



AValiação DA GENOTOXICIDADE DO AR ATMOSFÉRICO EM ÁREAS URBANAS DA BACIA DO RIO DOS SINOS, RS, BRASIL

Mara Betânia Brizola Cassanego – maxyuri@terra.com.br
Universidade Feevale, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
RS 239, 2755, CEP 93352-000 – Novo Hamburgo – RS

Gustavo Marques da Costa - markesdakosta@hotmail.com
Universidade Feevale, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.

Annette Droste – annette@feevale.br
Universidade Feevale, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.

Resumo: *O presente estudo avaliou a genotoxicidade do ar atmosférico sobre Tradescantia pallida var. purpurea em áreas urbanas com diferentes intensidades de tráfego veicular na Bacia do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul, Brasil), considerando a influência de condições meteorológicas prevalentes nesses ambientes. Bimensalmente, de maio de 2013 a março de 2014, ramos com botões florais foram expostos por 8 h em áreas urbanas nos municípios de Caraá, Taquara e Campo Bom nos trechos superior, médio e inferior, respectivamente, da Bacia do Rio dos Sinos. Simultaneamente, foram realizados controles negativos e levantados dados meteorológicos. Frequências de micronúcleos (MCN) foram determinadas em tetrades jovens de células-mãe de grãos de pólen e expressas como MCN/100 tetrades. Frequências de MCN significativamente superiores foram observadas em botões florais expostos em Taquara e Campo Bom (até 3,77 e 4,20, respectivamente) do que em botões expostos em Caraá e no controle negativo (até 2,40 e 1,80, respectivamente), sendo que não houve diferença significativa entre Caraá e o controle negativo em todo o período avaliado. Foi observada relação positiva entre a frequência de MCN e o tráfego veicular, todavia, ao longo do período monitorado, não foi evidenciada associação entre a frequência de MCN e as condições meteorológicas levantadas. Tradescantia pallida var. purpurea pode ser considerada uma ferramenta útil para apontar áreas com poluição atmosférica aumentada, considerando que os danos genéticos evidenciados nos botões florais, provavelmente resultaram da ação de agentes atmosféricos potencialmente genotóxicos presentes nos ambientes onde o organismo indicador foi exposto.*

Palavras-chave: Bioensaio Trad-MCN, Poluentes, Qualidade ambiental, Tradescantia



EVALUATION THE GENOTOXICITY OF THE ATMOSPHERIC AIR IN URBAN AREAS IN THE SINOS RIVER BASIN, RS, BRAZIL

Abstract: *The present study evaluated the genotoxicity of the atmospheric air on Tradescantia pallida var. purpurea in urban areas with different intensities of vehicular traffic in the Sinos River Basin (Rio Grande do Sul, Brazil), considering the influence of meteorological conditions prevailing in these environments. Bimonthly, from May 2012 to March 2013, cuttings with flower buds were exposed for 8 h in urban areas in the municipalities of Caraá, Taquara and Campo Bom in the upper, middle and lower sections, respectively, of the Sinos River Basin. Simultaneously, negative controls were made and meteorological data were recorded. Micronuclei (MCN) frequencies were determined in young tetrads of pollen mother cells and expressed as MCN/100 tetrads. Significantly higher MCN frequencies were observed in buds exposed in Taquara and Campo Bom (up to 3.77 and 4.20, respectively) than exposed buds Caraá and negative control (up to 2.40 and 1.80, respectively), being there was no significant difference between Caraá and the negative control throughout the period study. There was a positive relation between the MCN frequency and vehicular traffic, however, over the period monitored, no significant association between the MCN frequency and meteorological conditions recorded. Tradescantia pallida var. purpurea can be considered a useful tool to pinpoint areas with increased air pollution, considering that the genetic damage evidenced in flower buds, probably resulted from the action of potentially genotoxic atmospheric agents present in environments where the indicator organism was exposed.*

Keywords: *Trad-MCN bioassay, Pollutants, Environmental quality, Tradescantia*

1. INTRODUÇÃO

Poluentes atmosféricos emitidos principalmente pelas indústrias, tráfego veicular e pelas práticas agrícolas inadequadas podem comprometer a qualidade dos componentes físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas (MERLO *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2014). Em centros urbanos, o aumento da frota veicular leva a uma menor capacidade de fluidez no trânsito o que acarreta em maior queima de combustíveis e o consequente aumento de poluentes para a atmosfera (CRISPIM *et al.*, 2012). O ar atmosférico nas regiões com aglomeração urbana geralmente apresenta uma variedade de poluentes originados de fontes móveis e estacionárias oriundas principalmente do tráfego veicular e de emissões industriais (TEIXEIRA *et al.*, 2008; MIGLIAVACCA *et al.*, 2012). Os principais poluentes liberados na atmosfera são dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃) e de nitrogênio (NO e NO₂), ozônio (O₃), material particulado (MP_{0,1}, MP_{2,5} e MP₁₀), compostos orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (MEIRELES *et al.*, 2009; TEIXEIRA *et al.*, 2012; CARRERAS *et al.*, 2013).

