



ARTIGO

Genotoxicidade do ar em área urbana na região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil

Kamila Käfer Blume¹, Gustavo Marques da Costa^{1,2}, Mara Betânia Brizola Cassanego^{1,2} e Annette Droste^{1,2*}

Recebido: 24 de abril de 2014 Recebido após revisão: 23 de junho de 2014 Aceito: 01 de julho de 2014
Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/3011>

RESUMO: (Genotoxicidade do ar em área urbana na região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil). A região metropolitana de Porto Alegre concentra 36% da população do Rio Grande do Sul, caracterizada pela presença de indústrias e pelo intenso fluxo de veículos automotores. Sapucaia do Sul, município desta região, possui uma frota que equivale a cerca de um veículo para cada dois habitantes, com base econômica na construção civil, indústria coureira, metalurgia e siderurgia. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a genotoxicidade do ar em Sapucaia do Sul utilizando o bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. Ramos contendo inflorescências foram periodicamente expostos a um ponto amostral no centro urbano, de dezembro de 2011 a novembro de 2012, além de serem expostos em ambiente interno (controle negativo). Frequências de micronúcleos (MCN) foram determinadas em tétrades jovens de células-mãe de pólen e expressas como MCN/100 tétrades. Dados climáticos foram registrados durante as exposições. As frequências de MCN observadas nos botões florais expostos ao ponto amostral foram significativamente superiores àquelas dos controles negativos durante as doze amostragens e variaram de 4,77 (outubro de 2012) a 8,28 (julho de 2012), equivalendo a um aumento de 146% e 217% em relação aos respectivos controles. Não foi observada relação da frequência de MCN com a temperatura, a umidade relativa do ar e a precipitação nos períodos de exposição. Os resultados obtidos apontaram que o bioensaio com *T. pallida* var. *purpurea* pode ser ampliado para demais municípios da região metropolitana de Porto Alegre, a fim de permitir a identificação de áreas de risco genotóxico, considerando as condições climáticas regionais.

Palavras-chave: poluição do ar, *Tradescantia pallida*, biomonitoramento, risco genotóxico, micronúcleo.

ABSTRACT: (Genotoxicity of the air in an urban area in the metropolitan region of Porto Alegre, RS, Brazil). The metropolitan region of Porto Alegre concentrates 36% of the Rio Grande do Sul population, characterized by the presence of industries and the intense traffic of motor vehicles. Sapucaia do Sul, a municipality in this region, has a fleet which equates to about one vehicle for every two inhabitants, and its economic base includes construction industry, leather industry, metallurgy and steel mill. The aim of the present work was to evaluate the genotoxicity of the air in Sapucaia do Sul, using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. Cuttings with inflorescences were periodically exposed to a sampling point in the urban center, from December 2011 to November 2012, in addition to exposure indoors (negative control). Frequencies of micronuclei (MCN) were determined in young tetrads of pollen mother cells and expressed as MCN/100 tetrads. Climatic data were recorded during exposures. The MCN frequencies observed in the flower buds exposed to the sample point were significantly higher than those of the negative controls during the twelve samplings and ranged from 4.77 (October 2012) to 8.28 (July 2012), being equivalent to an increase of 146% and 217% compared to their respective controls. No relationship of the MCN frequency with temperature, relative air humidity and precipitation during the periods of exposure was observed. The results obtained indicated that the *T. pallida* var. *purpurea* bioassay can be expanded to other municipalities in the metropolitan region of Porto Alegre to allow the identification of genotoxic risk areas, considering the regional climatic conditions.

Key words: air pollution, *Tradescantia pallida*, biomonitoring, genotoxic risk, micronucleus.

INTRODUÇÃO

O ar atmosférico dos centros urbanos apresenta uma variedade de poluentes provenientes de substâncias emitidas por fontes fixas e móveis, sendo as móveis as que mais contribuem para a emissão de gases e material particulado (Teixeira *et al.* 2008, 2012). Esses poluentes são incapazes de se dissipar rapidamente devido ao arranjo de ruas e edifícios, à pouca ventilação e ao fluxo veicular (Carreras *et al.* 2006). As áreas de tráfego veicular intenso acumulam compostos complexos de poluentes prejudiciais à saúde humana, podendo causar doenças cardiovasculares, infecções respiratórias e tumores (Guimarães *et al.* 2000, Carreras *et al.* 2006, WHO 2013).

