



## Modelos de jardins verticais como bioindicadores da qualidade atmosférica em área urbana em Maceió – Alagoas - Brasil

### Model vertical gardens as atmospheric quality bioindicator in urban area in Maceió – Alagoas - Brazil

Morgana Andreia Medeiros Tenório<sup>1</sup>; Thiago José Matos-Rocha<sup>2</sup>;  
Aldenor Feitosa dos Santos<sup>3</sup>; Jessé Marques da Silva Júnior Pavão<sup>4</sup>

<sup>(1)</sup> ORCID: 0000-0002-9217-8337; Discente do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais - PPGASA, Centro Universitário Cesmac, *campus* IV, Brasil, E-mail: morgana.tenorio@cesmac.edu.br

<sup>(2)</sup> ORCID: 0000-0001-5153-6583; Docente do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais – PPGASA, Centro Universitário Cesmac, *campus* IV, Brasil, E-mail: tmatosrocha@cesmac.edu.br

<sup>(3)</sup> ORCID: 0000-0001-6049-9446; Docente do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais – PPGASA, Centro Universitário Cesmac, *campus* IV, Brasil, E-mail: afeitosasantos@cesmac.edu.br

<sup>(4)</sup> ORCID: 0000-0002-5217-3857; Docente do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais – PPGASA, Centro Universitário Cesmac, *campus* IV, Brasil, E-mail: jesse.marques@cesmac.edu.br

Todo o conteúdo exposto neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 17 de dezembro de 2019; Aceito em: 04 de novembro de 2020; publicado em 31 de 01 de 2021. Copyright © Autor, 2021.

**RESUMO:** A construção de jardins verticais e o estudo envolvendo espécies de insetos e plantas para biomonitoramento é um tópico relativamente novo nas ciências ambientais. Assim, o objetivo deste artigo foi a realização do biomonitoramento ativo da qualidade do ar utilizando espécies vegetais e de insetos em sistema de jardim vertical suspenso. Para isto foram utilizadas cinco plantas bioindicadoras: *T. pallida*, *T. zebrina*, *J. brandejeana*, *L. camara* e *R. nasturtium aquaticum*. Foram realizadas medidas de crescimento; quantificação e caracterização de estômatos; determinação das ordens de insetos visitantes e determinação das concentrações de metais pesados. Os resultados indicaram que os estômatos das espécies vegetais bioindicadoras *R. nasturtium aquaticum* apresentou estômatos em ambas as epidermes, porém preferencialmente em maior número na superfície adaxial independentemente do local de cultivo, diferentemente das outras espécies, que por motivo da própria espécie ou por plasticidade, apresentaram maiores quantidades de estômatos na superfície abaxial, justificando uma proteção ao sistema de captação gasosa dos poluentes atmosféricos de forma que as taxas fotossintéticas possam ocorrer normalmente. É possível concluir que as plantas usadas nesse estudo apresentaram adaptações e são fontes bioindicadoras de poluição ambiental. Quanto aos insetos visitantes, as ordens identificadas apresentaram variações quanto as concentrações de metais pesados, entretanto ainda não existem na Legislação Brasileira índices específicos de poluição nos invertebrados, dessa forma, na presente pesquisa foram realizadas comparações com outros estudos países relacionados ao tema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indicadores Ecológicos, Poluentes Atmosféricos, Metais Pesados.

**ABSTRACT:** The construction of vertical gardens and the study involving species of insects and plants biomonitoring technique a relatively new topic in the environmental sciences. Thus, the objective of this article was to carry out active biomonitoring of air quality using plant and insect species in a vertical suspended garden system. For this, five bioindicator plants were used: *T. pallida*, *T. zebrina*, *J. brandejeana*, *L. Câmara*, and *R. nasturtium aquaticum*. Growth measures were taken; quantification and characterization of stomata; determination of visiting insect orders and determination of heavy metal concentrations. The results indicated that the stomata of the bioindicator plant species *R. nasturtium aquaticum* presented stomata in both epidermises, but preferably in greater numbers on the adaxial surface regardless of the place of cultivation, differently from other species, which due to the species itself or due to plasticity, presented higher amounts of stomata on the abaxial surface, justifying protection for the gas capture system of atmospheric pollutants so that photosynthetic rates can occur normally. It is possible to conclude that the plants used in this study showed adaptations and are bioindication sources of environmental pollution. As for the visiting insects, the orders identified showed variations in the concentrations of heavy metals, however, specific Brazilian pollution indexes in invertebrates do not yet exist, therefore, in this research, comparisons were made with other studies related to the country.

**KEYWORDS:** Ecological Indicators, Air Pollutants, Heavy Metals.

## INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização e industrialização tem alterado a concentração dos elementos na atmosfera, diminuindo a qualidade do ar em todo o mundo (SANTOS, 2011). A poluição do ar tem sido um tema amplamente pesquisado nos últimos anos e é caracterizado como um fator essencial na busca da preservação do meio ambiente (CETESB, 2004). Os efeitos provocados pela poluição atmosférica afetam a saúde humana, os animais, a vegetação e os ecossistemas em geral, os diversos tipos de materiais e até a visibilidade do ar (IBID), além da redução da radiação solar e alterações de temperatura e de distribuição de ventos. (SEINFELD, 1986).

A integridade do meio ambiente também tem recebido uma grande atenção em busca de medidas e estratégias para a detecção de poluentes, tais como os metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dentre outros. (SANTOS, 2011). A emissão de gases poluentes nas ruas da cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas/Brasil, tem preocupado especialistas, e acendido um sinal de alerta para a população geral. Algumas áreas da cidade foram consideradas com níveis de poluição acima do padrão estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), principalmente a Avenida Fernandes Lima e o corredor de ônibus do Centro de Maceió, segundo informação do IMA.

