

**BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR ATMOSFÉRICO NA CIDADE DE MONTE CARMELO (MG), BRASIL, POR MEIO DA ANÁLISE BIOINDICADORES AMBIENTAIS: UMA ANÁLISE EM ESCALA TEMPORAL**

BIOMONITORING OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN THE CITY OF MONTE CARMELO (MG), BRAZIL, THROUGH THE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL BIOINDICATORS: A TIME-SCALE ANALYSIS

Stella Maria Justino Zanetti<sup>1</sup>

Patrícia Borges Silveira<sup>2</sup>

Carlos Fernando Campos<sup>3</sup>

Laryssa Freitas Ribeiro<sup>4</sup>

Cássio Resende de Moraes<sup>5\*</sup>

**RESUMO:** A qualidade do ar é um dos principais indicadores ambientais e está diretamente relacionada à saúde pública, ao equilíbrio ecológico e à qualidade de vida nas áreas urbanas. A poluição atmosférica, proveniente principalmente de fontes antrópicas como veículos automotores, indústrias e queimadas, representa um desafio crescente para a sustentabilidade ambiental. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, nos anos de 2017 e 2025, por meio da análise de cobertura líquênica e o Teste do Micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MN). Para análise da cobertura líquênica, foi feita uma triagem da porcentagem de líquens crostosos e foliosos aderidos em *Mangifera indica* em 8 bairros da cidade. Nos mesmos bairros, foram inseridos clones de *T. pallida* para monitoramento ambiental ativo. Os resultados revelaram baixa frequência de líquens (foliosos e crostosos) nos bairros monitorados e alta frequência de MN em *T. pallida*. Ao comparar os resultados do biomonitoramento passivo e ativo nos bairros nos anos de 2017 e 2025, foi verificada redução da colonização líquênica e um aumento na frequência de MN. Nas condições experimentais testadas e empregando o biomonitoramento passivo e ativo foi possível verificar que todos os bairros da cidade de

---

1. Licenciado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP.

2. Licenciada e bacharelada em Geografia pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. Mestra e Doutora em Geografia pela UNESP.

3. Licenciado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP. Mestre e Doutor em Genética e Bioquímica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

4. Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho (UNESP). Mestra e Doutora em Medicina Veterinária pela UNESP. Coordenadora, Docente e Pesquisadora pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP.

5. 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. \* Autor de correspondência: [cassio.1015@hotmail.com](mailto:cassio.1015@hotmail.com)

Monte Carmelo estão em precariedade de qualidade ambiental. Os dados comparativos entre os anos de 2017 e 2025 indicam redução da qualidade do ar atmosférico, por consequência de uma série de fatores, que incluem, falta de incentivo em transporte coletivo, redução das áreas verdes, aumento na frota de veículos, atividades industriais e ausência de manutenção em catalisadores e filtros.

**Palavras-chave:** Bioindicação; Biomarcadores de genotoxicidade; Mutagenicidade; Poluição atmosférica.

**ABSTRACT:** Air quality is one of the main environmental indicators and is directly related to public health, ecological balance, and quality of life in urban areas. Air pollution, mainly originating from anthropogenic sources such as motor vehicles, industries, and burning, represents a growing challenge for environmental sustainability. In this context, the present study aimed to evaluate air quality in the municipality of Monte Carmelo, Minas Gerais, in the years 2017 and 2025, through the analysis of lichen cover and the *Tradescantia pallida* (Trad-MN) Micronucleus Test. For the analysis of lichen cover, a survey was conducted to determine the percentage of crustose and foliose lichens attached to *Mangifera indica* in eight neighborhoods of the city. In the same neighborhoods, *T. pallida* clones were placed for active environmental monitoring. The results revealed a low frequency of lichens (both foliose and crustose) in the monitored neighborhoods and a high frequency of MN in *T. pallida*. When comparing the results of passive and active biomonitoring in the neighborhoods between 2017 and 2025, a reduction in lichen colonization and an increase in MN frequency were observed. Under the experimental conditions tested and by employing both passive and active biomonitoring, it was possible to verify that all neighborhoods in Monte Carmelo show precarious environmental quality. Comparative data between 2017 and 2025 indicate a decline in atmospheric air quality as a consequence of several factors, including the lack of incentives for public transportation, reduction of green areas, increase in vehicle fleet, industrial activities, and lack of maintenance in catalytic converters and filters.

**Keywords:** Bioindication; Genotoxicity biomarkers; Mutagenicity; Air pollution.

## 1. APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A atmosfera é composta por uma mistura de gases e vapor d'água, seu volume é formado por aproximadamente 78,1% de nitrogênio, 21,0% de oxigênio, 0,9% de argônio e 0,04% de dióxido de carbono (Manahan, 2013). O oxigênio e o dióxido de carbono desempenham funções essenciais para a vida, atuando na respiração aeróbica e na fotossíntese, respectivamente, processos fundamentais para a manutenção do equilíbrio atmosférico e biológico (Malhadas, Alquini, Kunz, 2002).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 506/2024, poluição atmosférica é definida como qualquer forma de matéria ou energia presente no ar que, por suas características, quantidade, tempo ou intensidade, possam tornar o ar nocivo à saúde, ao bem-estar público, à fauna, à flora ou aos materiais, interferindo negativamente nas atividades humanas e ambientais (CONAMA, 2024).

Ações antrópicas como o uso excessivo de veículos automotores, processos industriais, geração de energia e outras fontes fixas e móveis, são as principais responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos, contribuindo para a degradação da qualidade do ar (BRASIL, 2021). Entre os poluentes mais encontrados na atmosfera, destacam-se o monóxido de carbono (CO), o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o monóxido de nitrogênio (NO), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), os compostos orgânicos voláteis (COVs), o ozônio (O<sub>3</sub>), os hidrocarbonetos, o material particulado (MP), as partículas totais em suspensão (PTS) e as partículas inaláveis (PI) (Meller *et al.*, 2017).

Diante da necessidade da avaliação da qualidade do ar, o biomonitoramento surge como uma ferramenta importante para a avaliação da qualidade ambiental, pois permite identificar impactos da poluição atmosférica a partir das respostas de organismos sensíveis presentes no ambiente (Reis *et al.*, 2020).

Os líquens destacam-se como organismos acumuladores de elementos químicos presentes no ambiente, devido à sua sensibilidade à poluição atmosférica mesmo em baixas concentrações a esses elementos (Martins, Käffer, Lemos, 2008).

Paralelamente, *Tradescantia pallida* configura-se outro bioindicador de qualidade ambiental, se destacando pela sua sensibilidade a poluentes capazes de causar diferentes danos toxicológicos (Crispim *et al.*, 2014; Sposito *et al.*, 2017);

O Teste do micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MN), configura-se um teste amplamente utilizado para o rastreamento de genotoxinas capazes de causar instabilidade genética, incluindo àqueles presentes no ar atmosférico (Crispim *et al.*, 2014; Klumpp *et al.*, 2006; Sposito *et al.*, 2017).

Micronúcleos (MN) são fragmentos de cromossomos ou cromossomos inteiros que se desprenderam do núcleo principal devido a eventos clastogênicos ou aneugênicos, gerados pela ação direta ou indireta de mutágenos, sendo um excelente biomarcador de genotoxicidade (Klumpp *et al.*, 2006).

A cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil é situada na região do Alto Paranaíba e se destaca pela sua atividade econômica voltada para o agronegócio e a indústria ceramista

(IBGE, 2022). Nos últimos anos, a cidade tem se expandido e conseqüentemente o fluxo de veículos tem se intensificado, contribuindo em conjunto com as atividades ceramistas com depressão da qualidade do ar atmosférico.

Nesse contexto, avaliar e monitorar a qualidade do ar atmosférico em uma escala temporal é fundamental no intuito de prevenir impactos na saúde dos habitantes carmelitanos, levando em consideração a sensibilidade dos presentes bioindicadores no rastreamento de xenobióticos capazes de induzir efeitos toxicológicos adversos.

A proposta da presente pesquisa busca fornecer dados para a formulação de estratégias de mitigação da poluição atmosférica, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e a preservação dos ecossistemas urbanos.

