



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



## Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) em Joinville, SC

Heerdt, Suelize Thomaz<sup>1</sup>; Rodrigo Dümes Chaves Cabral<sup>1</sup>; Melo Jr., João Carlos Ferreira<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Biológicas, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) – Rua Paulo Maschitzki, 10, CEP 89219-710, Joinville, SC, Brasil. <sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal, joao.melo@univille.br

Artigo recebido em 07/11/2022 e aceito em 05/06/2023

### RESUMO

Fatores antropogênicos como material particulado estressam as plantas em todos os níveis funcionais do indivíduo. Portanto, organismos que reagem de forma quantificável por meio de alterações estruturais podem ser usados como bioindicadores para a avaliação da qualidade ambiental em centros urbanos. Sugere-se que a emissão de material particulado na atmosfera é precursora de mudanças estruturais na vegetação que se desenvolve nas imediações das fontes emissoras. Este estudo objetivou diagnosticar alterações morfoanatômicas e fisiológicas em populações de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) por meio do biomonitoramento passivo em quatro pontos amostrais: Zona Industrial I, Zona Industrial II, Zona Rural em Expansão e Área Controle. O material particulado foi removido mecanicamente da superfície foliar para análise química por meio de difração de raio x associado ao microscópio eletrônico de varredura. Análise de componentes principais em ambiente R comparou as médias dos atributos foliares entre os pontos amostrais. Observou-se que as Zonas Industriais I e II apresentaram folhas com elevadas massas fresca e seca, conteúdo de água e área foliar. A Zona Rural em Expansão e a Área Controle mostraram maior área específica foliar e maiores teores de clorofila a, b e total. A deposição de material particulado sobre as folhas impõe uma barreira mecânica limitando as trocas gasosas e atenuando a incidência luminosa. As trocas gasosas dependem de luz que estimula a abertura estomática promovendo a excitação eletrônica nos fotossistemas desencadeando a fotossíntese, enquanto a menor produção fotossintética reflete a baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal reduzindo seu crescimento. Os resultados sugerem que *H. chrysotrichus* é uma espécie com potencial monitor da qualidade ambiental e, por conseguinte, sinalizou a produção de injúrias decorrentes da poluição atmosférica que, em extensão, deflagram a interferência antropogênica sobre a qualidade do ar atmosférico em centros urbanos industrializados.

Palavras-chave: biomonitoramento, material particulado, poluição atmosférica

## Evaluation of the effect of atmospheric pollution on urban populations of *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) in Joinville, SC

### ABSTRACT

Anthropogenic factors such as particulate material stress plants at all functional levels of the individual. Therefore, organisms that react in a quantifiable way through structural changes can be used as bioindicators for the assessment of atmospheric quality. It is suggested that the emission of particulate matter in the atmosphere of Joinville is a precursor to structural changes in the vegetation in the vicinity of the emitting sources. This study aims to diagnose morphological and physiological changes in leaves of *Handroanthus chrysotrichus* through biomonitoring. Five individuals were chosen from four sample points: Industrial Zone I, Industrial Zone II, Rural Expansion Zone and Control Area. The particulate material was removed from the leaf surface for analysis and constitution through scanning electron microscope. Principal component analysis in R environment compared the averages of leaf attributes between the sampling points. It was observed that Industrial Zones I and II presented leaves with high fresh and dry mass, water content and leaf area. The Expansion Rural Area and the Control Area showed a higher specific leaf area and higher levels of chlorophyll a, b and total. The deposition of particulate material on the leaves imposes a mechanical barrier limiting gas exchange and attenuating the light incidence. Gas exchanges depend on light that stimulates stomatal opening promoting electronic excitation in photosystems, triggering photosynthesis, while the lower photosynthetic production reflects the low capacity of resource allocation by the plant, reducing its growth. The results suggest that individuals from Industrial Areas I and

1861

II invest in maintaining the plant body, as photosynthetic tissues are the first to suffer injuries, while individuals in other areas invest in growth.

Keywords: biomonitoring, particulate matter, air pollution

## Introdução

O aumento da população humana mundial nos últimos séculos tem gerado progresso econômico e tecnológico, porém trouxe uma série de consequências ambientais desfavoráveis aos organismos vivos, inclusive aos próprios seres humanos (Feitosa *et al.*, 2019). Estudos epidemiológicos têm mostrado uma relação positiva entre o aumento da poluição atmosférica em grandes centros urbanos e o aumento de doenças respiratórias na sua população, a qual ao longo dos últimos anos vem se consolidando como um problema de saúde pública global (Santos *et al.*, 2019). A poluição não afeta somente a espécie humana. Nas plantas, por exemplo, a poluição atmosférica pode ser responsável por sérias injúrias, causando-lhes alterações estruturais e funcionais, principalmente nas folhas, o órgão mais exposto do corpo vegetal (Larcher, 2006).

Poluente atmosférico é definido como uma substância adicionada à atmosfera passível de causar efeito mensurável nos seres vivos e em materiais (CETESB, 2021). Nesta mesma vertente, a Resolução do CONAMA nº3 de 1990 considera poluente atmosférico 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 à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, 2018).

O material particulado é um dos mais importantes parâmetros em estudo de poluição atmosférica devido aos diversos impactos que ele causa à saúde humana e ao meio ambiente (Landrigan *et al.*, 2018). É produzido pela queima incompleta de combustíveis fósseis e matéria orgânica. Constitui-se como um núcleo de carbono ao qual diversas substâncias estão adsorvidas. Trata-se de uma mistura complexa, cuja composição é muito variável e é determinada por sua origem e condições climáticas. A poluição

particulada de origem antropogênica pode conter material biológico, compostos orgânicos, hidrocarbonetos, aerossóis ácidos e metais. Encontra-se no estado líquido ou sólido (ou a mistura destas fases) em suspensão no ar. Estão presentes na atmosfera na forma de poeira, névoas, fumos e fumaça (Hess, 2018).

Nas plantas esse material pode afetar o crescimento e o desenvolvimento por meio de alterações estruturais e funcionais (Rai, 2016; Roy, 2020) resultantes do bloqueio da radiação solar, abrasão, aquecimento das folhas, obstrução dos estômatos e redução da taxa fotossintética (Grantz *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2009; Maletsika *et al.*, 2015; Rodrigues, 2020), levando à alterações anatômicas na epiderme, tecidos vasculares e fotossintetizantes (Arrivabene *et al.*, 2015; Cavallaro *et al.*, 2018). Os efeitos diretos do material particulado captado por estômatos ou fissuras de cutícula (Lau & Luk, 2001; Eichert & Fernandez, 2012; Rocha *et al.*, 2004) incluem o acúmulo de elementos minerais essenciais e não essenciais nos tecidos foliares (Lau & Luk, 2001). O material particulado alcalino também pode afetar a atividade de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase, catalase e peroxidase, entre outras, em extensão variada, de acordo com as espécies vegetais (Erdal & Demirtas, 2010; Dziri & Hosni, 2012). São observadas também alterações genéticas (Fleck *et al.*, 2016), alterações quantitativas e qualitativas de metabólitos, além do aumento na concentração de hormônios vegetais relacionados ao estresse (Wannaz *et al.*, 2003). Por conseguinte, essas alterações levam à sintomas como clorose e necrose em tecidos e órgãos que podem evoluir levando o indivíduo à morte (Manning & Feder, 1980).

A extensão em que as funções vitais dos vegetais são afetadas pelos poluentes, e se há danos visíveis, depende de muitos fatores, tanto bióticos como abióticos. Em decorrência dessas alterações, organismos ou comunidades de organismos que reagem de forma quantificável às perturbações ambientais, por meio de alterações estruturais,

funcionais e químicas, podem ser usados como bioindicadores para a avaliação ou monitoramento de mudanças no ambiente (Roy, 2020), pois segundo Alcalá *et al.* (2011), esta sensibilidade apresentada pelas plantas faz delas um elemento com alto potencial bioindicador para a avaliação da contaminação ambiental em ambientes urbanos antropizados.

O presente estudo objetiva diagnosticar alterações morfológicas e fisiológicas em folhas de

## Material e métodos

### Área de estudos

A cidade de Joinville situada na região Sul do Brasil é considerada o maior polo industrial do estado de Santa Catarina. Concentra grande parte da atividade econômica com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (IPUJ, 2021). Localizada sob as coordenadas geográficas 26°18'05''S, 48°50'38''W, apresenta clima classificado como mesotérmico, com verões quentes e sem estação seca definida (Cfa de Köppen). A temperatura média anual é de 22,63°C, sendo a máxima de 32,24°C e a mínima de 11,87°C. O mês mais quente é janeiro, com temperatura média em torno de 25°C, e julho é o mês mais frio, com temperatura média de 17°C. A umidade relativa média anual do ar é de 76,04%. Já a média anual das chuvas é de 1706 mm (Climate-Data, 2022). As chuvas são abundantes durante todo o ano, mas ocorrem com maior frequência no verão.

