

DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO AR ATMOSFÉRICO DA CIDADE DE MONTE CARMELO, MG, BRASIL, POR MEIO DE BIOMARCADORES DE GENOTOXICIDADE

DETERMINATION OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN THE CITY OF MONTE CARMELO, MG, BRAZIL, BY MEANS OF GENOTOXICITY BIOMARKERS

Cássio Resende de Moraes¹
Mateus Xavier de Lima²

RESUMO: Em se tratando de poluição atmosférica, o aumento da frota de veículos configura-se como um dos problemas em centros urbanos, uma vez que, a longo prazo, ocorre a redução da qualidade do ar atmosférico. A cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, apresenta um intenso tráfego de veículos, aliado a expressiva presença de indústrias ceramistas. Visando avaliar os impactos da frota de veículos na qualidade do ar atmosférico, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar de 6 bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, bem como a capacidade genotóxica dos poluentes atmosféricos. Foi determinado o fluxo volumétrico de veículos, por meio de análise direta in loco. Para analisar a atividade genotóxica dos poluentes atmosféricos, foi utilizado o Teste do micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MCN). *T. pallida* foram expostas por 18h ao ar atmosférico presentes nos bairros. As inflorescências foram coletadas, fixadas, coradas e as lâminas foram preparadas para análise de frequência de micronúcleos. Em todos os bairros foram observados um intenso tráfego de veículos, sendo esses mais expressivos nos bairros Centro (C) e Cidade Jardim (CJ). Os resultados da análise de micronúcleos em *T. pallida* indicaram efeitos genotóxicos em todos os bairros amostrados, indicando a presença de xenobióticos mutagênicos no ar atmosférico. Nas condições experimentais analisadas conclui-se que a qualidade do ar atmosférico dos bairros amostrados é preocupante, havendo por tanto a necessidade de mais estudos, principalmente pautados em estratégias de mitigação das fontes poluidoras difusas e pontuais.

Palavras-chave: Genotoxicidade; *Tradescantia pallida*; Poluentes atmosféricos.

-
1. Licenciado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP. Especialista e Biotecnologia Ambiental pelo Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Especialista em Toxicologia e Bioquímica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo – FAMEESP. Especialista em Biologia Celular e Molecular pelo Centro Universitário FAVENI - UNIFAVENI. Mestre e Doutor em Genética e Bioquímica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Docente e Pesquisador pelo UNIFUCAMP. cassio.1015@hotmail.com)
 2. Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica e Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

ABSTRACT: When it comes to air pollution, the increase in vehicle fleets is a major problem in urban centers, as it leads to a long-term reduction in atmospheric air quality. The city of Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil, has heavy vehicle traffic, coupled with a significant presence of ceramics industries. To assess the impacts of vehicle fleets on atmospheric air quality, this study aimed to evaluate the air quality of six neighborhoods in Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil, as well as the genotoxic capacity of atmospheric pollutants. Vehicle volumetric flow was determined through direct on-site analysis. To analyze the genotoxic activity of air pollutants, the *Tradescantia pallida* micronucleus test (Trad-MCN) was used. *T. pallida* were exposed for 18 hours to the atmospheric air present in the neighborhoods. The inflorescences were collected, fixed, stained, and slides were prepared for micronucleus frequency analysis. Heavy vehicle traffic was observed in all neighborhoods, with this being most significant in the Centro (C) and Cidade Jardim (CJ) neighborhoods. The results of micronucleus analysis in *T. pallida* indicated genotoxic effects in all sampled neighborhoods, indicating the presence of mutagenic xenobiotics in the atmospheric air. Under the experimental conditions analyzed, it was concluded that the atmospheric air quality in the sampled neighborhoods is of concern, thus requiring further studies, primarily focused on mitigation strategies for diffuse and point source pollution.

Keywords: Genotoxicity; *Tradescantia pallida*; Air pollutants.

1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa foi desenvolvida na cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil. É uma cidade de pequeno porte com economia expressiva em indústrias ceramistas e possui crescente frota de veículos em função do baixo investimento em transportes coletivos.

