

UTILIZAÇÃO DE *TRADESCANTIA* PARA AVALIAR O POTENCIAL MUTAGÊNICO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

USE OF *TRADESCANTIA* TO ASSESS THE MUTAGENIC POTENTIAL OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS

Renata Samara da Silva Venâncio⁽¹⁾

Guilherme Dilarri⁽²⁾

Carolina Rosai Mendes⁽²⁾

Amarildo Otavio Martins⁽³⁾

Resumo. Ao longo dos anos são liberados uma grande quantidade de poluentes atmosféricos em diversas concentrações. Tais poluentes são responsáveis por gerar diversos danos ao meio ambiente e a saúde das pessoas, como por exemplo, o aumento da frequência de tumores. Por isso, é importante o biomonitoramento para avaliar o potencial genotóxico da poluição atmosférica. O teste do micronúcleo em *Tradescantia* permite identificar a sensibilidade da planta a um poluente genotóxico. O presente estudo teve o objetivo de levantar na literatura acadêmica, através do teste do micronúcleo em *Tradescantia*, o potencial mutagênico de poluentes atmosféricos em locais com tráfego variado de veículos. Com base na revisão de literatura é possível concluir que *Tradescantia pallida* é um ótimo bioindicador, devido à alta sensibilidade a poluentes atmosféricos com poder genotóxico, o que pode ser uma ferramenta para avaliar os riscos a saúde humana em locais com elevados índices de poluentes atmosféricos.

Palavras-chave: Bioindicador; genotóxico; teste do micronúcleo.

Abstract. Over the years a large amount of pollutants in varying concentrations are released. Such pollutants are responsible for generating various kinds of damage to the environment and human health, such as increased frequency of tumors. For this reason, it is important to biomonitor to assess the genotoxic potential of air pollution. The micronucleus test in *Tradescantia* allows identification of the sensitivity of the plant to a genotoxic pollutant. The present study was designed to assess the academic literature, through the micronucleus test in *Tradescantia*, the mutagenic potential of air pollutants in locations with varying vehicle traffic. Based on the literature review we conclude that *Tradescantia pallida* is a great bioindicator due to high sensitivity to air pollutants with genotoxic power, which can be a tool to assess the risks to human health in areas with high levels of air pollutants.

Keywords: Bioindicator; genotoxic; micronucleus test.

⁽¹⁾ Mestranda em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar campus Sorocaba.

⁽²⁾ Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar campus Araras.

⁽³⁾ Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar campus Araras; e-mail: amarildo.martins@pq.cnpq.br

(Recebido em: 05 set. 2014; aceito em: 30 set. 2014; publicado em: 31 out. 2014).

1 Introdução

Ambientes urbanos são áreas sob constante atividade humana, em conjunto com altos índices populacionais, polos industriais, centros comerciais e fragmentos de vegetações. Assim são liberados em variáveis concentrações uma grande quantidade de poluentes, sendo as principais fontes de poluentes atmosféricos as indústrias, usinas termoeletricas, incineradores de lixo, calefação doméstica e o tráfego de automóveis (KLUMPP *et al.*, 2001). É incontestável que o avanço tecnológico trouxe enormes benefícios à vida da população, mas esse desenvolvimento está interligado a crescente exposição da humanidade aos agentes tóxicos, de natureza física ou química, capazes de causar danos à saúde do homem e de todos os seres vivos presentes no planeta.

Dentre os poluentes atmosféricos emitidos em áreas urbanas, os mais significativos são dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃), compostos orgânicos como benzeno ou hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP) (MONARCA *et al.*, 1999). Os compostos fotoquímicos

(ozônio) e materiais particulados apresentam uma grande importância devido ao aumento do tráfego de automóveis (KLUMPP *et al.*, 2001).

Misturas de poluentes atmosféricos nos centros urbanos geram preocupação pública, pois são responsáveis por possíveis efeitos mutagênicos, assim altas concentrações de poluentes coloca em risco a saúde humana e geram danos a flora e a fauna (KLUMPP *et al.*, 2001). A contaminação do ar atmosférico é responsável por doenças respiratórias, câncer de pulmão e disfunções cardiovasculares (BRUNEKREEF & HOLTGATE, 2002). Os efeitos oriundos desses poluentes dependem também do período de exposição, clima, estado nutricional, predisposição, idade e impacto simultâneo de outros poluentes.

Devido aos grandes efeitos negativos oriundos da poluição atmosférica há a necessidade de ampliar os estudos com esses efeitos toxicológicos, para que seja possível saber quais são as melhores medidas corretivas que podem ser iniciadas, evitando danos ao ser humano e ao meio ambiente. Para detectar esses efeitos de poluentes atmosféricos sobre os seres vivos é realizado o biomonitoramento ambiental, uma metodologia muito efetiva para esse tipo de estudo, sendo necessário o uso de bioindicadores, que são os organismos expostos aos agentes tóxicos.