Alterações morfológicas, fisiológicas ou genéticas em microrganismos, plantas e animais incluindo à espécie humana podem ser consequência de substâncias químicas potencialmente tóxicas ou genotóxicas presentes na atmosfera (ISIDORI *et al.*, 2003; MARIANI *et al.*, 2009). A interação entre a poluição atmosférica e condições meteorológicas também pode causar efeitos sinérgicos ou antagônicos, resultando em danos aos organismos (BYTNEROWICZ *et al.*, 2007). Entretanto, a maioria dos estudos sobre a avaliação do risco dos contaminantes ambientais baseia-se em concentrações de substâncias simples detectadas por meio de análises químicas, sendo que os efeitos tóxicos e genotóxicos das complexas misturas de compostos ainda são pouco conhecidos (SAVÓIA *et al.*, 2009; MERLO *et al.*, 2011). No Brasil, estudos de avaliação do potencial genotóxico do ar



atmosférico em ambientes com diferentes impactos antrópicos, principalmente em regiões metropolitanas, têm sido realizados (SAVÓIA *et al.*, 2009; COSTA & DROSTE, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013). Entretanto, nos municípios da Bacia do Rio dos Sinos há carência de estudos quanto aos possíveis efeitos de emissões atmosféricas sobre os organismos (CASSANEGO *et al.*, 2015).

A Bacia do Rio dos Sinos, localizada no estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil possui uma população que representa aproximadamente 12% da população do estado, com maior densidade demográfica e urbanização nos municípios dos trechos médio e inferior, que também fazem parte da região metropolitana de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul (IBGE, 2014). Entre as fontes poluidoras do ar atmosférico na Bacia do Rio dos Sinos destacam-se as indústrias e o intenso tráfego veicular nas áreas urbanas e nas principais vias que ligam os municípios da bacia à capital do estado (MIGLIAVACCA *et al.*, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2012). Apesar disso, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) realiza o monitoramento da qualidade do ar apenas em alguns municípios localizados no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, por meio dos parâmetros químicos considerados no índice de qualidade do ar (IQAr) e padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990 (FEPAM, 2014).

Tradescantia pallida (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom é uma planta selvagem, bem adaptada aos climas sub-tropical e tropical (PANIGO *et al.*, 2011). É uma espécie que apresenta alta sensibilidade a agentes potencialmente genotóxicos e vem sendo utilizada em biomonitoramentos da qualidade do ar atmosférico em ambientes urbanos com diferentes tráfegos veiculares, em áreas industrializadas e em fragmentos florestais com distintos impactos antrópicos (MEIRELES *et al.*, 2009; SAVÓIA *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2013). O teste de micronúcleos em *Tradescantia* (Trad-MCN) baseia-se na formação e contagem de micronúcleos (MCN) nas células dos grãos de pólen na fase de tétrades (MA *et al.*, 1994). Os MCN são estruturas originadas de cromossomos inteiros ou fragmentos cromossômicos não sendo incorporados ao núcleo das células-filhas durante a divisão celular (MA *et al.*, 1994). Frequências aumentadas de MCN no citoplasma das células em fase de tétrades são consequências de agentes com potencial efeito genotóxico (MA *et al.*, 1996).

Na Bacia do Rio dos Sinos, estudos pontuais de genotoxicidade do ar em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram desenvolvidos no trecho inferior (COSTA & DROSTE, 2012; BLUME *et al.*, 2014), sendo que apenas recentemente, Cassanego *et al.* (2015) avaliaram a genotoxicidade do ar, considerando as condições meteorológicas e o tráfego veicular em municípios dos trechos superior, médio e inferior desta bacia.

O presente estudo teve como objetivos: (i) avaliar a genotoxicidade do ar atmosférico sobre *Tradescantia pallida* var. *purpurea* em áreas urbanas com diferentes intensidades de tráfego veicular da Bacia do Rio dos Sinos, considerando as condições meteorológicas prevalentes em cada local, (ii) verificar a relação entre as frequências de MCN e o tráfego veicular e (iii) analisar a relação entre as frequências de MCN e as variáveis meteorológicas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e pontos amostrais

A Bacia do Rio dos Sinos localiza-se na região leste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1), entre as coordenadas 29° 20' a 30°10'S e 50° 15' a 51° 20'W e ocupa uma área de cerca de 3.800 km² (COMITESINOS, 2014). A bacia é composta por 32 municípios, com uma população em torno de 300 habitantes/km², sendo que cerca de 95% residem em áreas urbanas (IBGE, 2014). O Rio dos Sinos, principal curso hídrico da bacia, apresenta uma extensão com cerca de 190 km caracterizados hidrológicamente em trechos superior, médio e inferior, e abastece uma população de aproximadamente 1,5 milhões de pessoas (COMITESINOS 2014; FEPAM, 2014). O clima na região da Bacia do Rio dos Sinos é do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, sendo subtropical (C), úmido o ano inteiro (f) e a temperatura média do mês mais quente ultrapassa 22°C (a). A precipitação é regularmente distribuída ao longo do ano (MORENO, 1961; BURIOL *et al.*, 2007).