Sendo assim, visando verificar a qualidade do ar atmosférico da cidade o presente trabalho se baseou em análises ambientais por meio de bioindicadores de qualidade do ar e análises da frota de veículos. Para tanto, a qualidade do ar de 6 bairros da cidade foi avaliada por meio da análise da frequência de micronúcleos em *Tradescantia pallida*.

A qualidade do ar atmosférico configura-se uma das características mais importantes para a manutenção da vida. Mesmo apresentando importância relevante, ao longo dos anos, as intervenções antrópicas têm contribuído de maneira significativa com a depressão desse componente abiótico. Doenças cardiorrespiratórias são recorrentemente relacionadas com a exposição a poluentes atmosféricos.

Nesse sentido, o presente trabalho buscou avaliar a qualidade do ar atmosférico da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, por meio de abordagens de análise de fluxo de veículos, bem como por meio de análises biológicas em *T. pallida*.

Espera-se com esse trabalho a obtenção de dados relacionados a qualidade do ar atmosférico da cidade, possibilitando a tomada de medidas mitigatórias para melhorar a qualidade do ar, bem como a expectativa de vida da sociedade.

O presente artigo foi dividido em 4 partes, sendo a primeira destinada a fundamentação teórica. No segundo serão abordados os procedimentos metodológicos relacionados ao desenvolvimento da pesquisa de campo. No terceiro será apresentado os principais resultados vinculados a pesquisa. E finalmente, as considerações finais relacionadas as principais conclusões geradas pela discussão dos dados agrupados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Vários fatores são necessários para manter a saúde ambiental. Em destaque, o ar atmosférico representa um dos componentes abióticos mais importantes para a manutenção da vida. Controle da temperatura do planeta, clima e regime das chuvas são eventos diretamente relacionados com o ar atmosférico. Além disso, componentes presentes no ar são fundamentais nas reações bioquímicas nas plantas e nos animais, bem como toda a microbiota (Nelson; Cox, 2018).

Mesmo representando benefícios intrínsecos para os seres vivos, o ar atmosférico também pode influenciar na densidade populacional de diferentes espécies, uma vez que, serve de veículo para microrganismos patogênicos, bem como toxicantes ambientais (Geddes, 2020).

Há muito se sabe que a presença do homem no planeta tem intensificado os impactos ambientais, sendo a poluição do ar um dos assuntos mais discutidos ao que diz respeito as intervenções antropogênicas negativas ao ecossistema (Abbatt e Wang, 2019).

Segundo Amâncio e Nascimento (2012) poluentes atmosféricos, mesmo dentro dos padrões pré-estabelecidos por lei, podem causar efeitos adversos em diferentes espécies, incluindo o homem. Dentre as diferentes fontes poluidoras pontuais e difusas, destacam-se as indústrias e o tráfego de veículos movidos pela queima de combustíveis fósseis. Além disso, pesticidas, clorofluorcarbonos (CFC) e metais pesados têm contribuído diretamente com a depressão da qualidade do ar (Grzywa-Celinska; Krusinski; Milanowski, 2020).

Dependendo do poluente ambiental e seus níveis na atmosfera, diferentes impactos ambientais podem ocorrer, como degradação da camada de ozônio, intensificação do efeito estufa e chuva ácida (Prananto et al., 2020). Além disso, compostos como os óxidos de

enxofre (SO) e nitrogênio (NO), monóxido de carbono (CO), material particulado, hidrocarbonetos e metais pesados provenientes da queima incompleta de combustíveis fósseis, podem resultar no aumento da frequência de doenças cardiorrespiratórias, irritações nos olhos, efeitos mutagênicos e carcinogênicos, bem como eventos deletérios por intoxicação (Wang et al., 2020).

2.2 BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO AR

Diante dos fatos apresentados, a poluição atmosférica tem sido alvo de uma grande variedade de estudos, principalmente pelas áreas toxicológicas, sendo o biomonitoramento ambiental uma valiosa ferramenta no rastreio de poluentes ambientais, bem como seus efeitos na biota. Estudos pautados no monitoramento ambiental utiliza de estudos sistemáticos com seres vivos no ambiente ou fatores interligados a estes, que podem apresentar uma resposta ou avaliação referente a qualidade ambiental (Campos et al., 2016; Rocha et al., 2018).