Dentre os poluentes atmosféricos mais importantes, encontram-se o dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado (Teixeira *et al.* 2012, Carreras *et al.* 2013). Segundo Teixeira *et al.* (2008), em regiões congestionadas, o tráfego de veículos responde por cerca de 90% das emissões de dióxido de carbono, 80 a 90% das emissões de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos e por uma parcela considerável de particulados.

O Rio Grande do Sul, estado do extremo sul do Brasil, possui 11,164 milhões de habitantes e uma frota de 5,5 milhões de automóveis (IBGE 2014). A região metropolitana da capital Porto Alegre é formada por 31 municípios, concentrando cerca de 36% da população

1. Laboratório de Biotecnologia Vegetal, Universidade Feevale. Rod. RS-239 2755, CEP 93352-000, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

2. Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale. Rod. RS-239 2755, CEP 93352-000, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

* Autor para contato. E-mail: annette@feevale.br

do estado e sua qualidade ambiental é influenciada por indústrias de refinarias de óleos, siderúrgicas, petroquímica, termoeletrica e, ainda, pelo intenso fluxo de fontes móveis com potencial poluidor (Teixeira *et al.* 2008). Sapucaia do Sul, a 24 km de Porto Alegre, possui uma frota de 67 mil veículos dos quais 80% são automóveis (IBGE 2014), equivalente a aproximadamente um veículo para cada dois habitantes. A base econômica do município inclui os segmentos da construção civil, indústria coureira, metalurgia e siderurgia (Prefeitura Municipal de Sapucaia do Sul 2014).

Plantas indicadoras respondem à poluição atmosférica e a outros fatores abióticos, podendo ser utilizadas para o monitoramento ambiental (Markert 2007, Carreras *et al.* 2009). *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* Boom é utilizada com o objetivo de avaliar os efeitos genotóxicos causados pela poluição do ar atmosférico e constitui um indicador que pode ser integrado aos diagnósticos ambientais (Carreras *et al.* 2013, Merlo *et al.* 2011, Costa & Droste 2012).

Devido à ausência de estudos que avaliem o risco genotóxico causado pelas condições atmosféricas presentes na região, o presente trabalho teve como objetivo monitorar o potencial genotóxico do ar atmosférico no município de Sapucaia do Sul, utilizando o teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, levando em consideração as condições climáticas da região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Sapucaia do Sul está localizado na região metropolitana de Porto Alegre, capital do estado

do Rio Grande do Sul, Brasil, tendo como principal via de acesso a rodovia federal BR 116. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui uma área de 58,309 km² e uma população estimada em 137 mil habitantes (IBGE 2014). A precipitação média anual no município é de 1.660 mm e a temperatura média é de 19,3 °C (Prefeitura Municipal de Sapucaia do Sul 2014). O ponto amostral (29°49'06''S, 51°17'09,34''O, altitude de 26 m) dista cerca de 1,5 km da rodovia BR 116, estando localizado próximo a paradas de ônibus e à principal via de acesso à cidade (Fig. 1).

Cultivo de plantas

Espécimes de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivados em vasos com 4 kg de solo comercial e mantidos no campus da universidade, conforme Thewes *et al.* (2011). As plantas foram irrigadas três vezes por semana e, mensalmente, foram fertilizadas com 100 mL de solução N:P:K (10:10:10 v:v:v). Todas as plantas derivaram de propagação vegetativa, com propágulos provindos da mesma população.

Bioensaio Trad-MCN

O bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea* (Trad-MCN) foi realizado conforme metodologia previamente descrita por Sasamori *et al.* (2012). Foram realizadas doze exposições, no período de dezembro de 2011 a dezembro de 2012. Quinze ramos com inflorescências jovens foram coletados, acondicionados em recipientes contendo água destilada e transportados em caixas térmicas até o ponto amostral, onde foram expostos por um período de 24 horas (Sasamori *et al.* 2012), com início às 9 h da manhã.