Atualmente, o Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) foi atualizado, em parceria com o Instituto do Meio Ambiente (IMA), com padrão internacional da concentração de material particulado (PM<sub>10</sub>) de até 20µg/m<sup>3</sup>, contudo Maceió estava com 23,10µg/m<sup>3</sup>. De acordo com o IMA, a grande quantidade de dióxido de enxofre na atmosfera está diretamente ligada à queima de óleo diesel, combustível usado em veículos de carga e de passageiros. O estudo mostrou que os cenários de concentração atual e futuro não ultrapassaram o padrão de qualidade do ar legislado no Brasil, com base em resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 1990, contudo a lei brasileira está em fase de revisão com possibilidade de adequação ao parâmetro internacional (BEZERRA; GOMES, 2016).

O uso de medidas sustentáveis se faz necessário e já tem sido utilizado em inúmeras partes como forma de mitigar os impactos ambientais gerados pela poluição. Dentre elas, destaca-se o uso de jardins verticais, estruturas compostas por diversos

materiais que permitem o revestimento de paredes com plantas fixadas em estruturas presas a uma camada de isolamento da estrutura predial externa. Em todo o mundo existem poucos exemplares de construções com esse enfoque de cobertura vegetal. (LAMBERTINI; LEENHARDT, 2007).

As respostas das plantas bioindicadoras aos poluentes podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através do aparecimento de cloroses, necroses, queda de folhas ou diminuição no seu crescimento, como pode ocorrer em nível genético, estrutural, fisiológico ou bioquímico, não sendo visualmente observadas (ELLENBERG, 1991)

Os insetos têm-se destacado como potenciais organismos bioindicadores e isso se deve ao fato de apresentarem grande capacidade perceptiva, no que se refere a alterações do meio ambiente, principalmente por seu apurado sistema sensorial, que lhes permite qualificar condições ambientais em determinadas situações e, ainda, quantificar danos causados ao meio. Um dos problemas que podem ser associados a este setor é a falta de padronização e definição de protocolos de coleta e avaliação da biodiversidade, para que esses resultados possam ser analisados e extrapolados para diferentes ambientes antropizados (OLIVEIRA et al., 2014)

Como hipótese dessa pesquisa, seria possível a realização de estudos de monitoramento biológico (biomonitoramento) através do uso de espécies vegetais e análise química de insetos como indicadores de ambientes urbanos com elevada poluição atmosférica, de forma a ser possível construir um espaço sustentável? Após o exposto acima, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as características bioindicadoras de plantas e insetos em área urbana com tendência a poluição da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil, utilizando diferentes modelos de jardins verticais.

## **MATERIAL E MÉTODO**

### **Área de estudo**

O trabalho foi conduzido no período de setembro de 2016 a outubro de 2017, na área externa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL, em

Maceió - AL (Figura 1). Análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário e no Laboratório de Anatomia Vegetal do CESMAC, em Maceió (AL).



Figura 1. Localização da área experimental

### Modelo de Painéis e sistema de irrigação

Nessa pesquisa, para obtenção de melhores resultados da prática de eco design foram utilizados materiais que possam garantir o máximo de sustentabilidade ao projeto. Foram executas duas propostas de jardim vertical utilizando materiais sustentáveis.

Os jardins verticais foram construídos de duas maneiras, uma em jardineira (Figura 2A) e outra em vasos de fibra de coco suspensos (Figura 2B).



Figura 2. Jardins verticais construídos com madeira *Pinus eliot*. A: Jardim vertical com arquitetura de jardineira. B: Jardim vertical com arquitetura em vasos. C: Detalhe do jardim vertical em jardineira mostrando a disposição do substrato. D: Detalhe do jardim vertical em vasos mostrando o sistema de irrigação.

O sistema de irrigação instalado no painel vertical em jardineira e vaso de fibra de coco consistiu de tubo Gotejador *Rain Bird* XFS-09-12-500: 3,48 l/h, 30,48 cm de espaçamento e tubo Gotejador *Rain Bird Xeri-Bug*, respectivamente (Figura 2D).

Após montagem dos jardins verticais foi inserida, em ambos os modelos, uma pequena superfície de brita (Figura 2 C) uma mistura de substrato vegetal + húmus (g) na proporção de 2:1, respectivamente e sobre esses materiais foram colocadas às biomantas e distribuídas mudas das cinco espécies de plantas utilizadas como biomonitoras por apresentarem propriedades bioindicadoras de qualidade atmosférica conforme relatadas em literatura.

### **Avaliação do microclima/sazonalidade**

Ao longo do experimento foram registradas as condições climáticas do local de dez em dez minutos, com exceção do fotoperíodo que foi de 30 em 30 minutos, temperatura (°C) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ( $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) utilizando-se dos equipamentos (termopares do tipo T e piranômetro).

### **Coleta das amostras**

Foram realizadas 4 coletas durante o tempo experimental (setembro de 2016 a outubro de 2017). Para as amostras vegetais, foram selecionadas as plantas com sanidade e que não apresentavam sinais por ataque de insetos ou microrganismos. Foram realizadas medições *in loco* com o auxílio de uma fita métrica e posterior armazenamento das folhas em solução de fixação F.A.A.<sub>70%</sub> (Formaldeído + Álcool acético glacial + Álcool etílico).

Os insetos eram capturados utilizando armadilhas luminosas 515 (Isca Tecnologia LTDA.) instaladas na lateral do painel a uma altura de 1m do piso e coletados quinzenalmente e levados ao laboratório onde era realizada a triagem do material em microscópio estereoscópio, quantificados, montados, etiquetados e

identificados taxonomicamente, se possível até o nível de espécie, a depender do estado de cada espécime.