## **1.1 HIPÓTESE DE PESQUISA**

Com a expansão da cidade e o aumento do fluxo de veículos, espera-se uma redução da qualidade do ar atmosférico, sendo esta hipótese testada, por meio da análise da resposta gerada por bioindicadores ambientais.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a qualidade do ar atmosférico nos últimos 8 anos, por meio da análise da cobertura líquênica em *Mangífera indica* e a frequência de micronúcleos em *Tradescantia pallida*.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- \* Identificar, classificar e quantificar os líquens em troncos de árvores de *M. indica* em diferentes áreas da cidade;
- \* Relacionar a distribuição ou ausência de líquens às possíveis fontes de poluição, como tráfego urbano e indústrias;
- \* Comparar os dados obtidos com padrões de bioindicação da qualidade do ar entre os anos de 2017 e 2025;
- \* Sugerir medidas ambientais para melhorar a qualidade do ar com base nos resultados.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

## 2.1 AR ATMOSFÉRICO

O ar atmosférico é composto por gases indispensáveis para o equilíbrio ambiental e a manutenção da vida, participando de processos como a respiração e a fotossíntese. De acordo com Ynoue *et al.*, (2025), a composição do ar é composto predominantemente por:

O gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) ocupa aproximadamente 78% do volume total da atmosfera seca, e o gás oxigênio (O<sub>2</sub>), cerca de 21%. Essas quantidades de nitrogênio e oxigênio na atmosfera são relativamente constantes próximo à superfície da Terra, sendo esses gases denominados permanentes, assim como o argônio (Ar), o neônio (Ne), o hélio (He), o hidrogênio (H<sub>2</sub>) e o xenônio (Xe). (p. 7)

Temos ainda em Ynoue *et al.*, (2025) a consideração de que:

As concentrações de alguns gases que compõem a atmosfera não são constantes ao longo do tempo ou do espaço. Gases como o vapor d'água (H<sub>2</sub>O) e o ozônio (O<sub>3</sub>) podem variar significativamente de lugar para lugar ou de um dia para outro, sendo, portanto, chamados de gases variáveis. Como têm concentrações muito pequenas, também recebem o nome de gases-traço. (p. 7)

Apesar de estarem presentes em quantidades muito pequenas, os gases variáveis exercem funções fundamentais para o equilíbrio do planeta. O vapor d'água e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atuam diretamente na regulação térmica, por meio do efeito estufa, mantendo temperaturas adequadas para a vida. Além disso, o vapor d'água participa da formação de nuvens, sendo essencial para o ciclo hidrológico. Já o ozônio (O<sub>3</sub>), presente na estratosfera, tem papel crucial na filtragem da radiação ultravioleta, protegendo os seres vivos dos efeitos nocivos dessa radiação.

## 2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados de acordo com sua origem, os de fontes naturais incluem substâncias como pólenes, bactérias, esporos, partículas sólidas de poeira provenientes de erupções vulcânicas ou carregadas pelo vento, além de fumaça gerada por incêndios naturais. Já as fontes antropogênicas, resultantes das atividades humanas, têm como principais origens a combustão de combustíveis fósseis, processos industriais, o tráfego de veículos e a queima de resíduos sólidos (Ayoade, 2012).

De acordo com a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), os poluentes atmosféricos são divididos em duas categorias: poluentes primários, aqueles que

são lançados diretamente pelas fontes de emissão; e poluentes secundários, quando formados na atmosfera por reações químicas entre os poluentes primários e por componentes ambientais da atmosfera (CETESB, 2023). Além disso, a poluição atmosférica pode ser classificada de acordo com a localização de suas fontes emissores, sendo dividida em fontes fixas (pontuais), como indústrias e usinas termelétricas, que permanecem em um local específico, e fontes móveis (difusas), como os veículos, que se deslocam enquanto liberam poluentes no ambiente (Santos, 2017).

## **2.3 PRINCIPAIS POLUENTES**

### **2.3.1 Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)**

O dióxido de enxofre é um gás tóxico e incolor, proveniente de fontes naturais, como vulcões, mas também é emitido por atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis (BRASIL, 2013). É uma espécie sulfurosa reativa, ou seja, participa de reações químicas na atmosfera que resultam na formação de substâncias como o ácido sulfúrico, contribuindo para a chuva ácida e a poluição atmosférica (Barry, Chorley, 2009).

Altamente solúvel, o SO<sub>2</sub> pode ser transportado por longas distâncias e, ao se oxidar, forma aerossóis ácidos prejudiciais à saúde respiratória, como o agravamento de asma e aumento de internações por doenças pulmonares (Braga *et al.*, 2001).

### **2.3.2 Óxidos de nitrogênio (NO, NO<sub>2</sub>, e NO<sub>x</sub>)**

São gases formados pela combinação de oxigênio e nitrogênio, emitidos principalmente por processos de combustão em veículos, usinas térmicas, indústrias, incineradores, equipamentos agrícolas e de construção civil. Naturalmente, também podem ser gerados por descargas elétricas na atmosfera. Essas substâncias contribuem para a poluição do ar urbano devido à sua alta reatividade e ampla emissão (CPRH, 2017).

Além disso, esses compostos, especialmente o NO<sub>2</sub>, são formados durante combustões em altas temperaturas e têm participação na geração do ozônio troposférico. Seu baixo grau de solubilidade permite que atinjam regiões profundas dos pulmões, exercendo efeitos tóxicos por sua ação como agente oxidante (Braga *et al.*, 2001).

### **2.3.3 Material particulado**

Composto por uma variedade de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, com composição e tamanho variando conforme a fonte de emissão. Classificam-se em partículas

grossas (diâmetro entre 2,5 e 30  $\mu\text{m}$ ), originadas de processos como combustões descontroladas e dispersão do solo, e partículas finas (menores que 2,5  $\mu\text{m}$ ), provenientes principalmente da queima de combustíveis em veículos e usinas, capazes de atingir as regiões mais profundas do pulmão (Braga *et al.*, 2001).

Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), o material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) representa um dos poluentes atmosféricos mais nocivos, já que sua exposição prolongada está associada a doenças respiratórias e cardiovasculares graves. No meio ambiente, essas partículas contribuem para a acidificação de solos e recursos hídricos, além de reduzir a visibilidade atmosférica (FEPAM, 2018).

## **2.4 BIOMONITORAMENTO**

O biomonitoramento consiste no uso de organismos vivos que reagem a alterações ambientais, permitindo que essas mudanças sejam observadas e quantificadas por meio das respostas biológicas apresentadas (Reis *et al.*, 2020).

Além disso, o biomonitoramento pode ser classificado em passivo ou ativo. O passivo consiste na análise de organismos que já habitam o ambiente estudado e que acumularam poluentes ao longo do tempo. Já o ativo utiliza organismos cultivados em condições controladas, que são posteriormente expostos ao ambiente alvo da pesquisa, possibilitando a avaliação da qualidade do ar (Montenegro; Rodrigues; Caramantin-Soriano, 2020).

## **2.5 BIOINDICADORES**

Bioindicadores são organismos que respondem a alterações no ambiente, tanto por causas naturais quanto por atividades humanas, sendo que espécies mais sensíveis demonstram respostas mais rápidas e eficazes. Por outro lado, espécies resistentes ou tolerantes a poluentes podem permanecer ou até se proliferar em ambientes degradados, servindo como indicativo da persistência da contaminação e da baixa qualidade ambiental (Mota Filho *et al.*, 2007).

Para que um organismo seja considerado um bioindicador, ele deve conter características como ampla distribuição geográfica, fácil identificação, abundância, baixa variabilidade genética e ecológica, além de apresentar longo ciclo de vida, baixa mobilidade e ser passível de estudos em laboratório (Buss; Baptista; Nessimian, 2003).

## **2.6 LÍQUENS COMO BIOINDICADORES**

Líquen é termo dado a uma associação simbiótica mutualista entre um componente fúngico (micobionte) e uma população de algas unicelulares ou cianobactérias (fotobionte). Cerca de 98% dos fungos liquenizados pertencem ao filo Ascomycota (Raven, Evert, Eichhorn, 2001). Os líquens apresentam alta sensibilidade à poluição devido ao desequilíbrio entre seus organismos simbióticos, tornando-se úteis como bioindicadores ambientais (Romanoski, Murara, Gumbosk, 2023).

Muitas espécies são sensíveis a certos poluentes atmosféricos, como o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), sendo gradualmente substituídas por outras mais resistentes, que acabam predominando nos ambientes urbanos (Duarte, Amaral, 2024). A exposição a poluentes atmosféricos pode comprometer os líquens, afetando seu crescimento, metabolismo e estrutura morfofisiológica (Käffer, 2011).

Além disso, os líquens podem ser classificados de acordo com o tipo de talo, os principais são os crostosos, foliosos e fruticosos. Os líquens crostosos possuem crescimento lento e se fixam sob superfícies de rochas, solo ou casca de árvores. Os líquens foliosos apresentam o talo achatado e são fixados ao substrato por filamentos ou cordões de hifas. Já os fruticosos possuem estrutura ramificada ou em forma de arbusto, sendo fixados por uma base estreita (Bresinsky, 2011). O líquen fruticoso é considerado o mais sensível aos poluentes atmosféricos (Santos *et al.*, 2017).