Todo o território de Joinville pertence ao domínio da Mata Atlântica, com mais de 60% de sua área coberta pela Floresta Ombrófila Densa (cerca de 680 km²), a qual assume características diferenciadas conforme a altitude, o clima e o tipo de solo da região, classificado segundo o SIMGEO (2015) como Cambissolo de textura média. A vegetação que cobria originalmente quase toda a extensão do município, atualmente está restrita aos morros, às montanhas e serras e a alguns remanescentes de Floresta Ombrófila Densa de

*Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) causadas pela poluição atmosférica, por meio método de biomonitoramento passivo. Tem-se como hipótese que a emissão de material particulado no ar atmosférico da cidade de Joinville (SC), proveniente das atividades industriais, é precursora de mudanças estruturais na vegetação que ocorre nas imediações das fontes emissoras de poluentes.

Terras Baixas isolados no maciço urbano (IPPUJ, 2021).

### Pontos amostrais

Para monitorar e mensurar a espécie definida foram escolhidos cinco indivíduos em quatro pontos amostrais (Figura 1), os quais são abaixo caracterizados conforme IPPJU (2021):

- Zona Industrial I (26°17'39'', 48°48'85''): é a mais antiga zona industrial da cidade, com 1,208 Km², e abriga a principal indústria metalmeccânica da região, a qual atua no local desde a década de 1950.
- Zona Industrial II (26°15'85'', 48°51'87''): ocupa uma área de 30,7 Km², possui cerca de 170 indústrias instaladas responsáveis pela geração de milhares de empregos diretos distribuídos entre diversos ramos, abrigando amplo parque fabril, dos quais se destacam os segmentos metalmeccânico, têxtil e plástico.
- Zona Rural em Expansão (26°11'38'', 48°54'0,2''): possui área de 6,15 km². Sua população em 1980 era de 2.493 habitantes e aumentou para 4.646 habitantes no ano de 2017.
- Área Controle (26°09'62'', 48°59'99''): está inserida em uma Área de Proteção Ambiental localizada fora do perímetro urbano da cidade.

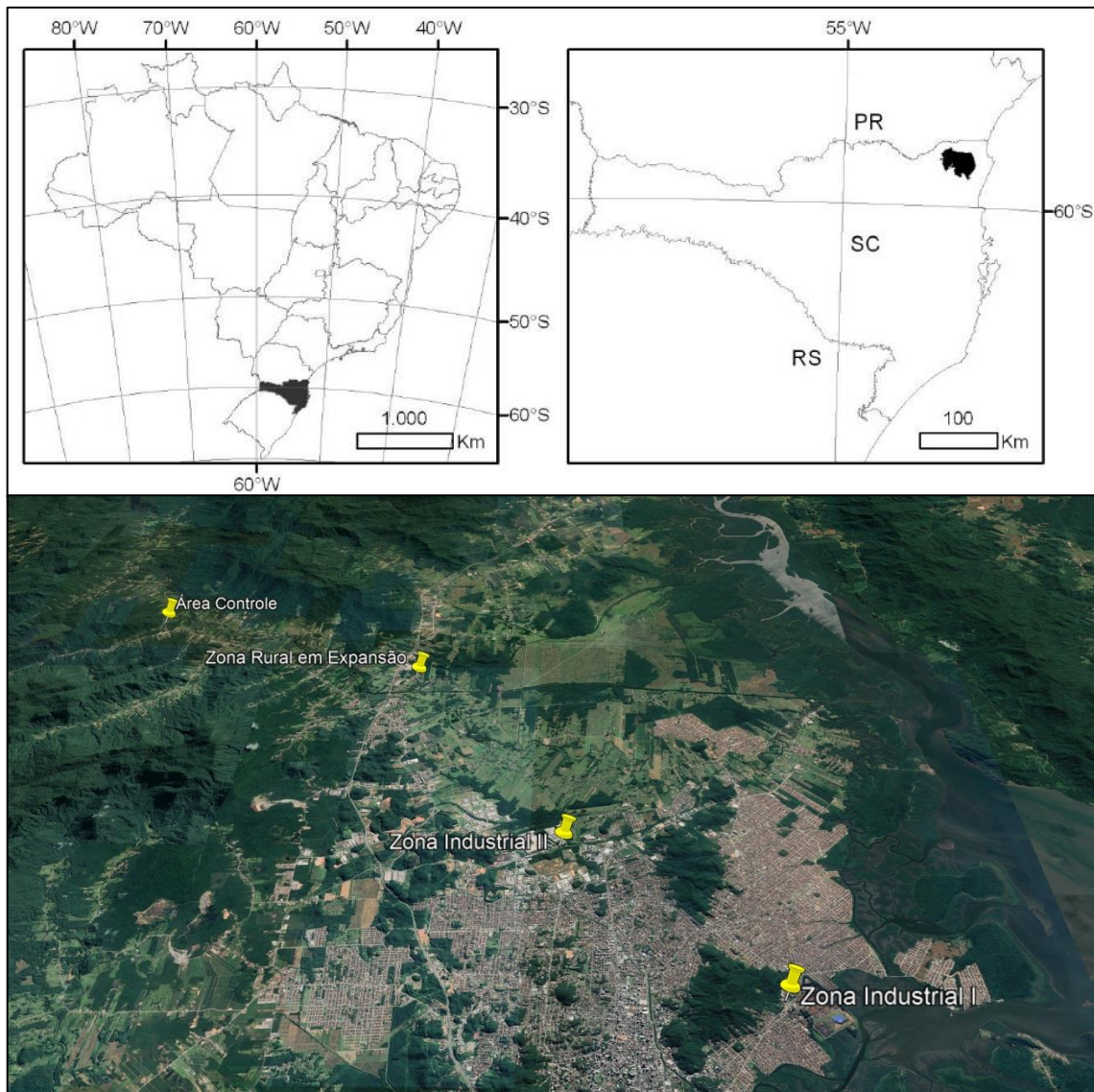


Figura 1. Localização dos pontos amostrais para o monitoramento de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) no município de Joinville, Santa Catarina, Brasil.

#### Espécie biomonitora

A família Bignoniaceae possui distribuição pantropical e inclui cerca de 120 gêneros e 800 espécies. No Brasil ocorrem cerca de 30 gêneros e 400 espécies, dentre os quais cita-se o gênero *Handroanthus* como nativo. A espécie *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae Juss.) é conhecida popularmente por ipê-amarelo-cascudo, ipê-do-morro, ipê, ipê-amarelo, aipé, ipê-tabaco, ipê-amarelo-paulista, pau-d'arco-amarelo. Ocorre na Região Nordeste (Bahia, Paraíba, Pernambuco), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de

Janeiro, São Paulo) e Sul (Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina), nos domínios fitogeográficos do Cerrado e Mata Atlântica (REFLORA, 2020). É uma planta decídua, heliófita, característica de formações abertas da floresta pluvial do alto da encosta atlântica. Sua dispersão é descontínua e irregular, geralmente ocorrendo em baixa frequência. É mais recorrente nas formações secundárias localizadas sobre solos bem drenados de encostas. Possui altura de 4-10 m e tronco de 30-40 cm de diâmetro. Apresenta ramos novos e pecíolos cobertos por densa pubescência ferrugínea. Folhas compostas folioladas-5; folíolos

pubescentes em ambas as faces, ásperos, coriáceos, de 5-10 cm de comprimento por 3-5 de largura. Floresce durante os meses de agosto a setembro, geralmente com a planta totalmente despida da folhagem. Os frutos amadurecem a partir do final de setembro a meados de outubro. Produz anualmente grande quantidade de sementes disseminadas de forma anemocórica (Lohmann, 2020).

Coleta de material botânico e atributos selecionados pelo método de biomonitoramento passivo

Entende-se por biomonitoramento passivo as análises feitas em espécies já existentes no local a ser observado, no qual os poluentes acumularam-se ao longo do tempo (Domingos *et al.*, 1998).

Em cada ponto foram selecionados cinco indivíduos de *H. chrysotrichus*, totalizando um grupo amostral de 20 plantas, as quais tiveram sua altura e diâmetro a altura do peito aferidos em campo. As coletas foram realizadas na mesma fase fenológica da planta e na mesma estação do ano a fim de padronizar a coleta. O material de referência para confirmação da espécie foi coletado e exsiccado conforme metodologia proposta por IBGE (2012), e tombado no Herbário MBM – Curitiba, com duplicata no Herbário JOI da Univille.

