

ESPÉCIES DE *Tillandsia* L. (TILLANDSIOIDEAE, BROMELIACEAE) COMO BIOINDICADORAS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA ✓

235

Fernanda Cristina Benjamim da COSTA¹
Berenice CHIAVEGATTO²
Daniel Elias Ferreira BARBOSA³
Samyra Gomes FURTADO⁴
Luiz MENINI NETO⁵

✓ Artigo recebido em 04/04/2019 e aprovado em 22/05/2019.

¹ Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF). E-mail: <nandinhacrisjf@hotmail.com >.

² Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre e doutora pela Escola Nacional de Botânica Tropical/ Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Docente no CES/JF. E-mail: <berechiavegatto@cesjf.br>.

³ Graduado em Ciências Biológicas pelo Centro de Ensino superior de Juiz de Fora (CES/JF). Mestre em Ecologia pelo Programa de Pós- graduação em Ecologia (PGECOL-UFJF). E-mail: <daninhofb@yahoo.com.br>.

⁴ Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre em Ecologia pelo Programa de Pós- graduação em Ecologia (PGECOL-UFJF) e doutoranda pelo mesmo programa. E-mail: <furtadosg@gmail.com>.

⁵ Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora(UFJF). Mestre em Ciências Biológicas (Botânica)pelo Museu Nacional/ UFRJ. Doutor em Botânica pela Escola Nacional de Botânica Tropical/ JBRJ. E-mail: <menini.neto@gmail.com>.

**ESPÉCIES DE *Tillandsia* L.
 (TILLANDSIOIDEAE, BROMELIACEAE)
 COMO BIOINDICADORAS DE POLUIÇÃO
 ATMOSFÉRICA**

**SPECIES OF *Tillandsia* L.
 (TILLANDSIOIDEAE BROMELIACEAE) AS
 BIOINDICATOR OF ATMOSPHERIC
 POLLUTION**

RESUMO

A poluição atmosférica constitui um grande problema para a população, sendo responsável por diversos efeitos prejudiciais aos ecossistemas e à saúde humana, especialmente nos grandes centros urbanos e industriais. O interesse do homem sobre questões relacionadas à conservação do meio ambiente vem crescendo de modo que diversos estudos científicos têm sido utilizados como ferramentas para a detecção de problemas ambientais causados por ações antrópicas, prevendo a médio e longo prazo os efeitos de tais ações. A utilização de bioindicadores em estudos ambientais tem assegurado a obtenção de dados confiáveis e de forma rápida, que permitem a identificação das relações de causas e efeitos entre os agentes contaminantes e as respostas biológicas, oferecendo um panorama da resposta integrada dos organismos às modificações ambientais. As plantas epífitas apresentam-se como excelentes ferramentas para o biomonitoramento de poluição atmosférica, pois obtêm minerais e nutrientes predominantemente do ar e não de um substrato, de modo que se pode afirmar que os elementos acumulados nesses organismos refletem a composição atmosférica. Entre as epífitas, destaca-se a família Bromeliaceae com o gênero *Tillandsia* L., o qual é composto por espécies cujas características morfológicas e fisiológicas permitem sua fixação em diferentes substratos em áreas urbanas. Estas propriedades tornam estas plantas muito úteis, pois além de assimilar água e nutrientes da atmosfera, acumulam poluentes sem danificar a planta. O presente trabalho trata de uma revisão visando reunir conhecimentos sobre bromélias epífitas e sua importância como bioindicadoras de poluição atmosférica.

Palavras-chave: Meio ambiente. Epífitas. Biomonitor.

ABSTRACT

Air pollution has been a major problem for the population and is responsible for a number of damaging effects on ecosystems and human health, especially in large urban and industrial centers. The interest of man on issues related to the conservation of the environment has been growing so that several scientific studies have been applied as tools for the detection of environmental problems caused by anthropic actions, predicting in the medium and long term the effects of such actions. The use of bioindicators in environmental studies has ensured reliable and fast data collection, which allows the identification of cause and effect relationships between contaminating agents and biological responses, providing an overview of the integrated response of organisms to environmental modifications. Epiphytic plants are excellent tools for biomonitoring of atmospheric pollution, since they obtain minerals and nutrients from the air and not from a substrate, so that the elements accumulated in these organisms reflect the atmospheric composition. Among the epiphytes, the family Bromeliaceae with the genus *Tillandsia* L. stands out, this species is composed of species in which its morphological and physiological characteristics allow its fixation in different substrates in urban areas. These properties make these plants very useful, because in addition to assimilating water and nutrients from the atmosphere, they accumulate contaminating agents without damaging the plant. This work is a review aimed at gathering knowledge about epiphytic bromeliads and their importance as bioindicators of atmospheric pollution.

Keywords: Environment. Epiphytes. Biomonitor.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a poluição atmosférica vem constituindo um grande problema para a população, sendo responsável por diversos efeitos prejudiciais aos ecossistemas e na saúde humana, especialmente nos grandes centros urbanos e industriais. Pode também ser observada em locais remotos como uma consequência de atividades agrícolas intensas, mineração, emissões vulcânicas, dentre outras (DRAGUNSKI et al. 2009). Substâncias usualmente consideradas poluentes do ar podem ser classificadas segundo Aquino et al. (2011) como: compostos de enxofre (SO₂, SO₃, H₂S, sulfetos); compostos de nitrogênio (NO, NO₂, NH₃, HNO₃, nitratos); compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos); monóxido de carbono e dióxido de carbono; compostos halogenados (HCl, HF, cloretos, fluoretos); material particulado (mistura de compostos no estado sólido ou líquido).