O presente estudo foi realizado em ambientes urbanos nos municípios de Carará (29°47'32,1''S e 50°26'04,9''O, alt. 42 m), Taquara (29°38'59,8''S e 50°47'00,4''O, alt. 29 m) e Campo

Bom ($29^{\circ}40'46,6''S$ e $51^{\circ}03'29,5''O$, alt. 25 m) localizados, respectivamente, nos trechos superior, médio e inferior da Bacia do Rio dos Sinos (Figura 1). O monitoramento foi realizado, bimensalmente, durante o período de maio de 2013 a março de 2014.

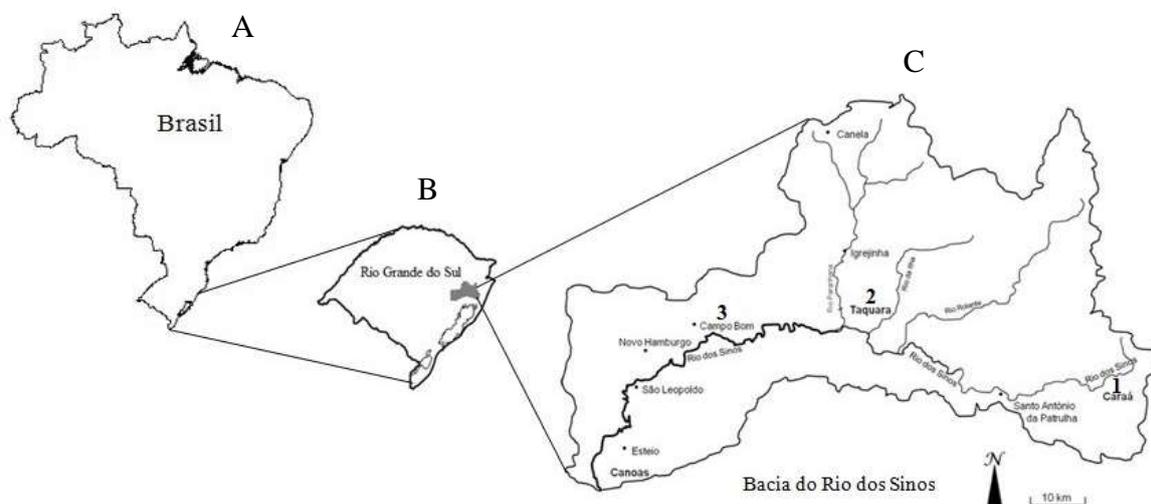


Figura 1. Localização dos pontos amostrais nos municípios de Caraá (1), Taquara (2) e Campo Bom (3) na Bacia do Rio dos Sinos (C), Rio Grande do Sul (B), Brasil (A).

O município de Caraá possui uma população com 7.804 habitantes, distribuídos em uma de área de 294,323 km², com uma densidade demográfica de 24,84 habitantes/km², residindo principalmente na área rural (IBGE, 2014). A economia do município é predominantemente agrícola, tendo como produção primária culturas de cana-de-açúcar, milho, feijão, arroz e produtos hortigranjeiros (FEE, 2014). A frota de Caraá corresponde a 2.484 veículos (IBGE, 2014), além do tráfego veicular nas rodovias RS 030 e BR 290, que passam respectivamente, 10 e 12,5 km distantes do ponto amostral urbano do município. Os municípios de Taquara e Campo Bom pertencem à região metropolitana de Porto Alegre (PROSINOS, 2014). A população de Taquara corresponde a 56.072 habitantes, distribuídos em uma de área de 457,855 km², com uma densidade demográfica de 119,35 habitantes/km², residindo principalmente na área urbana (IBGE, 2014). A economia do município é constituída por indústrias calçadistas e metalúrgicas e por atividades agropecuárias de pequeno porte (FEE, 2014). Taquara apresenta uma frota de 30.494 veículos (IBGE, 2014), além do intenso tráfego veicular nas rodovias RS 020, RS 115 e RS 239 que passam pelo perímetro urbano do município, distantes cerca de 0,7, 1,16 e 1,06 km, respectivamente, do ponto amostral urbano. A população de Campo Bom é de 63.767 habitantes, distribuídos em uma de área de 60,510 km², com uma densidade demográfica de 992,79 habitantes/km², principalmente na área urbana (IBGE, 2014). As indústrias coureira-calçadistas e metalúrgicas são responsáveis pela economia do município (FEE, 2014). Campo Bom apresenta uma frota de 36.930 veículos (IBGE, 2014), além do intenso tráfego veicular nas rodovias RS 239 e BR 116 que passam respectivamente, 3,38 e 8,72 km distantes do ponto amostral urbano.