### **Medidas de crescimento, anatomia foliar e clorofila**

A fim de acompanhar o crescimento e desenvolvimento das plantas imediatamente após a submissão às condições atmosféricas local foram contabilizados o número de folhas, bem como realizadas medidas de altura (cm) Nessas mesmas folhas foram realizadas a determinação da densidade estomática, onde seções foliares de 1 cm<sup>2</sup> foram submetidas a uma solução de hidróxido de sódio (5%) por um período de 2 horas, e posteriormente em solução de hipoclorito de sódio (5%) até sua clarificação total e, posteriormente, coradas com azul de Toluidina 0,05% em pH 6,8 e posteriormente visualizadas em microscópio Nikon E200 com sistema de captura da imagem através de uma câmera digital Canon 14 MP c/ 18x Zoom Óptico.

A extração dos pigmentos foi realizada de acordo com Porra et al. (1989). Foram adicionados 2 mL de acetona 80% ao material que foi macerado e posteriormente centrifugado a 13400 g a 4 °C.

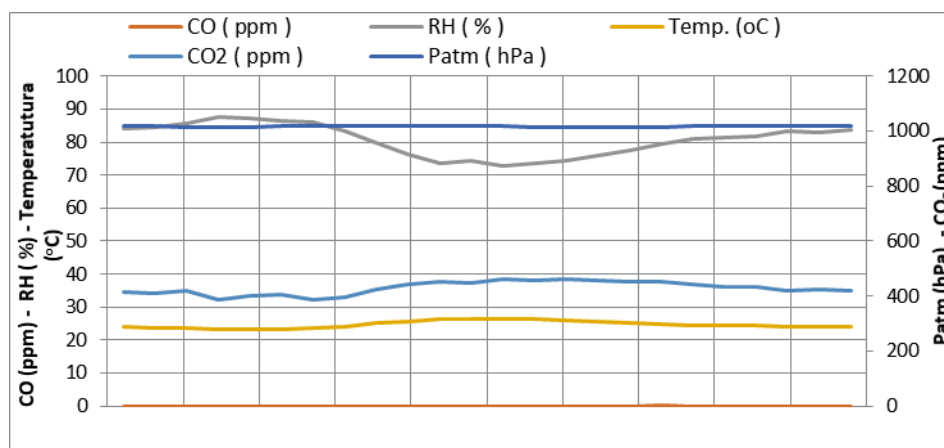
### **Caracterização dos metais pesados nos insetos**

Os insetos coletados já em laboratório foram colocados para secar em estufa de circulação de ar, modelo 104L da marca Hexis Científica. Após a secagem foram pesados e digeridos em uma mistura pura de ácido nítrico e ácido perclórico na proporção de 4:1, respectivamente. Os insetos digeridos foram levados para análise no Laboratório da empresa Central Analítica para análise de concentração dos metais pesados ( $\mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$ ) pela método do espectrofotômetro de absorção atômica (Analytik Jena novAA 300) em uma chama de ar acetileno para zinco e cobre e, forno de grafite (Pu-93 090X) para cádmio e chumbo, conforme descrito por Migula et al. (2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Avaliação do microclima/sazonalidade com relação as alterações anatômicas das plantas

Durante o período analisado houve registro de baixa concentração de monóxido de carbono (valor máximo observado 15ppm). Importante ressaltar que as demais variáveis climáticas, como umidade, temperatura e radiação se mantiveram praticamente constantes (Figura 3), e por esse motivo, não foram as responsáveis por eventuais mudanças no padrão de crescimento (plasticidade) e bioquímicas (metabolismo fotossintético) das plantas avaliadas nesta pesquisa. Segundo os autores Tomar, Singh, Jajoo (2019), a capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas mudam durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso anual e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc.) em torno do vegetal.



**Figura 3.** Médias diárias climáticas registradas através do aparelho PHOTO/RADIOMETER HD 2102.2, no período de realização dos estudos (registros realizados em intervalos de 10 minutos ao longo de um dia, para o período avaliado de fevereiro a novembro de 2017). Legenda: CO – Monóxido de carbono, CO<sub>2</sub>- Dióxido de carbono, Patm – Pressão atmosférica, RH – Umidade Relativa.

As modificações que ocorrem nos tecidos fotossintetizantes do mesófilo foliar, a literatura mostra que diferenças nos níveis de intensidade luminosa influenciam mudanças significativas na densidade estomática, número e tamanho das células epidérmicas, número de tricomas, tamanho dos espaços intercelulares e esclerificação de

tecidos. Dentre esses fatores, os estômatos apresentam grande importância em estudos anatômicos, envolvendo diferentes ambientes e níveis de radiação, uma vez que o aumento ou diminuição da frequência estomática em folhas expostas pode ser um mecanismo importante de adaptação das espécies às condições locais (ABRAMS; MOSTOLLER, 1995). Isto poderia explicar a baixa densidade estomática de *C. bicolor* que se desenvolve em mata alagada durante todo o ano, corroborando com os dados do presente estudo, uma vez que o período de realização deste coincidiu com a época de maior precipitação da região de estudo.

A intensidade luminosa, a temperatura, a concentração de CO<sub>2</sub>, o teor de nitrogênio da folha e a umidade do solo são fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais (LEAKEY et al., 2009).

### Quantificação e caracterização de estômatos das espécies vegetais

Os estômatos estavam presentes tanto nas folhas das faces abaxial e adaxial em *T. pallida* e *T. zebрина* e foram classificados com tetracítico, com alternância de ausência entre as faces por folha (Figura 5C). Os estômatos estavam presentes tanto nas folhas das faces abaxial e adaxial de *J. brandejeana*, *L. camara* e foram classificados em anisocítico e anomocítico com alternância de ausência entre as faces por folha (Figura 5 D e E).