Um dos bioindicadores de qualidade de ar atmosférico mais utilizados são as plantas da espécie *T. pallida*, principalmente na área da mutagênese (Pereira et al., 2014).

Em *T. pallida*, um dos testes mais utilizados e padronizados em pesquisas pautadas na toxicologia ambiental, é o teste do micronúcleo (Trad-MCN), o qual permite o rastreio da genotoxicidade induzida por xenobióticos ambientais, pela análise de biomarcadores indicativos de eventos clastogênicos ou aneugênicos. O Trad-MCN foi primeiramente proposto por Ma et al (1978) e desde então, utilizado por vários pesquisadores na análise da genotoxicidade induzida por poluentes atmosféricos aquáticos e presentes no solo (Morais et al., 2019).

Em resumo, o Trad-MCN permite a análise de micronúcleos (MN), que são fragmentos de cromossomos ou cromossomos inteiros que por falha na segregação cromossômica se desprenderam do núcleo principal da célula. A formação de MN está diretamente relacionada por eventos clastogênicos (quebra cromossômica) ou aneugênicos (não disjunção meiótica), causadas por exposição à agentes genotóxicos e mutagênicos (FENECH, 2000).

2.3 PROBLEMATIZAÇÃO

A cidade de Monte Carmelo, situada na região Alto Paranaíba, possui população de 47809 habitantes de acordo com o último censo demográfico em 2019 (IBGE, 2019) (Figura 1). A economia é baseada principalmente na agricultura (café e soja) e na indústria ceramista. A cidade é conhecida na microrregião Alto Paranaíba como a capital da Telha, e em função da

intensa atividade ceramista, a qualidade do ar tem sido reduzida nos últimos anos (Campos et al., 2016). Não o bastasse, o crescente aumento na frota de veículos, aliado ao não investimento em transportes coletivos, tem contribuído com os impactos ambientais de origem antropogênica.

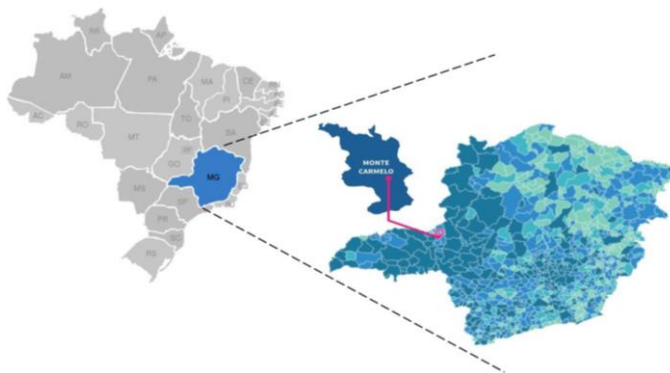


Figura 1: Cidade de coleta de dados de cobertura de Líquens.

Fonte: <https://www.montecarmelo.mg.gov.br/perfil>

Nesse cenário de fontes de poluição atmosférica pontual e difusa, avaliar a contribuição da frota de veículos na poluição atmosférica, bem como os efeitos genotóxicos dos poluentes atmosféricos, é fundamental no intuito de estimar os potenciais riscos, bem como permitir a criação de estratégias para mitigar o problema.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS

No presente trabalho foi quantificado o fluxo de veículos em 6 bairros da cidade de Monte Carmelo: Cidade Jardim (CJ), Jardim Zenith (JZ), Triângulo (T), Centro (C), Batuque (B) e Santa Rita (SR).

A determinação do tráfego de veículos foi realizada de acordo com as recomendações do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR, 2006) com adaptações. Em cada bairro foi selecionada uma via principal (trecho de 1000m) de maior tráfego de veículos e a determinação volumétrica foi feita em hora de pico (7 às 9h e 17 às 19:00h) e em horário comercial (14:00 às 15:00). Os dados foram anotados em diagrama padrão, expressando os valores em média e desvio padrão em volume de veículo por hora (Vph), seguindo a seguinte equação matemática:

$$V = \frac{N}{T}$$

Onde, V representa o volume de tráfego de veículo por hora; N , quantidade de veículos amostrado e T , o tempo de amostragem.