A poluição atmosférica se caracteriza pela presença de gases e/ou partículas no ar, em concentrações elevadas o suficiente para gerar mudanças significativas na qualidade ambiental (SIAM, 2014). Segundo, a resolução nº 3 de 1990 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), um poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora e/ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

O interesse humano sobre questões relacionadas à conservação do meio vem crescendo de modo que diversos estudos científicos têm sido utilizados como ferramentas para a detecção de problemas ambientais causados por ações antrópicas, prevendo a médio e longo prazo os efeitos de tais ações (SANTOS et al., 2013).

A utilização de bioindicadores em estudos ambientais tem assegurado a obtenção de dados confiáveis e de forma rápida, que permitem a identificação das relações de causas e efeitos entre os agentes contaminantes e as respostas

biológicas, oferecendo um panorama da resposta integrada dos organismos às modificações ambientais (ALBUQUERQUE et al., 2013).

As plantas epífitas apresentam-se como excelentes ferramentas para o biomonitoramento de poluição atmosférica, pois obtêm minerais e nutrientes do ar e não de um substrato, de modo que se pode afirmar que os elementos acumulados nesses organismos refletem a composição atmosférica (SANTOS et al., 2013). Essa característica faz com que esses organismos sejam bastante utilizados em vários países como uma ferramenta de baixo custo efetiva para a avaliação da deposição atmosférica de elementos químicos (SANTOS et al., 2013).

Entre as epífitas, destaca-se a família Bromeliaceae com o gênero *Tillandsia* L., o qual é responsável pela grande amplitude geográfica desta família (BENZING, 2000). Este gênero é composto por espécies que apresentam crescimento lento, e com grande habilidade para obtenção de água e nutrientes da atmosfera. Além disto, suas características morfológicas e fisiológicas permitem sua fixação em diferentes substratos em áreas urbanas (tais como fios elétricos, muros, telhados e árvores). Estas propriedades tornam estas plantas muito úteis em programas de monitoramento de poluição atmosférica, pois além de assimilar água e nutrientes da atmosfera, também acumulam poluentes (MALM et al., 1998).

O presente trabalho trata de uma revisão que reúne conhecimentos sobre espécies epífitas do gênero *Tillandsia* e sua importância como bioindicadoras de poluição atmosférica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, implicando o levantamento de dados de variadas fontes, com relação às *Tillandsia* como método de monitoramento da poluição atmosférica. No decorrer de cinco meses (julho a novembro de 2017), essas fontes foram baseadas em: livros, artigos, cartilhas e sites na *internet* específicos com comprovação científica, como *Web of Science*, *Scielo (Scientific Electronic Library Online)* e *Google Scholar*. Na busca as palavras utilizadas foram “plantas bioindicadoras”, “bioindicadores vegetais”, “bromélias epífitas”, “bioindicadores de poluição atmosférica” e “*Tillandsias* como

bioindicadoras”, resultando em 66 artigos que foram consultados como referências bibliográficas. A pesquisa bibliográfica foi separada em quatro etapas, sendo a primeira uma revisão sobre epífitas e bromélias apontando suas principais características, a segunda foi a realização da busca baseada em trabalhos que analisavam o potencial dessas plantas como biomonotoras devido a suas características morfológicas, terceiro os resultados foram baseados em bromélias epífitas do gênero *Tillandsia* que obtiveram resultados positivos como bioindicadoras de poluição atmosférica e a quarta e última etapa foi o fichamento do material pesquisado. Após as leituras, marcações e entendimento do assunto pesquisado, foram iniciados os processos de finalização.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EPIFITISMO

Epífitas são plantas que não apresentam conexão com o solo em algum estágio de seu ciclo de vida, utilizando-se de outras plantas como suporte, os forófitos, sem delas retirar nutrientes (MEDISON, 1977). Em uma definição ecológica epifitismo é a interação comensal entre plantas na qual uma espécie dependente beneficia-se apenas do substrato proporcionado por uma espécie suporte retirando nutrientes diretamente da umidade atmosférica, sem emitir estruturas haustoriais (BENNET, 1986; BENZING, 1990; ZOTZ, 2016).

Estas plantas representam parte importante da riqueza das florestas neotropicais abrangendo várias famílias botânicas (GENTRY; DODSON, 1987). São representadas por aproximadamente 27.614 espécies, distribuídas em 913 gêneros em 73 famílias, ou aproximadamente 9% da diversidade de plantas vasculares existentes (ZOTZ, 2013). Grande parte das epífitas é composta por monocotiledôneas, grupo no qual é encontrado o maior número de espécies, e por eudicotiledôneas que apresentam o maior número de famílias (BENZING, 1990).

Segundo Benzing (1990) a sobrevivência sobre outros vegetais e ocupação do dossel da floresta pelas epífitas só foi possível através do desenvolvimento de adaptações para obtenção de umidade e nutrientes neste ambiente. Estas

adaptações envolvem aspectos morfológicos, fisiológicos, anatômicos e ecológicos que possibilitam, por exemplo, suportar a baixa disponibilidade de água e nutrientes, além de condições extremas de luminosidade, características do ambiente representado pelo dossel (BENZING, 1990).

Clark et al. (1998) destacam que epífitas são fonte de umidade e nutrientes de grande importância durante as estações secas. Aumentam a retenção de água diretamente da neblina, umidificando o ambiente pela evaporação de água armazenada na biomassa e pela evapotranspiração (CLARK et al., 1998). Elas capturam umidade auxiliando na atividade biológica, inclusive na fixação de nitrogênio nas copas das árvores (WEAVER, 1972). Contribuem para a diversificação dos nichos e *micro-habitats*, aumentando consideravelmente o espaço físico e o alimento disponível, além de servirem como refúgio reprodutivo a muitas espécies animais (BENZING, 1986).