## **2.7 *Tradescantia Pallida* COMO BIOINDICADOR**

Popularmente conhecida como Coração-roxo, a *Tradescantia pallida* é uma herbácea de porte pequeno, mediando cerca de 20 a 30cm de altura. Originária do México, a TP é uma planta pertencente à família Commelinacea que apresenta uma tradicional e marcante coloração arroxeada. Apresenta ampla adaptação e fácil propagação, desenvolvendo-se em campos, canteiros, vasos e quintais, **com** floração praticamente contínua ao longo do ano. Além disso, seu cariótipo (2n = 12), com cromossomos relativamente grandes e em baixa quantidade quando comparada a outras espécies vegetais, favorece os estudos de biomonitoramento ambiental (Carvalho, 2005; Savóia, 2007).

Considera-se potencial genotóxico a capacidade que um agente tem de produzir efeitos sobre o material genético de um organismo. Essas mudanças constantemente apresentam malefícios ao indivíduo exposto, podendo provocar aberrações mutagênicas e doenças como o câncer (Valente *et al.*, 2017).

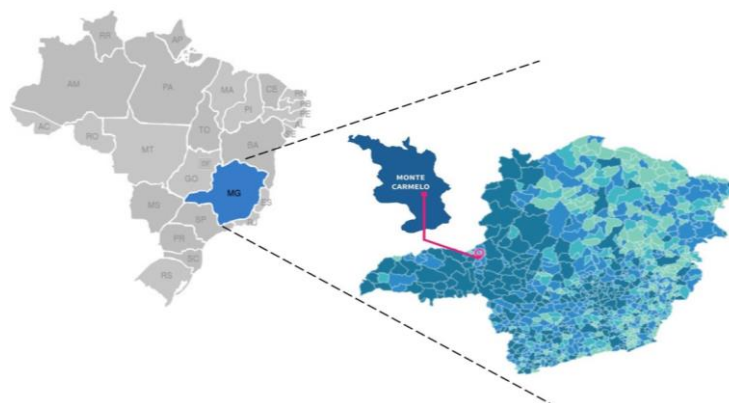
No Trad-MN com *Tradescantia pallida*, essa capacidade é inferida pela frequência de micronúcleos observados nas tétrades de micrósporos, após a exposição ambiental a xenobióticos, funcionando como marcador de efeito aplicado em campo (Savóia, 2007). Podemos definir micronúcleos (MN) como fragmentos de cromossomos ou cromossomos inteiros que se desprenderam do núcleo principal devido a eventos clastogênicos ou aneugênicos, gerados pela ação direta ou indireta de mutágenos, sendo um excelente biomarcador de genotoxicidade (Klummp *et al.*, 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil (**Figura 1**). A cidade faz parte da Região Alto Paranaíba, e apresenta população estimada em 47.692 habitantes, segundo o último censo demográfico (IBGE, 2022). A área do distrito é de 1.343 km<sup>2</sup>, sendo as atividades ceramistas e as atividades voltadas para o setor da agropecuária (atividade leiteira e cultivo do café) as principais fontes de renda.

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






**Fonte:** Google imagens

#### 3.2 Análise de cobertura de Líquens

Os líquens podem ser classificados de acordo com a sua sensibilidade a poluentes ambientais e a composição estrutural. De acordo com Moraes (2025), três manifestações líquênicas podem apresentar sensibilidade diferencial a diferentes poluentes atmosféricos. Conforme apresentado na **Tabela 1** os líquens crostosos são mais tolerantes a poluentes atmosféricos, sendo, portanto, encontrados em tronco de árvores em áreas urbanas com certa facilidade.

**Tabela 1.** Caracterização dos líquens

<b>Tipo de líquen</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tolerância</b>	<b>Representação visual</b>
Crostoso	Possuem crescimento lento e se fixam sob superfícies de rochas, solo ou casca de árvores	Mais resistente	
Folioso	Apresentam talo achatado e são fixados ao substrato por filamentos ou cordões de hifas	Sensibilidade intermediária	
Fruticoso	Possuem estrutura ramificada ou em forma de arbusto, sendo fixados por uma base estreita	Muito sensíveis	

Fonte: Morais, 2025 (adaptado)

Os líquens foliosos apresentam o talo achatado e são fixados ao substrato por filamentos ou cordões de hifas, apresentando sensibilidade intermediária. Já os fruticosos possuem estrutura ramificada ou em forma de arbusto, sendo fixados por uma base estreita (Bresinsky, 2011). O líquen fruticoso é considerado o mais sensível aos poluentes atmosféricos (Santos *et al.*, 2017).

A metodologia utilizada nesta pesquisa é do tipo descritiva, com abordagem quantitativa e qualitativa aplicada em estudo de campo. Para isso, foi realizada a coleta de

dados diretamente no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, utilizando o biomonitoramento passivo por líquens. A coleta foi feita por meio da aplicação de uma malha de plástico subdividida em 100 quadrículas de 4 × 4 cm sobre o tronco de árvores previamente selecionadas, registrando-se a presença ou ausência de líquens em cada célula da grade, conforme metodologia de Moraes (2025).

Na presente pesquisa foi analisado a frequência de líquens crostosos e foliosos em árvores de *Mangifera indica* em diferentes bairros da cidade (análise de cobertura em 10 árvores por bairro). Os bairros selecionados, foram Cidade Jardim, Vila Nova, Centro, Vila Dourada, Batuque, Triângulo, Santa Rita e Jardim Zeny. A escolha dos bairros foi baseada mediante a presença de fontes poluidoras difusas e pontuais.

Como grupo testemunha, foi selecionado 10 *M. indica* localizadas em área de zona rural situadas a 7 Km da cidade de Monte Carmelo (MG), devido às características do ambiente, sendo este considerado como de baixa intervenção antrópica oriunda de poluição atmosférica.

A cobertura de líquens em *M. indica* foram avaliadas e as análises foram comparadas entre os bairros, buscando identificar a qualidade do ar atmosférico em cada bairro na cidade. O biomonitoramento foi feito nos anos de 2017 e 2025, buscando investigar a evolução da qualidade do ar atmosférico da cidade em uma escala temporal.

### **3.3 Teste do micronúcleo *in situ* em *Tradescantia pallida* (Trad-MCN)**

#### **3.3.1 Material biológico**

*Tradescantia 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 ± 10°C.

As plantas foram cultivadas em vasos rasos contendo substrato Bioplant® (Casa do Campo, Ltda, Nova Ponte, Minas Gerais, Brasil). O substrato é composto por casca de pinus, esterco bovino, serragem, fibra de coco, vermiculita, casca de arroz, cinza vegetal, gesso agrícola, carbonato de cálcio, magnésio, termofosfato magnésiano e aditivos (fertilizantes) em proporções equivalentes.

Todas as plantas foram originadas de uma única matriz, objetivando 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. A taxa de mutação do estoque de plantas foi verificada mensalmente, não podendo exceder 2 micronúcleos (MN) em 100 tétrades analisadas.

### 3.3.2 Exposição das plantas

O bioensaio foi conduzido de acordo com o protocolo descrito por Ma *et al.*(1994), com adaptação de Pereira *et al.* (2013; 2014). 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 16 pontos da cidade, dois pontos para cada bairro (**Tabela 1**), conforme protocolo estabelecido por Pereira *et al.* (2013). As plantas foram inseridas nos pontos de monitoramento nos meses de fevereiro de 2017 e março de 2025, em experimentos independentes. Em cada experimento, *T. pallida* foram expostas por 18h (07:00 ± 2h am às 3:00 ± 2h am) em dias úteis.

As floreiras foram inseridas nos locais de monitoramento em caixas de madeira (25 x 25 x 35) abertas, com sombrite na porção superior (50% de sombreamento) para evitar a insolação excessiva. As caixas de exposição foram amarradas em *M. 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).

Após a exposição, inflorescências jovens foram cortadas, coletadas e em seguida fixadas em solução carnoy (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH e CH<sub>3</sub>COOH, 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). A frequência de micronúcleos (MN) foi apresentada como número de micronúcleos em 100 tétrades analisadas.