3.2 TESTE DO MICRONÚCLEO *IN SITU* EM *Tradescantia pallida* (TRAD-MCN)

3.2.1 MATERIAL BIOLÓGICO

T. pallida (Rose) D.R Hunt var. *purpurea* foram cultivadas em casa de vegetação no Centro Universitário Mário Palmério (UNIFUCAMP), Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil, em temperatura de 16°C noite e 26°C dia, com umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$. As plantas foram cultivadas em vasos rasos contendo substrato Bioplant® (Casa do Campo, Ltda, Nova Ponte, Minas Gerais, Brasil).

Todas as plantas foram originadas de uma única matriz para garantir a homogeneidade nos grupos de plantas submetidas a exposição ao ar atmosférico. A fertilização e a irrigação foram sistematicamente controladas, assim como a taxa de mutação espontânea do estoque de plantas na casa de vegetação.

3.2.2 EXPOSIÇÃO DAS PLANTAS

O bioensaio foi conduzido de acordo com o protocolo descrito por Ma et al (1984), com adaptação de Pereira et al (2013; 2016). Para avaliar a qualidade do ar de diferentes pontos da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, floreiras com no mínimo 20 inflorescências foram introduzidas em 12 pontos da cidade, dois pontos para cada bairro (Tabela 1).

As floreiras foram inseridas nos locais de monitoramento em caixas de madeira (25 x 25 x 35cm) abertas, com “sombrite” na porção superior (50% de sombreamento) para evitar a insolação excessiva. As caixas de exposição foram amarradas em *Mangifera indica* com distância de 2m do solo.

T. pallida cultivada na casa de vegetação foram usadas como controle negativo. Formaldeído na concentração de 0,2% foi utilizado como controle positivo, como descrito por Campos et al (2015).

Tabela 1. Pontos de monitoramento do ar atmosférico com *Tradescantia pallida*

Bairro	Ponto de exposição	Coordenadas geográficas
Batuque	P1	236874 e 7926739
	P2	236730 e 7926741
Centro	P1	236728 e 7927338
	P2	236618 e 7927027
Cidade Jardim	P1	235521 e 7927537
	P2	234733 e 7927773
Jardim Zenith	P1	235014 e 7926263
	P2	235023 e 7926602
Santa Rita	P1	236571 e 7929231
	P2	236495 e 7930172
Triângulo	P1	236229 e 7926957
	P2	235821 e 7926686

Fonte: Dados dos autores.

Após a exposição, inflorescências jovens foram cortadas, coletadas e fixadas em solução carnoy ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ e CH_3COOH , na proporção de 3:1) por 24 horas e posteriormente conservadas em etanol 70% até o momento das análises.

3.3.3. ANÁLISE DE MICROSCOPIA

No momento das análises, as anteras foram maceradas com bastão de vidro sobre lâminas para microscopia, coradas com carmim acético, cobertas com lamínulas e aquecidas a 80°C.

A frequência de micronúcleos foi avaliada em no mínimo 5 inflorescências de cada ponto de monitoramento. Nesse sentido, 10 lâminas por bairro foram preparadas para análise de frequência de MN. Em cada lâmina foram analisadas 300 tétrades, totalizando 3000 tétrades por bairro.

A análise foi realizada em microscopia óptica sob magnificação de 400 vezes (Ma *et al.*, 1994).

Para comparar o fluxo de veículos e a frequência de MN em *T. pallida* nos diferentes locais de monitoramento, foi utilizada a análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de

Tukey para comparação múltipla. Valores de $p \leq 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Figura 2, os bairros de maior fluxo de veículos foram a cidade jardim (CJ – $583,66 \pm 29,02$ Vph) e o centro da cidade (C – $575,0 \pm 55,48$ Vph), seguido dos bairros do Triângulo (T – $490,33 \pm 13,65$ Vph), Batuque (B – $473,66 \pm 32,14$ Vph), Santa Rita (SR – $311,33 \pm 62,06$ Vph) e Jardim Zenith (288,66 $\pm$ 12,42).