As folhas das espécies estudadas variaram quanto à disposição dos estômatos nas suas faces, com exceção de *R. nasturtium aquaticum* que é anfiestomática e apresenta a classificação dos estômatos como anisocítico e anomocítico (Figura 5 A e B)

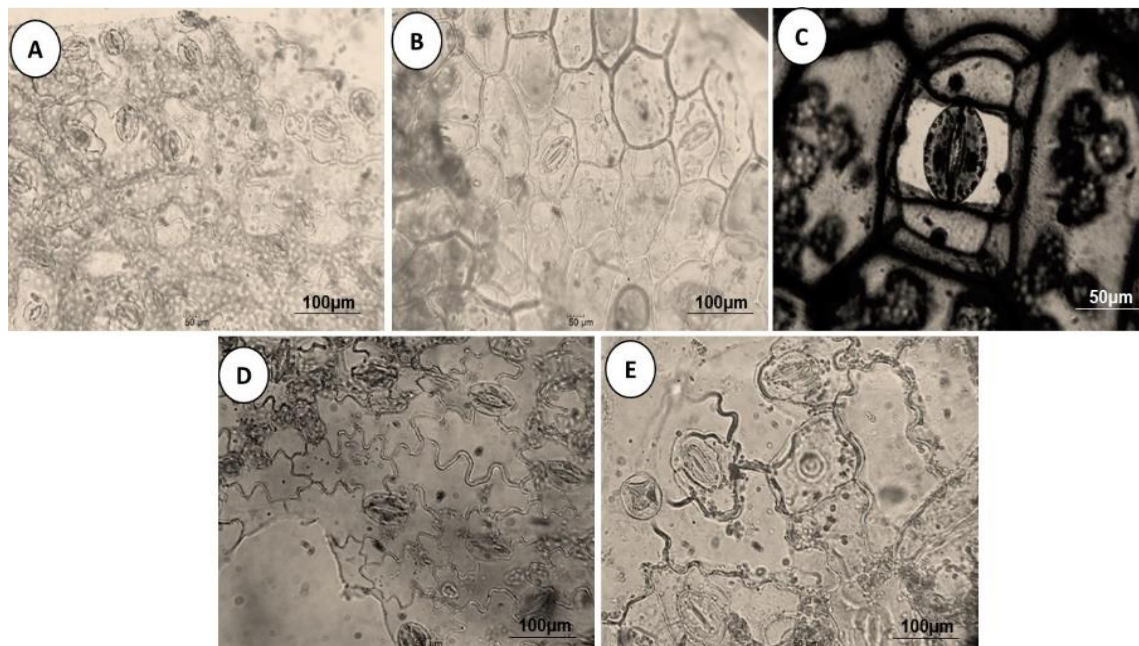
Os estômatos estavam presentes tanto nas superfícies da epiderme das faces abaxial e adaxial de todas as espécies vegetais e apresentaram seus estômatos da face abaxial maiores e em maior número. Os estômatos da espécie vegetal *R. nasturtium aquaticum* da face adaxial se apresentaram maiores e em maior quantidade que os da face abaxial. Na Figura 4 é possível observar uma representação da disposição dos estômatos nas epidermes (adaxial e abaxial) e a intensidade (maior ou menor número) por espécie.



ESPÉCIES	FACES		TIPOS DE ESTÔMATOS
	ABAXIAL	ADAXIAL	
 <p><b>R. nasturtium aquaticum</b> agrião</p>	X	< <b>XX</b>	Anisocítico Anomocítico
 <p><b>Tradescantia pallida</b> coração roxo</p>	<b>XX</b>	> X	Tetracítico
 <p><b>Tradescantia Zebrina</b></p>	<b>XX</b>	> X	Tetracítico
 <p><b>J. brandejeana</b> camarão vermelho</p>	<b>XX</b>	> X	Anisocítico Anomocítico
 <p><b>L. câmera</b></p>	<b>XX</b>	> X	Anisocítico Anomocítico

**Figura 4.** Representação das quantidades e tipos de estômatos encontrados na face adaxial e abaxial das espécies. **X** = intensidade de estômatos (maior). **X** = intensidade de estômatos (menor). < menor que > maior que.

Todas as espécies analisadas nesta pesquisa apresentaram preferencialmente maiores quantidades de estômatos na superfície abaxial, configurando assim como uma proteção do sistema de captação gasosa contra os poluentes atmosféricos, para que as taxas fotossintéticas possam ocorrer normalmente, dessa forma, caracterizando plantas com adaptações e forte potencial para bioindicador de poluição ambiental.

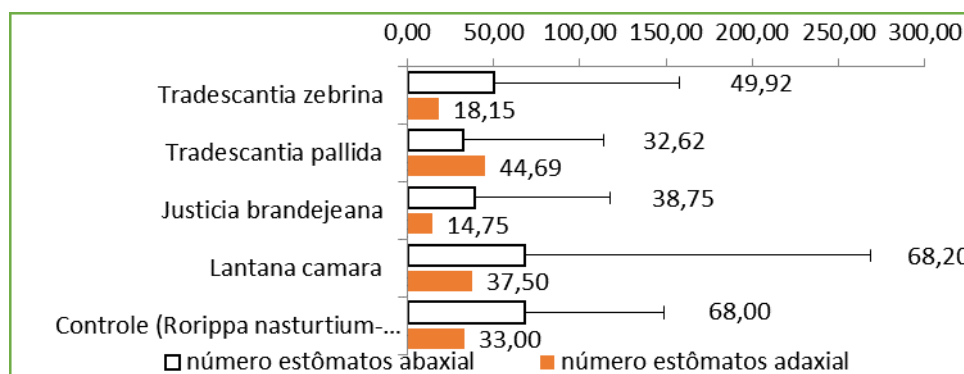


**Figura 5.** Secções paradérmicas das lâminas foliares das espécies bioindicadoras. A e B: estômatos anomocíticos e anisocíticos presente na face abaxial de *Rorippa nasturtium aquaticum*. C: estômatos presentes na face abaxial e adaxial do tipo tetracítico e ausência de estômatos da espécie de planta *Tradescantia pallida* e *Tradescantia zebrina*. D: estômatos presentes na face abaxial e adaxial do tipo anomocítico e ausência de estômatos da espécie de planta *Justicia brandejeana*. E: estômatos presentes na face abaxial e adaxial do tipo anomocítico e ausência de estômatos da espécie de planta *Lantana Camara*.