### 3.4 Análise estatística

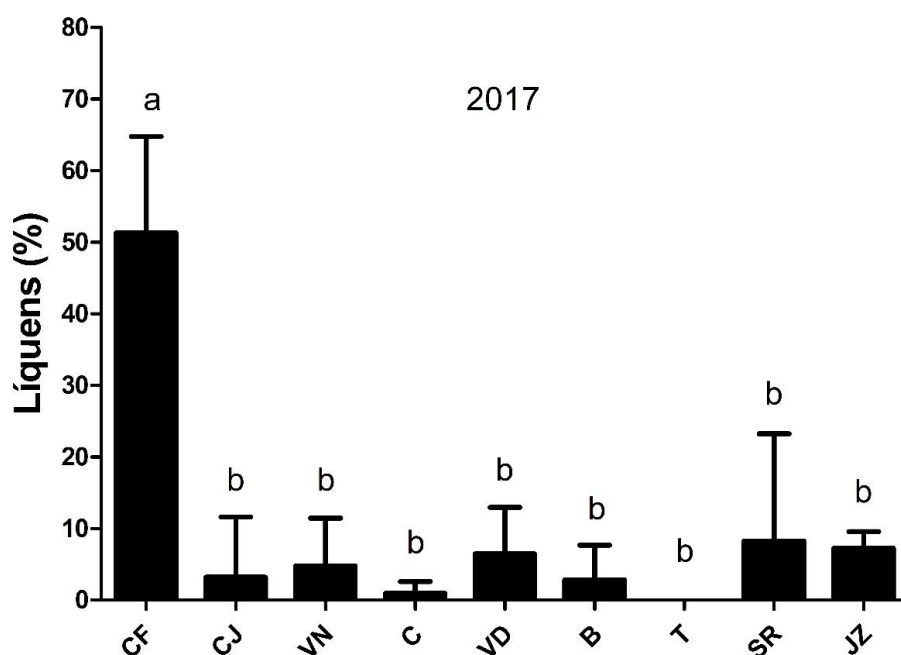
Para comparar as porcentagens de cobertura dos líquens presentes nas mangueiras e a frequência de MN em *T. pallida* nos diferentes locais de monitoramento, foi utilizado a análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para comparação múltipla. Valores de  $p \leq 0,05$  foram considerados estatisticamente significativos.

Para comparar a cobertura de líquens e frequência de MN dos locais de monitoramento entre os anos de 2017 e 2025 foi empregado o teste *U*, não paramétrico de Mann-Whitney, com nível de significância  $p \leq 0,05$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho foi avaliado a qualidade do ar atmosférico da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil em uma escala temporal (2017 e 2025), por meio do biomonitoramento passivo pela análise da cobertura liquênica (líquens foliosos e crostosos) e biomonitoramento ativo por meio do teste do micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MN). O monitoramento foi feito no ano de 2017 e reavaliadas em 2025 com a finalidade de comparar os padrões observados e verificar tendências de melhora ou de depressão. As áreas e os resultados foram interpretados considerando as respostas dos bioindicadores aos poluentes atmosféricos.

Na **Figura 2** está apresentado o resumo dos resultados referente a cobertura de líquens foliosos em *Mangifera indica* no ano de 2017. A frequência de líquens foliosos em todos os bairros analisados fora consideradas baixa, diferindo estatisticamente (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ) do grupo testemunha (controle fazenda).

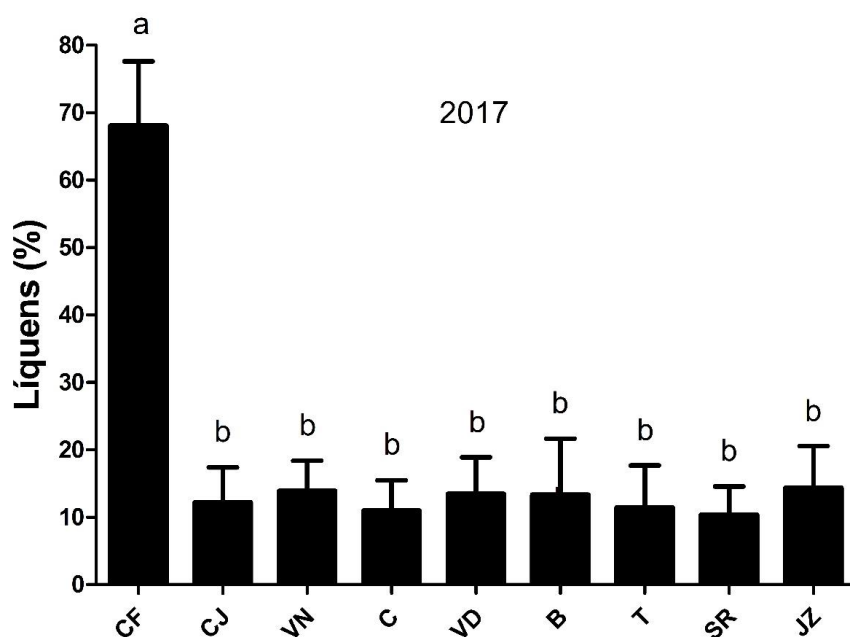


**Figura 2.** Cobertura de Líquens foliosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil.

CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

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

Os resultados referentes a cobertura de líquens crostosos apresentam tendencia de resposta semelhante a cobertura de líquens foliosos, sendo observado baixa frequência, diferindo estatisticamente (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ) em todos os bairros monitorados, quando comparado ao controle fazenda (**Figura 3**).

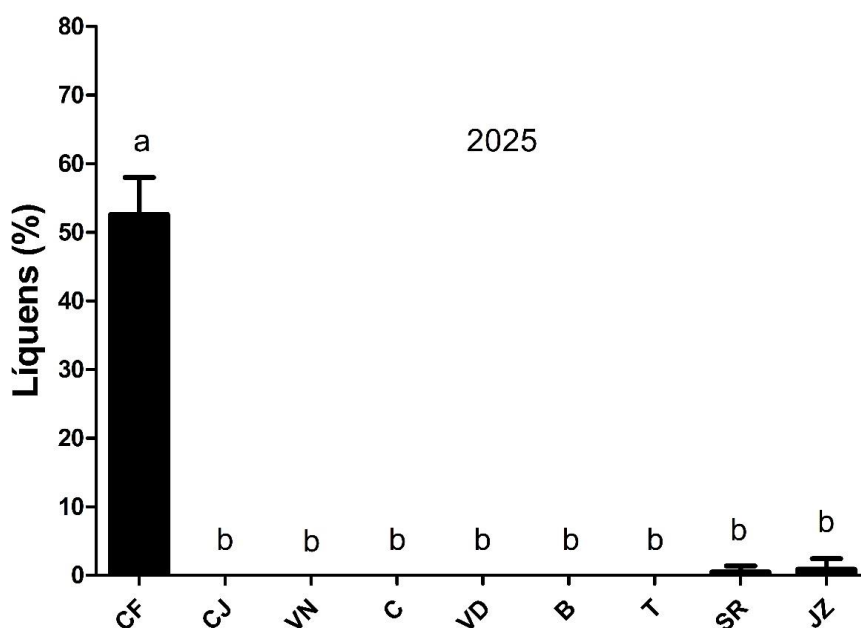


**Figura 3.** Cobertura de Líquens crostosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil.

CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

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

No ano de 2025, foram observados resultados semelhantes ao que diz respeito a frequências de líquens, diferindo estatisticamente do controle fazenda (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ) tanto para líquens foliosos (**Figura 4**), quanto para líquens crostosos (**Figura 5**).



**Figura 4.** Cobertura de Líquens foliosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil.

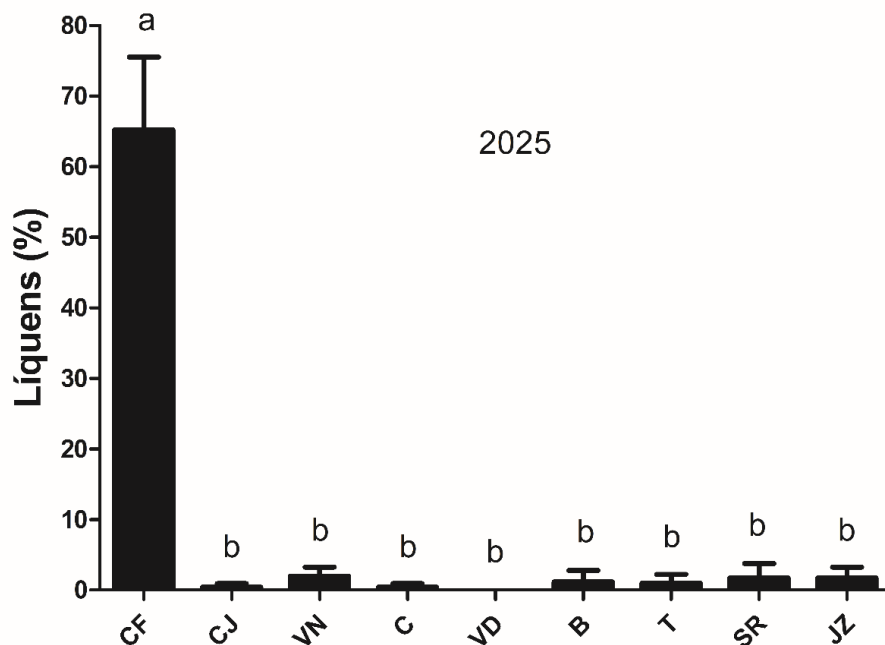
CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

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

Tanto no ano de 2017, quanto no ano de 2025, foi verificado uma frequência menor de líquens foliosos nos bairros monitorados quando comparado a frequência de líquens crostosos (Figuras 2, 3, 4 e 5). Os resultados sugerem diferença de sensibilidade entre as duas manifestações morfológicas dos simbiontes, indicando que líquens crostosos são mais tolerantes a poluentes atmosféricos quando comparado aos líquens foliosos. Esses dados são concordantes com Vargas; Wolf e Soares (2023). Silva e Moraes (2025) destacam que líquens foliosos apresentam sensibilidade intermediária a poluentes atmosféricos, sendo mais indicados por não subestimar ou superestimar os efeitos de contaminantes aeriformes.