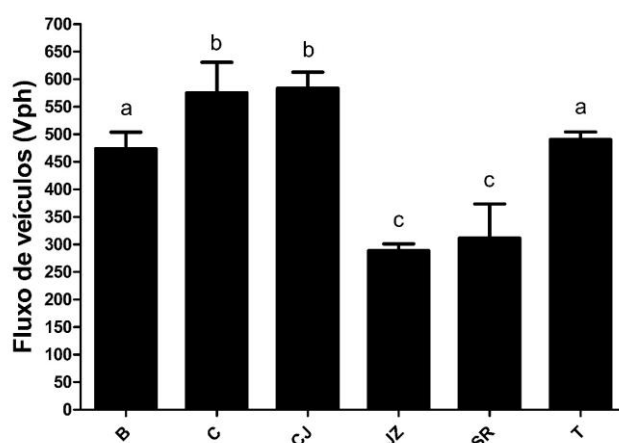


Figura 2. Determinação volumétrica do fluxo de veículos na cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil.

* Colunas com letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas, de acordo com o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Legenda: B: Batuque; C: Centro; CJ: Cidade Jardim; JZ: Jardim Zenith; SR: Santa Rita; T: Triângulo.

Fonte: Dados dos autores.

Os resultados de fluxo de veículos foram diretamente compatíveis com as atividades existentes em cada bairro. Em C é observado intenso fluxo de veículos devido ao comércio, bem como a concentração de escolas, bancos, casas lotéricas, lojas de eletrodomésticos, roupa, supermercados, restaurantes, dentre vários outros estabelecimentos comerciais. B, assim como C, apresenta intensa concentração de comércio, sugerindo maior demanda de fluxo de veículos.

CJ, JZ, SR e T são bairros que, além do comércio local, fazem conexão com a MG-190, o que viabiliza o fluxo de veículos. Ao analisar esses bairros, evidentemente, o bairro CJ

apresentou maior fluxo de veículos, sendo a principal rota de conexão com a MG-746 que conecta Monte Carmelo com Grupiara, MG, Brasil, além da conexão com a MG-190.

Embora a determinação do fluxo de veículos seja fundamental, as análises isoladas são insuficientes para avaliar a qualidade ambiental do ar atmosférico. Nesse sentido, a análise de bioindicadores configuram-se abordagens fundamentais para avaliação da qualidade do ar atmosférico.

Em todos os bairros analisados foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$, Tukey) na frequência de MN quando comparado ao grupo controle (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência de Micronúcleos em *Tradescantia pallida* nos diferentes bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil (Ano de referência 2019).

Bairros	Tétrades analisadas	Frequência de micronúcleos/100 $\pm$ DP
CN	3000	$0,90 \pm 0,73^a$
CP	3000	$15,0 \pm 3,55^b$
B	3000	$2,70 \pm 1,15^c$
C	3000	$4,50 \pm 0,84^d$
CJ	3000	$3,90 \pm 0,56^d$
JZ	3000	$2,60 \pm 0,51^c$
SR	3000	$2,40 \pm 1,07^c$
T	3000	$2,40 \pm 1,64^c$

CN: Controle negativo (*T. pallida* cultivada em casa de vegetação na UNIFUCAMP); CP: Formaldeído na concentração de 0,2%; B: Batuque; C: Centro; CJ: Cidade Jardim; JZ: Jardim Zenith; SR: Santa Rita; T: Triângulo;

* Médias com letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa de acordo com o Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados dos autores.

Os resultados da frequência de MN apresentam correlação com o fluxo de veículos, sendo observada maior frequência de MN nas plantas expostas ao ar atmosférico dos bairros C ($4,50 \pm 0,84$) e CJ ($3,90 \pm 0,56$), os quais demonstram maior taxa volumétrica por hora de veículos (Figura 2).