Em função de suas características fisiológicas e nutricionais, as epífitas podem refletir o grau de conservação local e têm um papel fundamental em estudos sobre a interferência antrópica no ambiente (BATAGHIN; PIRES; BARROS, 2012).

3.2 BROMELIACEAE

Bromeliaceae Juss. compreende aproximadamente 3.579 espécies distribuídas em 75 gêneros (GOUDA; BUTCHER; GOUDA, 2018). Sendo uma das famílias de monocotiledôneas mais representativas da flora Neotropical (GIVNISH, 2007). Atualmente, encontra-se dividida nas subfamílias Brocchinioideae, Bromelioideae, Hechtioideae, Lindmanioideae, Navioideae, Pitcairnioideae, Puyoideae e Tillandsioideae (LUTHER, 2008).

São notáveis pela diversidade de *habitats* em que vivem e pela capacidade de florescerem em ambientes áridos e com deficiência de nutrientes (GONZAGA; CASTRO, 2008). As plantas mesófitas prevalecem em ambientes com alta umidade, como em florestas tropicais, enquanto as xerófitas com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) são capazes de habitar ambientes secos, como savanas, campos rupestres, ambientes desérticos e até mesmo rochas nuas (SPAT, 2012). Dispensam em alguns casos, o suporte de seres vivos, crescendo em substratos

artificiais, como postes de madeira, cimento, grades de metal ou mesmo cabos de redes de energia (LEAL et al., 2017) (Figura 1).

A maioria dos representantes da família, segundo Benzing (2000), apresentam, em geral, inflorescência vistosa e folhas distribuídas em roseta, usualmente com bainha alargada na base, propiciando a formação de um reservatório de água e nutrientes, cujo papel é de grande importância, tanto na nutrição das bromélias, como em constituir um micro ambiente habitado por diversos animais, sendo constituídos por plantas terrícolas, rupícolas e epífitas, geralmente herbáceas, variando de plantas delicadas e de pequeno porte com alguns centímetros de comprimento, ou de grande porte, que chega a atingir mais de 10 metros de altura.

3.2.1 Subfamília Tillandsioideae

Tillandsioideae é a maior subfamília de Bromeliaceae, com aproximadamente, 1100 espécies distribuídas em nove gêneros: *Alcantarea* (E. Morren ex Mez) Harms (16 spp.), *Catopsis* Griseb. (21 spp.), *Guzmania* Ruiz & Pav. (176 spp.), *Mezobromelia* L.B. Sm. (9 spp.), *Pitcairnia* Cothen. (2 spp.), *Racinaea* M.A. Spencer & L.B. Sm. (56 spp.), *Tillandsia* (551 spp.), *Vriesea* Hassk. (188 spp.) e *Werauhia* J.R. Grant (73 spp.) (BARFUSS et al., 2005). Espécies desta subfamília são encontradas em toda a área de distribuição de Bromeliaceae, sendo *Tillandsia* o gênero responsável pela grande amplitude geográfica desta família (BENZING, 2000).

As espécies de *Tillandsia* de acordo com Smith e Downs (1977); Gardner (1986) exibem estruturas caulescentes ou caules não perceptíveis, com folhas distribuídas ao longo do caule, com escamas simétricas ou assimétricas. Exibem inflorescências em panículas com flores sésseis, protegidas por brácteas, pétalas livres, seis estames, filetes cilíndricos ou complanados, anteras com deiscência rimosa e sépalas simétricas, livres ou soldadas. Essas plantas apresentam o ovário súpero. Os óvulos são numerosos e o fruto é uma cápsula, com sementes cilíndricas ou fusiformes (SMITH; DOWNS, 1977; GARDNER, 1986).

As espécies de *Tillandsia* são denominadas, de acordo com Pittendrigh (1948), plantas atmosféricas, por não possuírem tanque, sendo geralmente suculentas de tamanho reduzido, e seus tricomas recobrem densamente toda a planta (Figura 2). Essas escamas são responsáveis pela absorção de água e nutrientes, além de dificultarem a transpiração, e quando secas, refletem o excesso de luminosidade, auxiliando no combate ao estresse hídrico e luminoso (PITTENDRIGH, 1948; BENZING; SEEMANN; RENFROW, 1978). Suas raízes são utilizadas apenas para fixação, enquanto as folhas são responsáveis pela fotossíntese e captura de água e nutrientes (BENZING, 2000). Outro importante fator na manutenção de um estado hídrico favorável é a via fotossintética especializada do Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), através da qual a planta minimiza a evaporação de água pelo fechamento dos estômatos durante o dia e abertura durante a noite, permitindo, assim, a entrada de gás carbônico e uma reduzida perda de água (VASCONCELOS et al., 2013).

Tillandsia epífitas, além de ocorrerem predominantemente sobre as árvores (em troncos ou galhos), podem também ser encontradas sobre rochas nuas e substratos inertes tais como fios de eletricidade, devido às escamas absorventes presentes na superfície das folhas (BENZING; SHEEMANN, 1978). Elas costumam ser chamadas de pragas podendo atingir graus de infestação em ambientes alterados (BENZING; SHEEMANN, 1978).

As plantas desse gênero são consideradas um importante biomonitor da qualidade do ar, pois são capazes de fixar e acumular nutrientes e poluentes presentes na atmosfera que são absorvidos pelo seu próprio metabolismo, e a análise do conteúdo de seus tecidos irá refletir na contaminação atmosférica local (PIGNATA et al., 2002).