O uso de bioindicadores é para complementar o uso de métodos físico-químicos para avaliar as concentrações dos poluentes, fornecendo informações adicionais referentes aos efeitos sobre organismos vivos (KLUMPP *et al.*, 2001).

As plantas, de maneira geral, são mais sensíveis às poluições que os animais, por isso estudos sobre os efeitos dos poluentes em plantas fornecem informações importantes para os programas de controle da poluição atmosférica (ALVES *et al.*, 2001). As respostas das plantas aos poluentes podem ser em níveis microscópicos ou macroscópicos, como cloroses, necroses, queda foliar e diminuição no crescimento como é descrito por Alves e colaboradores (2001), Andrade Júnior e colaboradores (2008) e Mariani e colaboradores (2008).

Dentre os bioindicadores utilizados para avaliar o potencial mutagênico de poluentes atmosféricos em plantas, destaca-se o teste de micronúcleo. Esse teste foi usado pela primeira vez em experimentos *in vitro* com raiz de *Vicia faba*, atualmente é aplicado em estudos com *Allium cepa* e *Tradescantia* spp visando ao monitoramento ambiental (MAJER *et al.*, 2001). O teste do micronúcleo é considerado uma metodologia muito eficiente por muitos pesquisadores devido a sua simplicidade, e a sensibilidade da planta à exposição aos genotóxicos (GUIMARÃES *et al.*, 2000).

O presente estudo teve como objetivo levantar na literatura acadêmica, através do teste de micronúcleo em *Tradescantia* (Trad-MCN), o potencial mutagênico de poluentes atmosféricos em locais com tráfego variado de veículos.

2 Materiais e métodos

Foram levantados estudos publicados na literatura acadêmica relacionado ao monitoramento ambiental através de bioindicadores via teste Trad-MCN. Os critérios de inclusão da literatura bibliográfica nesta revisão foram estudos experimentais e observacionais de autores referentes ao tema abordado publicados durante o período compreendido de Janeiro de 1995 até Dezembro de 2013.

Utilizou-se como base a metodologia da revisão sistemática da literatura (RSL), que busca a integração da formação acadêmica produzida em diferentes locais, situações e por diferentes grupos de pesquisa, possibilitando o conhecimento das evidências científicas existentes na área (GREENHALGH, 1997).

3 Resultados

3.1 Análise do levantamento bibliográfico

Ao se analisar o levantamento bibliográfico realizado neste trabalho por meio da metodologia RSL, pode se destacar os tópicos de principal importância dos estudos de Trad-MCN com o objetivo de realizar o monitoramento ambiental. Sendo esses tópicos os principais temas e problemas abordados nos trabalhos realizados nos últimos dezoito anos. Apesar das singularidades de cada trabalho pode-

se analisar e abordar os respectivos temas: Poluentes atmosféricos e toxicidade em plantas, bioindicadores utilizados para o monitoramento ambiental, biomonitoramento e bioensaios genotóxicológicos.

3.2 Poluentes atmosféricos

Ao longo dos anos a população mundial aumenta cada vez mais nas grandes metrópoles, contribuindo para o progresso econômico e tecnológico, mas esse desenvolvimento provoca inúmeras consequências ambientais, como por exemplo, a contaminação do ar por vários poluentes, oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis (HAN & NAEHER, 2006).

Segundo a Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/1990, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar inconveniente ao bem-estar público, impróprio, nocivo ou ofensivo à fauna e a flora, portanto é qualquer substância presente na atmosfera em concentração capaz de gerar efeitos nocivos nos seres vivos.

Em áreas com grande concentração de habitantes, são encontrados dois tipos de fontes de emissão de poluentes atmosféricos: móvel (frota de veículos automotores) e estacionária (atividades industriais) (CETESB, 2002).