2.2. Levantamento de dados meteorológicos e do tráfego veicular

Durante o período de maio de 2013 a março de 2014, simultaneamente à exposição das plantas, em cada ponto amostral foram registrados dados meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar, em três horários do dia (9, 13 e 17 h) utilizando um termohigroanemômetro (Instrutherm®, Thal-300). Os dados de precipitação acumulada de três dias anteriores e do dia da exposição foram obtidos por meio de uma estação meteorológica móvel (Davis®) para Caraá, da Defesa Civil (DEFESA CIVIL, 2014) para Taquara e da Estação Meteorológica no. 83961, ($29^{\circ}41'S$ e $51^{\circ}03'W$; alt. 25,8 m) para Campo Bom. Bimensalmente, em cada dia de exposição de *Tradescantia*



pallida var. *purpurea*, o número de veículos em circulação foi contado durante uma hora, nos três pontos amostrais.

2.3. Cultivo de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e bioensaio Trad-MCN

As plantas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivadas em vasos plásticos (37 cm x 20 cm x 20 cm), contendo 4 kg de solo comercial de um mesmo lote e mantidas em ambiente externo no campus da universidade. As plantas foram regadas três vezes por semana e mensalmente foram aplicados 100 mL de solução de fertilizante N-P-K (nitrogênio-fósforo-potássio) na proporção de 10-10-10 (v-v-v), seguindo o método descrito por Thewes *et al.* (2011). Todos os exemplares derivaram de propagação vegetativa a partir de uma mesma população.

Bimensalmente, para cada teste de genotoxicidade do ar, 20 ramos (10 a 15 cm de comprimento) de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* com botões florais foram coletados das plantas cultivadas no campus da universidade e imersos parcialmente em recipientes com 2 L de água destilada, permanecendo por 24 h para adaptação (CASSANEGO *et al.*, 2014), em sala climatizada com temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Após, os recipientes com os ramos adaptados foram acondicionados em caixas térmicas e transportados até os pontos amostrais, onde foram expostos por um período de 8 h (9 às 17 h) em ambientes urbanos de cada município. Posteriormente, em sala climatizada, os ramos foram recuperados em água destilada por mais 24 h (CASSANEGO *et al.*, 2014). Controle negativo foi realizado simultaneamente em sala climatizada, seguindo a mesma metodologia.

2.4. Fixação das inflorescências, preparação das lâminas e contagem dos micronúcleos

Os botões florais foram fixados em etanol:ácido acético (3:1 v:v) por 24 h e em seguida armazenados em etanol 70% sob refrigeração (4°C). Para a preparação das lâminas e análise das células e micronúcleos (MCN), botões florais foram dissecados e as anteras maceradas com carmim acético 1%. Em cada lâmina foram contadas 300 células jovens de grãos de pólen em fase de tétrades e registrado o número de MCN em um total de 10 lâminas por ponto, em cada período amostrado, sob microscopia óptica em aumento de 400x (Olympus CX4). Os MCN considerados apresentavam diâmetro inferior a um terço do núcleo, encontravam-se separados e com coloração semelhante ao mesmo (GRISOLIA, 2002). As frequências de micronúcleos foram expressas em MCN/100 tétrades (THEWES *et al.*, 2011).

2.5. Análises estatísticas

As frequências de MCN obtidas nos bioensaios foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. A análise de regressão linear foi aplicada para verificar a relação entre as frequências de MCN e o tráfego veicular registrado nos ambientes amostrados (três pontos amostrais; seis exposições: n=18). O coeficiente de correlação de Pearson foi aplicado para verificar a relação entre as frequências de MCN e as variáveis meteorológicas (temperatura média, umidade relativa média do ar e precipitação acumulada) registradas nos ambientes amostrados (três pontos amostrais; seis exposições: n=18). As análises estatísticas foram realizadas utilizando os programas BioEstat versão 5.3 e SPSS versão 20, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

A comparação entre os dados obtidos para cada município e os respectivos controles negativos mostrou que os botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos ao ar atmosférico de Taquara e Campo Bom apresentaram frequências de MCN significativamente superiores àquelas registradas para Carará e para os controles negativos, com exceção do mês de setembro de 2013 em que a frequência de MCN observada nos botões expostos em Taquara foi estatisticamente igual àquela de Carará. Em Taquara e Campo Bom, as frequências de MCN foram

significativamente iguais entre si, com exceção do mês de setembro de 2013 em que a frequência registrada para Campo Bom foi estatisticamente superior àquela de Taquara. Os botões florais expostos no ambiente urbano de Caráá apresentaram frequências de MCN estatisticamente iguais aos controles negativos, em todas amostragens (Figura 2).