Os resultados indicam a presença de poluentes atmosféricos com capacidade de desencadear eventos genotóxicos em células de *T. pallida* durante o desenvolvimento do grão de pólen em todos os bairros amostrados. Assim, sugere-se que a maior parte dos poluentes atmosféricos em Monte Carmelo são resultantes do fluxo de veículo.

Comparar a frequência de MN em diferentes estudos de biomonitoramento da qualidade do ar trata-se de tarefa difícil de ser extrapolada, tendo em vista que as condições específicas climáticas, bem como os fatores relacionados ao fluxo de veículos e as atividades industriais predominantes, podem influenciar nos resultados, o que dificulta a comparação de dados de diferentes áreas.

No entanto, diferentes pesquisas na literatura destacam que os poluentes liberados durante a queima incompleta de combustíveis fósseis durante o tráfego de veículos apresentam relação direta com eventos genotóxicos, tais como eventos aneugênicos e/ou clastogênicos (Sposito et al., 2017), incluindo material particulado (Pereira et al., 2013), e mistura complexa de compostos orgânicos (Misik et al., 2011).

No que diz respeito à poluição atmosférica, a presença de poluentes ambientais em níveis suficientes, seja por exposição aguda ou crônica, pode resultar em danos adversos em organismos expostos (Amancio; Nascimento, 2012). A exposição a poluentes ambientais, como monóxido e dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio, metais pesados e materiais particulados, está diretamente associada a diferentes danos de interesse toxicológico, que incluem, eventos genotóxicos, mutagênicos e carcinogênicos (Campos et al., 2016).

Nesta vertente, estudos de biomonitoramento ambiental podem contribuir diretamente com a identificação de padrões de qualidade ambiental, bem como possibilita a tomada de medidas mitigatórias para corrigir os impactos ambientais, antes que estes tomem dimensões difíceis de serem reparadas.

Os resultados na frequência de MN nos controles negativos e positivos foram compatíveis com outros trabalhos (Campos et al., 2015; Moraes et al., 2019), respondendo fielmente ao Trad-MCN (Tabela 2).

5. CONCLUSÃO

A cidade de Monte Carmelo – MG, Brasil, mesmo sendo considerada de pequeno porte tem demonstrado nos últimos anos um considerável crescimento urbano. Aliado a ocupação antropogênica, os impactos ambientais têm aumentando, principalmente ao que diz

respeito a frota de veículos na cidade, sendo ainda observado pouco investimento em transporte coletivo. Aliado a isso, a cidade é considerada capital da telha, tendo por tanto, atividade contínua de produção de materiais ceramistas, o que acaba por contribuir com a depressão da qualidade ambiental do ar atmosférico.

Diante este cenário, os resultados apresentados nos permitem concluir que todos os bairros avaliados na cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil estão em um intenso tráfego de veículos, principalmente o centro (C) da cidade e o bairro cidade Jardim (CJ). As análises de frequência de MN em *T. pallida* indicam a presença de poluentes genotóxicos no ar atmosférico da cidade. Nessa vertente, a hipótese relacionada ao aumento da urbanização aliada a redução da qualidade do ar atmosférico da cidade foi confirmada no presente estudo.

Destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo do ar atmosférico, por meio de abordagens quantitativas referentes ao fluxo volumétrico de veículos, bem como pelo uso de bioindicadores e biomarcadores de qualidade do ar. Além disso, os resultados gerados alertam para o investimento em transporte público coletivo, além da implementação e investimento em projetos de arborização nos bairros para salvaguardar a qualidade ambiental nas presentes e futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ABBATT, J.P.D., WANG, C. The atmospheric chemistry of indoor environments. **Environ Sci Process Impacts**, v. 22, n. 1, p. 25-48, 2019.

AMANCIO, C.T.; NASIMENTO, L.F.C. Asma e poluentes ambientais: Um estudo de series temporais. **Revista da Associação Médica**, v. 58, p. 302-307, 2012.

AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332 p, 1998.

CAMPOS, C.F.; JÚNIOR, E.O.C.; SOUTO, H.N.; SOUSA, E.F.; PEREIRA, B.B. Biomonitoring of the environmental genotoxic potential of emissions from a complex of ceramic industries in Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil, using *Tradescantia pallida*. **Jornal of Toxicology and Environmental Heath, Part A**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2016.