Líquens são organismos simbiontes, resultantes da interação mutualística entre fungos/algas ou fungos/cianobactérias (Vargas; Wolf; Soares 2023). Na toxicologia ambiental o emprego de líquens na prática de bioindicação tem sido constantemente usado por diferentes pesquisadores em diferentes ambientes urbanos (Martins; Kaffer; Leos, 2008; Fernandes; Silva, 2012; Wink, 2018; Moura; Braz, 2020; Reis; Neves; Silva, 2023; Volanik et al., 2024), incluindo na cidade de Monte Carmelo (Silva e Moraes, 2025; Moraes, 2025) e região (Costa

et al., 2023; Silva e Morais, 2024; Sousa e Morais, 2024; Correa e Morais, 2025), comprovando a sua eficiência na indicação de perturbações antropogênicas.



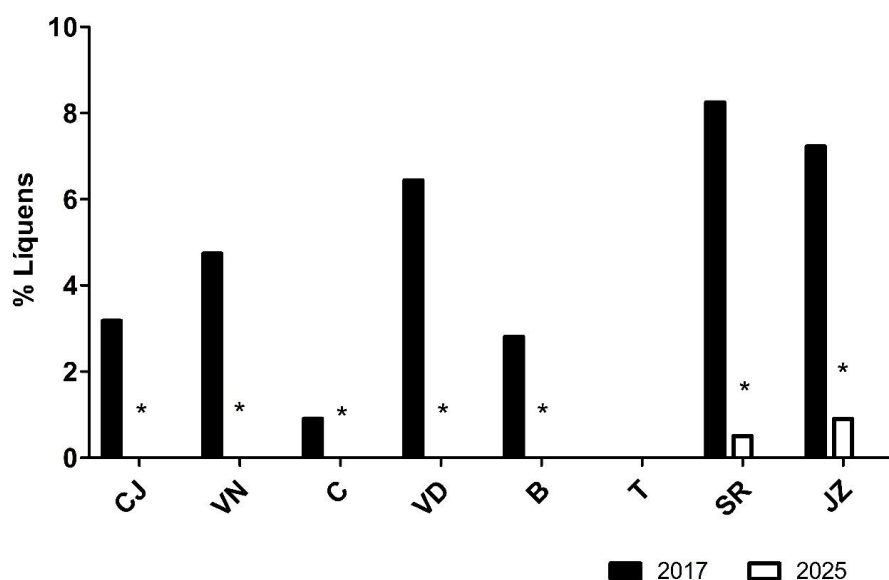
**Figura 5.** Cobertura de Líquens crostosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil.

CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

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

Silva e Morais (2025) avaliaram a qualidade ambiental do ar atmosférico da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil por meio da análise de cobertura de líquens foliosos em 12 bairros. Foi observado baixa frequência de líquens em todos os bairros monitorados corroborando com a presente pesquisa. Resultados semelhantes foram observados nas cidades de Douradoquara, Romaria, Estrela-do-Sul, Cascalho Rico e Uberaba, ambas cidades próximas de Monte Carmelo (Costa et al., 2023; Silva e Morais, 2024; Sousa e Morais, 2024; Correa e Morais, 2025). Os resultados sugerem que as atividades humanas, especialmente nos ambientes urbanos tem contribuído com a redução da qualidade do ar, principalmente pela queima incompleta dos combustíveis fósseis, seja por meio de fontes de poluição difusas ou pontuais.

No presente trabalho foi feito a comparação entre a frequência de líquens foliosos aderidos em *M. indica* nos diferentes bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil nos anos de 2017 e 2025. Os resultados para a cobertura de líquens foliosos e crostosos estão apresentados nas **Figuras 6 e 7**, respectivamente.



**Figura 6.** Comparação entre a cobertura de Líquens foliosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil nos anos de 2017 e 2025.

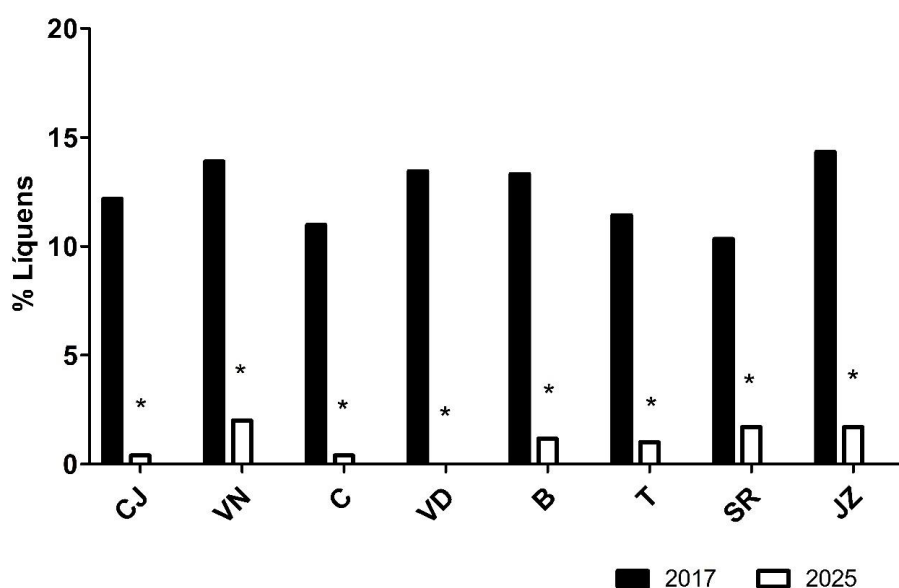
CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

\* Diferença estatisticamente significativas na porcentagem de líquens quando comparado a cobertura líquênica nos anos de 2017 e 2025 para cada bairro isolado. Teste de Mann-Witney para razão de amostras independentes ( $p < 0,05$ ).

Em ambos os casos foi verificado diferença estatisticamente significativa (Teste de Mann-Whitney  $p < 0,05$ ) entre as coberturas de líquens observadas em 2017 quando comparadas com 2025. Os dados sugerem uma redução da qualidade do ar atmosférica da cidade com o passar do tempo.

Embora líquens tenham sido usados de maneira expressiva na bioindicação de ambientes atmosféricos antropizados, Morais (2025) destaca a sua limitação em responder rapidamente a perturbações ambientais. Morais (2025) avaliou a qualidade do ar antes e após isolamento social preventivo ao SARS Cov 2, por meio da cobertura de líquens foliosos.

Nesse trabalho, não foi encontrado diferenças significativas na cobertura de líquens antes e durante o isolamento social, indicando a ausência de resposta diferencial em condições ambientes distintas. Nesse sentido, levando em consideração os resultados obtidos no presente trabalho, verificamos que líquens expressam todo um histórico de vida de exposição crônica a diferentes xenobióticos aerostáticos, precisando de uma escala temporal maior de exposição para responder positivamente ou negativamente na sua capacidade de colonização.