Quando a exposição aos agentes poluentes ocorre no

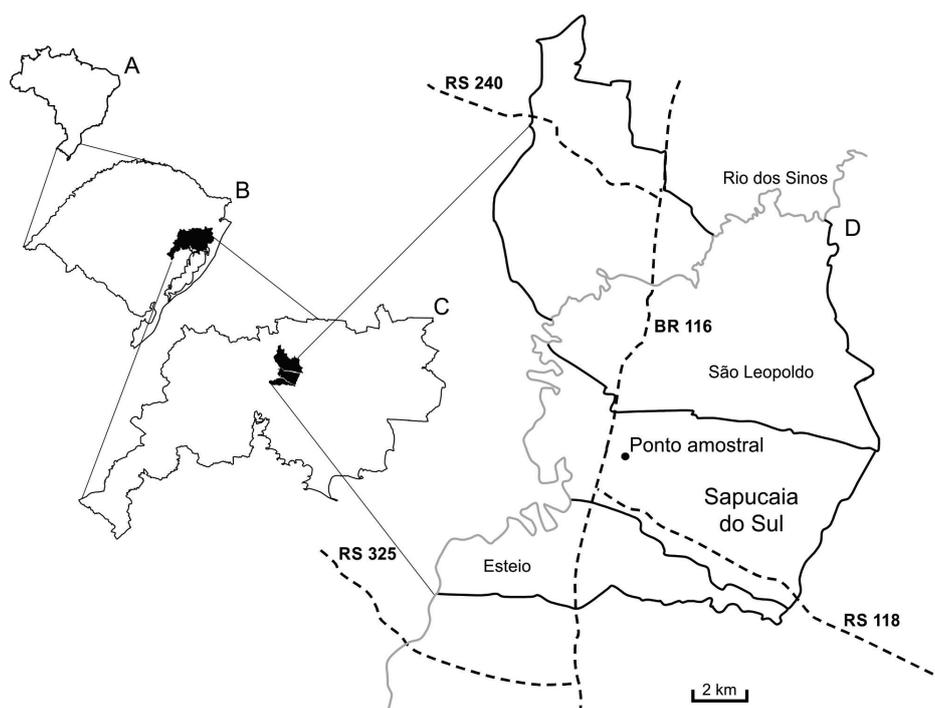


Figura 1. Localização do ponto amostral no município de Sapucaia do Sul (D), na região metropolitana de Porto Alegre (C), RS (B), Brasil (A).

início da prófase I (Ma 1981) e o tempo necessário à finalização da meiose, que é de 24 a 30 horas, é respeitado, os danos cromossômicos podem ser visualizados ao término do processo meiótico, no estágio de tétrades (Ma 1983).

Simultaneamente a cada exposição, foi realizado um controle negativo em sala climatizada, sob luz natural. Após a exposição, as inflorescências foram fixadas em solução de etanol absoluto:ácido acético (3:1 v:v) por 24 horas, e em seguida, armazenadas em álcool etílico 70% e mantidas sob refrigeração (4 °C). Para o preparo das lâminas e a análise de células meióticas (tétrades), botões florais foram dissecados e anteras foram maceradas em 1% de carmim acético (Sasamori *et al.* 2012).

Foram preparadas 10 lâminas para cada exposição e 10 lâminas para cada controle, tendo sido observadas 300 tétrades por lâmina sob microscopia óptica, em aumento de 400x (Olympus CX4) para proceder à quantificação de micronúcleos (MCN), que deveriam ter diâmetro inferior a um terço do núcleo, estar separados e possuir coloração semelhante ao mesmo (Grisolia 2002). As frequências de MCN foram calculadas dividindo-se o número de MCN pelo número de tétrades, sendo os resultados expressos em MCN/100 tétrades (Ma *et al.* 1994).