Para a biometria dos atributos morfológicos foram coletadas 20 folhas da copa externa de cada indivíduo (N=400), ambas completamente expandidas, fixadas no 3º nó e sem lesões provocadas por herbívoros. Como as folhas dessa espécie são compostas, todas as análises de atributos biológicos foram realizadas com o folíolo mediano, o qual segundo Bongers & Popma (1990) pode ser interpretado como uma folha simples. A seleção dos atributos funcionais baseada em Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013) adotou: massas frescas (g), seca (g) e conteúdo de água (g.cm<sup>-2</sup>), obtidos com auxílio de balança analítica de precisão; área foliar (cm<sup>2</sup>) mensurada por meio do software Sigma Scan Pro 5.0 (Reis, 2014); área específica foliar (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>) resultante da razão entre a área e a massa seca foliar e vigor da planta. O vigor da planta foi mensurado pelo crescimento modular representado pelo comprimento médio dos ramos e por produção de folhas apicais (Gonçalves-Alvim *et al.*, 1999).

Para a biometria dos atributos anatômicos, foram coletados 10 folíolos por indivíduo (N=200),

fixados em campo com o uso de FAA por 48 horas e posteriormente acondicionados em álcool 70%, os quais compreenderam a espessura das superfícies adaxial e abaxial da epiderme, a espessura dos parênquimas paliádico e esponjoso e a densidade estomática. A espessura dos tecidos foliares foi obtida por meio de preparações histológicas semipermanentes seccionadas transversalmente, coradas com azul de toluidina e montadas em água glicerizada para biometria em microscópio óptico Olympus. A densidade estomática foi determinada por meio da contagem dos estômatos situados numa área de 1mm<sup>2</sup>, utilizando-se 10 campos por indivíduo, na face abaxial da folha. Para a medição dos estômatos, utilizou-se a dissociação de epiderme com uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial na proporção 1:1, em temperatura de 60°C pelo tempo necessário para a total dissociação das epidermes. Após este processo as epidermes foram lavadas com água destilada, colocadas em lâminas e coradas com safranina. Para a produção das lâminas foi utilizado glicerina como meio de montagem. As medições foram realizadas em microscopia óptica com câmera clara. Os dados registrados em planilha foram aplicados à fórmula  $D = \text{número de estômatos} \times 8,3$ , para determinação da densidade estomática (D).

A análise ecofisiológica foi realizada por meio da mensuração dos teores de clorofila a, b e total de 10 folíolos/indivíduo (N=200). Para tanto, foram maceradas 0,5 gramas do terço médio do folíolo apical da folha de cada indivíduo amostral, com adição de 5 ml de acetona 80%. O conteúdo transferido para tubos de centrifugação revestidos com papel alumínio. As amostras centrifugadas por 10 minutos a 2000 RPM em centrífuga Sigma 3K12. Após a centrifugação, diluiu-se 0,5 ml do extrato em 5 ml de acetona 80%, transferindo-se uma parte para cubetas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro Biospectro SP22 com comprimentos de onda de 645 e 663 nm para estimar respectivamente os conteúdos de clorofilas a e b (Linder, 1974). A clorofila a foi calculada pela equação  $(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119$ ; a clorofila b foi calculada por  $(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102$ ; a clorofila total é resultante da soma de a + b, onde A = absorvância (Hendry & Grime, 1993).

Coleta e análise de material particulado e solo

Para a determinação do material particulado (MP=mg.cm<sup>-2</sup>) utilizou-se 20 folhas de

cada indivíduo das quatro áreas amostrais (N=400). Realizou-se a limpeza da superfície foliar com o uso de pincel e lâmina para total remoção de material particulado depositado em sua superfície. O registro visual do MP depositado sobre a folha realizou-se por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a partir de material foliar desidratado. Após secagem via ponto crítico e metalização a vácuo por carbono, as superfícies adaxial e abaxial das epidermes foliares foram observadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura Programa NSS. Análise qualitativa do material particulado depositado na superfície foliar da espécie em estudo foi feita por meio de difração de raios-X.

A análise química do solo foi produzida pelo Laboratório de Análise de Solos da Epagri a partir de amostras homogeneizadas obtidas em covas de 10cm de profundidade junto à planta selecionada.

#### Análise estatística

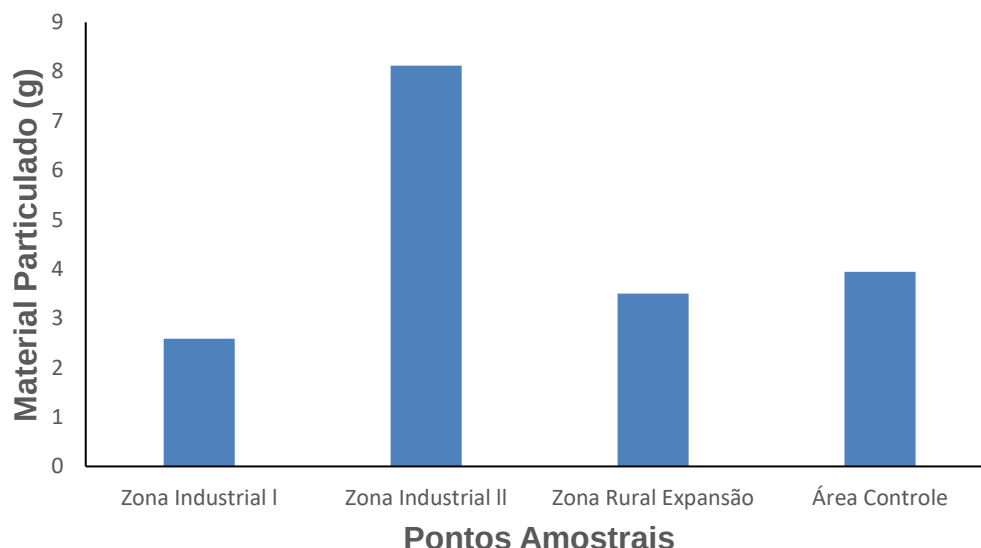


Figura 2. Concentração de material particulado por pontos amostrais de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) no município de Joinville, SC.

Por meio da microscopia eletrônica de varredura (Figura 3) foram observadas partículas sólidas aderidas à superfície adaxial da epiderme foliar de *H. chrysotrichus* em todos os pontos amostrais, as quais apresentaram, por meio da difração de raio X (Figura 4), componentes químicos de origem exógena diversificada e

Para cada atributo analisado calculou-se a média e o desvio-padrão. A comparação das médias dos atributos analisados foi feita por Análise de Variância (ANOVA) *post hoc* Tukey, com  $p < 0,001$ , em ambiente R após a verificação da normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias (Borcard *et al.*, 2011). Teste de correlação de Pearson foi empregado para verificar possíveis relações entre a concentração de material particulado e os atributos foliares analisados (Legendre & Legendre, 1998).

#### Resultados

Sobre a concentração de material particulado depositado nas folhas de *H. chrysotrichus*, verificou-se grande quantidade no ponto referente à Zona Industrial II seguido pela Área Controle, Zona Rural em Expansão e Zona Industrial I, respectivamente (Figura 2).

diferenciada (Figura 3). A Zona Industrial I mostrou carbono, oxigênio, alumínio, silício e nióbio. A Zona Industrial II apresentou carbono, oxigênio, sódio, alumínio, silício, potássio e cálcio. Na Zona Rural em Expansão foi encontrado carbono, oxigênio, ferro, magnésio, alumínio, silício, nióbio e potássio. Na Área Controle



verificou-se a presença de carbono, oxigênio, silício e nióbio.