Os poluentes atmosféricos são classificados em duas categorias: poluentes primários (emitidos diretamente pelas fontes) e poluentes secundários (formados por reações químicas entre poluentes primários e outros compostos atmosféricos) (CETESB, 2013).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2013) estabelece os seguintes indicadores da qualidade do ar:

- Partículas totais em suspensão (PTS): São materiais sólidos ou líquidos suspensos no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, com dimensões inferiores a 100µm. Sua composição é variada, incluindo metais pesados. São produzidas por indústrias, veículos, suspensão do solo, queimadas;
- Material particulado ou partículas inaláveis (MP10): Material sólido ou líquido suspenso no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, com dimensões inferiores a 10 µm. Produzidos nos processos de combustão industriais e veiculares;
- Dióxido de enxofre (SO₂): É um gás incolor e com forte odor, proveniente das emissões vulcânicas, sendo liberado por ação antrópica através da combustão de carvão, gás e petróleo. Apresenta um tempo de vida longo e pode ser transportado à longas distâncias, sendo um dos responsáveis pela formação de chuva ácida (FREEDMAN, 1995). O principal responsável pelas doenças respiratórias provocadas por poluentes atmosféricos e pelo agravamento de doenças cardíacas;
- Dióxido de nitrogênio (NO₂): Gás marrom avermelhado, de odor forte e irritante. Pode levar à formação do ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. É produzido na combustão veicular, em processos industriais e de incineração, em condições de temperaturas elevadas. Aumenta a ocorrência de infecções respiratórias e provoca danos à vegetação, devido à formação de chuva ácida;
- Monóxido de carbono (CO): Gás incolor, inodoro, insípido, formado na combustão incompleta em veículos. Forma o dióxido de carbono, na presença de oxigênio molecular, que contribui com o “efeito estufa”, elevando as temperaturas do planeta;
- Ozônio (O₃): É um gás azulado, com odor característico, altamente reativo e o principal componente da névoa fotoquímica, através de ação antrópica é produzido fotoquimicamente na presença da luz solar sobre os óxidos de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis, apresentando tempo de vida curto (FREEDMAN, 1995). Provoca irritação dos olhos e das vias respiratórias, além de causar danos a vegetação.

Todos os estudos e trabalhos abordados demonstram a importância e preocupação com a qualidade do ar. Um dos principais motivos da preocupação com a qualidade do ar é o fato dele refletir diretamente a qualidade do ambiente, sendo ele o principal recurso e fator de contato direto com os seres vivos terrestres. A qualidade do ar implica diretamente na qualidade de vida das pessoas que vivem em áreas com intensa liberação de poluentes, estudos mostram aumento da frequência de tumores de pulmão em habitantes de áreas urbanas, com intensa quantidade de poluentes atmosféricos (BATALHA *et al.*, 1999).

3.3 Poluentes atmosféricos tóxicos às plantas

Interação dos poluentes com as plantas pode ser benéfica ao meio ambiente e ao ser humano, pois elas podem acumular, transformar e absorver poluentes, indicando a presença de substâncias indesejáveis e prejudiciais ao meio ambiente (MOREIRA, 2010).

Cada poluente gera uma interação diferente com a planta. Assim existem fatores que afetam o efeito da poluição sobre a planta, como espécie, forma de crescimento, idade, fase de atividade da planta, vigor da planta, condições climáticas, propriedades químicas, concentração e duração do poluente (SILVA, 2011).

A principal via de entrada de poluentes nas plantas são os estômatos (poros existentes na superfície das folhas que permitem as trocas gasosas com o meio ambiente). Dentre os inúmeros poluentes gasosos existentes, os óxidos de nitrogênio (NO_x), SO_2 e O_3 troposférico são os mais tóxicos para as plantas. Os poluentes SO_2 e NO_x são considerados poluentes primários, pois são emitidos diretamente da fonte, já o O_3 é um poluente secundário, sendo formado na atmosfera (SAVÓIA, 2007).

SO_2 é um dos poluentes mais tóxicos para as plantas, pode ser absorvido pelas raízes e pelos estômatos (FREEDMAN, 1995). Ao ser absorvido pelos estômatos o SO_2 é dissolvido em água, gerando dois compostos, o sulfeto de hidrogênio e o sulfito, estes compostos são então foto-oxidados em sulfato, um composto menos tóxico para a planta (PEDROSO, 2007). Seu acúmulo ocorre nas folhas e sementes (LARCHER, 2000).

Os NO_x nas plantas ao serem absorvidos pelos estômatos (interior das folhas) podem reagir ao entrar em contato com a água formando o ácido nítrico ou nitroso, estes são dissolvidos em nitrato e nitrito, gerando a acidificação das folhas (FREEDMAN, 1995). O nitrato quando encontrado no solo também pode ser absorvido pelas raízes. Próximo a avenidas que apresentam intenso tráfego de veículos (inclusive pesados) estão as concentrações mais elevadas de NO_x (PEDROSO, 2007).

O O_3 troposférico nas plantas é absorvido pelos estômatos nas folhas durante as trocas gasosas (PEDROSO, 2007). Sendo o O_3 troposférico altamente reativo e rapidamente decomposto, gerando oxigênio molecular e os peróxidos, que afetam a membrana plasmática e todas as biomembranas, limitando todos os processos de transferência, em seguida surge a necrose e se espalha, gerando perdas agrícolas (LARCHER, 2000).