Os equipamentos e métodos utilizados para a avaliação da qualidade do ar de acordo com Silva et al. (2007) podem operar de modo contínuo ou intermitente. Alguns já analisam a amostra, fornecendo um resultado instantâneo, outros necessitam de análises em laboratório, sendo responsáveis apenas pela coleta de amostras de ar. Atualmente, os equipamentos que medem a poluição do ar podem ser divididos em quatro tipos, dependendo da metodologia aplicada: amostradores ativos (quando são utilizadas plantas que já habitam a área de estudo) e passivos

(quando são introduzidas de forma controlada no local a ser investigado), analisadores automáticos e sensores remotos (SILVA et al., 2007).

3.2.2 Uso de bromélias como bioindicadoras

O uso de bromélias para o biomonitoramento da qualidade do ar tem se difundido em várias localidades, pois se apresenta como uma alternativa mais viável devido a sua simplicidade em contrapartida ao uso de equipamentos (SANTOS, 2014).

A exposição das plantas é uma ferramenta que permite avaliar poluentes presentes no ar e identificar prováveis fontes de poluição localizadas em uma região. As plantas bioindicadoras são úteis à população, pois podem tornar visíveis os efeitos da poluição ocasionada pelos processos de industrialização e urbanização. Além disso, podem ser utilizadas como indicadoras de efeitos à saúde, uma vez que possibilitam o estudo de biomonitoramento de elementos e a ocorrência de distúrbios epidemiológicos na saúde humana (NOGUEIRA, 2006).

A seguir, de forma resumida, são apresentados estudos que tiveram como objetivo avaliar o potencial bioindicador de algumas espécies de *Tillandsia* em várias localidades em relação à poluição atmosférica.

3.2.2.1 *Tillandsia recurvata* (L.) L. (Figura 3A)

Tillandsia recurvata apresenta ampla distribuição em toda a região de clima tropical da América, podendo ser encontrada desde o sul da América do Norte até a América do Sul (SMITH; DOWNS, 1977; PUENTE; BASHAN, 1994).

Benzing et al. (1992) mostraram que a espécie exposta a diferentes concentrações de dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃), não apresentou lesão visível em sua superfície, e sugeriram que esta epífita é mais vantajosa que os líquens como um indicador biológico da qualidade do ar.

Graciano, Fernandez e Caldiz (2003) utilizaram-na em seus estudos para verificar o seu potencial como bioindicadora de poluição do ar por enxofre (S) em

locais da cidade de La Plata, Argentina, e verificaram, nesse estudo, que essa espécie é um indicador de poluição eficaz, sem evidenciar alterações morfológicas.

Bermudez et al. (2009) avaliaram a capacidade de bioacumulação e a resposta aos poluentes em três espécies de *Tillandsia* e uma de líquen, no ambiente rural, urbano e industrial, na Argentina, sendo *T. recurvata* a espécie que se mostrou mais eficiente no acúmulo de elementos químicos estáveis.

Silva (2013) empregou-a como biomonitora de zinco (Zn) atmosférico na área urbana de Londrina, Paraná. Os resultados demonstraram que a planta tem um bom potencial de acumulação para o Zn, podendo atuar na biomonitoração da qualidade do ar para este elemento químico. Realizaram a biomonitoração ativa, utilizando a espécie para avaliar a poluição atmosférica por elementos traços (níquel (Ni), cobre (Cu), chumbo (Pb) e cádmio (Cd)) provenientes do tráfego veicular na Região Metropolitana de Recife se mostrando uma ferramenta adequada para a avaliação da poluição atmosférica por metais pesados (SANTOS et al., 2013).

Piazzetta (2015) em um estudo feito em Curitiba, com resultados obtidos nas análises de metais (cobre (Cu), ferro (Fe), chumbo (Pb) e zinco (Zn)), demonstrou potencial para ser utilizada como bioindicadora da poluição atmosférica em áreas urbanas.

3.2.2.2 *Tillandsia capillaris* Ruiz & Pavón

Tillandsia capillaris é uma espécie amplamente distribuída na América do Sul como Argentina, Chile, Uruguai, Paraguai, Bolívia, Peru e Equador (CASTELLO; GALETTO, 2013).

Estudos feitos na Argentina com a espécie *T. capillaris* por Pignata et al. (2002) focado nas áreas rurais, urbanas e industriais indicam a presença de elementos traço (ferro (Fe), manganês (Mn), cobalto (Co), chumbo (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), cobre (Cu)), malondialdeídos e teor de enxofre (S), onde alguns desses parâmetros foram usados para calcular um índice de dano foliar. Outras análises feitas na Argentina corroboram a eficiência da espécie como bioindicadora de poluição atmosférica por elementos traço (WANNAZ et al., 2006, 2012, BERMUDEZ et al., 2009, CARRERAZ et al., 2009).

No estudo realizado na Alemanha na cidade de Stuttgart onde a espécie foi introduzida por Rodriguez et al. (2010) foi avaliada a acumulação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs). Vários locais (urbano, suburbano e rural) classificados de acordo com tipo e intensidade do tráfego de veículos foram investigados. Nesses locais, as plantas foram expostas ao ar ambiente e as concentrações foliares de PAHs e dos oligoelementos (bromo (Br), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn)) foram determinadas. Um alto nível de tráfego de veículos foi associado com as maiores concentrações de material particulado no ar ambiente e com os maiores teores de PAHs e elementos traço nas plantas bioindicadoras (RODRIGUEZ et al., 2010).