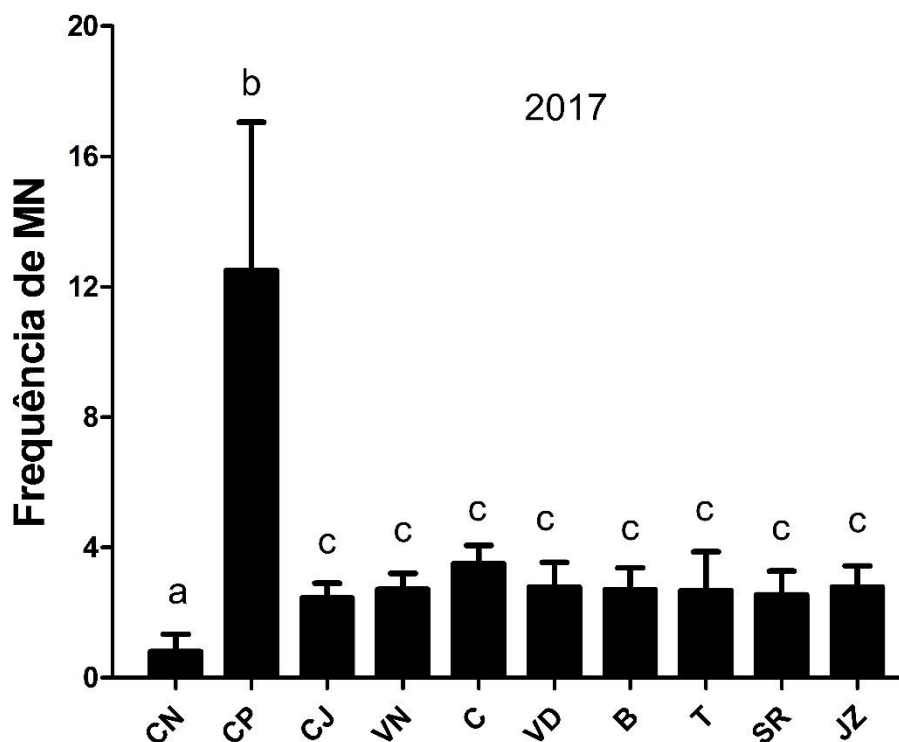


**Figura 7.** Comparação entre a cobertura de Líquens crostosos em *Mangifera indica*, localizadas em diferentes bairros na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais Brasil nos anos de 2017 e 2025.

CF: Controle fazenda; CJ: Cidade Jardim; VN: Vila Nova; C: Centro; VD: Vila dourada; B: Batuque; T: Triângulo; SR: Santa Rita; JZ: Jardim Zeny.

\* Diferença estatisticamente significativas na porcentagem de líquens quando comparado a cobertura líquênica nos anos de 2017 e 2025 para cada bairro isolado. Teste de Mann-Witney para razão de amostras independentes ( $p < 0,05$ ).

O biomonitoramento ativo da qualidade do ar atmosférico foi feito por meio da introdução de *Tradescantia pallida* nos bairros alvos de monitoramento. O teste para indicação ambiental foi o teste do micronúcleo. Tanto em 2017 (**Figura 8**) quanto em 2025 (**Figura 9**) foi verificado diferenças estatisticamente significativas (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ) na frequência de micronúcleos (MN) nas plantas inseridas nos bairros, quando comparado ao controle negativo.



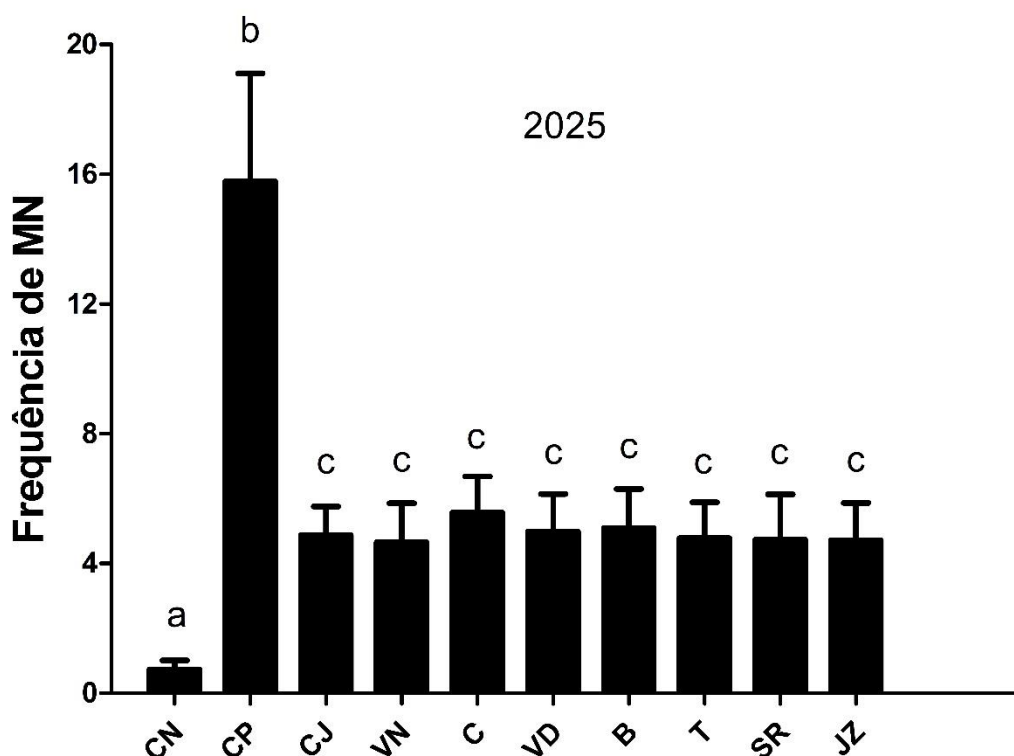
**Figura 8.** Frequência de Micronúcleos em *Tradescantia pallida* nos diferentes bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil (Ano de referência 2017).

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

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

Fonte: Dados dos autores.

Micronúcleos são fragmentos cromossômicos acêntricos ou cromossomos inteiros que se desprenderam do núcleo, por eventos clastogênicos ou aneugênicos (Carrard et al., 2007). Sendo assim, o Trad-MN configura-se um teste para rastreamento de xenobióticos ambientais com propriedades genotóxicas ou mutagênicas (Campos Júnior e Kerr, 2009; Medeiros e Morais, 2024). Devido a sua sensibilidade e resposta o Trad-MN tem sido empregado para avaliar uma variedade de substâncias puras (Ferreira et al., 2009; Disner e Cesfari, 2016; Medeiros e Morais, 2024) ou misturas complexas (Santos et al., 2019).



**Figura 9.** Frequência de Micronúcleos em *Tradescantia pallida* nos diferentes bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil (Ano de referência 2025).

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

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

Fonte: Dados dos autores.

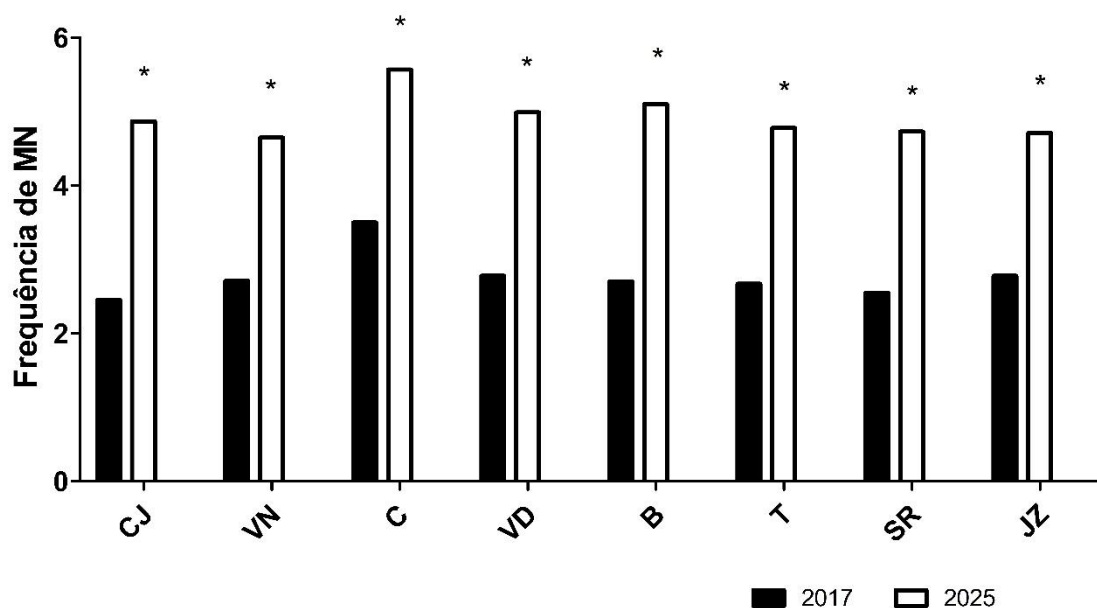
No contexto ambiental, o Trad-MN já foi usado para monitoramento da qualidade de solos (Oliveira et al., 2011; Carlucci e Fogagnolli, 2013; Pereira; Yaguinuma; Flumihan, 2014), recursos hídricos (Santos et al., 2019; e ar atmosféricos (Klumpp et al., 2006; Andrade et al., 2008; Pereira et al., 2013; Pereira et al., 2014; Costa et al., 2015; Morais, 2025), retratando assim um organismo modelo adequado para bioindicação.

Os resultados obtidos na presente pesquisa são concordantes com outros autores (Morais e Lima, 2025; Morais, 2025; Medeiros e Morais, 2024).

Morais e Lima avaliaram a qualidade do ar atmosférico em 6 bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, por meio do Trad-MN. Os resultados corroboram com a presente

pesquisa, sendo verificado alta frequência de MN em plantas introduzidas nos bairros alvo de biomonitoramento.