Fatores abióticos

Dados de temperatura e de umidade relativa do ar foram registrados no ponto amostral durante as exposições dos ramos, com auxílio de um termohigroanemômetro digital portátil (THAL-300). Dados de precipitação foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre (DISME) (INMET 2014), tendo sido registrada a precipitação acumulada de três dias anteriores e do dia de exposição, conforme Thewes *et al.* (2011). O ponto amostral e o local em que se encontra a estação meteorológica estão sob condições climáticas similares (Buriol *et al.* 2007).

Análise Estatística

As frequências de MCN foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após, foi realizada análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. O teste *t* de Student foi realizado para verificar diferenças entre a média das frequências de MCN de cada exposição e o respectivo controle, a 5% de probabilidade. A relação entre as frequências de MCN e fatores abióticos foi verificada pelo teste de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando o programa SPSS versão 20.

RESULTADOS

As frequências de MCN observadas nos botões florais expostos ao ponto amostral foram significativamente superiores àquelas do controle negativo durante as doze amostragens (Tab. 1). Em julho de 2012, foi observada a maior frequência de MCN (8,28), que diferiu das frequências obtidas nos demais meses, com exceção de janeiro, abril, setembro e novembro de 2012, meses em que as frequências de MCN variaram de 6,20 a 7,57. Mesmo em outubro, apesar de ter sido observada frequência de MCN numericamente menor (4,77), esta não diferiu significativamente da maior parte dos demais meses, com exceção de julho, setembro e novembro de 2012 (Tab. 1).

Durante as exposições de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, a temperatura registrada ao início da quarta hora de amostragem oscilou de 14,8 °C em setembro de 2012 a 34,0 °C em janeiro de 2012 e a umidade relativa do ar ao final da primeira hora de amostragem variou de 45,60% em agosto de 2012 a 70,70% em setembro de 2012. A maior precipitação acumulada de três dias anteriores e do dia de exposição (85,5 mm) foi observada no mês de fevereiro de 2012. Em dezembro de 2011 e janeiro e outubro de 2012, não foi registrada precipitação e nos demais períodos de amostragem, a precipitação variou

Tabela 1. Frequência de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostas por 24 horas no município de Sapucaia do Sul, RS, e do controle negativo, no período de dezembro de 2011 a dezembro de 2012.

Exposição	MCN (média ± desvio padrão)		t	P
	Ponto Amostral	Controle Negativo		
Dezembro 2011	5,46 ± 1,17 cd*	1,43 ± 0,63a	9,172	<0,001
Janeiro 2012	6,93 ± 3,19 abcd*	1,23 ± 0,59a	5,551	<0,001
Fevereiro 2012	6,07 ± 0,88 bcd*	1,63 ± 0,89a	11,131	<0,001
Abril 2012	6,20 ± 1,16 abcd*	1,43 ± 0,90a	10,211	<0,001
Mai 2012	5,85 ± 1,12 bcd*	1,83 ± 0,57a	10,095	<0,001
Junho 2012	5,72 ± 0,60 bcd*	1,93 ± 0,64a	13,552	<0,001
Julho 2012	8,28 ± 1,42 a*	1,90 ± 0,61a	13,090	<0,001
Agosto 2012	5,65 ± 0,67 bcd*	1,90 ± 0,63a	12,912	<0,001
Setembro 2012	6,40 ± 0,64 abc*	1,60 ± 0,26a	21,819	<0,001
Outubro 2012	4,77 ± 0,81 d*	1,63 ± 0,51a	10,367	<0,001
Novembro 2012	7,57 ± 1,42 abc*	1,80 ± 0,80a	11,193	<0,001
Dezembro 2012	5,38 ± 0,82 cd*	1,67 ± 0,77a	10,447	<0,001
	F = 5,390	F = 1,061		
	P < 0,001	P = 0,399		

Valores médios seguidos da mesma letra na coluna não diferem significativamente de acordo com o teste de Dunnett (P = 0,05).

* Diferença significativa entre ponto amostral e controle de acordo com o teste *t* de Student (P = 0,05).

Tabela 2. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação no ponto amostral do município de Sapucaia do Sul durante as exposições de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*.