Na Argentina também foram feitos estudos por Rodriguez et al. (2011) indicando a presença de elementos traço (arsênio (As), bário (Ba), mercúrio (Hg), potássio (K)). Goix et al. (2013) em pesquisa na Bolívia indicam a presença de elementos traço, sendo a espécie um eficiente bioindicador de poluição atmosférica.

Calas et al. (2015) estudaram a espécie e possível adaptação ao clima andino, como potencial bioindicadora na cidade mineradora de Oruro (Bolívia), onde muitas fontes de poluição são identificadas. A cinética de bioacumulação foi realizada expondo a planta entre 1 e 6 meses em diferentes áreas da cidade. Para metais pesados esta planta não é adequada para rastreamento de elementos em 4 meses. Já para as áreas urbanas menos expostas aos metais atmosféricos reflete os efeitos da poluição (CALAS et al., 2015).

3.2.2.3 *Tillandsia usneoides* L. (Figura 3B)

Tillandsia usneoides é uma das espécies do gênero de distribuição mais ampla, sendo encontrada desde o sudeste dos Estados Unidos até o sul do Chile, Argentina e Brasil (GARTH, 1964).

Calasans e Malm (1997) avaliaram o risco da exposição ocupacional à contaminação de mercúrio (Hg) atmosférico em uma fábrica de cloro (Cl) e em áreas vizinhas na cidade do Rio de Janeiro. Mesmo após a exposição às condições de toxicidade, o metabolismo da planta continuou operante, o que permitiu o emprego da técnica de biomonitoramento ativo para avaliar tanto Hg absorvido nos estômatos

como Hg associado às partículas depositadas no biomonitor. Malm et al. (1998), em estudos realizados na Amazônia utilizaram *T. usneoides* como biomonitores para mapear Hg atmosférico em uma cidade de comércio de ouro (Au), as concentrações das plantas expostas foram altas atestando seu potencial como bioindicadora.

Estudos realizados por Figueiredo et al. (2001; 2004), com amostras de *T. usneoides* coletadas em uma área não poluída, foram expostas a diferentes locais de São Paulo e em um local controle. Os resultados obtidos por esses autores, mostraram uma tendência de acumulação de elementos como alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cromo (Cr), antimônio (Sb), titânio (Ti), vanádio (V) e zinco (Zn) nas amostras expostas em locais com graus intensos de poluição.

Estudos realizados com *T. usneoides* na cidade de São Paulo por Figueiredo et al. (2007) indicam o acúmulo de elementos traço. Nogueira (2006) mostrou uma concentração notável de cobalto (Co) e níquel (Ni) nas plantas expostas em uma área industrial. O cobre (Cu) e cromo (Cr) foram detectados tanto em regiões industriais, como em locais próximos a avenidas com tráfego intenso. Já do elemento Zn, os maiores teores foram relacionados a zonas industriais. Alguns metais encontrados como ferro (Fe) e rubídio (Rb) foram associados a partículas provenientes da suspensão de solo. Análises feitas no Rio de Janeiro e em Salvador por Vianna e Andrade (2011) identificaram a presença de elementos traço em áreas urbanas.

Pode-se citar os estudos com *T. usneoides* para determinação da poluição atmosférica na área industrial da cidade do México que mostrou concentração de metais e elementos traço, podendo ser utilizada para identificar áreas contaminadas por esses poluentes (MARTÍNEZ-CARRILO et al., 2010). Na Tailândia um estudo feito por Techato; Salaeh e Beem (2014), demonstrou que *T. usneoides* pode fornecer um método rápido para estimar o tipo e o grau de relativo de poluição local ou de áreas urbanas.

Em um estudo comparativo realizado em São Paulo por Giampoali et al. (2016), *T. usneoides* apresentou maior capacidade de biomonitoração das variações espaciais e para indicar mais adequadamente as fontes de cada elemento na região estudada do que *Aechmea fasciata* (Lindl.) Baker, espécie de Bromeliaceae formadora de tanque.

3.2.2.4 *Tillandsia aeranthos* (Loisel.) L.B.Sm.

Tillandsia aeranthos é uma espécie distribuída na América do Sul, com amplamente encontrada em todas as regiões do Brasil (REFLORA, 2017).

Estudos foram conduzidos no Rio Grande do Sul com esta espécie. Por exemplo, em estudo realizado em Porto Alegre avaliou-se os níveis atmosféricos de enxofre (S) e elementos traço nas áreas industriais e residenciais (FLORES, 1987). Koga (2007), no município de Rio Grande, utilizou *T. aeranthos* no monitoramento de metais como cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), níquel (Ni) e ferro (Fe). Em Santa Cruz do Sul, Tadiello et al. (2014) observaram a concentração de cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) e, em ambos os estudos, foi atestada a eficiência da espécie como bioindicador de poluição atmosférica.

3.2.2.5 *Tillandsia stricta* Sol. (Figura 3C)

Tillandsia stricta é amplamente distribuída na América do Sul, ocorrendo na Argentina, Venezuela, Paraguai, Uruguai, Guiana, Suriname e Brasil (KREMER, 2011).

Estudos feitos em Curitiba por Godoi e Godoi (2010) avaliaram a poluição atmosférica com ênfase na emissão veicular de compostos orgânicos voláteis (COV_s) (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX)) e sua relação com a densidade da vegetação em alguns pontos da cidade. A concentração média de benzeno variou de 3,9 a 6,1 mgm⁻³, com valores mais altos ocorrendo em áreas de vegetação pouco densa, para tolueno, as concentrações médias variaram de 6,5 a 7,2 mgm⁻³. Os resultados mostraram índices alarmantes destes compostos com potencial carcinogênico nos locais amostrados, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que concentrações de 1,7 mgm⁻³ podem causar 10 casos de leucemia em cada 1 milhão de habitantes, sendo que a Legislação Ambiental Brasileira não define parâmetros comparativos de contaminação ambiental para os compostos BTEX (GODOI; GODOI, 2010).