3.4 Bioindicadores da qualidade do ar

As alterações causadas por poluentes atmosféricos nas plantas, que são mais citadas pela literatura são: aumento ou a diminuição na produção de enzimas (ANTONIELLI *et al.*, 1997; PASQUALINI *et al.*, 2003), alterações genéticas (GUIMARÃES *et al.*, 2000; KLUMPP *et al.*, 2006), alterações qualitativas e quantitativas de metabólitos, aumento na concentração de hormônios vegetais relacionados ao estresse (DJAK & ORMOND, 1982), alterações na respiração, distúrbios na fotossíntese (KOLB & MATYSSEK, 2001; GEROSA *et al.*, 2003) e alterações na abertura e no fechamento estomático (SCHAUB *et al.*, 2005). Estas alterações podem levar a necrose e clorose em tecidos e órgãos, que podem levar o organismo à morte (LARCHER, 2000).

Métodos físico-químicos são utilizados para avaliar a qualidade do ar, mas seus resultados não permitem conclusões imediatas sobre os impactos das concentrações dos poluentes nos seres vivos (SILVA, 2011). Por isso o uso de bioindicadores é a metodologia mais adequada para avaliar os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre os organismos vivos (KLUMPP *et al.*, 2001).

Para avaliar estas alterações são utilizados bioindicadores, que são organismos vivos utilizados para monitorar os efeitos prejudiciais causados pela poluição ao meio ambiente, os quais podem ser animais ou plantas capazes de indicar estresses gerados pelos poluentes ambientais. Estudos com bioindicadores têm os propósitos de mostrar se determinada perturbação tem ou não um impacto biótico e fornecer informações críticas para a conservação do táxon, principalmente quando a espécie é rara ou ameaçada de extinção (BUTTERFIELD *et al.*, 1995).

Segundo Pedroso (2007) as plantas bioindicadoras podem ser classificadas em quatro grandes grupos:

- Bioindicadoras: Plantas que apresentam sintomas visíveis (necrose, cloroses e distúrbios fisiológicos) como redução no crescimento, redução no número e diâmetro das flores.
- Biossensoras: Plantas que reagem aos efeitos dos poluentes aéreos com efeitos não visíveis, gerando alterações moleculares, celulares, fisiológicas e bioquímicas.
- Bioacumuladoras: Plantas que não apresentam sintomas visíveis, não são tão sensíveis aos poluentes atmosféricos, mas acumulam partículas de poeira e gases dentro dos seus tecidos.
- Biointegradoras: Plantas que indicam o impacto da poluição por meio do aparecimento, desaparecimento ou mudança na densidade da população ou comunidades.

3.5 Biomonitoramento

Biomonitoramento é um método de análise experimental que avalia poluentes em grandes extensões de áreas utilizando bioindicadores (CARNEIRO, 2004; MARIANI *et al.*, 2008). Dentre os bioindicadores de qualidade do ar estão os líquens, musgos e plantas superiores (CARNEIRO, 2004).

Os líquens apresentam grande capacidade de monitorar a qualidade do ar devido a sua alta sensibilidade à contaminação. Líquens e musgos são capazes de acumular metais pesados em seus tecidos, devido a seu tamanho, anatomia simples e ausência de cutícula, também são capazes de tolerar longos períodos de seca e colonizam áreas com condições ambientais extremas (COPELLI, 2011). Essas características demonstram que esses organismos são ótimos bioindicadores de poluição ambiental.

As plantas superiores, em especial *Tradescantia* sp., *Allium cepa* e *Vicia faba*, são mais úteis para atuarem como bioindicadoras por serem eucarióticas, geneticamente complexas e por serem facilmente cultivadas e mantidas para serem utilizadas nos estudos de toxicidade genética (ALVES, 2001).

Tradescantia pallida pertence à família Commelinaceae e à ordem Commelinales. É uma monocotiledônea de distribuição cosmopolita, encontrada em regiões tropicais e subtropicais e apresentando floração durante o ano inteiro (JOLY, 1977). Devido a essas características é utilizada na avaliação qualitativa e quantitativa da contaminação atmosférica, assim é considerada muito eficiente para estudos de biomonitoramento, sendo utilizada como bioindicadora de CO, SO₂, NO₂ e MP-10.

Em relação às plantas como bioindicadores é necessário padronizar as técnicas utilizadas desde o cultivo, exposição das plantas e a avaliação dos resultados, essa padronização é importante para a validade e aplicação dos dados obtidos. A padronização de ensaios toxicológicos, principalmente para sementes e plantas, é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados, reduzindo as chances de erros de amostragem (PELEGRINI, 2014).