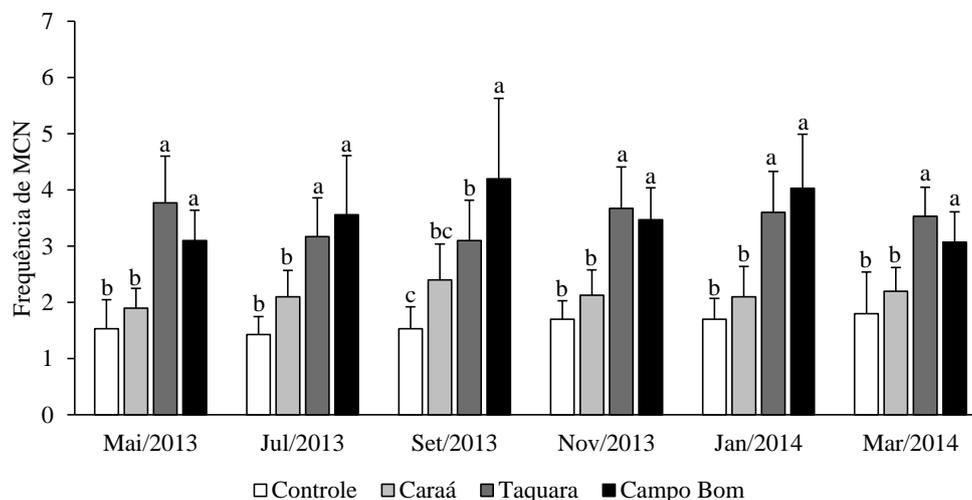


Figura 2 - Frequência de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* exposta ao ar atmosférico nos municípios de Caráá, Taquara e Campo Bom e no controle, de maio de 2013 a março de 2014.

Nos dias de exposição das plantas, o número de veículos por hora em circulação variou de 154 a 240 em Caráá, 840 a 883 em Taquara e 830 a 911 em Campo Bom. A análise de regressão linear mostrou relação entre a frequência de MCN e o tráfego veicular registrado nos pontos monitorados em cada dia de exposição de *T. pallida* var. *purpurea* (Figura 3). O modelo da análise indicou que a circulação de veículos foi responsável por 86,7% do coeficiente de determinação da frequência de MCN ($r^2=0,867$; $F=112,026$; $p<0,001$), ocorrendo uma combinação linear significativa entre as duas variáveis. A equação da reta apresentada pelo modelo de regressão linear é $MCN=1,665+0,002$ tráfego veicular.

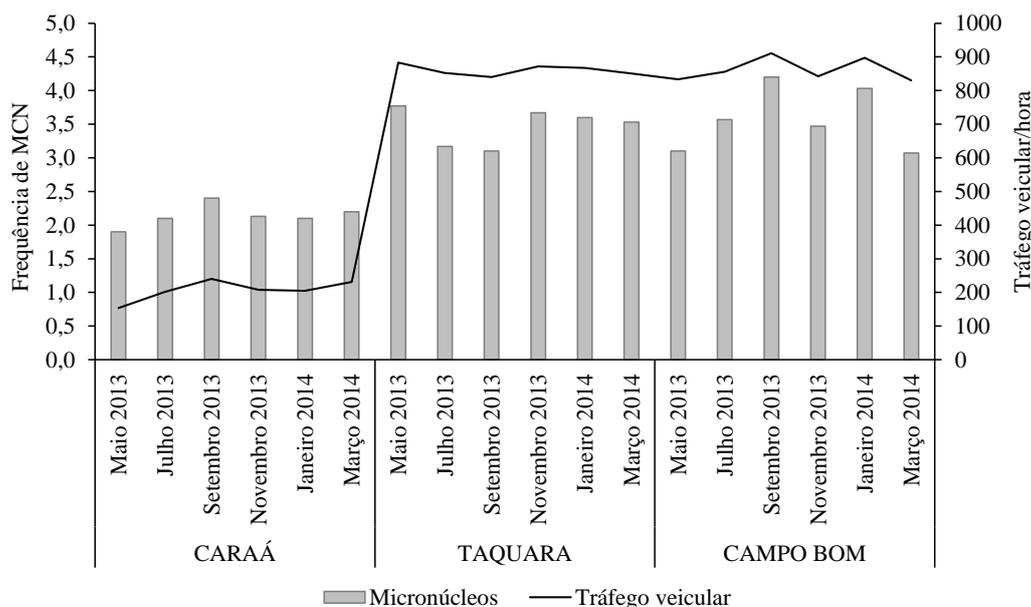


Figura 3 - Frequência de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e número de veículos por hora em circulação registrados em cada dia de exposição das plantas nos municípios de Caráá, Taquara e Campo Bom, de maio de 2013 a março de 2014.