Em estudo realizado por Alves et al. (2001) também se observou que, na superfície abaxial da folha, os estômatos das plantas-controle são maiores que aqueles das plantas expostas aos poluentes aéreos da cidade de São Paulo. Na epiderme adaxial tal variação não foi constatada.

Quanto à densidade média dos estômatos/mm<sup>2</sup> entre as espécies vegetais estudadas (Figura 6), não foi observada diferença estatística, com maiores registros de 68,20 (±41,1) estômatos/mm<sup>2</sup> e 68,00 (±32,6) estômatos/mm<sup>2</sup> para *L. camara* e *R. nasturtium aquaticum* nas faces abaxial, respectivamente, com exceção de *T. pallida* na face adaxial, esse último com menores valores para as outras espécies. Apesar de serem diferentes espécies de plantas valores superiores ao presente estudo foram encontrados por Wilkinson (1979) para *Miconia pycnoneura*, plantas xerófitas, com densidade de 223,0

estômatos/mm<sup>2</sup> e Diniz et al. (2011), com 132,7 estômatos/mm<sup>2</sup>, 232 estômatos/mm<sup>2</sup> e 243,8 estômatos/mm<sup>2</sup> para *C. mesquitate*, *C. walkeriana* e *C. nobilior*, respectivamente, apesar da não diferença estatística. Não foi encontrado em literatura estudos utilizando as mesmas espécies de plantas que representem parâmetro para o comparativo do estudo em questão quanto às características estomáticas.



**Figura 6.** Densidade estomática média ( $\pm$  amplitude) por folhas (área 3mm<sup>2</sup>) de cinco espécies de plantas bioindicadoras de poluentes atmosféricos em área urbana de Maceió.

Segundo Brobov. (1955), os poluentes gasosos entram nas folhas principalmente através dos estômatos, portanto suas dimensões e frequência devem interferir na quantidade absorvida e, conseqüentemente, nos possíveis efeitos que a poluição provoca na planta. Segundo Wellburn (1990), tais efeitos variam também em função de vários fatores como a concentração dos poluentes, o tempo de exposição, a idade da planta, fatores edáficos e intensidade luminosa, causando injúrias.

### Análise de crescimento das plantas nos diferentes jardins verticais

A análise de variância mostrou que não houve efeito significativo para a fonte de variação Jardins verticais (jardineiras ou vasos) e para a interação Jardins x Espécies para nenhuma das variáveis analisadas. A mesma análise mostrou que existe diferença significativa para o efeito de espécies para as variáveis de altura e número de folhas. A espécie *Rorippa nasturtium-aquaticum* foi a que apresentou diferença em relação às demais e já para número de folhas foi à espécie *Tradescantia zebrina* que se diferenciou das demais como observado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Comparação de espécies quanto às características de crescimento e conteúdo de clorofila. Média das quatro coletas.

<b>Espécie</b>	<b>Clorofila total (<math>\mu\text{g g BF}^{-1}</math>)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Nº Folhas</b>
<i>T. pallida</i>	46,64 a	43,79 a	58,25 b
<i>T.zebrina</i>	40,34 a	46,42 a	167,25 a
<i>J.brandejeana</i>	45,54 a	49,25 a	52,15 b
<i>T. patula</i>	41,13 a	43,43 a	63,65 b
<i>R. n.aquaticum</i>	44,58 a	20,09 b	46,20 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Já na Tabela 2, pode-se observar que independente das condições de cultivo (painéis) as plantas utilizadas não modificaram o crescimento nem o conteúdo de clorofila. A diferença estatística foi apenas para as espécies *T. pallida* e *T.zebrina*, as demais plantas não se apresentaram significativas.

**Tabela 2.** Comparação de dois Jardins verticais (jardineira ou vasos) no crescimento e conteúdo de clorofila. Média das quatro coletas.

<b>Jardins verticais</b>	<b>Clorofila total (<math>\mu\text{g g BF}^{-1}</math>)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Nº Folhas</b>
<i>T. pallida</i>	44,11 a	40,26 a	40,26 a
<i>T.zebrina</i>	43,19 a	40,94 a	40,94 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O agrião d'água *Rorippa nasturtium aquaticum* (L.) Hayek é uma brassicácea semiperene, adaptada a clima ameno e cultivada no outono inverno, na maioria das regiões. A cultivar tradicional Folha Larga produz plantas vigorosas, de alta capacidade de perfilhamento, com folhas tenras e arredondadas. O caule é rastejante, do qual se desenvolvem finas raízes aquáticas, que retiram nutrientes do meio líquido, e raízes

pivotantes, que fixam a planta ao solo. Por se tratar de uma planta semiaquática, a espécie se desenvolve adequadamente em água corrente. (FILGUEIRA, 2000).

A exposição das plantas aos poluentes atmosféricos também pode alterar a frequência estomática, sendo desfavorável ao desenvolvimento fisiológico normal da planta como comprometimento da capacidade fotossintética devido a redução das trocas gasosas. Crispim et al. (2014) observaram que plantas de *T. pallida* situadas em áreas com alto fluxo veicular apresentaram maior número de células epidérmicas e densidade estomática. Estas observações indicaram que alterações estomáticas interferem na quantidade de poluentes gasosos absorvidos pela planta, sendo essencial para sua adaptação em condições adversas.