3.6 Bioensaios genotoxicológicos

Segundo Silva (2005) bioensaios com plantas para detecção de agentes mutagênicos, são excelentes indicadores de danos cromossômicos oriundos de agentes tóxicos presentes no ar.

O teste de micronúcleo é realizado a partir de células na fase de tétrade, sendo quatro células haploides que posteriormente se diferenciam em grãos de pólen (RAVEN *et al.*, 1996). O bioensaio é um procedimento simples e eficaz, sendo possível avaliar o dano cromossômico em preparações citológicas. Em divisão meiótica os cromossomos são mais sensíveis à quebra, aumentando a sensibilidade, contribuindo para a eficiência do teste (SILVA, 2005).

Micronúcleos (MCN) são estruturas celulares que resultam de cromossomos inteiros ou fragmentos, que se perderam durante a divisão celular, assim não são incluídos no núcleo da célula-filha, mas permanecem no citoplasma das células interfásicas (MAJER *et al.*, 2001). Apesar de os mecanismos de reparo celular serem eficientes, os micronúcleos se formam devido a alterações cromossômicas, que podem estar ligadas a fatores ambientais (MAJER *et al.*, 2001).

A presença de micronúcleos aumenta de acordo com a exposição das plantas aos poluentes, geralmente quanto mais próximo dos centros urbanos elas são localizadas, maior será o número de micronúcleos encontrados no Trad-MCN, pois nessas áreas são liberados a maior parte de poluentes e em altas concentrações, oriundos de automóveis e empresas.

O Trad-MCN é um procedimento simples e eficaz, que permite a avaliação do dano cromossômico em preparações citológicas de rápida execução, apresenta baixo custo financeiro e a facilidade

em obter o material de estudo (SILVA, 2005). São esses fatores que destacam a importância e as vantagens da utilização dessa metodologia para avaliar os efeitos mutagênicos dos poluentes atmosféricos.

Segundo Copelli (2011) as lâminas histológicas com amostra de *Tradescantia pallida* para análise do MCN devem ser preparadas com a inflorescência, mas suas pétalas devem ser retiradas com o objetivo de deixar apenas as anteras, que serão posteriormente maceradas com corante orceína acética. São analisadas 300 tétrades por lâmina, em seguida contabilizado a ocorrência de micronúcleos e alterações estruturais.

O perfil dos ventos, índice pluviométrico e umidade no local de estudo podem alterar a concentração da poluição atmosférica, por causar a dispersão dos compostos tóxicos, assim à elevada frequência de micronúcleos nos pontos de exposição deve-se ao fato de não haver condições favoráveis de dispersão dos poluentes ambientais (COPELLI, 2011). A dificuldade de dispersão dos poluentes está relacionada à inversão térmica que ocorre com frequência no início do inverno, com a diminuição da temperatura e conseqüentemente a menor diluição dos gases na atmosfera (COPELLI, 2011).

Sisenando e colaboradores (2011) realizaram um estudo na região de Tangará da Serra - MT. Essa região é responsável pelo cultivo de cana-de-açúcar, gerando grande poluição oriunda da queima de biomassa. Os resultados mostraram que a frequência de MCN na estação seca foi maior que no período chuvoso, e quanto mais próximo de grandes usinas de cana-de-açúcar maior era essa frequência de micronúcleos. A poluição gerada pela queima de biomassa atingiu seu pico na estação seca, nesse período há queima da palha da cana-de-açúcar em grande quantidade, gerando níveis maiores de poluentes e partículas de poluição maiores. Porém no período chuvoso a quantidade de queima da biomassa é menor e a precipitação gera a dispersão de poluentes, reduzindo a frequência de MCN.

Teixeira e colaboradores (2012), no período de setembro de 2010 a junho de 2011, realizaram um estudo no município de Taubaté, São Paulo, utilizando *Tradescantia pallida* como bioindicadora. Foram monitorados cinco locais com intenso tráfego veicular, apresentando frequências de micronúcleos que variaram de 0,8% a 2,3%. A concentração de poluentes aumentou depois do período chuvoso, demonstrando um comportamento sazonal, resultando no aumento na frequência de MCN nos meses de abril e junho com picos de até 3,0%, pico este presenciado no local com maior fluxo de veículos, moradias e indústrias. Devido a grande variedade e intensidade de fluxo de veículos são liberados hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, metais pesados, benzenos, entre outros poluentes que podem causar danos aos seres vivos.