Exposição	Temperatura ¹ (°C)	Umidade Relativa ¹ (%)	Precipitação ² (mm)
Dezembro 2011	29,5	50,0	0,0
Janeiro 2012	34,0	45,9	0,0
Fevereiro 2012	27,8	68,8	85,5
Abril 2012	26,0	57,0	4,2
Mai 2012	25,0	49,5	11,4
Junho 2012	17,1	61,4	14,8
Julho 2012	22,3	64,0	0,2
Agosto 2012	18,0	45,6	6,1
Setembro 2012	14,8	70,7	1,0
Outubro 2012	24,6	46,5	0,0
Novembro 2012	25,2	60,3	7,6
Dezembro 2012	23,9	62,0	15,2

1. Dado registrado às 13 h, no dia da exposição.

2. Precipitação acumulada de três dias anteriores e do dia da exposição.

de 0,2 a 15,2 mm (Tab. 2). Não foi observada relação entre a frequência de MCN e a temperatura (Pearson $r = 0,076$; $P = 0,813$), a umidade relativa do ar (Pearson $r = 0,357$; $P = 0,255$) e a precipitação acumulada (Pearson $r = -0,099$; $P = 0,760$).

DISCUSSÃO

O ar atmosférico do ponto amostral de Sapucaia do Sul apresentou potencial genotóxico ao longo de todos os períodos avaliados, evidenciado pelas altas frequências de MCN observadas, que foram sempre significativamente superiores às frequências de MCN dos respectivos controles negativos. A maior porcentagem de aumento do número de MCN em relação ao controle ocorreu em janeiro de 2012 (281,7%), seguida daquelas em julho (217,9%) e abril (216,8%) de 2012. Por outro lado, as menores porcentagens de aumento do número de MCN, quando comparado ao controle, foram observadas em junho e agosto de 2012 (148%). Os resultados indicaram que as características atmosféricas do ponto urbano estudado induziram genotoxicidade na planta bioindicadora. A proximidade do ponto amostral da principal via de acesso ao município e da rodovia federal BR 116, torna o tráfego de veículos automotores leves e pesados intenso. Além disso, a presença de indústrias inseridas na matriz urbana de Sapucaia do Sul pode estar contribuindo para o aumento da poluição do ar. Em um estudo anterior, níveis de partículas totais em suspensão acima dos estabelecidos pela resolução n.º 03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 1990) foram verificados para este município e relacionados às atividades de siderurgia e metalurgia, bem como ao tráfego de veículos automotores (Carvalho *et al.* 2000).

Danos genéticos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* comparáveis aos encontrados no presente trabalho já haviam sido relatados para o centro urbano de Estância Velha, município caracterizado por indústrias

dos segmentos coureiro e têxtil (IBGE 2014), também pertencente à região metropolitana de Porto Alegre, localizado junto à rodovia BR 116, a cerca de 26 km de Sapucaia do Sul. Foram registradas nesse estudo médias de frequências de MCN de 4,13 a 7,60 nas quatro estações entre os anos de 2009 e 2010 (Costa & Droste 2012).

A indução da formação de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* pelo ar em centros urbanos também foi constatada por estudos em outras regiões do Brasil. No município de São Paulo, SP, Guimarães *et al.* (2000) observaram frequências de MCN de até 7,1 em dois pontos amostrais com intenso tráfego veicular. Em Santo André, município da região metropolitana de São Paulo, plantas expostas por um ano ao ar em diferentes pontos evidenciaram frequências de MCN de até 4,6 em áreas com grande atividade industrial e intenso tráfego de veículos (Savóia *et al.* 2009).

Um estudo de monitoramento da genotoxicidade do ar em Uberlândia, MG, conduzido durante cinco anos relatou intenso tráfego de veículos automotores associado às frequências de MCN que variaram de 1,03 a 4,42 nos verões e de 1,04 a 5,02 nos invernos (Pereira *et al.* 2013). Efeitos genotóxicos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* em ambientes urbanos com intenso tráfego de veículos movidos a gasolina e diesel também foram investigados em Córdoba (Argentina), tendo sido registradas frequências de MCN de 4,2 no centro urbano e 2,4 em área residencial (Carreras *et al.* 2006), enquanto que em áreas urbanas de Varanasi na Índia foram observadas frequências de MCN de 3,95 a 4,35 (Prajapati & Tripathi 2008).