Quanto aos dados meteorológicos registrados nos ambientes amostrados, durante os períodos de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram evidenciadas a menor temperatura (19,3 °C) em Campo Bom, no mês de maio de 2013 e a maior temperatura (33,5 °C) também em Campo Bom, em janeiro de 2014. A menor umidade relativa do ar (37,3 %) foi registrada em Campo Bom, em setembro de 2013 e a maior umidade relativa (80,2 %) em Caraá, em julho de 2013. Quanto a precipitação, não ocorreu índice de chuva nos municípios de Campo Bom e Taquara nos meses de setembro de 2013 e março de 2014, respectivamente. Sendo que a maior precipitação (79 mm) foi registrada em Campo Bom, no mês de julho de 2013. O coeficiente de correlação de Pearson indicou que não houve associação entre a frequência de MCN e as variáveis temperatura ($r=0,303$; $p=0,221$), umidade relativa do ar ($r=-0,467$; $p=0,051$) e precipitação ($r=-0,202$; $p=0,422$), em nenhum dos municípios, durante o período monitorado.

4. DISCUSSÃO

O bioensaio em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* detectou genotoxicidade no ar atmosférico nos ambientes urbanos dos municípios de Taquara e Campo Bom, considerando que os botões florais expostos aos pontos amostrais apresentaram um aumento significativo nas frequências de MCN, comparadas às registradas para o controle negativo, que foram de 1,43 a 1,80 MCN/100 tétrades. Pereira *et al.* (2013) consideraram frequências de até 2,0 MCN/100 tétrades como taxa basal, resultante de mutações espontâneas que podem ocorrer naturalmente na espécie, mesmo quando as plantas são cultivadas em ambiente sem a interferência de qualquer poluente. Em Caraá, as baixas frequências de MCN evidenciadas em *T. pallida* var. *purpurea* podem ser explicadas em função da baixa densidade demográfica e da menor urbanização (IBGE, 2014), como também pelo menor fluxo veicular registrado, o que apontam para a mínima influência genotóxica de agentes atmosféricos sobre os organismos, neste município. O bom estado de conservação da vegetação em Caraá (BECKER *et al.*, 2013), também pode estar contribuindo para a melhor qualidade do ar atmosférico no local. Em estudo anterior realizado por Cassanego *et al.* (2015) nos mesmos pontos amostrais, também foram registrados os maiores danos genéticos nas plantas expostas às áreas urbanas de Taquara e Campo Bom, com frequências de até 7,23 e 4,90 MCN, respectivamente, e as menores frequências em Caraá, com até 2,90 MCN.

A associação positiva observada entre as frequências de MCN e o número de veículos em circulação nos pontos urbanos amostrados, indica o tráfego veicular como o principal responsável (86,7%) pelos danos genéticos ocorridos nos botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. A média de veículos circulando por hora tanto para Taquara como para Campo Bom foi 4,2 vezes maior em relação a de Caraá. Cassanego *et al.* (2015) também observaram influência significativa do tráfego veicular (93,8%) sobre a frequência de MCN, com um fluxo veicular de 3,4 e 2,7 vezes superior em Taquara e Campo, respectivamente, comparado à Caraá. Na rodovia estadual RS-239, que passa pelo perímetro urbano dos municípios de Taquara e Campo Bom, a circulação veicular é intensa com aproximadamente 668 mil veículos por mês (EGR, 2014). A rodovia federal BR-116, principal via de ligação entre os municípios do trecho inferior Bacia do Rio dos Sinos à capital de Porto Alegre, também apresenta alto fluxo veicular com cerca de 150 mil veículos por dia (MIGLIAVACCA *et al.*, 2012), o que contribui para o aumento de poluentes atmosféricos potencialmente tóxicos ou genotóxicos, principalmente nos trechos médio e inferior da bacia.

Estudos realizados nos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, localizados no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos revelaram a presença de monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e material particulado no ar atmosférico, os quais foram atribuídos às emissões veiculares e aos processos industriais (MIGLIAVACCA *et al.*, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2012). Em regiões metropolitanas com alta incidência de congestionamentos, cerca de 90% das emissões de monóxido de carbono são provenientes da queima dos combustíveis fósseis pelos veículos automotores (TEIXEIRA *et al.*, 2008).