Ao comparar a frequência de MN em plantas introduzidas nos bairros em 2017 e 2025 é possível verificar um aumento significativo na frequência de MN, evidenciando por tanto, depressão da qualidade ambiental (**Figura 10**).



**Figura 10.** Comparação entre a Frequência de Micronúcleos em *Tradescantia pallida* nos diferentes bairros da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil entre os anos de 2017 e 2025.

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

\* Diferença estatisticamente significativas na frequência de MN nas plantas em 2017 quando comparado às plantas em 2025. Teste de Mann-Witney para razão de amostras independentes ( $p < 0,05$ ).

Para Moraes (2025) *T. pallida* são mais sensíveis a alterações atmosféricas quando comparado aos líquens foliosos, visto que o aumento na frequência de biomarcadores de genotoxicidade (MN) tende a aumentar com o aumento da emissão de poluentes por fontes difusas e/ou pontuais, mesmo com mudanças discretas da química aerostática.

No presente trabalho, tanto as respostas biológicas observadas nos líquens (foliosos e crostosos), quanto nas Tradescantias, indicam depressão da qualidade do ar atmosférico quando comparado os resultados obtidos em 2017 e 2025. Nesse sentido, uma atenção

especial ao que diz respeito a políticas públicas e postura ativa da sociedade precisam ser consideradas, buscando mitigar o cenário de depressão ambiental.

Alguns autores apontam para o baixo investimento em transporte coletivo e a redução de áreas verdes na cidade (Silva e Morais, 2024; Morais e Lima, 2025; Morais, 2025). Esta hipótese é sustentada por estudos de indicação ambiental, sendo observado frota de veículos relativamente elevadas na cidade (Silva e Morais, 2024; Morais, 2025; Morais e Lima, 2025). Somado a este agravante, Porfiro et al (2025) apontam em sua pesquisa que muitos automóveis (especialmente caminhões), estão circulando com irregularidades, visto que estão emitindo fumaça preta com o grau de enegrecimento expressivo, o que sugere que os catalisadores não estão filtrando os gases gerados pela queima incompleta de combustíveis fósseis. Somado a esses agravantes, a cidade de Monte Carmelo tem se destacado economicamente pela atividade ceramista (Campos et al., 2015; Morais et al., 2016; Morais et al., 2018; Campos et al., 2019), sendo apontadas como sendo uma das causas do aumento de MN em *T. pallida* (Campos et al., 2016).

Assim, o investimento em transporte coletivo, a preservação de áreas verdes, a análise e revisão de catalisadores nos automóveis e filtros nas chaminés em atividade industrial devem ser considerados como prioridade no plano de gestão ambiental da cidade.

## 5. CONCLUSÃO

Nas condições experimentais testadas e empregando o biomonitoramento passivo (cobertura liquênica) e ativa (*T. pallida*) foi possível verificar que todos os bairros da cidade de Monte Carmelo estão em precariedade de qualidade ambiental. Os dados comparativos entre os anos de 2017 e 2025 indicam redução da qualidade do ar atmosférico, por consequência de uma série de fatores, que incluem, falta de incentivo em transporte coletivo, redução das áreas verdes, aumento na frota de veículos, atividades industriais e ausência de manutenção em catalisadores e filtros.

Diante os resultados, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo do ar atmosférico no município, bem como a implementação de ações contínuas de conscientização e educação ambiental na cidade.

Além disso, uma atenção voltada para as políticas ambientais deve ser considerada, buscando a promoção do aumento das áreas verdes e investimento em transportes coletivos.

### Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

### REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, Sizenando. José.; JÚNIOR, José. Cleub Silva Santos.; CERQUEIRA, Eneida Moraes Marcílio.; MEIRELES, José Roberto Cardoso. 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.

AYOADE, Joseph Olorunfemi. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2012.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. E-book. p.31. ISBN 9788565837392.

BRAGA, Alfesio; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; BÖHM, György Miklós; SALDIVA, Paulo. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana**. Revista USP, São Paulo, n. 51, v. 1, p. 58-71, 30 nov. 2001.

BRAZ, Sofia Negri. Líquens como bioindicadores de qualidade ambiental em áreas de borda de florestas urbanas, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Poluição atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde: vigilância em saúde ambiental e qualidade do ar**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. 16 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes atmosféricos**. 2013.

BRESINSKY, Andreas; KÖRNER, Christian; KADEREIT, Joachim W.; et al. **Tratado de botânica de Strasburger**. 36. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2011. E-book. ISBN 9788536327204.

BUSS, Daniel Forsin; BAPTISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 465-473, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO).

CARVALHO, H. A. A *Tradescantia* como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos clastogênicos das radiações ionizantes. *Radiologia Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 38, n. 6, p. 459-462, 2005

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.

CAMPOS JUNIOR, Edimar Olegário.; KERR, W. E. Teste de micronúcleo com *Tradescantia pallida* aplicado ao Biomonitoramento da qualidade do ar da cidade de Uberlândia. **Horizonte Científico, Uberlândia**, v. 3, n. 2, p. 1-18, 2009.

CAMPOS, Carlos Fernando.; MORELLI, Sandra.; CAMPOS JÚNIOR, Edimar Olegário.; SANTOS, Vanessa Santana Vieira.; **MORAIS, Cássio Resende**; CUNHA, Matheus Campos.; SOUTO, Henrique Nazareth.; PAVANIN, Luiz Alfredo.; BONETTI, Ana Maria.; PEREIRA, Boscolli Barbosa . Assessment of the genotoxic potential of water courses impacted by wastewater treatment effluents using micronucleus assay in plants from the species *Tradescantia*. **JOURNAL OF TOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL HEALTH-PART A-CURRENT ISSUES**, v. 83, p. 1-8, 2019.

CARLUCCI, Nathalia Novelli.; FOGAGNOLLI, Sue Ellen Iara. Teste do micronúcleo em *Tradescantia pallida*, um ensaio para a avaliação da presença de contaminantes no solo, 2013.

CARVALHO, Heloisa de Andrade. A *Tradescantia* como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos clastogênicos das radiações ionizantes. **Radiologia Brasileira**, v. 38, p. 459-462, 2005.

CARRARD, Vinícius Coelho.; FERREIRA, Luciana Adolfo.; LAUXEN, Isabel da Silva.; COSTA, Cyntia Hernandes.; RADOS, Pantelis Varvaki Teste dos Micronúcleos: Um biomarcador de dano genotóxico em células descamadas da mucosa bucal. **Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre. Porto Alegre. V. 48, n. 1/3, p. 77-81, 2007.**

CETESB, Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **Poluentes**. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 506, de 05 de julho de 2024. **Resolução Conama Nº 506, de 5 de Julho de 2024: Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 05 jul. 2024.

CORREA, Thiago Franquilino.; MORAIS, Cássio Resende. Avaliação da qualidade do ar de diferentes cidades do Triângulo Mineiro, por meio da análise de cobertura de Líquens Foliosos. **Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências**, v. 24, p. 136-150, 2025.

COSTA, William Raimundo., DUARTE, Ariana Thais.; RIVANI, Henrique.; DA SILVA, Silvio Roberto.; ZANELATTO, Ana Maria. Biomonitoramento da qualidade do ar do município de Uberaba/MG utilizando líquens como bioindicadores. **Cadernos UniFOA**, v. 18, n. 53, p. 1-13, 2023.

COSTA, Gustavo Marques.; CASSANEGO, Mara Betânia Brizola.; PETRY, Camila Tamires.; SASAMORI, Márcio Hisayuki.; ENDRES-JÚNIOR, Delio.; DROSTE, Annette. Avaliação da influência do tempo de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* para biomonitoramento da genotoxicidade do ar atmosférico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 4, 2015..

CPRH - Pernambuco. Agência Estadual de Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**. 2017.

CRISPIM, Bruno A.; SPÓSITO, Juliana C V.; MUSSURY, Rosilda Mussury.; SENO, Leonardo O.; GRISOLIA, Alexéia B. Effects of atmospheric pollutants on somatic and germ cells of *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt Cv. Purpureae. Na Acad Bras Cienc. V. 4, p. 1899-18906, 2014.

DISNER, Geonildo Rodrigo.; CESTARI, Marta Margarete Cestari. Mutagenicidade do naftaleno através do teste do micronúcleo: estudo em modelo animal (*Astyanax altiparanae*) e vegetal (*Tradescantia pallida purpurea*). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 7, n. 2, p. 6-15, 2016.

FEPAM - Rio Grande do Sul. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Poluição Atmosférica**. 2018.