Segundo Alves et al. (2001) e Crispim et al. (2014) variações anatômicas, como espessura da folha e quantidade de estômatos, representam uma estratégia adaptativa a ambientes poluídos, dificultando o deslocamento dos poluentes para o interior da folha. No entanto, alterações na capacidade de trocas gasosas acarretam no comprometimento da taxa fotossintética e, conseqüentemente, do crescimento da planta.

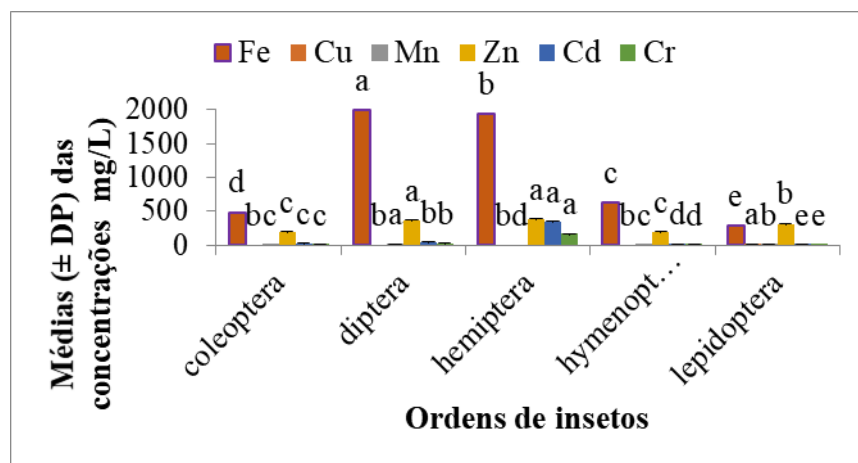
Algumas plantas do gênero *Tradescantia* são conhecidas como importantes ferramentas em estudo de biomonitoramento, como a *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt var. *purpurea* Boom e o clone 4430 (MEIRELES; CERQUEIRA, 2011).

Dados na literatura mostraram uma preferência de *T. zebrina* por ambientes de borda parcialmente iluminadas, com uma maior produção de biomassa nestes ambientes acompanhada por um número maior de folhas, assim como maiores valores de área foliar e diâmetro e comprimento do interno. (LUZ, 2016).

### **Concentração dos metais em insetos**

Todas as ordens de insetos examinadas apresentaram níveis de concentrações de metais pesados. Os metais pesados ferro (Fe), cádmio (Cd) e cromo (Cr) apresentaram diferenças estatísticas entre as ordens de insetos estudadas com maiores (1.989,20 mg/L, 350,1 mg/L e 170,0 mg/L) e menores (289,00 mg/L, 7,7 mg/L e 2,8 mg/L) valores das concentrações médias desses metais, presentes na estrutura corporal total das ordens díptera e lepidóptera; hemíptera e lepidóptera; hemíptera e lepidóptera, respectivamente.

Dentre os metais estudados o cobre (Cu) (17,1 mg/L) foi presente apenas na ordem lepidóptera e ausente nas demais. Os metais pesados manganês (Mn) e zinco (Zn) apresentaram os maiores (15,5 mg/L, 10,6 mg/L; 381,9 mg/L) e menores (3,6 mg/L, 4,0 mg/L; 187,7 mg/L) valores médios das concentrações desses metais nas ordens, díptera, lepidóptera; hemíptera, himenóptera e coleóptera, respectivamente (Figura 6).



**Figura 6.** Médias ( $\pm$  DP) das concentrações de metais pesados (mg/L) [ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), cádmio (Cd) e cromo (Cr)] do corpo total de insetos bioindicadores de qualidade ambiental pertencentes às ordens coleóptera, díptera, hemíptera, himenóptera e lepidóptera, em área urbana de Maceió (médias seguidas de mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey,  $P < 0,05$ ).

Poucos trabalhos relatam sobre avaliação do efeito de metais pesados poluentes atmosféricos sobre espécies de diferentes ordens de insetos bioindicadoras de qualidade ambiental em áreas poluídas e não poluídas no mundo. De acordo com Migula et al. (2004) a variação no conteúdo corporal de metais em insetos é atribuível a uma série de fatores, como dieta, idade, sexo ou estado fisiológico, sendo geralmente mais pronunciado em insetos coletados em locais mais poluídos.

Segundo Migula et al (1988), as concentrações de metais no corpo dos insetos nas espécies examinadas, estavam dentro dos níveis previamente documentados em herbívoros e besouros predatórios da vizinhança de áreas com maior fundição de ferro, na Polônia, e dentro dos níveis reportados para besouros em áreas próximas da fundição Kosogorsky, na Rússia. (BUTOVSKY et al., 1999; BUTOVSKY, 2011).

Os organismos vivos necessitam de metais em mínimas quantidades para sobrevivência e manter o funcionamento normal dos processos bioquímicos. Assim, estes metais são denominados elementos traços, pois em pequenas concentrações, obtidas de fontes alimentícias, desempenham papéis benéficos no funcionamento normal do organismo. Nesta classe estão: alumínio III (Al), arsênio III (As), boro III (B), cobalto III (Co), cromo III, IV e V (Cr), cobre II (Cu), ferro II (Fe), flúor (F), manganês II (Mn), zinco II (Zn), molibdênio IV, V e VI (Mo) etc. (IUPAC, 2002; ORLOWSKI et al., 2020).

Em algumas condições os metais podem atuar de maneira nociva, apresentando níveis tóxicos (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006). Estes casos podem ocorrer quando há excesso de elementos que não desempenham funções biológicas principalmente, não essenciais (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Neste contexto o acúmulo de metais pesados nos organismos, pode afetar diretamente a biodisponibilidade de outros elementos, alterando processos bioquímicos, membranas celulares e organelas (JANSSEN et al., 2000).