3.2.2.6 *Tillandsia tricholepis* Baker (Figura 3D)

Tillandsia tricholepis está distribuída na Argentina, Bolívia, Paraguai, Peru e Brasil (KREMER, 2011).

Um estudo de capacidade de biomonitoramento da poluição do ar feito na Argentina por Bermudez et al. (2009) indicam a presença de elementos traço em áreas agrícolas, urbanas e industriais. Ocorreu acúmulo de manganês (Mn) e zinco (Zn) na área industrial, Mn em certos períodos nas áreas agrícolas e Zn nas áreas urbanas.

3.2.2.7 *Tillandsia caput-medusae* Morren e *Tillandsia bulbosa* Hook.

Tillandsia caput-medusae e *T. bulbosa* têm sua distribuição na América Central e América do Sul (REFLORA, 2017).

Análises de bioindicador de poluição do ar feitas na Costa Rica em *T. caput-medusae* indicam a presença de chumbo (Pb), cobre (Cu), cádmio (Cd) em áreas de tráfego de veículos (BRIGHIGNA et al., 1997).

Uma pesquisa realizada na cidade de Florença na Itália, para monitorar a presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH's), produto potencialmente carcinogênico, utilizou espécies de *T. caput-medusae* e *T. bulbosa*. Para os ensaios foi utilizado o extrato das plantas coletadas. Deste material foi possível se obter o incremento de PAH através de bioacumulação, comprovando que os tricomas foliares são ótimas estruturas para captação de partículas dispersadas no ar (BRIGHIGNA et al., 2002).

3.2.2.8 *Tillandsia pohliana* Mez e *Tillandsia streptocarpa* Baker

Tillandsia pohliana ocorre na região dos Andes (Peru e Bolívia), Argentina e Brasil. Já *T. streptocarpa* ocorre na Bolívia, Peru, Paraguai e Brasil (KREMER, 2011).

No Paraná, um dos estudos utilizando estas espécies de bromélias foi realizado no município de Umuarama. O conteúdo de níquel (Ni), cromo (Cr),

potássio (K), zinco (Zn), cobre (Cu) e chumbo (Pb) foi determinado através de espectrometria de absorção atômica. Os resultados obtidos indicaram a presença de traços de Ni e Cu e concentrações mais acentuadas de K e ferro (Fe). Esta situação pode ser explicada pelos períodos de estiagem e a intensa atividade agrícola da região (DRAGUNSKI et al., 2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biomonitoramento utilizando espécies de *Tillandsia* se mostrou uma ferramenta adequada para avaliação de poluição atmosférica tanto em ambiente urbano quanto rural, em áreas industriais ou residenciais. A totalidade destes estudos avaliou estas questões através da aquisição de dados na presença de poluentes retirando compostos químicos diretamente da biomassa das plantas, principalmente das folhas e raízes das bromélias.

Ao longo do levantamento bibliográfico foi possível observar que mesmo com uma diversidade tão ampla de espécies de *Tillandsia*, poucos são os estudos relacionados ao potencial como bioindicadoras de poluição atmosférica. São escassos os autores que se dedicaram a estudar essas espécies e nota-se que a maioria dos estudos é conduzida nas mesmas localidades, com os mesmos autores e espécies.

Embora se mostrem como bons bioindicadores, um aspecto pouco abordado se refere à existência ou não de alterações estruturais e/ou histológicas resultantes do acúmulo de elementos-traço nas plantas, vertente que pode ser explorada em estudos futuros tanto com as espécies já estudadas quanto com outras espécies ocorrentes em ambiente urbano.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. R. et al. Utilização da bromélia *Tillandsia usneoides* L. no biomonitoramento da poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo-SP, Brasil. **INAC**, p. 9, 2013.

AQUINO, S. M. de F. et al. Bioindicadores vegetais: uma alternativa para monitorar a poluição atmosférica. **Revista Internacional de Ciências**, v.1, n.1, jul./dez. 2011.

BARFUSS, M. H. J. et al. Phylogenetic relationships in subfamily Tillandsioideae (Bromeliaceae) based on DNA sequence data from seven plastid regions. **American Journal of Botany**, v.92, n. 2, p.337-351, 2005.

BATAGHIN, F. A.; PIRES, J. S. R.; BARROS, F. de. Epifitismo vascular em sítios de borda e interior na Floresta Nacional de Ipanema, São Paulo, Brasil. **Hoehnea**, v.39, n. 2, p. 235-245, 2012.

BENNET, B. C. Patchiness, diversity, and abundance relationships of vascular epiphytes. **Selbyana**, v. 9, p. 70-75, 1986.

BENZING, D. H.; SHEEMANN, J. Nutritional piracy and host decline: a new perspective on the epiphyte-host relationship. **Selbyana**, v. 2, n. 2/3, p. 133-148, 1978.

BENZING, D. H.; SEEMANN, J.; RENFROW, A. The foliar epidermis in Tillandsioideae (Bromeliaceae) and its role in habitat selection. **American Journal of Botany**, v. 65, n. 3, p. 359-365, 1978.

BENZING, D. H. The Vegetative basis of vascular epiphytism. **Selbyana**, v. 9, p. 23-43, 1986.

BENZING, D. H. **Vascular epiphytes**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 354,1990.