FERREIRA, Fernanda. G., REGASINI, Luis. O.; OLIVEIRA, Aline M D.; CAMPOS, Juliana A.; SILVA, Dulce H.; CAVALHEIRO, Albert J.; SOARES, Christiane P. Avaliação de mutagenicidade e antimutagenicidade de diferentes frações de *Pterogyne nitens* (Leguminosae), utilizando ensaio de micronúcleo em *Tradescantia pallida*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 19, p. 61-67, 2009.

KÄFFER, Márcia Isabel. **Biomonitoramento da qualidade do ar com uso de líquens na cidade de porto alegre, RS**. 2011. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KLUMPP, Andreas.; ANSEL, Wolfgang.; KLUMPP, Gabriele.; CALATAYUD, Vicent.; GARREC, Jean Pierre.; PENUELAS, Joseph.; RIBAS, Angela.; RO-POULSEN, Helge.; RASMUSSEN, Stine.; SANZ, Maria José.; VERGNE, Phillippe. *Tradescantia micronucleus* test indicates genotoxic potential of traffic emissions in European cities. *Environ Pollut*, v. 139, n. 3, p. 515-522, 2006.

LORENZI, Harri. Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2015. 1120 p.

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.

MALHADAS, Zióle Zanotto; ALQUINI, Yedo; KUNZ, Airton. **A qualidade do ar e a educação ambiental integrada: os seis elementos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 72 p.

MANAHAN, Stanley E. **Química ambiental**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. E-book. ISBN 9788565837354.

MARTINS, Suzana Maria de Azevedo; KÄFFER, Márcia Isabel; LEMOS, Alessandra. Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área termelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 425-433, 09 set. 2008.

MEDEIROS, Andressa Cristina Onofre.; MORAIS, Cássio Resende. Avaliação do potencial mutagênico do inseticida formulado ampligo, por meio do teste do micronúcleo em *Tradescantia pallida*. *Revista GeTeC*, v. 19, 2024.

MELLER, Guilherme S.; OLIVEIRA, Karina F.; STEIN, Ronei T.; et al. **Controle da Poluição**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. E-book. ISBN 9788595021150.

MONTENEGRO, Jemima dos Santos; RODRIGUES, Barbara Ribeiro; CARAMANTIN-SORIANO, Hilda. **Uso de bioindicadores vegetais no monitoramento da qualidade do ar no município de Camaçari**. Revista Internacional de Ciências, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 73-90, 29 abr. 2020. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2020.46899>.

MORAIS, Cássio Resende. Avaliação da qualidade do ar da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, antes e durante o isolamento social preventivo ao SARS Cov-2. Revista Getec, v. 25, n. 1, p. 54-80, 2025.

**MORAIS, Cássio Resende.**; BONETTI, Ana Maria.; Mota, Alexandre Aparecido.; CAMPOS, Carlos Fernando.; SOUTO, Henrique Nazareth.; CARVALHO NAVES, Maria Paula.; VIEIRA SANTOS, Vanessa Santana.; CAMPOS JÚNIOR, Edimar Olegário.; PAVANIN, Luiz Alfredo.; RESENDE, Alexandre Alves de Azenha.; SPANÓ, Mário Antônio.; PEREIRA, Boscolli Barbosa. Evaluation of toxicity, mutagenicity and carcinogenicity of samples from domestic and industrial sewage. Chemosphere, v. 201, p. 342-350, 2018.

MORAIS, Cássio Resende. Avaliação da qualidade do ar da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, antes e após o isolamento social preventivo ao SARS-Cov 2. Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências, v. 25, p. 54-80, 2025.

MORAIS, Cássio Resende.; CARVALHO, Stephan Malfitano.; ARAUJO, Galber Rodrigues.; SOUTO, Henrique Nazareth.; BONETTI, Ana Maria.; MORELLI, Sandra.; CAMPOS JÚNIOR, Edimar Olegário. Assessment of water quality and genotoxic impact by toxic metals in *Geophagus brasiliensis*. Chemosphere (Oxford), v. 152, p. 328-334, 2016.

MOTA FILHO, Fernando de Oliveira; PEREIRA, Eugênia C.; LIMA, Edmilson Santos de; SILVA, Nicácio Henrique da; FIGUEIREDO, Regina Célia Bressan. **Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando Cladonia verticillaris (líquen) como biomonitor**. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1072-1076, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO).

MOURA, James Moraes.; FERNANDES, Alan Tocantins.; SILVA, Jordânia Chagas. Utilização de líquens como bioindicadores de poluição atmosférica na cidade de Cuiabá–MT, 2012.

OLIVEIRA XAVIER, Bárbara.; PASSOS, Letícia.; OLIVEIRA, Regiani Carvalho.; MIELLI, Ana Cristina. Avaliação do efeito genotóxico de diferentes tipos de solos para biomonitoramento com *Tradescantia pallida*. *Genética na Escola*, v. 6, n. 1, p. 42-45, 2011.

PEREIRA, Boscolli Barbosa.; CAMPOS JÚNIOR, Edimar Olegário.; MORELLI, Sandra. 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, Renata Delfino.; YAGUINUMA, Diliane Harumi.; FLUMINHAN, Antonia. Efeitos clastogênicos em *Tradescantia pallida* cv purpurea cultivada em solos tratados com lodos de diferentes origens. **X Fórum Amb. da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, p. 234-254, 2014.

PEREIRA, Boscolli Barbosa.; CAMPOS, Edimar Olegário; LIMA, E.A.; BARROZO, M.A.; MORELLI, Sandra. 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.

PORFIRIO, Amanda Rodrigues.; RODRIGUES, Fernanda Fernandes Santos. ; MORAIS, Cássio Resende. Estudo sobre a emissão de fumaça proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis em caminhões em fluxo na cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil. *Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências*, v. 25, p. 95-107, 2025.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

REIS, Agnes C; OLIVEIRA, Alana M. C de; GIUDICELLI, Giovanna C.; et al. **Ecologia e análises ambientais**. Porto Alegre: SAGAH, 2020. E-book. ISBN 9786556900414.

REIS, Á. K., JESUS, A. M. L., DAS NEVES, R. L., DA SILVA, A. S. Líquens como bioindicadores da qualidade do ar de posto da mata (BA). *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 1, n. 1, 2023.

ROMANOSKI, D. L.; MURARA, P. G. S.; GUMBOSKI, E. L. A biogeografia e o biomonitoramento ambiental. **Revista Espaço E Geografia**, v. 26, n. 1, p. 173-191, 2023.

SANTOS, N. B., DE MOURA, C., ROCHA-LIMA, A. B. C., DE ARAUJO LOBO, D. J., SALDIVA, P. H. N., BIZETO, L. (2019). Utilização de *Tradescantia pallida* purpurea como bioindicadora de agentes tóxicos na água. *Unisantia BioScience*, v. 8, n. 3, p. 326-336, 2019.

SANTOS, Marco Aurélio dos. **Poluição do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: LTC, 2017. E-book. ISBN 9788521634140.

SAVÓIA, E. J. L. Potencial de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea para acumular metais pesados oriundos da poluição atmosférica particulada na região do grande ABC paulista. 2013. 144f. Dissertação (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2013

SILVA, Y. M. ; MORAIS, C. R. Avaliação da qualidade do ar da cidade de Cascelho Rico, MG, Brasil, por meio da análise da cobertura de líquens. *Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências*, v. 19, p. 42-58, 2024.

SILVA, W. J.; MORAIS, C. R. Avaliação da qualidade do ar atmosférico da cidade de Monte Carmelo, MG, Brasil, por meio da análise de cobertura de líquens. *Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências*, v. 24, p. 93-110, 2025.

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

SOUZA, T. L. ; MORAIS, C. R. . Avaliação da qualidade do ar na cidade de Coromandel, MG, Brasil, Minas Gerais Brasil. *Revista GeTec: Gestão, Tecnologia e Ciências*, v. 19, p. 90-102, 2024.

VARGAS, L. B., WOLFF, R. H., & SOARES, J. F. Uso de líquens como bioindicadores no monitoramento ambiental: uma revisão. *Revista Latinoamericana Ambiente e Saúde*, v. 5, n. 3, p. 308-321, 2023.

VOLANICK, C., KARPINSKI, F., DOS SANTOS, I. M., JUBANSKI, J. Utilização de líquens como bioindicadores da qualidade do ar na região sul do Brasil. *Enaproc*, v. 1, n. 1, 2014.

WINK, J. G., JOÃO, D. M., CABETTE, L., HIRASE, D. N., RUY, A. A. A., VASCÃO, A. A. X. Atuação dos líquens como bioindicadores. *Anais do semex*, v. 11, 2018.

YNOUE, Rita Y.; REBOITA, Michelle S.; AMBRIZZI, Tércio; et al. **Meteorologia: Noções Básicas**. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. ISBN 9788579752643.