Durante o monitoramento, não foi observada relação significativa entre as frequências de MCN e as variáveis ambientais como temperatura média, umidade relativa média do ar e precipitação acumulada. Tais resultados podem ser explicados considerando que não foram registradas condições extremas, em nenhum dos pontos avaliados. As médias das variáveis meteorológicas registradas no presente estudo para Caraá, Taquara e Campo Bom foram semelhantes às apontadas por Buriol *et al.* (2007) para outros municípios do estado do Rio Grande do Sul. Em estudo anterior, (CASSANEGO *et al.*, 2015) verificaram que a combinação entre o tráfego veicular e a temperatura média interferiu 96,5% sobre a formação de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. Entretanto, considerando que a temperatura influenciou apenas 2,7%, tal influência foi atribuída à maior temperatura (34,3°C) registrada, onde também foi observada a maior frequência de MCN (7,23), o que aponta para a possibilidade de ter ocorrido uma influência pontual sobre a formação de MCN. No município de Sapucaia do Sul, no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, Blume *et al.* (2014) não encontraram relação da frequência de MCN com a temperatura, a umidade relativa do ar e a precipitação. Por outro lado, Savóia *et al.* (2009) observaram que a combinação de temperatura, umidade relativa do ar e poluentes atmosféricos interferiu 17 e 26% sobre a frequência MCN em *T. pallida* var. *purpurea* exposta em dois pontos na área urbana do município de Santo André (São Paulo, Brasil). Pereira *et al.* (2013) verificaram que a frequência de MCN foi 88,01% predita pela combinação do número de veículos e a umidade relativa do ar no município de Uberlândia (Minas Gerais, Brasil), atribuindo os danos genéticos ocorridos em *T. pallida* var. *purpurea* à ação genotóxica de poluentes atmosféricos liberados principalmente pelo tráfego veicular, registrado neste município.

No presente estudo, as frequências de MCN registradas para Taquara e Campo Bom, municípios com maior urbanização e tráfego veicular, corroboraram com os resultados obtidos em biomonitoramentos com esta espécie, realizados em outros municípios da região metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, como também em outros estados brasileiros. Costa & Droste (2012) que observaram frequências de 3,26 a 8,13 MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* exposta em área urbana de Estância Velha, município localizado no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos. Blume *et al.* (2014) observaram frequências entre 4,77 e 8,28 MCN em um ponto urbano no município de Sapucaia do Sul, também no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos. Savóia *et al.* (2009) registraram frequências de MCN de até 4,6 no município de Santo André (São Paulo), Meireles *et al.* (2009) de até 2,1 em Feira de Santana (Bahia) e Pereira *et al.* (2013) de até 5,0 MCN em Uberlândia (Minas Gerais).

Considerando que os mecanismos sinérgicos da poluição atmosférica e de condições meteorológicas sobre as respostas dos organismos ainda são pouco conhecidos, estudos de qualidade ambiental integrando bioindicadores e variáveis ambientais são importantes para avaliar os efeitos sinérgicos ou antagônicos das complexas misturas de poluentes, bem como as alterações que as condições ambientais adversas podem causar aos seres vivos. Mesmo que no presente estudo, as variáveis temperatura, umidade relativa do ar e a precipitação não tenham influenciadas na formação de MCN, é importante considerar esses fatores ambientais para o entendimento das respostas dos organismos. Os resultados permitiram inferir que em condições meteorológicas não severas, os danos genéticos evidenciados em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, provavelmente resultaram da ação de agentes atmosféricos potencialmente genotóxicos presentes no ambiente em que o organismo indicador foi exposto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os danos genéticos evidenciados nas células dos botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* revelam os riscos genotóxicos aos quais os organismos estão expostos na Bacia do Rio dos Sinos. Diante disso, sugere-se aos órgãos públicos a implementação do bioensaio Trad-MCN como uma técnica alternativa em programas de gestão ambiental desta e de outras bacias hidrográficas.



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 M. B. B. Cassanego (CAPES/PROSUP) e de G. M. Costa (CAPES/FAPERGS).

6. REFERÊNCIAS

BECKER, D. F. P.; CUNHA, S.; GOETZ, M. N. B.; KIELING-RUBIO, M. A. & SCHMITT, J. L. Florística de samambaias e licófitas em fragmento florestal da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, Carará, RS, Brasil. **Pesquisas Botânica**, v. 64, p. 273-284, 2013.

BLUME, K. K.; COSTA, G. M.; CASSANEGO, M. B. B. & DROSTE, A. Genotoxicidade do ar em área urbana na região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, no. 3, p. 158-163, 2014.

BYTNEROWICZ, A.; OMASA, K. & PAOLETTI, E. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 438-445, 2007.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C. & EBERHARDT, D. Clima e vegetação natural do Estado do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. **Ciência Florestal**, v. 17, no. 2, p. 91-100, 2007.

CARRERAS, H. A.; CALDERÓN-SEGURA, M. E.; GÓMEZ-ARROYO, S.; MURILLO-TOVAR, M. A. & AMADOR-MUÑOZ, O. Composition and mutagenicity of PAHs associated with urban airborne particles in Córdoba, Argentina. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 403-410, 2013.

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, no. 3, p. 424-433, 2014.