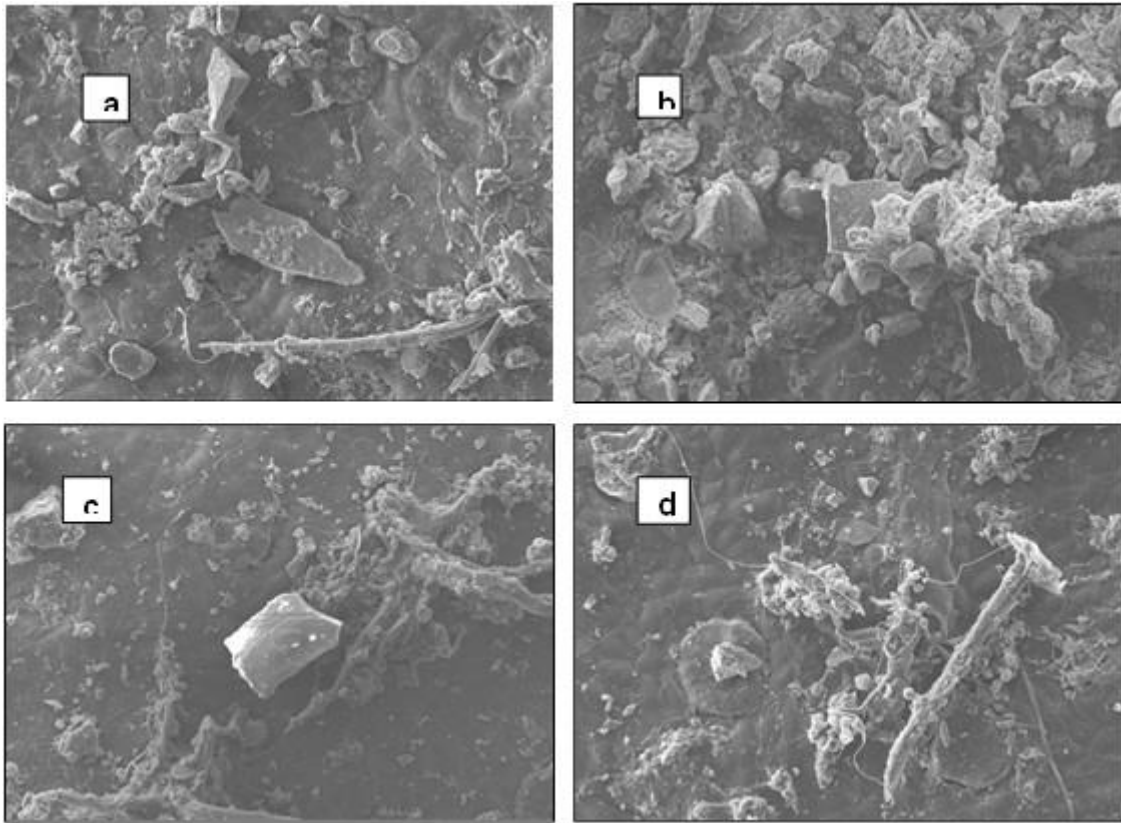


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura da superfície adaxial dos folíolos de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae). Legenda: (a) Zona industrial I; (b) Zona Industrial II; (c) Zona Rural em Expansão; (d) Área Controle.

Dentre os atributos morfológicos e fisiológicos mensurados foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as populações de *H. chrysotrichus*. As Zonas Industriais I e II apresentaram altos valores de massas fresca e seca, conteúdo de água e área foliar, assim como redução da área específica foliar e dos teores de clorofila. A Zona Rural em Expansão e a Área Controle mostraram maior área específica foliar e maiores teores de clorofila *a*, *b* e *total*. Maior e menor temperatura foliar foram observadas, respectivamente, na Zona Industrial II e na Área Controle. O teste do vigor da planta não apresentou redução na dominância apical para nenhum dos pontos amostrais deste estudo (Tabela 1).

Para a análise nutricional do solo (Tabela 2), a Zona Industrial I apresentou índice alto de pH, SMP, P, K, Ca e Mg. A Zona Industrial II apresentou índice alto de K, índice médio para SMP, Ca e Mg e índice muito baixo para P. A Zona Rural em Expansão apresentou índice médio para SMP e Mg, índice baixo para P, K e Ca e índice muito baixo para pH. A Área Controle apresentou índice alto para Mg, índice médio para SMP, K e Ca e valores baixos para pH e P. Quanto a quantidade de água no solo, o Ponto Controle apresentou maior teor de umidade e a Zona Industrial I menor teor de umidade.

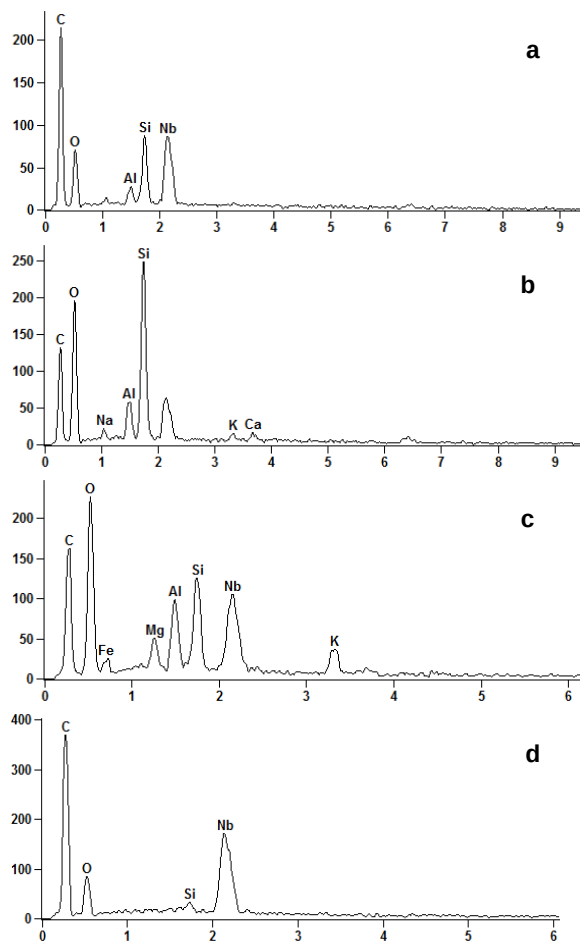


Figura 4. – Difração de raios-X do material particulado presente na superfície adaxial dos folíolos de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae). (a) Zona industrial I; (b) Zona Industrial II; (c) Zona Rural em Expansão; (d) Área Controle.

**Tabela. 1** Médias e respectivos desvios-padrão dos atributos morfológicos e teores de clorofila entre as populações de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,001$ ).

| Atributos              | Pontos de Coleta                  |                                   |                                   |                                   | F     |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
|                        | Zona Industrial I                 | Zona Industrial II                | Zona Rural em Expansão            | Área Controle                     |       |
| altura (m)             | 6,10 ( $\pm 0,45$ ) <sup>c</sup>  | 6,14 ( $\pm 0,60$ ) <sup>c</sup>  | 8,00 ( $\pm 0,35$ ) <sup>b</sup>  | 8,28 ( $\pm 0,49$ ) <sup>a</sup>  | 591,2 |
| diâmetro do caule (cm) | 12,41 ( $\pm 2,11$ ) <sup>d</sup> | 13,18 ( $\pm 1,51$ ) <sup>c</sup> | 18,46 ( $\pm 1,30$ ) <sup>a</sup> | 15,53 ( $\pm 2,25$ ) <sup>b</sup> | 220,1 |
| massa fresca (g)       | 0,59 ( $\pm 0,16$ ) <sup>b</sup>  | 1,05 ( $\pm 0,36$ ) <sup>a</sup>  | 0,51 ( $\pm 0,12$ ) <sup>b</sup>  | 0,54 ( $\pm 0,15$ ) <sup>b</sup>  | 134,9 |
| massa seca (g)         | 0,26 ( $\pm 0,07$ ) <sup>b</sup>  | 0,48 ( $\pm 0,16$ ) <sup>a</sup>  | 0,22 ( $\pm 0,05$ ) <sup>b</sup>  | 0,23 ( $\pm 0,07$ ) <sup>b</sup>  | 150,1 |
| conteúdo de água (g)   | 0,34 ( $\pm 0,10$ ) <sup>b</sup>  | 0,57 ( $\pm 0,20$ ) <sup>a</sup>  | 0,29 ( $\pm 0,07$ ) <sup>c</sup>  | 0,30 ( $\pm 0,09$ ) <sup>bc</sup> | 117   |