No presente trabalho, as frequências de MCN dos controles negativos permaneceram abaixo do limite de valores considerados como resultantes de mutações espontâneas em plantas cultivadas em ambientes não poluídos (Pereira *et al.* 2013). Tais dados indicaram que os procedimentos de cultivo e exposição não devem ter afetado os ramos e que as condições ambientais encontradas no ponto amostral devem ter sido capazes de provocar um aumento nos danos genéticos em células meióticas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*.

Os fatores abióticos avaliados parecem não ter contribuído, pelo menos de forma direta, para a formação de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* durante as exposições, uma vez que não foi verificada relação entre a frequência de MCN e a temperatura, a umidade relativa do ar e a precipitação acumulada antes e durante as amostragens. A influência de diferentes regimes de temperatura (mínima de 6 °C e máxima de 38 °C) na formação espontânea de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* havia sido previamente investigada sob condições laboratoriais controladas, não tendo sido observadas diferenças significativas entre as frequências de MCN nas temperaturas testadas (Sasamori *et al.* 2012). No entanto, as respostas integradas dos organismos bioindicadores não apenas à poluição atmosférica, mas também a fatores abióticos de diversas naturezas, caracterizam o biomonitoramento (Markert 2007), permitindo

a obtenção de informações acerca do efeito global das condições ambientais sobre os organismos vivos (Savóia et al. 2009).

Condições climáticas têm sido apontadas como preditoras da formação de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* (Savóia et al. 2009, Pereira et al. 2013). Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram apontadas como fatores de aumento de frequências de MCN em plantas expostas ao ar durante um ano em alguns dos pontos amostrais selecionados em Santo André (São Paulo) (Savóia et al. 2009). Segundo os autores, as relações observadas entre as variáveis abióticas testadas e as frequências de MCN indicaram que as plantas são sensíveis ao estresse hídrico. No presente estudo, foram utilizados ramos parcialmente submersos em água, o que evitou a desidratação das células e contribuiu para a manutenção da abertura dos estômatos, que são a principal via de absorção de poluentes gasosos (Savóia et al. 2009).

No estudo de Pereira et al. (2013), os dados indicaram que a umidade relativa do ar contribuiu cerca de 4% para a formação de MCN durante a exposição de plantas por 18 horas ao ar de diversos pontos amostrais de Uberlândia, MG, onde existem duas estações climáticas bem definidas, a estação seca e a estação chuvosa. No estado do Rio Grande do Sul, onde o presente trabalho foi realizado, o clima é úmido com chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano (Buriol et al. 2007), o que contribui com uma distribuição menos heterogênea da umidade relativa do ar e pode explicar, pelo menos em parte, a falta de relação destes fatores abióticos com a formação de MCN. No entanto, maiores estudos são necessários para um melhor entendimento dos mecanismos sinérgicos da poluição atmosférica e de condições climáticas como preditores das respostas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* no biomonitoramento de riscos genotóxicos do ar em áreas urbanas.

Considerando que áreas intensamente urbanizadas levam a alterações da composição atmosférica, podendo comprometer a qualidade ambiental, os resultados obtidos no presente estudo apontaram que o bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea* pode ser ampliado para demais municípios da região metropolitana de Porto Alegre, permitindo identificar áreas de risco genotóxico, com atenção às condições climáticas em escala regional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa, e a Delio Endres Júnior, pela elaboração da figura.

REFERÊNCIAS

BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., CHAGAS, Á. C. & EBERHARDT, D. 2007. Clima e vegetação natural do Estado do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. *Ciência Florestal*, 17(2): 91-100.

CARRERAS, H. A., PIGNATA, M. L., SALDIVA, P. H. N. 2006. *In situ* monitoring of urban air in Cordoba, Argentina using the *Tradescantia-micronucleus* (Trad-MCN) bioassay. *Atmospheric Environment*, 40: 7824-7830.