São considerados metais pesados àqueles que apresentam densidade maior que  $0,005 \text{ g/cm}^3$  ( $5 \text{ mg/cm}^3$ ). Nesta classe estão: alumínio ( $2,70 \text{ g/cm}^3$ ), bário ( $3,59$ ), cádmio ( $8,65 \text{ g/cm}^3$ ), cobre ( $8,93 \text{ g/cm}^3$ ), chumbo ( $11,30$  ou  $11,34 \text{ g/cm}^3$ ), mercúrio ( $13,55 \text{ g/cm}^3$ ), níquel ( $8,91 \text{ g/cm}^3$ ), ouro ( $19,28 \text{ g/cm}^3$ ), paládio ( $12,00 \text{ g/cm}^3$ ), platina ( $21,45 \text{ g/cm}^3$ ), prata ( $10,50 \text{ g/cm}^3$ ), zinco ( $7,14 \text{ g/cm}^3$ ), ou seja, a maioria dos metais (IUPAC, 2002).

Devido à inexistência de padrões específicos para invertebrados na Legislação Brasileira, os valores das concentrações dos elementos químicos determinados nas espécies estudadas foram comparados aos resultados obtidos nas faixas de concentração obtidas no fragmento florestal Refúgio Ecológico Charles Darwin (MAGALHÃES, 2015) e a outros trabalhos utilizando invertebrados terrestres.

Em alguns coleópteros vivendo perto de uma área de fundição de chumbo e zinco em Arnoldstein, na Áustria, os níveis de Pb excederam no máximo de  $20 \text{ mg g}^{-1}$  por um fator de  $30 \text{ mg g}^{-1}$  com os normalmente relatados (RABITSCH, 1995). Kramarz (1999) demonstrou os besouros carabais (*Poecilus cupreus* L., 1758) são pobres acumuladores de metais pesados. HEIKENS et al. (2001) desenharam conclusões semelhantes, confirmando que os coleópteros são capazes de regular metais na faixa de concentrações

normais do solo. Migula et al. (2004) encontrou correlações positivas entre o cádmio e o chumbo para cada uma das examinadas espécies, mas não entre zinco e cádmio.

Embora o zinco possa ser substituído por cádmio (MIGULA, 2004), as espécies examinadas mantiveram altas concentrações corporais deste metal biogênico, independentemente dos hábitos alimentares e do seu lugar em uma cadeia alimentar (VAN STRAALEN; VAN WENSEM, 1986). Os metais são altamente persistentes e podem exercer forte pressão de seleção em múltiplas gerações de populações de organismos poucos dispersantes. (STONE et al., 2001). Esses autores não registaram alterações significativas na massa corporal de *P. oblongopunctatus* habitando os dois locais mais poluídos na mesma área.

O aumento da emissão de poluentes atmosféricos contendo depósitos de metais pesados como SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> inibe as atividades enzimáticas envolvidos na glicólise e aminoácidos em inseto pertencente à ordem homóptera, mas por outro lado, a maioria destas enzimas foi estimulada nas traças (MIGULA; KARPINSKA 1988). Para que sejam protegidas contra estas substâncias que podem entrar em seu corpo através de sistema respiratório por regulamento reflexiva do movimento espiráculos (MIGULA; KARPINSKA, 1988). Seu corpo coberto com cerdas também protegê-los contra os efeitos negativos de pó e precipitação com ácido, assim, observou-se apenas uma ligeira variação de pH na hemolinfa da mariposa cetim. (KRAWCZYK, 1982).

Comparando as concentrações de metais encontrados no corpo das espécies examinadas com outros trabalhos citados, é fato que os níveis encontrados não ultrapassam os níveis previamente documentados em outros estudos.

## CONCLUSÕES

Em comparação entre os dois tipos de jardins verticais, ambos apresentaram as mesmas respostas quanto ao resultado para o crescimento das plantas; entretanto, para posterior indicação de cultivos de plantas, o painel executado com fibra e vasos de fibra de coco, foi de mais fácil execução e menor custo.

As plantas utilizadas nesse estudo são importantes ferramentas utilizadas em biomonitoramentos ambientais. Alguns aspectos importantes e relevantes foram



observados quanto às respostas dadas pelas plantas, considerando que alterações bastante comuns em plantas em níveis elevados de poluentes, é a densidade estomática. Dessa forma, é possível concluir que as plantas usadas nesse estudo sofreram adaptações e são fontes bioindicadoras de poluição ambiental. Sabe-se que ainda não existem padrões específicos para invertebrados na Legislação Brasileira, assim necessitando de mais pesquisas para estabelecer padrões brasileiros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pela disponibilização do local para a realização da pesquisa e pelo recurso financeiro para a compra de equipamentos e material laboratorial.

## REFERÊNCIAS

1. ABRAMS, M.D.; MOSTOLLER, S.A. Gas exchange leaf structure and nitrogen in contrasting successional tree species growing in open and understory sites during a drought. *Tree Physiology*, v.15, n.6, p.361-70, 1995.
2. ALVES, E. S. et al. 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.
3. BEZERRA, J.; GOMES, T. *Poluição do ar em vias de Maceió ultrapassa limites estabelecidos pela OMS*. Revista eletrônica Gazetaweb. Disponível em <<http://gazetaweb.globo.com/portal/noticia.php?c=703>> Acessado em: 24 de agosto de 2016.
4. BROBOV, R.A. The leaf structure of *Poa annua* with observations on its smog sensitivity in Los Angeles county. *American Journal of Botany*, v.42, p.467-474. 1955.
5. BUTOVSKY, R. O. Heavy metals in carabids (Coleoptera, Carabidae). *ZooKeys* 100: 215-222. <https://doi.org/10.3897/zookeys.100.1529>,. 2011