|                                                            |                                 |                                |                                |                                |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| área foliar (cm <sup>2</sup> )                             | 15,19 (± 4,9) <sup>bc</sup>     | 27,68 (± 9,49) <sup>a</sup>    | 13,59 (± 3,27) <sup>b</sup>    | 15,93 (± 4,58) <sup>c</sup>    | 114,7 |
| área específica foliar (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ) | 59,03 (± 7,20) <sup>b</sup>     | 58,01 (± 4,98) <sup>b</sup>    | 64,24 (± 23,67) <sup>b</sup>   | 72,94 (± 26,62) <sup>a</sup>   | 13,85 |
| estômatos (n/mm <sup>2</sup> )                             | 874,32 (± 158,65) <sup>bc</sup> | 833,15 (± 126,55) <sup>b</sup> | 732,72 (± 164,49) <sup>a</sup> | 890,92 (± 125,77) <sup>c</sup> | 23,98 |
| epiderme adaxial (µm)                                      | 34,17 (± 9,16) <sup>a</sup>     | 30,70 (± 6,87) <sup>b</sup>    | 34,37 (± 7,11) <sup>a</sup>    | 32,09 (± 7,80) <sup>ab</sup>   | 5,06  |
| parênquima paliçádico (µm)                                 | 145,68 (± 24,20) <sup>a</sup>   | 141,50 (± 23,87) <sup>ab</sup> | 133,58 (± 24,02) <sup>b</sup>  | 133,86 (± 24,20) <sup>b</sup>  | 6,13  |
| parênquima esponjoso (µm)                                  | 114,56 (± 22,88) <sup>a</sup>   | 110,40 (± 14,61) <sup>ab</sup> | 108,66 (± 17,82) <sup>ab</sup> | 103,29 (± 21,62) <sup>b</sup>  | 5,69  |
| epiderme abaxial (µm)                                      | 15,92 (± 5,25) <sup>c</sup>     | 15,16 (± 3,25) <sup>c</sup>    | 19,35 (± 3,21) <sup>a</sup>    | 17,52 (± 5,56) <sup>b</sup>    | 17,32 |
| clorofila <i>a</i> (mgL <sup>-1</sup> )                    | 4,98 (± 2,02) <sup>a</sup>      | 6,13 (± 4,04) <sup>a</sup>     | 8,02 (± 2,66) <sup>b</sup>     | 9,05 (± 4,99) <sup>b</sup>     | 3,85  |
| clorofila <i>b</i> (mgL <sup>-1</sup> )                    | 4,41 (± 1,57) <sup>a</sup>      | 4,16 (± 2,28) <sup>a</sup>     | 5,96 (± 1,67) <sup>b</sup>     | 5,29 (± 1,90) <sup>b</sup>     | 9,59  |
| clorofila <i>total</i> (mgL <sup>-1</sup> )                | 9,40 (± 3,49) <sup>a</sup>      | 10,29 (± 6,21) <sup>a</sup>    | 13,98 (± 4,25) <sup>b</sup>    | 14,34 (± 6,82) <sup>b</sup>    | 3,08  |
| temperatura foliar (°C)                                    | 35,90 (± 1,13) <sup>c</sup>     | 35,94 (± 0,30) <sup>c</sup>    | 34,78 (± 0,90) <sup>a</sup>    | 32,48 (± 3,06) <sup>b</sup>    | 90,9  |
| vigor da planta                                            | 4 (± 0) <sup>a</sup>            | 4 (± 0) <sup>a</sup>           | 4 (± 0) <sup>a</sup>           | 4 (± 0) <sup>a</sup>           |       |

**Tabela 2.** – Análise nutricional dos solos coletados nas áreas amostrais das populações de *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae) no município de Joinville, Santa Catarina, Brasil.

| Variável                   | Zona Industrial I | Zona Industrial II | Zona Rural em Expansão | Área Controle |
|----------------------------|-------------------|--------------------|------------------------|---------------|
| % Argila m/v               | 21                | 29                 | 25                     | 19            |
| pH-Água 1:1                | 6,4               | 5,1                | 4,9                    | 5,3           |
| Índice SMP                 | 6,7               | 5,9                | 5,8                    | 6,0           |
| P mg/dm <sup>3</sup>       | 19,2              | 5,3                | 10,5                   | 17,0          |
| K mg/dm <sup>3</sup>       | 157,8             | 93,0               | 38,4                   | 85,4          |
| M.O %                      | 3,0               | 2,8                | 1,3                    | 2,8           |
| Al cmolc/dm <sup>3</sup>   | 0,0               | 0,6                | 0,3                    | 0,1           |
| Ca cmolc/dm <sup>3</sup>   | 5,1               | 2,8                | 1,9                    | 3,2           |
| Mg cmolc/dm <sup>3</sup>   | 2,0               | 1,0                | 0,8                    | 1,3           |
| H+Al cmolc/dm <sup>3</sup> | 1,9               | 4,8                | 5,8                    | 4,4           |

|                                  |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| CTC pH 7.0 cmolc/dm <sup>3</sup> | 9,38  | 8,87  | 8,64  | 9,12  |
| % Saturação CTC Al               | 0,00  | 13,26 | 10,94 | 1,09  |
| % Saturação CTC V                | 79,77 | 45,88 | 32,83 | 51,73 |
| Soma Bases CTC S                 | 7,48  | 4,07  | 2,84  | 4,72  |
| Relação Ca/Mg                    | 2,54  | 2,83  | 2,42  | 2,46  |
| Relação Ca/K                     | 12,59 | 11,90 | 19,74 | 14,65 |
| Relação Mg/K                     | 4,96  | 4,20  | 8,15  | 5,95  |
| Na mg/dm <sup>3</sup>            | 65,8  | 24,2  | 14,4  | 59,0  |

## Discussão

Maior concentração de material particulado foi observada sobre a superfície foliar de *H. chrysotrichus* na população amostral da Zona industrial II em comparação às demais áreas. Neste ponto, a concentração de material particulado foi 67,5% superior à Zona Industrial I, 56,25% superior à Área Rural em Expansão e 50% superior à Área Controle. A maior prevalência de material particulado no ar atmosférico da Zona Industrial II sugere uma intensa atividade industrial e maior circulação de veículos atrelada à possível falta de medidas preventivas pelos potenciais fontes estacionárias emissoras de poluentes. Trabalho similar realizado por Cavallaro *et al.* (2018), também no município de Joinville com a espécie *Inga edulis* (Fabaceae), empregando a mesma metodologia, encontrou maior concentração de material particulado próximo aos potenciais fontes emissoras, o que talvez explique o alto valor encontrado de material particulado na Zona Industrial II, considerando sua localização às margens de uma rodovia de tráfego intenso, além das indústrias de grande, médio e pequeno porte. Em 2017, Cardoso *et al.* verificaram deposição duas vezes maior de poluentes atmosféricos em *Bauhinia forficata* (Fabaceae) e *Caesalpinia pluviosa* (Fabaceae) em local de alto tráfego de veículos, comércio e indústrias de pequeno porte, quando comparados à área com trânsito de veículos e atividades antrópicas moderadas. Segundo Inoue & Reissmann (1991), a concentração de poluentes em *Ligustrum lucidum* (Oleaceae) foi maior no ponto de intenso movimento de veículos quando comparado a um bosque situado na periferia da cidade.

Além dos processos industriais, veículos automotores, queima de biomassa e ressuspensão de poeira do solo também atuam como fontes de material particulado constituído por fumaças, poeiras, bem como materiais sólidos e líquidos. Gases como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis colaboram para a formação de partículas a partir de reações químicas na atmosfera (CESTEB, 2018; Torres *et al.*, 2020)

As médias dos parâmetros morfológicos da Zona Industrial II evidenciaram menor desenvolvimento foliar, com destaque às massas fresca e seca, ao conteúdo de água e à área foliar maiores neste ponto de coleta. Este resultado sugere maior investimento destas plantas em tecidos mecânicos para a manutenção do corpo vegetal. Neste sentido, as médias dos parâmetros ecofisiológicos evidenciaram a Área Controle e a Zona Rural em Expansão, sugerindo maior produção fotossintética.

As diferenças observadas no conteúdo de água indicam que há menor teor de água nos tecidos foliares das plantas localizadas na Zona Rural em Expansão e Área Controle, respectivamente (tabela 1). Larcher (2006) afirma que o SO<sub>2</sub> é um importante gás responsável por esse fenômeno, sendo capaz de penetrar no mesofilo por meio dos estômatos e afetar o seu funcionamento. Na medida em que na maioria das plantas os estômatos se abrem apenas durante o dia, plantas expostas ao SO<sub>2</sub> tendem a abrir seus estômatos mesmo à noite, acentuando a perda de água (Levitt, 1972; Mudd, 1975). Dessa forma, tal poluente faz com que a planta passe a transpirar excessivamente e a economia de água da planta entra em colapso, podendo desidratar o indivíduo

(Bernatzky, 1978). Talvez isso explique o menor teor de água nos pontos distantes das indústrias, considerando que ambos se localizam às margens de estradas pavimentadas e bem movimentadas por veículos. No ponto da Zona Rural em Expansão é grande o tráfego de veículos de grande porte e o ponto da Área Controle é acesso a regiões de turismo rural. O SO<sub>2</sub> está presente como uma impureza nos combustíveis fósseis, sendo formado pela queima incompleta do óleo diesel nos veículos pesados. Os centros urbanos e industriais são as principais fontes antrópicas emissoras de SO<sub>2</sub> para atmosfera e por conta do desenvolvimento, as áreas mais distantes estão sendo impactadas pelos poluentes (CETESB, 2020).