CASSANEGO, M. B. B.; SASAMORI, M. H.; PETRY, C. T. & DROSTE, A. Biomonitoring the genotoxic potential of the air on *Tradescantia pallida* var. *purpurea* under climatic conditions in the Sinos River Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, no.4, p. 79-87, 2015.

Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos – COMITESINOS. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br>>. Access in: 14 jul. 2014.

COSTA, G. M. & DROSTE, A. Genotoxicity on *Tradescantia pallida* var. *purpurea* plants exposed to urban and rural environments in the metropolitan area of Porto Alegre, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, no. 4, p. 801-806, 2012.

CRISPIM, B. A.; VAINI, J. O.; GRISOLIA, A. B.; TEIXEIRA, T. Z.; MUSSURY, R. M. & SENO, L. O. Biomonitoring the genotoxic effects of pollutants on *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt in Dourados, Brazil. **Environmental Science & Pollution Research**, v. 19, p. 718-723, 2012.

Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/SGDC/MPluviometros/PluviCons.asp>>. Acesso em: 23 jun. 2014.



Empresa Gaúcha de Rodovias – EGR. Disponível em:
<<http://www.egr.rs.gov.br/conteudo/1716/volume-de-trafego>>. Acesso em: 02 set. 2014.

Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul – FEE. Disponível em:
<http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php/> Acesso em: 14 nov. 2014.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Estado do Rio Grande do Sul - FEPAM. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 set. 2014.

GRISOLIA, C. K. A comparison between mouse and fish micronucleus test using cyclophosphamide, mitomycin C and various pesticides. **Mutation Research**, v. 518, p. 145- 150, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 14 out. 2014.

ISIDORI, M.; FERRARA, M.; LAVORGNA, M.; NARDELLI, A. & PARRELA, A. *In situ* monitoring of urban air in Southern Italy with the *Tradescantia* micronucleus bioassay and semipermeable membrane devices (SPMDs). **Chemosphere**, v. 52, p. 121-126, 2003.

MA, T. H.; XU, C.; LIAO, S.; MCCONNELL, H.; JEONG, B. S. & WON C. D. *In situ* monitoring with the *Tradescantia* bioassays on the genotoxicity of gaseous emissions from a closed landfill site and an incinerator. **Mutation Research**, v. 359, p. 39-52, 1996.

MA T. H.; CABRERA, G. L.; CHEN, R.; GILL, B. S.; SANDHU, S. S.; VANDENBERG, A. L. & SALAMONE, M. F. *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Mutation Research**, v. 310, p. 221-230, 1994.

MARIANI, R. L.; JORGE, M. P. M.; PEREIRA, S. S.; MELIONE, L. P.; CARVALHO-OLIVEIRA, R.; MA, T. H. & SALDIVA, P. H. N. Association between micronuclei frequency in pollen mother cells of *Tradescantia* and mortality due to cancer and cardiovascular diseases: a preliminary study in Sao Jose dos Campos, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 1767-1770, 2009.

MEIRELES, J.; ROCHA, R.; NETO, A. C. & CERQUEIRA, E. Genotoxic effects of vehicle traffic pollution as evaluated by micronuclei test in *Tradescantia* (Trad-MCN). **Mutation Research**, v. 675, p. 46-50, 2009.

MERLO, C.; ABRIL, A.; AMÉ, M. V.; ARGUELLO, G. A.; CARRERAS, H. A.; CHIAPPERO, M. S.; HUED, A. C.; WANNAZ, E.; GALANTI, L. N.; MONFERRÁN, M. V.; GONZÁLEZ, C. M. & SOLÍS, V. M. 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.

MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E. C. & RODRIGUEZ, M. T. R. Composição química da precipitação úmida da região metropolitana de Porto Alegre, Brasil, 2005-2007. **Química Nova**, v. 35, no. 6, p. 1075-1083, 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura, 42p., 1961.

PANIGO, E.; RAMOS, J.; LUCERO, L.; PERRETA, M. & VEGETTI, A. The inflorescence in Commelinaceae. **Flora**, v. 206, p. 294-299, 2011.



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, B. B.; CAMPOS-JÚNIOR, E. O.; LIMA, E. A. P.; BARROZO, M. A. S. & MORELLI, S. Biomonitoring air quality during and after a public transportation strike in the center of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil by *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 3680-3685, 2014.

Programa de Educação Ambiental - PROSINOS. Disponível em: <<http://www.portalprosinos.com.br/downloads.php/>>. Acesso em: 20 Maio 2014.

SAVÓIA, E. J. L.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E. T.; BRUMATI, F. & SALDIVA, P. H. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 255-260, 2009.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S. & SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 31, no. 2, p. 244-248, 2008.

TEIXEIRA E. C.; MATTIUZI, C. D. P.; FELTES, S.; WIEGAND, F. & SANTANA, E. R. R. Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, no. 3, p. 655-667, 2012.

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, no. 4, p. 689-693, 2011.