Nos meses de março a junho de 2012, Silvia e colaboradores (2012) realizaram um estudo em Itajá - RN, com o objetivo de avaliar o potencial genotóxico do ar do município através do Trad-MCN em *Tradescantia pallida*. No município são encontradas 16 empresas de cerâmica, o que propicia um aumento da poluição do ar, devido a enorme queima da madeira, que é utilizada para o aquecimento dos fornos. Durante esse biomonitoramento a média de MCN atingiu valores de 6,30% a 0,21% em local próximo ao ponto cerâmico da cidade, atingindo o maior pico em março. Nesse estudo o índice pluviométrico não provocou nenhuma alteração significativa nos resultados, visto que a taxa de precipitação foi muito baixa, configurando um ano de estiagem. No entanto a intensidade de radiação solar pode ter sido responsável pela maior frequência de MCN observada no mês de março, período que apresentou a maior incidência de radiação solar. Nos meses que apresentaram menor frequência de MCN provavelmente é em decorrência da maior intensidade de ventos nesses períodos, o que gera a dispersão dos poluentes atmosféricos, reduzindo os efeitos genotóxicos.

Barbério e colaboradores (2013) realizaram um estudo mais recente sobre a qualidade do ar em três locais no entorno de uma indústria de papel em Pindamonhangaba - SP. Nesse monitoramento a média de MCN nas três localidades variou de 0,00% a 1,87%, quanto mais próximo da indústria maior foi a média de MCN observada. No mês de outubro foi obtido o maior valor de média do estudo, de 0,51% a 1,87%, no local mais próximo da indústria de papel. Os resultados mostraram aumento nas taxas de mutação nas plantas expostas aos poluentes atmosféricos da indústria de papel, na qual *Tradescantia pallida* mostrou-se sensível à presença desses poluentes. O estudo não mostra se houve acompanhamento de índices pluviométricos, velocidades dos ventos e intensidade de radiação solar, o que pode gerar desconfiança em relação aos resultados, mostrando a necessidade de se realizar um

novo estudo nos três locais levando em consideração fatores ambientais que podem provocar a dispersão de poluentes atmosféricos.

Pesquisas que utilizam Trad-MCN podem ser realizadas também com clones de *Tradescantia*, que são produzidos para esta finalidade. Um dos clones mais utilizados é o 4430, um híbrido diploide entre *T. hirsutiflora* e *T. subcaulis*, este é um clone estéril, não apresentando risco de perder a identidade e a pureza genética por recombinação, o que o torna adequado para experimentos laboratoriais (RODRIGUES *et al.*, 1997).

Tradescantia pallida naturais são tão eficientes como bioindicadoras quanto às plantas geneticamente selecionadas. Sendo importante a utilização de *Tradescantia pallida* em locais que não oferecem condições climáticas adequadas para o desenvolvimento dos clones, além disso, as plantas naturais reduzem o orçamento do estudo e minimizam ataque de pragas, já que estão biologicamente adaptadas.

Villarini e colaboradores (2009) realizaram um estudo em Perúgia, localizada na Itália, com o objetivo de avaliar a genotoxicidade de poluentes atmosféricos urbanos através Trad-MCN utilizando o clone híbrido 4430 de *Tradescantia*. Os experimentos foram realizados em três locais e em diferentes períodos do ano, inverno (janeiro a março), primavera (maio), verão (julho) e outono (novembro). Os resultados mostraram que houve um aumento significativo na frequência de micronúcleos nos meses de janeiro, março, maio e novembro, e em locais com intenso tráfego de veículos, perto da estação ferroviária, em ruas mal ventiladas e movimentadas. Esse estudo, assim como o de Klumpp e colaboradores (2006) comprovaram a sensibilidade do clone híbrido 4430 de *Tradescantia* a poluentes atmosféricos. Apesar deste estudo não fazer relação entre as condições climáticas dos locais de estudo e o aumento de poluentes atmosféricos, este assim como outros estudos com *Tradescantia* naturais, volta a comprovar que nos períodos (inverno, primavera e outono) que não apresentam provavelmente altos índices pluviométricos são os que mostram um aumento significativo na frequência de MCN, em decorrência da dispersão de poluentes que podem ocorrer com a precipitação.

4 Considerações finais

Com base na revisão de literatura pode-se concluir que as plantas são consideradas excelentes bioindicadoras, em especial *Tradescantia pallida* que se mostrou altamente sensível a poluentes atmosféricos com poder genotóxico.

Comprovando que poluentes atmosféricos oriundos de indústrias e veículos, apresentam poder mutagênico para *Tradescantia* natural ou clones do gênero. A mutagênese na planta não pode ser comparada com o poder mutagênico em humanos, entretanto a genotoxicidade do bioensaio do Trad-MCN pode ser utilizado como uma ferramenta para avaliar o risco a saúde humana sob condições ambientais desfavoráveis. Sendo muito importantes esses estudos para avaliar o poder mutagênico de poluentes atmosféricos em *Tradescantia*.