Os resultados das análises de difração de raios-X para a determinação da composição atômica do material particulado apresentaram variados elementos químicos nos quatro pontos amostrais. Esse resultado pode estar associado às atividades metalmeccânicas das fundições que emitem poluentes em todas as fases do processo industrial. O desprendimento de material particulado ocorre na limpeza de placas com oxigênio em ligas ferro-carbono, particulados de areia e bentonita nas estações de desmoldagem, material particulado metálico com resíduos de silicatos em estações de rebarbação das peças fundidas (Capmetal, 2020). O oxigênio dissolvido no ferro, por exemplo, tende a combinar-se com o carbono dessas ligas, formando os gases CO e CO<sub>2</sub> que escapam facilmente à atmosfera, enquanto a liga estiver no estado líquido (Capmetal, 2020). O C e o O apareceram com altos índices nos quatro pontos amostrais. O monóxido de carbono (CO), por exemplo, resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica como os combustíveis fósseis (CETESB, 2020). O elemento Si destacou-se com altos níveis nos pontos amostrais, exceto na Área Controle. É um elemento muito utilizado nas fundições na forma de carvão de silício (SiC) produzido a partir do coque de petróleo e quartzo quando submetido à altas temperaturas, sendo aplicado na incorporação/correção de carbono e silício em ligas ferrosas durante o processo de fusão (USINAGEM BRASIL, 2020). Nos produtos constituídos por carvão de silício como Grãos e Briquetes utilizados em fornos cubilões encontram-se elementos como Fe, Ca, Mg e Ni, explicando os elementos detectados pela difração de raio-X nos pontos amostrais (Sika, 2020). O Na apresenta sua principal finalidade nas fundições como pó

separador, bem como desmoldante nos processos (Buschle & Lepper, 2020). Outra finalidade atrelada ao Na, na forma de silicato de sódio, se dá na fundição de ferrosos, não-ferrosos, metais e ligas na moldagem e macharia, com a função de agente aglomerante no processo silicato/CO<sub>2</sub>. O silicato de sódio é adicionado à areia, quando misturado e moldado reage com o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) provocando o endurecimento dos moldes e machos, deixando o mesmo pronto para aplicação do fundido (DIATOM, 2020). A principal aplicação do nióbio dá-se nos chamados aços de baixa liga conferindo aos produtos microligados e inoxidáveis características de alta resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade (MELO, 2017). O potássio e o alumínio entram nas fundições na forma de fluoreto de alumínio de potássio, sendo utilizado como agente para aquecer a fundição de alumínio secundário que maximiza a recuperação de metal para remover o teor de magnésio de ligas de alumínio líquido. A forma fluoroaluminato de potássio pode ser usada como fluxo de solda em alumínio e ligas alumínio-inoxidável (DIATOM, 2020).

Vários autores descrevem o efeito tóxico dos agentes poluidores nas células vegetais. A deposição de material particulado sobre as folhas impõe uma barreira mecânica limitando as trocas gasosas e atenuando a incidência luminosa (Taiz & Zeiger, 2013). As trocas gasosas dependem de luz que estimula a abertura estomática promovendo a excitação eletrônica nos fotossistemas, desencadeando, portanto, a fotossíntese (Larcher, 2006). Logo, a menor produção fotossintética em virtude da deposição do material particulado, reflete a baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal (Oliveira *et al.*, 2011). Por conseguinte, a limitação do gás carbônico, essencial na produção de carboidratos, compromete o desenvolvimento da planta (Braga, *et al.*, 2021).

Os valores para área foliar específica (Tabela 1) expressam as diferenças entre os pontos potencialmente mais poluídos e a área controle no que diz respeito ao investimento feito pela planta. A redução na produtividade da parte aérea deve ser compensada por alguma outra estratégia funcional nas plantas que habitam as áreas poluídas. Logo, a área foliar específica é um importante indicador ecológico para a avaliação do desenvolvimento vegetal, pois responde a diferentes fatores ambientais. Trabalhos similares feitos com *Tibouchina granulosa* (Melastomataceae) e *Inga*

*edulis* apresentaram área foliar específica menor nas populações das áreas poluídas, aumentando em direção às áreas controle. Este resultado sugere maior investimento na manutenção do órgão foliar nas áreas poluídas e maior produção fotossintética nas áreas controle (Melo Júnior *et al.*, 2014; Cavallaro *et al.*, 2018). Dessa maneira, a redução da captação da luz pela elevada deposição de material particulado sobre a superfície foliar nos indivíduos da área poluída induz à menor área foliar específica. Geralmente, somente em áreas próximas às áreas de emissão de poluentes atmosféricos é que a poluição tem concentração suficiente para causar grandes danos (Baumback, 1996). Segundo Baycu *et al.* (2006), os tecidos das plantas refletem os elementos encontrados próximos à fonte emissora porque as plantas interagem com o ambiente local.

Melo Junior *et al.* (2014) observaram em *Tibouchina granulosa* (Melastomataceae) variações estruturais decorrentes das injúrias provocadas pela presença de gases poluentes na atmosfera, destacando-se maior investimento em tecidos mecânicos pela degeneração do tecido fotossintético e fotoinibição deste. O menor investimento em produção fotossintética nas Zonas Industriais I e II podem estar ligados a um processo de degeneração de tecidos fotossintetizantes e subsequente fotoinibição. As médias para a produção de clorofila evidenciaram baixos teores para as Zonas Industriais I e II. Segundo Arena *et al.* (2014), fisiologicamente, a poluição atmosférica afeta o potencial fotossintético das plantas gerando alterações no transporte de elétrons responsável pela fotossíntese no fotossistema II ou na assimilação do CO<sub>2</sub> que a planta faz através dos estômatos reduzindo a eficiência fotoquímica e o teor de pigmentos fotossintéticos, o que, em conjunto, afeta o desenvolvimento da planta. Resultados equivalentes foram encontrados em plantas de *Tibouchina pulchra* (Melastomataceae) e *Tradescantia pallida* (Commelinaceae) expostas à níveis elevados de poluição do ar, as quais tiveram a capacidade fotossintética comprometida, afetando significativamente o seu desenvolvimento (Santos, 2013).

Segundo Baumback (1996), o material particulado tem efeito direto nas folhas e posteriormente nas raízes através da deposição no solo. O tamanho das partículas influencia qual órgão será mais eficiente em sua captação. Os pecíolos são mais eficientes para partículas de 10 µm ou mais. A chuva é responsável por lavar as

partículas com 20-30 µm e até maiores. As partículas de 1-5 µm são retidas nos tricomas e os metais pesados estão mais associados com este particulado fino (Smith, 1990). A interpretação dos resultados das análises de solo comparando as quatro populações de *H. chrysotrichus* mostrou diferença significativa para o ponto que compreende a Zona Industrial I, a qual apresentou alto teor para todos os índices analisados. Segundo Ma (2005), considerando o aspecto nutricional da planta, o Si é o único elemento que não causa injúrias às plantas quando acumulado em excesso, em razão de suas propriedades de não dissociação em pH fisiológico e à polimerização. Em estudo de incubação com escória de aciaria e de alto-forno, Lima Filho & Silva (2007) mostraram efeitos significativos nas características químicas dos solos estudados quando foram adicionadas Ca, Mg e Si. Lima Filho *et al.* (2005) mostraram a correlação positiva que existe entre o teor de silício disponível para as plantas e a fertilidade natural dos solos. Dados de literatura mostram aumentos na resistência a certas pragas e doenças e estresses abióticos, como deficiência hídrica, baixas temperaturas, radiação UVB e toxicidades por Fe, Al e Mn (Matichenkov & Calvert, 2002).

As imagens do MEV (Figura 3) mostram a deposição de Ca, Mg e Si sobre as folhas de *H. chrysotrichus* que podem ter sido depositados no solo através da precipitação elevando os índices da análise do solo.

