta, Gigartinales) cultivated *in vitro*. **Protoplasma**, v. 249, p. 637-650, 2012.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente** - CONAMA. Resolução n. 357 de 03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <
<http://mma.gov.br/port/conama/res>

/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/lais/lei9433.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

CAMPANHA, M. B. *et al.* Variabilidade espacial e temporal de parâmetros físico-químicos nos rios Turvo, Preto e Grande no Estado de qualidade da água de rios. **Caderno de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.

CUNHA, R. W. *et al.* Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 770-779, 2013.

DUAN, C. Q. *et al.* *Tradescantia* bioassays for the determination of genotoxicity of water in the Panlong River, Kunming, People's Republic of China. **Mutation Research**, v. 426, p. 127-131, 1999.

FEE - **Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul**, 2013. Disponível em: <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php>. Acesso em: 14 nov. 2011.

FEPAM - **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler**, 2013. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp>. Acesso em: 19 mar. 2013.

FIA, R. *et al.* Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.1, p. 132-141, 2009.

FIGUEIREDO, J. A. S. *et al.* The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. **Brazilian**

Journal of Biology, v. 70, n. 4, p. 1131-1136, 2010.

GRISOLIA, C. K.; STARLING, F. L. R. M. Micronuclei monitoring of fishes from Lake Paranoá, under influence of sewage treatment plant discharges. **Mutation Research**, v. 491, p. 39-44, 2001.

HUPFFER, H. M.; ASHTON, M. S. G.; NAIME, R. A sustentabilidade em crise no Rio dos Sinos, RS: o sistema jurídico brasileiro e as possibilidades de turismo sustentável. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 26, p. 1-12, 2012.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/linl.php?uf=rs>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

IGAM - **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Minas Gerais Institute of Water Management - Brazil, Qualidade das águas, 2012. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/qualidade-das-aguas>>. Acesso em: 26 jun. 2013.

JIANG, Y. G. *et al.* Genotoxicity of water samples from the scenic Lijang river in the Guilin area, China, evaluated by *Tradescantia* bioassays. **Mutation Research**, v. 426, p. 137-141, 1999.

KARR, J., CHU, E. W. **Restoring life in running waters: better biological monitoring**. Washington: Inland Press, 1999.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP/Departamento de Ecologia, 2004. 235f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

MIELLI, A. C. *et al.* Evaluation of the genotoxicity of treated urban sludge

in the *Tradescantia* micronucleus assay. **Mutation Research**, v. 672, p. 51-54, 2009.

MITTEREGGER-JÚNIOR, H. *et al.* Evaluation of genotoxicity and toxicity of water and sediment samples from a Brazilian stream influenced by tannery industries. **Chemosphere**, v. 7, n. 6, p. 1211-1217, 2007.

NAIME, R.; FAGUNDES, R. S. Controle da Qualidade da água do Arroio Portão, RS. Instituto de Geociências, UFRGS, **Pesquisa em Geociências**, v. 32, n. 1, p. 27-35, 2005.

OLIVEIRA, J. P. W. *et al.* Genotoxicity and physical chemistry analysis of Waters from Sinos River (RS) using *Allium cepa* and *Eichhornia crassipes* as bioindicators. **BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p. 15-22, 2012.

PEREIRA, B. B.; CAMPOS JÚNIOR, 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.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH – UFRGS, v. 1, n. 1, p. 20-36, 2004.

ROBAINA, L. E.; FORMOSO, M. L. L.; PIRES, C. A. F. Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002.

RODRIGUES A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos Complementares no Monitoramento dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008.

Recebido em: ago/2013
Aprovado em: jun/2014

RUIZ, E. F. *et al.* *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) bioassay on clastogenicity of wastewater and *in situ* monitoring. **Mutation Research**, v. 270, p. 45-51, 1992.

SCALON, M. C. S. *et al.* Evaluation of Sinos River water genotoxicity using the comet assay in fish. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1217-1222, 2010.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n. 2, p. 9-18, 2013.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; DAVID-STENSEL, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse** In: Metcalf & Eddy, Inc. 4th ed. New York McGraw-Hill Companies (McGraw-Hill Series in Civil and Environmental Engineering), p. 1819, 2003.

THEWES, M. R.; ENDRES JUNIOR, D.; DROSTE, A. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. **Genetics and Molecular Biology**, v. 34, n. 4, p. 689-693, 2011.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. **MultiCiências**, v. 1, p. 1-15, 2003.

UMBUZEIRO, G. A. *et al.* Mutagenic activity assessment of Cristais River, São Paulo, Brazil, using the blue rayon/*Salmonella* microsome and the *Tradescantia pallida* micronuclei assays. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 2, p. 163-171, 2007.

VARGAS, V. M. F. *et al.* Genotoxicity assessment in aquatic environments under the influence of heavy metals and organic contaminants. **Mutation Research**, v. 490, p. 141-158, 2001.