Referências

ALVES, E. S.; GIUSTI, P. M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. H. N.; GUIMARÃES, E. T.; LOBO, J. A. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, n. 4, p. 567-576, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, J. S.; SANTOS JÚNIOR, J. C. S.; OLIVEIRA, J. L.; CERQUEIRA, E. M. M.; MEIRELES, J. R. C. Micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom: alterações genéticas decorrentes de poluição aérea urbana. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v. 30, n. 3, p. 295-301, 2008.

ANTONIELLI, M.; PASQUALINI, S.; EDERLI, L.; BATINI, P.; MOSCATELLO, S.; LORETO, F. Physiological characteristics of tobacco cultivars with contrasting sensitivity to ozone. *Environmental and Experimental Botany*, v. 38, n. 1, p. 271-277, 1997.

BARBÉRIO, A.; VOLTOLINI, J. C.; RIBEIRO, M. C. L. Efeitos mutagênicos da poluição atmosférica em *Tradescantia pallida* no distrito de Moreira César, em Pindamonhangaba, SP. *Revista Biociências*, v. 19, n. 1, p. 69-79, 2013.

- BATALHA, J. R. F.; GUIMARÃES, E. T.; LOBO, D. J.; LICHTENFELS, A. J.; DEUR, T.; CARVALHO, H. A.; ALVES, E. S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G. S.; SALDIVA, P. H. N. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei-assay. *Mutation Research*, v. 426, n. 2, p. 229-232, 1999.
- BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, S. T. Air pollution and health. *Lancet*, v. 360, n. 9341, p. 1233-1242, 2002.
- BUTTERFIELD, J.; LUFF, M. L.; BAINES, M.; EYRE, M. D. Carabid beetle communities as indicators of conservation potential in upland forests. *Forest Ecology and Management*, v. 79, n. 1, p. 63-77, 1995.
- CARNEIRO, R. M. A. *Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade [dissertação de mestrado]*. Ribeirão Preto: Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo; 2004.
- CETESB. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2002*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>; acesso em out. 2013.
- _____. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2012*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>; acesso em out. 2013.
- CONAMA. *Resolução nº 3, de 28/09/1990*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>; acesso em 20 out. 2013.
- COPELLI, T. S. *Biomonitoramento da qualidade do ar utilizando ensaio de micronúcleo em Tradescantia sp [monografia]*. Curitiba: Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- DIJAK, M.; ORMOD, D. P. Some physiological and anatomical characteristics associated with differential ozone sensitivity among pea cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, v. 22, n. 4, p. 395-402, 1982.
- FREEDMAN, B. *Environmental ecology: The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses*. San Diego: Academic Press; 1995.
- GEROSA, G.; MARZUOLI, R.; BUSSOTTI, F.; PANCRAZI, M.; BALLARIN-DENTI, A. Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. *Environmental Pollution*, v. 125, n. 1, p. 91-98, 2003.
- GREENHALGH, T. Papers that summarise other papers (systematic reviews and meta-analyses). *British Medical Journal*, v. 315, p. 672-673, 1997.
- GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E. S.; CALDINI, N.; LOBO, D. J.; LICHTENFELS, A. J.; SALDIVA, P. H. 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*, v. 44, p. 1-8, 2000.
- HAN, X.; NAEHER, L. P. A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International*, v. 32, n. 1, p. 106-120, 2006.
- JOLY, A. B. *Botânica: introdução a taxonomia vegetal*. 4.ed. São Paulo: Nacional; 1977.
- KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, n. 4, p. 511-518, 2001.
- KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; CALATAYUD, V.; GARREC, J. P.; HE, S.; PENUELAS, J.; RIBAS, A.; RO-POULSEN, H.; RASMUSSEN, S.; SANZ, M. J.; VERGNE, P. *Tradescantia* micronucleus test indicates genotoxic potential of traffic emissions in European cities. *Environmental Pollution*, v. 139, p. 515-522, 2006.
- KOLB, T. E.; MATYSSEK, R. Limitations and perspectives about sacling ozone impacts in trees. *Environmental Pollution*, v. 115, n. 3, p. 373-393, 2001.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima; 2000.
- MA, T. H. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. *Environmental Health Perspectives*, v. 37, p. 85-90, 1981.
- MAJER, B. J.; LAKY, B.; KNASMULLER, S.; KASSIE, F. Use of the micronucleus assay with exfoliated epithelial cells as a biomarker for monitoring individuals at elevated risk of genetic damage and in chemoprevention trials. *Mutation Research*, v. 489, n. 2, p. 147-172, 2001.
- MARIANI, R. L.; JORGE, M. P. M.; PEREIRA, S. S. Caracterização da qualidade do ar em São José dos Campos-SP, utilizando *Tradescantia pallida* (Trad-MCN). *Geochimica Brasiliensis*, v. 22, n. 1, p. 27-33, 2008.