Para garantir a saúde da população e a ausência de danos ao meio ambiente, o Conama estabelece na resolução nº491/2018 240 µg/m<sup>3</sup> como padrão nacional de qualidade do ar para partículas totais em suspensão após 24 horas de amostragem (CONAMA, 2018). Entretanto, a concentração de material particulado encontrado nas folhas de *H. chrysotrichus* é resultado de um período maior de acumulação e para isso o Conama não estabelece legislação. Logo, os resultados aqui obtidos foram discutidos por meio da comparação entre pontos amostrais, evidenciando a Zona Industrial II com maior influência antrópica e a Área Controle como ponto menos antropizado. A emissão local de poluentes pode comprometer de forma regional a qualidade ambiental, pois segundo Silveira *et al.* (2012), os sistemas naturais se interligam por meio de condicionantes abióticos como o ar atmosférico. Neste sentido, o biomonitoramento torna-se eficaz como ferramenta para identificação de poluição atmosférica e consequentes danos. Através do

emprego de espécies nativas, o biomonitoramento passivo pode ser uma ação de baixo custo a ser aplicada por meio de políticas públicas voltadas ao controle da emissão de poluentes na atmosfera, além de sensibilizar a população sobre os riscos da poluição em relação à saúde humana (Lawley et al., 2016).

### Conclusão

Este estudo indica que a poluição atmosférica influencia o desenvolvimento estrutural da espécie, a qual se mostra como boa indicadora da qualidade do ar atmosférico. Os resultados obtidos para *H. chrysotrichus* demonstram que as variações estruturais observadas entre as plantas localizadas nas áreas poluídas e na área controle decorrem das injúrias provocadas pela presença de poluentes na atmosfera. Os caracteres morfológicos (AEF) e fisiológicos (teores de clorofila) analisados sugerem mudanças no tipo de investimento (crescimento x manutenção) e processos de fotoinibição nas plantas sujeitas à poluição. As plantas localizadas fora da área urbana de Joinville (Controle) apresentaram diferenças significativas para os atributos estudados de tal forma que representam maior integridade da planta quando não exposta à poluição. Cabe enfatizar que, apesar da folha ser o órgão vegetal mais suscetível às variáveis ambientais, se torna necessário aumentar as pesquisas morfoanatômicas que correlacionem outras estruturas como caules e raízes, ou até mesmo fases fenológicas, ampliando as possibilidades de interpretação sobre os efeitos danosos causados por poluentes atmosféricos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Fundo de Amparo à Pesquisa da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE.

### Referências

- Alcalá, J.J., Rodríguez, J.C., Tiscareño, M.A., Hernández, A., Tapia, J.J., Lored, C., Villaseñor, E. (2001). Mitigação del impacto ambiental del polvo atmosférico através de *Prosopis laevigata* y *Schinus molle*, San Luis Potosí, México. *Multequina*, 18, 37-51. ISSN: 0327-9375.
- Alves, E.S., Giusti, P.M., Domingos, M., Saldiva, P.H.N., Guimarães, E.T., Lobo, D.J.A. (2001). Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica*, 24, 567-576.
- Arena, C., Maio, A., Nicola, F., Santorufo, L., Vitale, L., Maisto, G. (2014). Assessment of EcoPhysiological Performance of *Quercus ilex* L. Leaves in Urban Area by an Integrated Approach. *Water Air Soil Pollution*, 225(1824), 2-12
- Arrivabene, H.P., Souza, I.C., Có, W.L.O., Conti, M.M., Wunderlin, D.A., Milanez, C.R.D. (2015). Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. *Chemosphere*, 127, 27-34.
- Baumback, G. (1996). Air quality control, formation and sources, dispersion, characteristics and impact of air pollutants: measuring methods, techniques for reduction of emission and regulation for air quality control. Berlin: Springer, 490 p.
- Baycu, G., Tolunay, D., Özden, H., Günebakan, S. (2006). Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentration in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution*, 143, 545-554.
- Bernatzky, A. (1978). Tree ecology and preservation. New York: Elsevier Scientific, 357 p.
- Bongers, F., Popma, J. (1990). Leaf characteristics of tropical rainforest flora of los tuxtlas, Mexico. The University of Chicago Press Journals, 151(3), 354-365. doi: 10.1086/337836
- Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P. (2011). Numerical ecology with R. New York: Springer, 306 p.
- Braga, F.M., et al. (2021). Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO2. *Research, Society and Development*, 10(7), e1670113789. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16701>.
- Buschle & Lepper. Produtos Químicos, Silicatos, Silicato de Sódio C-112. Disponível em: <https://www.buschle.com.br/produtos-quimicos/silicatos/silicato-de-sodio-c-112>. Acesso em 27 Jul. 2020.
- Cardoso, K. M., Paula, A., Santos, J. S., & Santos, M. L. P. (2017). Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. *Ciência Florestal*, 27(2), 535-547.
- Capmetal. Processos de produção de fundidos metálicos. Acesso em 24 Jul. 2020. Disponível

- em:  
[http://www.capmetal.com.br/site/\\_cases/fundicao.html](http://www.capmetal.com.br/site/_cases/fundicao.html).
- Cavallaro, R., J. C. F. de Melo Júnior, M. Bonatti-Chaves & G. D. R. Renner. Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) por meio do método de biomonitoramento passivo. *Cadernos de Publicações UNIVAG*. 2018; 8(1): 85-108.
- Cetesb. Companhia ambiental do estado de São Paulo. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo – poluentes. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2001.
- Cetesb. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes. São Paulo: Cetesb, 2018.
- Cetesb. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade do ar. Governo do Estado de São Paulo. 2020. Acesso em 24 Jul. 2020. Disponível em:  
<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>.
- Cetesb. Ficha de Informação Toxicológica. Dióxido de enxofre. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. 2020.
- Cetesb. Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo. Secretaria de Meio ambiente. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em:  
<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/10/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2021.pdf>.
- Climate-data.org. Clima: Joinville. [Acesso em: 20 nov. 2019]. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/joinville-4496/>.
- Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.º 491, de 19 de novembro de 2018. [Acesso em: 26 jun. 2020]. Disponível em:  
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>.
- Conama – Conselho nacional do meio ambiente. Ministério do meio ambiente. Resolução nº3 de 28/09/1990. [Acesso em: 20 nov. 2019]. Disponível em  
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>.
- Diatom Fundação. Fundação Silicato de Sódio. Disponível em <http://diatom.com.br/pt-BR/aplicacoes/fundicao>. Acesso em 28 Jul. 2020.
- Domingos, M.; Klumpp, G. Air pollution impact on the Atlantic forest in the Cubatão region, SP, Brazil. *Ciência e Cultura*. 1998; 50(4): 230-236.
- Dziri, S.; Hosni, K. Effects of cement dust on volatile oil constituents and antioxidative metabolism of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) needles. *Acta Physiol Plantarum*. 2012; 34(5): 1669–1678. doi: 10.1007/s11738-012-0962-6.
- Eichert, T., & Fernandez, V. (2012). Captação e liberação de elementos pelas folhas e outras partes aéreas da planta. In: Marschner, H. A nutrição mineral de Marschner para plantas superiores. San Diego: Imprensa Acadêmica, pp. 71–84.
- Erdal, S., & Demirtas, A. (2010). Effects of cement flue dust from a cement factory on stress parameters and diversity of aquatic plants. *Toxicology and Industrial Health*, 26(6), 339-343. doi: 10.1177/0748233710369235.
- Feitosa, S.M.R., Gomes, J.M.A., Neto, J.M.M., & de Andrade, C.S.P. (2019). Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 6(2), 58-75.
- Fleck, A.S., Moresco, M.B., & Rhoden, C.R. (2016). Assessing the genotoxicity of traffic-related air pollutants by means of plant biomonitoring in cities of a Brazilian metropolitan area crossed by a major highway. *Atmospheric Pollution Research*, 7(3), 488-493. doi: 10.1016/j.apr.2015.12.002.
- Franklin, G.L. (1945). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood–resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155(3924), 51.  
<http://dx.doi.org/10.1038/155051a0>.
- Freedman, B. (1995). *Environmental ecology: the ecological effects of pollution, disturbance and other stresses* (2nd ed.). San Diego: Elsevier, 606 p.
- Gonçalves-Alvim, S.J., Faria, M.L., & Fernandes, G.W. (1999). Relationships between four neotropical species of galling insects and shoot vigor. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 28(1), 147-155.
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B., & Johnson, D.W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2-3), 213-239. doi: 10.1016/S0160-4120(02)00181-2.
- Hendry, G.A.F., & Price, A.H. (1993). Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F., & Grime, J.P. *Methods in*