BENZING, D. H. et al. Effects of ozone and sulfur dioxide on four epiphytic bromeliads. **Journal Environmental and Experimental Botany**, v. 32, n. 1, p. 25-32,1992.

BENZING, D. H. **Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 690, 2000.

BERMUDEZ, G. M. A. et al. Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina. **Environmental Research**, v. 109, n. 1, p. 6-14, 2009.

BRASIL. Controle de Poluição do ar. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de Junho de 1990**. Brasília, DF, 1990.

BRIGHIGNA, L. et al. The use of an epiphyte (*Tillandsia caput-medusae* Morren) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. **The Science of the Total Environment**, v. 198, n .2, p.175-180,1997.

BRIGHIGNA, L. et al. The use of tropical bromeliads (*Tillandsia* spp.) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy. **Revista de Biología Tropical**, v. 50, n. 2, p.577-584, 2002.

BROMELIACEAE in **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB66>>. Acesso em: 05 Dez. 2017.

CALAS, A. et al. The use of biomonitor *Tillandsia capillaris* to characterize the extent of atmospheric contamination by metals in the mining city of Oruro (Bolivia). **Pollution Atmosphérique**, v. 226, p.1-9, 2015.

CALASANS, C. F.; MALM, O. Elemental Mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.). **Sci Total Environ**, v. 208, p. 165-177, 1997.

CARRERAS, H. A. et al. Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the province of Córdoba, Argentina. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 1, p.117-122, 2009.

CASTELLO, L.V.; GALETTO, L. How many taxa can be recognized within the complex *Tillandsia capillaris* (Bromeliaceae, Tillandsioideae)? Analysis of the available classifications using a multivariate approach. **PhytoKeys**, v. 23, p. 25-39, 2013.

CLARK, K. L. et al. Atmospheric disposition and net retention of ions by the canopy in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p. 27-45, 1998.

DRAGUNSKI, D. C. et al. Uso de bromélias no biomonitoramento atmosférico. **Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR**, Umuarama, v.13, n. 3, p. 205-209, set/dez. 2009.

FIGUEIREDO, A. M. G. et al. Determination of trace elements in *Tillandsia usneoides* by nêutron activation analysis for environmental biomonitoring. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, n. 2, p. 391-395, 2001.

FIGUEIREDO, A. M. G. et al. The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n. 1, p. 59-63, 2004.

FIGUEIREDO, A. M. G. et al. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brasil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 1, p. 279- 292, 2007.

FLORES, F. E. V. O uso de plantas como bioindicadores de poluição no ambiente urbano-industrial: experiências em Porto Alegre, RS, Brasil. **Tubinger Geographische Studien**, v. 96, n. 1, p.79-86, 1987.

GARDNER, C. S. Preliminary classification of *Tillandsia* based on floral characters. **Selbyana**, v. 9, n. 1, p.130-146,1986.

GARTH, R.E. The ecology of Spanish moss (*Tillandsia usneoides*): It's growth and distribution. **Ecology**, v. 45, p .470-48, 1964.

GENTRY, A.; DODSON, C. Contribution of nontrees to species richness of a Tropical Rain Forest. **Biotropica**, v. 19, n. 2, p. 149-156, 1987a.

GIANPAOLI, P. et al. Suitability of *Tillandsia usneoides* and *Aechmea fasciata* for biomonitoring toxic elements under tropical seasonal climate. **Chemosphere**, v. 149, p. 14-23, 2016.

GIVNISH, T. J. et al. Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography of Bromeliaceae inferred from ndhF sequence data. **Rancho Santa Ana Botanic Garden**, v. 23, n. 3, p. 3-26, 2007.

GODOI, A. F. L.; GODOI, R. H. M. Poluição e a densidade de vegetação: BTEX em algumas áreas públicas de Curitiba- PR, Brasil. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 827-833, 2010.

GOIX, S. et al. Transplantation of epiphytic bioaccumulators (*Tillandsia capillaris*) for high spatial resolution biomonitoring of trace elements and point sources deconvolution in a complex mining/smelting urban context. **Atmospheric Environment**, v. 80, n. 1, p. 330-341, 2013.

GONZAGA, H. T.; CASTRO, N. M. de. **Anatomia foliar de espécies de Bromeliaceae das matas ciliares do rio Araguari (triângulo mineiro)**. Uberlândia: XII Seminário de Iniciação Científica, 2008.

GOUDA,E.J.;BUTCHER,D.;GOUDA,C.S. **Encyclopaedia of Bromeliads**, version 4. Disponível em:< <http://florapix.nl/bcg/encyclopedia/brome/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

GRACIANO, C.; FERNÁNDEZ, L. V.; CALDIZ, D. O. *Tillandsia recurvata* L. as a bioindicator of sulfur atmospheric pollution. **Ecología Austral**, v. 13, n. 1, p. 3-14, 2003.

KOGA, M. S. **Estudo sobre eficiência da espécie *Tillandsia aeranthos* (Bromeliaceae) a ser utilizada como bioindicador para avaliação da contaminação total da atmosfera por metais pesados (caso do município de Rio Grande, RS)**. 2007. 94f. Monografia (Graduação em Oceanologia)- Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2007.

KREMER, D. **O gênero *Tillandsia* L. (Bromeliaceae- Tillandsioideae) no estado do Paraná, Brasil**. 2011. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas-area de concentração Biologia Evolutiva)- Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

LEAL, L. et al. **Estudos sobre ocorrência de bromélias nas redes de distribuição de energia elétrica.** IX Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2017.

LUTHER, H. E. **An alphabetical List of Bromeliad Binomials.** Florida: Bromeliad Society International, 2008.