6. BUTOVSKY, R. O.; VERHOEF, S. C.; ZAITSEV, A. S.; VAN STRAALLEN, N. M. Heavy metals in different invertebrate groups as related to soil contamination. In: BUTOVSKY, R. O.; VAN STRAALLEN, N. M. (Eds) *Pollution-induced changes in soil invertebrate foodwebs*. (1999). Report n. D99017. Vrije Universiteit, Amsterdam, p.117–129, 1999.
7. CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 2003*. CETESB, Série Relatórios, São Paulo, 2004.
8. CRISPIM, B. A.; et al. Effects of atmospheric pollutants on somatic and germ cells of *Tradescantia pallida* (Rose) DR HUNT cv. purpurea. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 4, p. 1899-1906, 2014.
9. FILGUEIRA, F. A. R. *Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV, p.402, 2000.
10. HEIKENS, A.; PEIJNENBURG, W. J.; HENDRIKS, A. J. Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates. *Environ. Pollut.* v.113, p.385–393, 2001
11. IUPAC - INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. “Heavy metals”— *A meaningless term?* Pure Appl. Chem., v.74, n. 5, p.793–807, 2002.
12. JANSSEN, C. R.; SCHAMPHELAERE, K.; HEIJERICK, D.; MUYSSSEN, B.; LOCK, K.; BOSSUYT, B.; VANGHELUWE, M.; VAN SPRANG, P. Uncertainties in the environmental risk assessment metals. *Human Ecological Risk Assessment*, v.6, p.1003-1018, 2000.
13. KRAMARZ, P. The dynamics of accumulation and decontamination of cadmium and zinc in carnivorous invertebrates. 1. The ground beetle *Poecilus cupreus* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* v.4, p.531–538, 1999.
14. KRAWCZYK, A. The Effect of Atmospheric Pollution on some Parameters of Haemolymph of *Leucoma salicis*, University of Silesia, Katowice, Poland, *Sci Rep.* v.10, n.1, p.1–9, 1982.
15. LANBERTINI, A.; LEENHARDT, J. *Vertical Gardens*. 1ª Edição. Londres, Reino Unido: Verba Volant Ltd., p.239, 2007.
16. LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J.; ROGERS, A.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water

- relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, v.60, n.10, p.2859–2876, 2009. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp096>
17. LUZ, R.C. *Respostas de Tradescantia zebrina Heynh. ex Bosse às condições diferenciais de luz e sazonalidade*. Instituto Latino-Americano De Ciências Da Vida e da Natureza (ILACVN) Trabalho final de curso (TFG), Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade, p.42, 2016.
18. MAGALHÃES, M. R. L. *Concentrações naturais de elementos químicos da classe insecta do fragmento florestal de mata atlântica reserva charles Darwin*. Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação (Mestrado), Tecnologias Energéticas e Nucleares, p. 99, 2015.
19. MEIRELES, J. R. C.; CERQUEIRA, E. M. M. Use of the Micronucleus Test on Tradescantia (Trad-MCN) to Evaluate the Genotoxic Effects of Air Pollution. In: MOLDOVEANU, A. M. (Ed.). *Air pollution: new developments*. [S.l.]: InTech, 2011. <http://dx.doi.org/10.5772>
20. MIGULA, P.; KARPINSKA, B. The effect of atmospheric pollution on a-glycerophosphate dehydrogenase activity in the satin moth [*Leucoma Salicis* (L.)]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 11, 69-78, 1988
21. MIGULA, P., et al. Antioxidative defence enzymes in beetles from a metal pollution gradient. *Biologia Bratislava*, v.59, n. 5, p. 645—654, 2004.
22. OLIVEIRA, M. A. et al. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Rev. Ceres*, v.61, p. 800-807, 2014. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2014000700005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700005&lng=en&nrm=iso)>. access on 29 July 2020. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000005>.
23. ORLOWSKI, G. et al. Breaking down insect stoichiometry into chitin-based and internal elemental traits: Patterns and correlates of continent-wide intraspecific variation in the largest European saproxylic beetle. *Environmental Pollution*, v.262, 2020.
24. PORRA, R.J.; THOMPSON, W.A.; KRIEDEMANN, P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with 4 different solvents: verification of the

concentration of chlorophyll standarts by atomic absorption spectroscopy.

*Biochimica et Biophysica Acta*, v.975, p.384:394. 1989.

25. RABITSCH, W. Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. *Environ. Pollut.* v.90, p.221–237, 1995.
26. SANTOS, T. O. DOS. *Biomonitoração da qualidade do ar em decorrência da queima da cana-de-açúcar na reserva ecológica de Gurjaú-PE*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 59 folhas, CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2011.
27. SEINFELD, J.H. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. John Wiley & Sons, New York. p,738,1986.
28. SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. *Química ambiental*. Tradução Sonia Midori Yamamoto. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
29. STONE, D., JEPSON, P., KRAMARZ, P., LASKOWSKI, R. Time to death response in carabid beetles exposed to multiple stressors along a gradient of heavy metal pollution. *Environ. Pollut.* v.113, p.239 – 244, 2001.
30. TOMAR, R, S.; SINGH, B.; JAJOO, A. Effects of Organic Pollutants on Photosynthesis. In: Ahmad, P.; Ahanger, M. A.; Alyemeni, M. N.; Alam, P (editors). *Photosynthesis, Productivity and Environmental Stress*, John Wiley & Sons Ltd, 2019. DOI:10.1002/9781119501800
31. VAITSMAN, E. P.; VAITSMAN, D. S. *Química & Meio Ambiente: Ensino Contextualizado*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
32. VAN STRAALLEN, N. M.; VAN WENSEM, J. Heavy metal content of forest litter arthropods as related to body-size and trophic level. *Environ. Pollut.* v.42, p.209–221, 1986.
33. WELLBURN, A.R. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? *New Phytology*, v.115, p.95-429, 1990.