- comparative plant ecology. London: Chapman & Hall, pp. 148-152.
- Hess, S.C. (2018). Ensaios sobre a poluição e doenças no Brasil. São Paulo: Outras Expressões, 343 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE; 2012. 274 p.
- Inoue, M. T.; Reissmann, C. B. Efeitos da poluição na fotossíntese, dimensões da folha, deposição de particulados e conteúdo de ferro e cobre em alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) da arborização de Curitiba, PR. *Revista Floresta*. 1991; 21(12): 3-11.
- IPPUJ - Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Joinville cidade em dados 2021 pdf. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/01/Joinville-Cidade-em-Dados-2016.pdf>.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Rima Artes e Textos; 2006. 532 p.
- Landrigan, P. J.; Fuller, R.; Acosta, N. J. R.; Adeyi, O.; Arnold, R.; Basu, N. N.; Baldé, A. B.; Bertollini, R.; Fuster, V.; Greenstone, M.; Haines, A.; Hanrahan, D.; Hunter, D.; Khare, M.; Krupnick, A.; Lanphear, B.; Lohani, B.; Martin, K.; Mathiasen, K. V; ... Steiner, A. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, v. February, n. 3, p. 462–512, 2018. DOI 10.1016/S0140-6736(17)32345-0. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)>.
- Lau, O. W.; Luk, S. F. Leaves of *Bauhinia blakeana* as indicators of atmospheric pollution in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2001; 35(18): 3113-3120.
- Lawley, V.; Lewis, M.; Clarke, K.; Ostendorf, B. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 1273–1283, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.021>.
- Levitt, J. *Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic Press; 1972. 698 p.
- Legendre, P.; Legendre, L. *Numerical ecology*. 2. ed. Netherlands: Elsevier Science; 1998. 852 p.
- Lima Filho, O. F.; Moldes, C. A.; Azevedo, R. A.; Gomes Junior, R. A.; Abdalla, A. L.; Tsai, S. M. Biochemical responses of wheat under oidium attack in the presence of silicon under hydroponic conditions. In: *Silicon in agriculture conference*. 2005; Universidade Federal de Uberlândia, 2005
- Lima Filho, O. F.; Silva, W. M. Modificação de características químicas de três solos de Mato Grosso do Sul incubados com escória de aciaria. In: *Congresso brasileiro de ciência do solo*. 2007, Gramado. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- Linder, S. A proposal for the use of standardized methods for chlorophyll determinations in ecological and ecophysiological investigations. *Physiologia Plantarum*. 1974; 32(2): 154-156. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1974.tb03743.x>
- Lohmann, L. G. 2020. *Handroanthus* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB114078>).
- Ma, J. F. Silicon requirement for rice. In: *Silicon in agriculture conference*. 2005, Universidade Federal de Uberlândia. 2005; 52-61.
- Maletsika, P. A.; Nanos, G. D.; Stavroulakis, G. G. Peach leaf responses to soil and cement dust pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; 22(20): 15952-15960. doi: 10.1007/s11356-015-4821-z.
- Manning, W. J.; Feder, W. A. *Biomonitoring air pollutants with plants*. London: Applied Science Publishers; 1980.
- Matichenkov, V. V.; Calvert, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal of the American of Sugarcane Technologists*. 2002; 22: 21-30. Disponível em: <http://www.assct.org/journal/JASSCT%20PDF%20Files/volume%2022/matichenkov.pdf>. Acesso em: 21 junho 2016.
- Melo Júnior, J. C. F. de; Raimundo, C. M.; Amorim, M. W. Efeito da poluição atmosférica em folhas de *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). *Acta Biológica Catarinense*. 2014; 1(1): 65-72.
- Melo, N. P. A. O nióbio no Brasil. Um Estudo sobre a Variação do Valor das Exportações do Minério (1999-2016). Universidade Federal de Uberlândia. 2017.
- Mudd, J. B.; Kozlowski, T. T. *Responses of plants to air pollution*. New York: Academic Press; 1975. 382 p.
- Oliveira, W. L.; Medeiros, M. B.; Moser, P.; Pinheiro, R.; Olsen, L. B. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica.

- Acta Botanica Brasílica. 2011; 25(4): 876-884. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062011000400014>.
- Pereira, E.G.; Oliva, M.A.; Kuki, K.N.; Cambraia, J. Photosynthetic changes and oxidative stress caused by iron ore dust deposition in the tropical CAM tree *Clusia hilariana*. Springer-Verlag. 2009; 23(2): 277-285.
- Pérez-Harguindeguy, N.; Díaz, S.; Garnier, E.; Lavorel, S.; Poorter, H.; Jaureguiberry, P.; Bret-Harte, M.S.; Cornwell, W.K.; Craine, J.M.; Gurvich, D.E.; Urcelay, C.; Veneklaas, E.J.; Reich, P.B.; Poorter, L.; Wright, I.J.; Ray, P.; Enrico, L.; Pausas, J.G.; De Vos, A.C.; Buchmann, N.; Funes, G.; Quétier, F.; Hodgson, J.G.; Thompson, K.; Morgan, H.D.; Ter Steege, H.; Van der Heijden, M.G.A.; Sack, L.; Blonder, B.; Poschlod, P.; Vaieretti, M.V.; Conti, G.; Staver, A.C.; Aquino, S. & Cornelissen, J.H.C. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany. 2013; 61(3): 167-234.
- Rai, P.K. Impacts of particulate matter pollution on plants: implications for environmental biomonitoring. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016; 129: 120-136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>.
- Reflora 2020. Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. [Acesso em: 17 set. 2019]. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >
- Reis, A.F. Análise da dispersão de poluentes de origem veicular na BR-153 e sua relação com o uso do solo em área urbana do município de Goiânia [Dissertação de Mestrado]. Goiás: Universidade Federal de Goiás; 2014.
- Rocha, R.T.; Leles, P.S.S.; Neto, S.N.O. Arborização de vias públicas em Nova Iguaçu, RJ: o caso dos bairros Rancho Novo e Centro. Revista Árvore. 2004; 28(4): 599-607. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000400014>.
- Rodrigues, L.T. et al. Influência sazonal da qualidade do ar na área urbana de Irati-PR: Bioensaios de genotoxicidade ambiental com *Tradescantia* clone 4430. Brazilian Journal of Development, Curitiba, 6, 74297-74315, out. 2020.
- Roy, A.; Bhattacharya, T.; Kumari, M. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. Science of the Total Environment, 722, 137622, 2020.
- Santos AP. Biomonitoramento vegetal da qualidade do ar em Ribeirão Preto (SP). Revista Baiana de Saúde Pública. 2013; 37(1): 262-266.
- Santos, H.L.; Fialho, M.L.; Reis, K.P.; Franco, M.V.; Oliveira, R.B. Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde. Intraciência Revista Científica. São Paulo; 2019.
- Santos, G.S.; Santos, M.D.; Melo Júnior, J.C.F.; Bonatti-Chaves, M.; Mouga, D.M.D.S. & Gumboski, E.L. Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. Acta Biológica Catarinense. 2019; 6(1): 93-102.
- Sika. Uso do carbetto de silício em processos de fundição de ferros fundidos. SGB Manual técnico Final. Saint Gobain. Acesso em 24 jul. 2020. Disponível em [https://www.cursosprorim.org.br/wp-content/uploads/sites/55/2018/11/SGB\\_Manual-tecnico\\_Final.pdf](https://www.cursosprorim.org.br/wp-content/uploads/sites/55/2018/11/SGB_Manual-tecnico_Final.pdf).
- Silveira, B. S., M. P. A. Alves & P. Murara. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. Anais. X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Manaus; 2012. p. 380-392.
- Simgeo - Prefeitura de Joinville 2015. [Acesso em: 20 nov. 2019]. Disponível em: [http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos\\_vivacidade/Mapa%20de%20Fragilidade%20Ambiental%20de%20Joinville/Mapas/Pedologico/JOINVILLE.pdf](http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos_vivacidade/Mapa%20de%20Fragilidade%20Ambiental%20de%20Joinville/Mapas/Pedologico/JOINVILLE.pdf).
- Smith, W.H. Air pollution and forests: interaction between air contaminants and ecosystems. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1990. 618p.
- Souza, V.C. & Lorenzi, H. Botânica Sistemática. Guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum; 2012. 768 p.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Rio Grande do Sul: Artmed; 2013. 918 p.
- Taiz, L. & E. Zeiger. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed; 2002. 250 p.
- Torres, L.M. et al. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. Caderno Brasileiro de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 16, 33-50, 2020. doi: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>.

Usinagem Brasil. A importância do carvão de silício na fundição de ferro. Acesso em 24 jul. 2020. Disponível em <http://www.usinagem-brasil.com.br/13329-a-importancia-do-carbeto-de-silicio-na-fundicao-de-ferro/>.

Wannaz, E.D.; Zygadlo, J.A.; Pignata, M.L. Air pollutants effect on monoterpenes composition and foliar chemical parameters in *Schinus areira* L. *Science of The Total Environment*. 2003; 305(1-3): 177-193. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00466-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00466-7).