CAMPOS, C.F.; PEREIRA, B.B.; CAMPOS-JUNIOR, E.O.; SOUSA, E.F.; SOUTO, H.N.; MORELLI, S. Genotoxic evaluation of the River Paranaíba hydrographic basin in Monte Carmelo, MG, Brazil, by the *Tradescantia* micronucleus. **Genet Mol Biol**, v. 38, p. 507-512, 2015.

FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutat Res**, v. 455, n. 1-2, p. 81-95, 2000.

GEDDES, D. The history of respiratory disease management. **Medicine** (Abingdon), v. 48, n. 4, p. 239-243, 2020.

GRZYWA-CELINSKA, A.; KRUSINSKI, A.; MILANOWSKI, J. "Somoging Kills" - Effects of air pollution on human respiratory system. **Ann Agric Environ Med**, v. 27, n.1, p. 1-5, 2020.

HU, C.; SHENG, X.; LI, Y.; XIA, W.; ZHANG, B.; CHEN, X.; XING, Y.; LI, X.; LIU, H.; SUN, X.; XU, S. Effects of prenatal exposure to particulate air pollution on newborn mitochondrial DNA copy number. **Chemosphere**, v. 253, p. 126592, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2019. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2019/estimativa_dou_2019_20190913.pdf. Acesso em: 01/03/2020.

Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro - RJ: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 384 p. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7724/1/PB_COENC_2016_2_09.pdf. Acesso: 12/05/2020.

MA, T.; SPARROW, A.; SCHAIRER, L.; NAUMAN, A. Effect of 1,2-dibromoethane (DBE) on meiotic chromosomes of *Tradescantia*. **Mutat Res**, v. 58, p. 251-258, 1978.

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

MISIK, M.; MA, T.H.; NERSESYAN, A.; MONARCA, S.; KIM, J.K.; KNASMUELLER, S. Micronucleus assays with *Tradescantia* pollen tetrads: an update. **Mutagenesis**, v. 26, p. 215-221, 2011.

MORAIS, C.R.; PEREIRA, B.B.; SOUSA, P.C.A.; SANTOS, V.S.V.; CAMPOS, C.F.; CARVALHO, S.M.; SPANÓ, M.A.; REZENDE, A.A.A.; BONETTI, A.M. Evaluation of the genotoxicity of neurotoxic insecticides using the micronucleus test in *Tradescantia pallida*, **Chemosphere**, v. 227, p. 371-380, 2019.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2018, 7. ed. 1312p.

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, E.O.; LIMA, E.A.; BARROZO, M.A.; MORELLI, S. Biomonitoring air quality during and after a public transportation strike in the center of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil by *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Environ Sci Pollut Res Int.** v. 21, p. 3680-3685, 2014.

PRANANTO, J.A.; MINASNY, B.; COMEAU, L.P.; GRACE, P. Drainage increases CO₂ and N₂ O emissions from tropical peat soils. **Glob Chang Biol**, v. 26, p. 4583-4600, 2020.

ROCHA, A.D.N.; CANDIDO, L.S.; PEREIRA, J.G.; SILVA, C.A.M.; SILVA, S.V.; MUSSURY, R.M. Evaluation of vehicular pollution using the TRAD-MCN mutagenic bioassay with *Tradescantia pallida* (Commelinaceae). **Environ Pollut**. v. 240, p. 440-447, 2018.

SPOSITO, J.C.V.; CRISPIM, B.D.A.; ROMAN, A.I.; MUSSURY, R.M.; PEREIRA, J.G.; SENO, L.O.; GRISOLIA, A.B. Evaluation the urban atmospheric conditions in different cities using comet and micronuclei assay in *Tradescantia pallida*. **Chemosphere**. v. 175, p. 108-113, 2017.

WANG, Y.; KONG, L.; WU, T.; TANG, M. Urban particulate matter disturbs the equilibrium of mitochondrial dynamics and biogenesis in human vascular endothelial cells. **Environ Pollut**, v. 264, p. 114639, 2020.