MALM, O. et al. Use of epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric mercury in a gold trade center city, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 213, n. 1-3, p. 57-64, 1998.

MADISON, M. Vascular epiphytes: their systematic occurrence and salient features. **Selbyana**, v. 2, p.1-13, 1977.

MARTÍNEZ-CARRILHO, M. A. et al. PIXE analysis of *Tillandsia usneoides* for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico. **Microchemical Journal**, v. 96, n. 1, p. 386-390, 2010.

NOGUEIRA, C. A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor.** 2006. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear- Aplicações)- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006.

PIAZZETTA, K. D. **Avaliação do potencial de *Tillandsia recurvata* (L.) L., Bromeliaceae, como bioindicadora de poluição atmosférica urbana.** 2015. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

PIGNATA, M. L. et al. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. **Environmental Pollution**, v. 120, n.1, p. 59-68, 2002.

PITTENDRIGH, C. S. The Bromeliad- Anopheles- malaria complex in Trinidad. I- The Bromeliad flora. **Society for the Study of Evolution**, v. 2, n. 1, p.58-89, 1948.

PUENTE, M. E.; BASHAN, Y. The desert epiphyte *Tillandsia recurvata* harbours the nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas stutzeri*. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, n. 3, p. 406-408, 1994.

RODRIGUEZ, J. H et al. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in the bioindicator plants *Tillandsia capillaris* and *Lolium multiflorum* exposed at PM10 monitoring stations in Stuttgart (Germany). **Chemosphere**, v. 80, n. 3, p.208-215, 2010.

RODRIGUEZ, J. H. et al. Air quality biomonitoring in agricultural areas nearby to urban and industrial emission sources in Córdoba province, Argentina, employing the bioindicator *Tillandsia capillaris*. **Ecological Indicators**, v. 11, p.1673-1680, 2011.

SANTOS, J.J. da S. **Estudo de *Tillandsia* spp. (Bromeliaceae) epífitas nas redes de distribuição de energia elétrica de Curitiba.** 2014. 92f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia)- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2014.

SANTOS, T. O. dos et al. O. et al. Quantificação de elementos químicos associados ao tráfego de veículos em bromélias atmosféricas transplantadas na Região Metropolitana do Recife. **Scientia Plena**, v.9, n. 8, jul. 2013.

SIAM, Sistema Integrado de Informação Ambiental. **Resolução CONAMA nº 3**, de 28 de junho de 1990. 2014. Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

SILVA, A. S. et al. Biomassa seca da raiz e da parte aérea de cultivares de *Brachiaria brizantha* e de *B. humidicola* alagadas e não alagadas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p.123-125, 2007.

SILVA, M. H. da. **O uso de *Tillandsia recurvata* (L.) L. como biomonitora de zinco (Zn) atmosférico na área urbana de Londrina, PR.** 2013. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SMITH, L. B.; DOWNS, R.J. Tillandsioideae (Bromeliaceae). **Flora Neotropica**, v.14, n. 2, p. 663-1492, 1977.

SPAT, C. **Embriologia de *Tillandsia aeranthos* (LOIS.) L. B. SM (Tillandsioideae-Bromeliaceae).** 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia)- Universidade de Santa Maria, 2012.

TADIELLO, R. B. et al. Utilização da *Tillandsia aeranthos* como bioindicador de poluição atmosférica, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 23, n.1, p. 85-98, 2014.

TECHATO K.; SALAEH, A.; BEEM, N. C. Use of atmospheric epiphyte *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae) as biomonitor. **APCBEE Procedia**, v. 10, p. 49-53, 2014.

TILLANDSIA in **Flora do Brasil 2020 em construção.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128717>>. Acesso em: 05 Dez. 2017.

VASCONCELOS, A. L. et al. *Tillandsia recurvata* L. (Bromeliaceae): aspectos farmacognósticos. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 34, n. 2, p.151-159, 2013.

VIANNA, N. A.; ANDRADE, L. R. Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using *Tillandsia usneoides* as atmospheric biomonitor. **Environmental Science and Pollution Research**, v.18, n .3, p. 416-27, 2011.

WANNAZ, D. E. et al. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. **Science of the Total Environment**, v. 361, p.267-278, 2006.

WANNAZ, D. E. et al. Use of biomonitors for the identification of heavy metals emission sources. **Ecological Indicators**, v. 20, p.163-169, 2012.

ZOTZ, G. **Plants on Plants- The Biology of Vascular Epiphytes**. Germany: Institute of Biology and Environmental Sciences, 2016.

ZOTZ, G. The systematic distribution of vascular epiphytes- a critical update. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, p. 453-481, 2013.

Legendas das figuras

Figura 1 - Ocorrência de espécies de *Tillandsia* sobre material inerte. A. *Tillandsia tricholepis* ocorrendo sobre placa de sinalização urbana. B. *Tillandsia recurvata* sobre grade de ferro. (Fotos: A - L. Menini Neto; B - S.G. Furtado).



Figura 2 - A. *Tillandsia tenuifolia* no *habitat*. C-D. Detalhe das escamas recobrendo as folhas de *T. recurvata* (A) e *T. usneoides* (B). (Fotos: A-B - S.G. Furtado; C - L. Menini Neto).



Figura 3 - Algumas espécies de *Tillandsia* abordadas nos estudos sobre biomonitoramento. A. *Tillandsia recurvata*. B. *Tillandsia usneoides*. C. *Tillandsia stricta*. D. *Tillandsia tricholepis*. (Fotos: A, B, D - L. Menini Neto; C - S.G. Furtado).