CARRERAS, H. A., RODRIGUEZ, J. H., GONZÁLEZ, C. M., WANNANAZ, E. D., FERREYRA, F. G., PEREZ, C. A. & PIGNATA, M. L. 2009. Assessment of the relationship between total suspended particles and the response of two biological indicators transplanted to an urban area in central Argentina. *Atmospheric Environment*, 43: 2944-2949.

CARRERAS, H. A., SEGURA, M. E. C., ARROYO, S. G., TOVAR, M. A. M. & MUÑOZ, O. A. 2013. Composition and mutagenicity of PAHs associated with urban airborne particles in Córdoba, Argentina. *Environmental Pollution*, 178: 403-410.

CARVALHO, F. G., JABLONSKI, A. & TEIXEIRA, E. C. 2000. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. *Química Nova*, 23: 614-617.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 1990. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da União, 22 de agosto de 1990.

COSTA, G. M. & DROSTE, A. 2012. 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*, 72: 801-806.

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

GUIMARÃES, E. T., DOMINGOS, M., ALVES, E. S., CALDINI JÚNIOR, N., LOBO, D. J. A., LICHTENFELS, A. J. F. C. & SALDIVA, P. H. N. 2000. Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the *Tradescantia-micronucleus* (Trad-MCN) assay. *Environmental and Experimental Botany*, 44: 1-8.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 10 jan. 2014.

MA, T. H. 1981. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for *in situ* monitoring and mutagen screening. *Environmental Health Perspectives*, 37: 85-90.

MA, T. H. 1983. *Tradescantia* micronucleus (Trad-MCN) test of environmental clastogens. In: KOLBER, A. R., WONG, T. K., GRANT, L. D., DEWONKI, R. S. & HUGHES, T. J. (Eds). *In vitro Toxicity Testing of Environmental Agents, Current and Future Possibilities*. New York: Plenum. p. 191-214.

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

MARKERT, B. 2007. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21: 77-82.

MERLO, C., ABRIL, A., AMÉ, M. V., ARGÜELLO, G. A., CARRERAS, H. A., CHIAPERRO, M. S., HUED, A. C., WANNANAZ, E., GALANTI, L. N., MONFERRÁN, M. V., GONZÁLEZ, C. M. & SOLÍS, V. M. 2011. Integral assessment of pollution in the Suquia River (Cordoba, Argentina) as a contribution to lotic ecosystem restoration programs. *Science of the Total Environment*, 409: 5034-5045.

PEREIRA, B. B., CAMPOS JÚNIOR, E. O. & MORELLI, S. 2013. *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 87: 17-22.

PRAJAPATI, S. K. & TRIPATHI, B. D. 2008. Assessing the genotoxicity of urban air pollutants in Varanasi City using *Tradescantia* micronucleus (Trad-MCN) bioassay. *Environment International*, 34:1092-1096.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SAPUCAIA DO SUL. 2014. Disponível em: <<http://www.sapucaiaodosul.rs.gov.br>> Acesso em 29 mar. 2014.

- SASAMORI, M. H., ENDRES JÚNIOR, D., BARBOSA, M. D., SCHIMTT, J. L. & DROSTE, A. 2012. Active monitoring of urban air with a simple short-term *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay under different temperature conditions. *Revista Brasileira de Biociências*, 10(3): 298-302.
- SAVÓIA, E. G., DOMINGOS, M., GUIMARÃES, E. T., BRUMATI, F. & SALDIVA, P. H. 2009. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 255-260.
- TEIXEIRA, E. C., FELTES, S. & SANTANA, E. R. 2008. Estudo das emissões de fontes móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Química Nova*, 31: 244-248.
- TEIXEIRA, E. C., MATTIUZI, C. D. P., FELTES, S., WIEGAND, F. & SANTANA, E. R. R. 2012. Estimated atmospheric emissions from bio-diesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(3): 655-667.
- THEWES, M. R., ENDRES JUNIOR, D. & DROSTE, A. 2011. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. *Genetics and Molecular Biology*, 34(4): 689-693.
- WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2013. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>>. Acesso em: 21 set. 2013.