MONARCA, S.; FERETTI, D.; ZANARDINI, A.; FALISTOCCO, E.; NARDI, G. Monitoring of mutagens in urban air samples. *Mutation Research*, v. 426, n. 2, p. 189-192, 1999.

MOREIRA, T. C. L. *Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica da cidade de São Paulo* [dissertação de mestrado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2010.

PASQUALINI, S.; PICCIONI, C.; REALE, L.; EDERLI, L.; DELLA TORRE, G.; FERRANTI, F. Ozone-induced cell death in tobacco cultivar Bel W3 plants. The role of programmed cell death in lesion formation. *Plant Physiology*, v. 133, p. 1122-1134, 2003.

PEDROSO, A. N. V. *Poluentes atmosféricos & Plantas Bioindicadoras*. Disponível em: <http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Poluentes_Atmosfericos_&_PlantasBioindicadora_s_Andrea_N_V_Pedroso.pdf>; acesso em 16 set. 2013.

PELEGRINI, R. T.; MEDINA, A. F.; MENDES, F.; MOLENA, J. C.; GREVE, L. F.; SALMAZO, L. G. S.; MILANI, P. A.; ANDRADE, P. G.; TOGNOLI, R. B. Metodología de evaluación ecotoxicológica empleando germinación de semillas em gel nutriente como medio de cultura. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 9, n. 2, p. 359-372, 2014.

RAVEN, P. H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara; 1996.

RODRIGUES, G. S.; MA, T. H.; PIMENTEL, D.; WEINSTEIN, L. H. *Tradescantia* bioassay as monitoring systems for environmental mutagenesis: a review. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 16, n. 1, p. 325-359, 1997.

SAVÓIA, E. J. L. *Potencial de Tradescantia pallida cv. purpurea para biomonitoramento da poluição aérea de Santo André* [dissertação de mestrado]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2007.

SCHAUB, M.; SKELLY, J. M.; ZHANG, J. W.; FERDINAND, J. A.; SAVAGE, J. E.; STEVENSON, R. E.; DAVIS, D. D.; STEINER, K. C. Physiological and foliar symptom response in the crowns of *Prunus serotina*, *Fraxinus americana* and *Acer rubrum* canopy trees to ambient ozone under forest conditions. *Environmental Pollution*, v. 133, n. 3, p. 553-567, 2005.

SILVA, J. S. *Efeitos genotóxicos em tétrades de Tradescantia pallida (Rose) D. R. Hunt var. purpurea induzidos por poluentes atmosféricos na cidade de Salvador - BA* [monografia]. Feira da Santana: Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana; 2005.

SILVA, K. K.; CARVALHO, A. S.; MATIAS, J. N. R.; DIAS, S. A. M. M.; GALVÃO, M. F. O.; DUARTE, F. T. Teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida* aplicado ao biomonitoramento da qualidade do ar na cidade de Itajá-RN. *Anais. Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação; 2012; Tocantins. Tocantins: Ed. Instituto Federal do Tocantins, p.1-6, 2012.*

SILVA, M. F. *Avaliação da qualidade do ar utilizando espécies arbóreas na cidade de Patos-PB* [dissertação]. Patos, PB: Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande; 2011.

SISENANDO, H. A.; MEDEIROS, S. R.; SALDIVA, P. H.; ARTAXO, P.; HACON, S. S. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian legal Amazon by *Tradescantia* micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. *Environmental health*, v. 10, p. 1-9, 2011.

TEIXEIRA, M. C. V.; BARBÉRIO, A. Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom (Commelinaceae). *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 7, n. 3, p.279-292, 2012.

VILLARINI, M.; FATIGONI, C.; DOMINICI, L.; MAESTRI, S.; EDERLI, L.; PASQUALINI, S.; MONARCA, S.; MORETTI, M. Assessing the genotoxicity of urban air pollutants using two in situ plant bioassays. *Environmental Pollution*, v. 157, p. 3354-3356, 2009.

Como citar este artigo científico

VENÂNCIO, R. S. da S.; DILARRI, G.; MENDES, C. R.; MARTINS, A. O. Utilização de *Tradescantia* para avaliar o potencial mutagênico de poluentes atmosféricos. *Scientia Vitae*, v.2, n.6, ano 2, out. 2014, p. 61-69. Disponível em: <www.revistaifpsr.com/>; acesso em: __/__/__.